دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

اصول مهندسی پلیمر

جلسه چهاردهم
(مواد مرکب زمینه پلیمری)
بخش دوم: روش های تولید

دکتر رضا اسلامی فارسانی

مقدمه

همانطور که قبلاً اشاره شد، پلیمرها بخصوص پلیمرهای ترموپلاست دارای خواص مکانیکی ضعیفی هستند و در اثر اعمال تنش، زنجیره های آنها به راحتی روی هم می لغزند. به منظور بهبود خواص زمینه پلیمری از توزیع فاز تقویت کننده در زمینه بهره گرفته می شود. در حقیقت زمینه بار اعمالی را به فاز تقویت کننده منتقل می کند.

روش های متعددی برای تولید قطعات مواد مرکب زمینه پلیمری وجود دارد. شکل و ابعاد قطعه، تیراژ تولید، کارکرد مورد نظر و هزینه ها عوامل اصلی تعیین کننده در انتخاب روش تولید هستند.

روش های تولید مواد مرکب زمینه پلیمری

روش‌های تولید کامپوزیت‌های زمینه پلیمری دو گروه اصلی هستند:

✓ قالب باز (Open Mold)

قالب اصلی تنها از یک نیمه تشکیل شده و یک سطح از مواد در تماس با قالب بوده و سطح دیگر می تواند در تماس با هوا یا جسمی انعطاف پذیر باشد.

✓ قالب بسته (Closed Mold)

در این روش از قالب های دو تکه (نر و ماده) که عموماً فلزی هستند استفاده شده و عوامل جداکننده در دو سطح قالب بالایی و پایینی بین مواد و قالب زده می شوند.

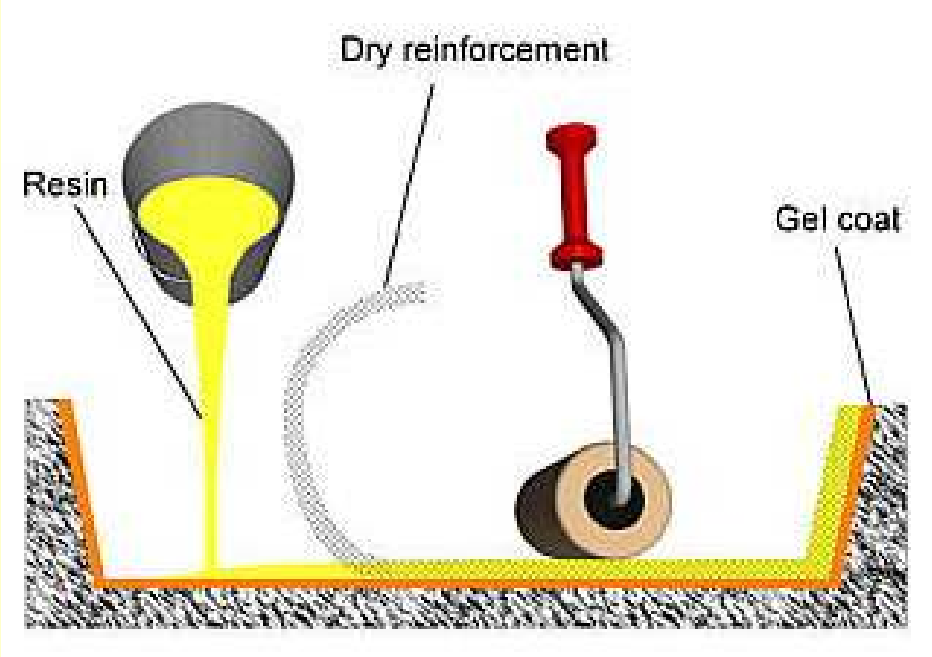
روش لایه گذاری دستی

روش لایه گذاری دستی (Hand Lay-up/ Wet lay-up)

- در روش بسیار ساده لایه گذاری دستی، ابتدا جدا کننده (رها کننده) روی قالب زده می شود تا مواد به قالب نچسبند. در ادامه تقویت کننده به صورت های مختلف ازجمله مت، الیاف بافته شده و ... روی قالب قرار گرفته و رزین با غلتک یا فرچه یا برس روی تقویت کننده اعمال شده تا هم یکنواخت شده و هم بطور کامل درون لایه های آن نفوذ کند.
- با توجه به نوع، شکل و ابعاد قطعه، فرآیند اعمال تقویت کننده و رزین می تواند چندین بار صورت گیرد. در نهایت برای زیبایی و ایجاد سطح محافظ نیز می توان یک پوشش ژلی (**Gel Coat**) بر روی آنها استفاده نمود.

روش لایه گذاری دستی

- ✓ عملیات نهایی شامل حرارت دادن و پخت است که برای برخی رزین ها نظیر پلی استر که همراه آن عامل سخت کننده نیز افزوده شده است، عملیات سخت شدن در دمای محیط صورت می گیرد.



روش لایه گذاری دستی

- ✓ روش لایه گذاری دستی روشی ساده و ارزان بوده و نیاز به تجهیزات کمی دارد. این روش برای قطعات بزرگ نظیر بدنه قایق ها، استخر شنا و ... توصیه می شود.

ازجمله معایب روش لایه گذاری دستی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ این روش به نیروی کار با تجربه بالایی نیاز دارد.
- ✓ امکان حذف کامل هوا در این روش وجود ندارد، لذا بر خواص مکانیکی اثر منفی دارد.
- ✓ در این روش نیاز است از رزین های با ویسکوزیته پایین استفاده شود.
- ✓ محدودیت استفاده از تقویت کننده تا حدود ۳۰ ٪ حجمی در این روش وجود دارد.

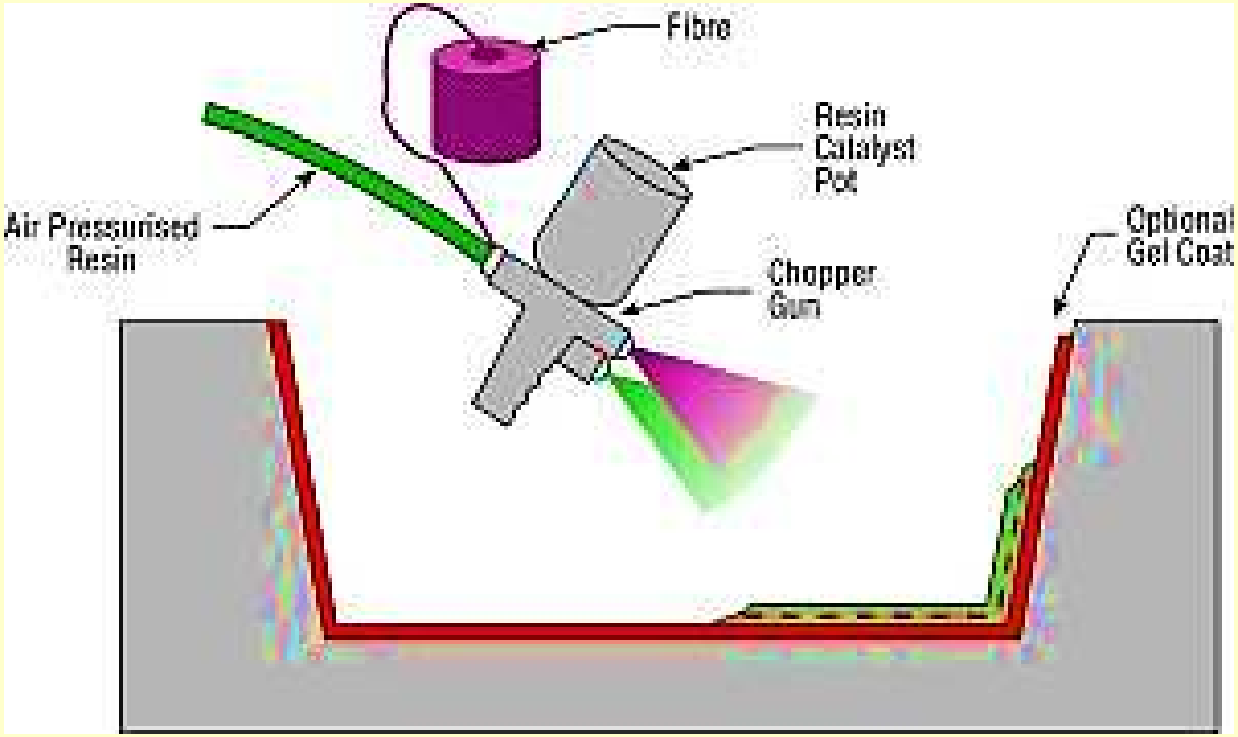
روش اسپری کردن

روش اسپری یا پاششی (Spray Lay-up)

- ✓ در روش پاششی الیاف تقویت کننده نمی تواند به صورت پیوسته باشد و حتماً باید به صورت خردشده (بریده شده) باشد.
- ✓ الیاف خردشده و رزین درون تفنگی تغذیه شده و سپس به صورت اسپری بر روی قالب پاشیده می شوند.
- ✓ مشابه روش لایه گذاری دستی عوامل جداکننده و همچنین پوشش ژلی نیز مورد استفاده قرار می گیرند و عملیات نورد به منظور خروج هوای محبوس شده و صافی سطح انجام می شود.

روش اسپری کردن

- ✓ این روش در مواردی به عنوان فرآیند تکمیلی برای تولید قطعات کامپوزیتی که پیش از این با روش لایه گذاری دستی آماده شده اند، مورد استفاده قرار می گیرد.



روش اسپری کردن

کاربردهای روش پاششی

- وان حمام، زیردوشی، اسباب بازی های کوچک، قطعات واگن و ...

مزایا و معایب

- روش پاششی نسبتاً ارزان است.
- سرعت تولید این روش بالاتر از روش لایه گذاری دستی است.
- در روش پاششی تنها می توان از الیاف کوتاه استفاده نمود.
- در این روش باید از رزینی استفاده نمود که قابلیت اسپری شدن را داشته باشد و بنابراین باید دارای ویسکوزیته پایینی باشد.

روش قالب گیری با قالب فلزی منطبق شونده

روش قالب گیری با قالب فلزی منطبق شونده (تطابقی)

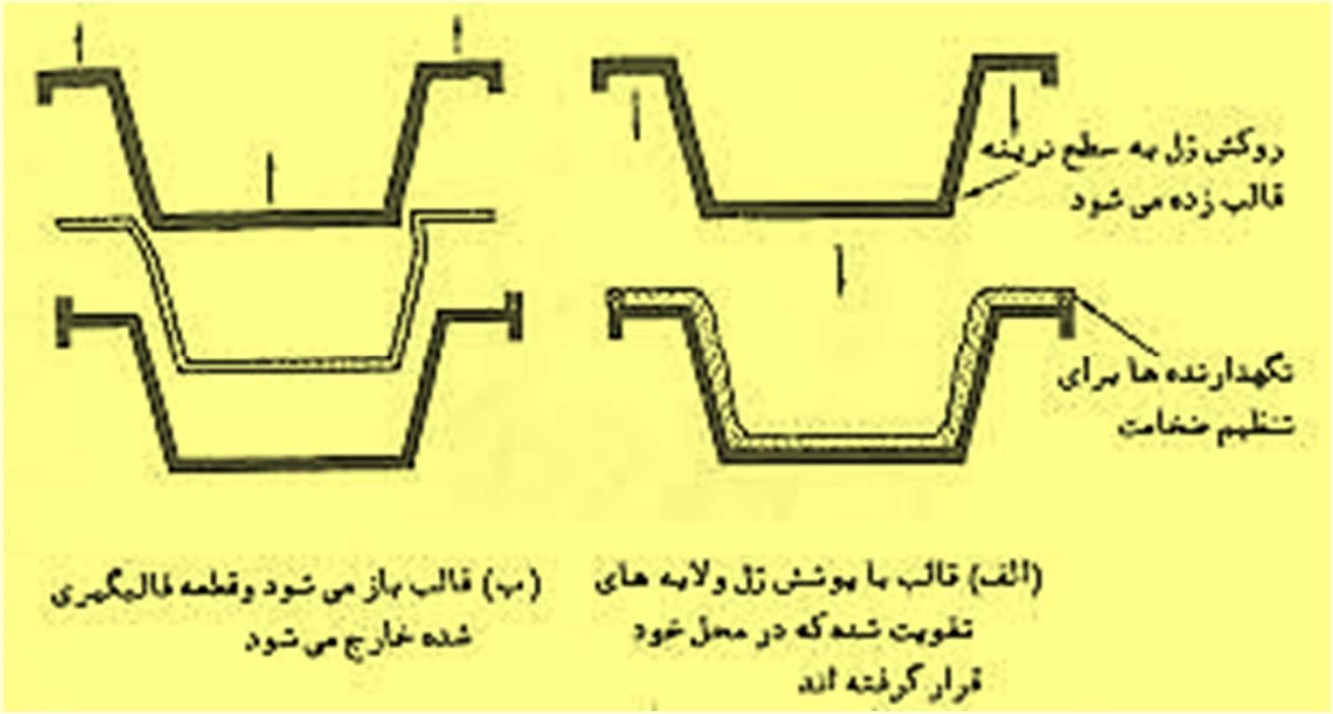
- ✓ در این روش مواد کامپوزیتی بین قالب های فلزی تطابقی، گرم و فشرده می شوند.
- ✓ فشار اعمالی به خصوصیات سیلان ماده تغذیه شده بستگی دارد (کمتر از ۱۰ مگاپاسکال تا ۵۰ مگاپاسکال).
- ✓ در اثر فشار اعمالی، ماده تغذیه شده در قالب، سیلان و جریان یافته و وقتی دما به میزان کافی بالا رفت، بسرعت سخت می شود. زمان عملیات از چند ثانیه تا چند دقیقه متغیر است که برای کاهش زمان می توان ماده تغذیه شده را پیش گرم نمود.
- ✓ این روش دقت و کیفیت بالاتری نسبت به روش های دستی و اسپری دارد اما هزینه آن به علت نیاز به قالب فلزی بالاتر است.

روش قالب گیری با قالب فلزی منطبق شونده

- در قالب گیری فلزی تطابقی از پیش شکل هایی به صورت ترکیب های قالب گیری صفحه ای یا ورقه ای ***(SMC: Sheet Molding Compound)*** یا ترکیب های قالب گیری توده ای ***(BMC: Bulk Molding Compound)*** استفاده می شود.
- در روش ***SMC***، ورقه ای از مخلوط الیاف و رزین شامل افزودنی های لازم نظیر رنگدانه، عامل جداکننده و سخت کننده تهیه شده و تحت عملیات قرار می گیرد. این مواد دارای عمر نگهداری ۶-۳ ماه در دمای محیط هستند.
- روش کار در این حالت کیفیت و تمیزی مطلوبی داشته و ثبات قطعه نیز بالاست.

روش قالب گیری با قالب فلزی منطبق شونده

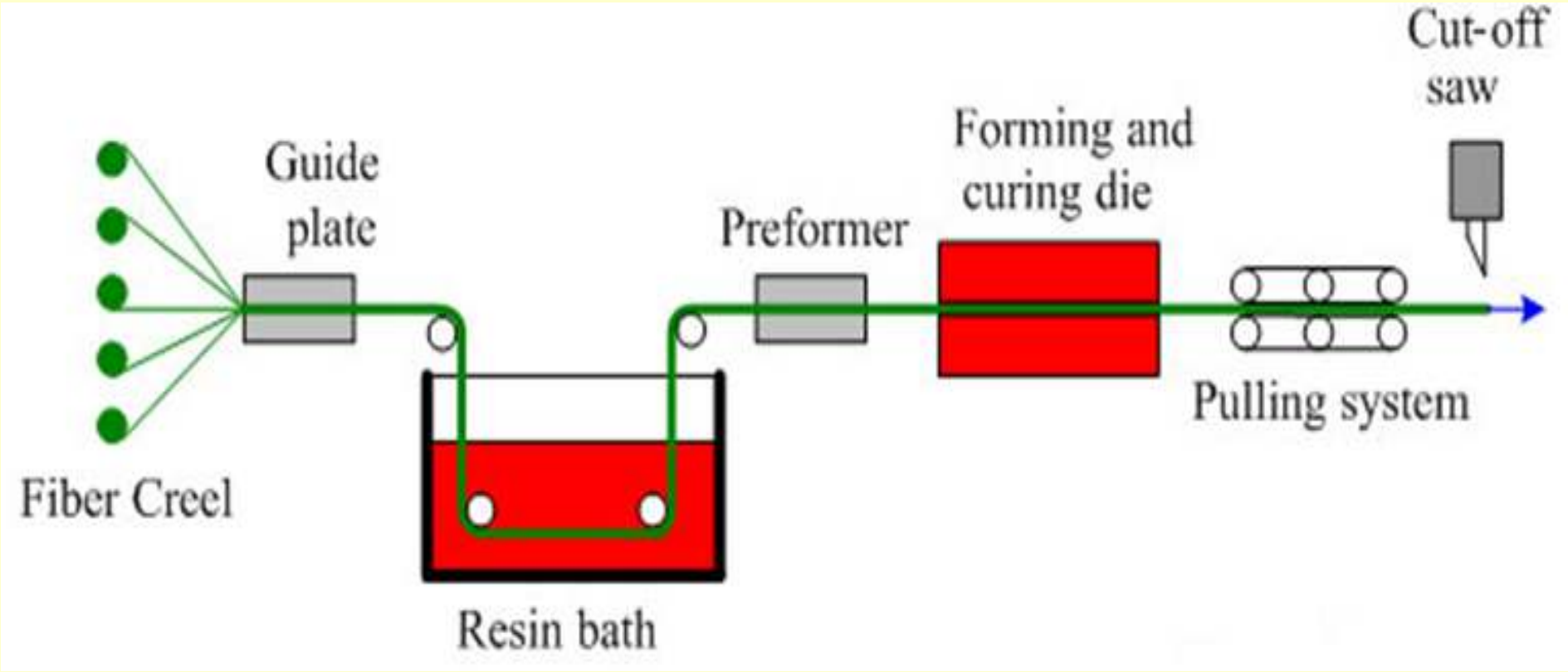
- در روش ***BMC***، مخلوطی از تمام اجزای سازنده (که البته تقویت کننده نمی تواند الیاف پیوسته باشد) تهیه شده که به صورت خمیری یا بتونه ای است و به مقدار معین برای تغذیه درون قالب استفاده می شود. عمر نگهداری ***BMC*** کمتر از ***SMC*** است.



روش پالتروژن (Pultrusion)

- ✓ این روش برای تولید پروفیل های مختلف نظیر میلگردهای دارای سطح مقطع ثابت با طول های زیاد مورد استفاده قرار می گیرد.
- ✓ الیاف پیوسته با عبور از حمام رزین به این ماده آغشته شده و سپس از درون یک حدیده فلزی داغ مشابه فرآیند حدیده کاری کشیده می شود و به شکل مقطع مورد نظر در می آید.

روش پالتروژن



روش پالتروژن

- در روش حدیده کاری (اکستروژن) فشار اعمالی پشت مواد سبب خروج از حدیده شده اما در روش پالتروژن کشش بیرونی سبب خروج مواد از حدیده می شود.
- فرآیند پخت و سخت شدن رزین نیز در این حالت درون حدیده داغ انجام می شود که البته در مواردی نیز به تکمیل عملیات در کوره نیاز دارد.
- این فرآیند روشی پیوسته و بدون محدودیت طول می باشد.
- روش پالتروژن برای تولید قطعاتی با سطح مقطع یکسان مورد استفاده قرار می گیرد و لذا نمی توان اشکال پیچیده را به این روش تولید نمود.

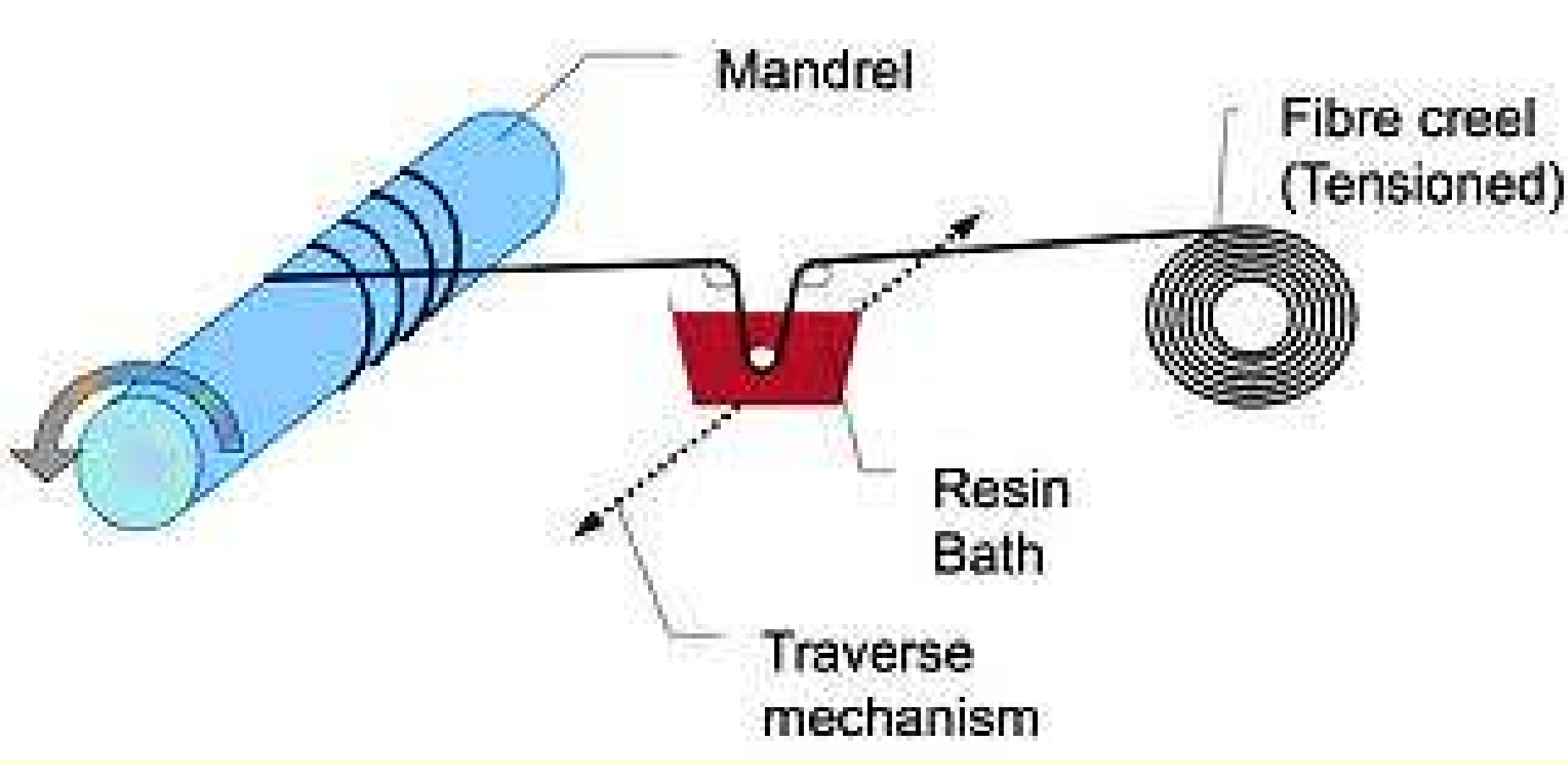
روش رشته پیچی (Filament Winding)

- در روش رشته پیچی الیاف پیوسته به صورت رشته ای یا نواری به دور یک سمبه (ماندرل) پیچیده می شود. با کمک سیستم کامپیوتری می توان الیاف را به صورت های مختلفی روی ماندرل پیچاند. همچنین در سیستم های مختلف امکان حرکت رفت و برگشتی الیاف در طول ماندرل با حرکت دوار یا حرکت ماندرل دوار به صورت رفت و برگشتی و ثابت ماندن جایگاه الیاف وجود دارد.
- الیاف مورد استفاده در این حالت می تواند به صورت خشک یا تر بر روی ماندرل پیچانده شود.

روش رشته پیچی

- در روش تر الیاف درون حمامی از رزین آغشته می شود اما در روش خشک از تقویت کننده های پیش آغشته استفاده می شود. پس از پخت رزین، ماندرل را از درون قطعه کامپوزیتی تولید شده، خارج می کنند.
- این روش دارای محدودیت شکلی بوده و معمولاً برای لوله فشار قوی، بدنه موشک، مخازن ذخیره سازی سیالات، مخازن **CNG** و پروانه هلی کوپتر بکار می رود.

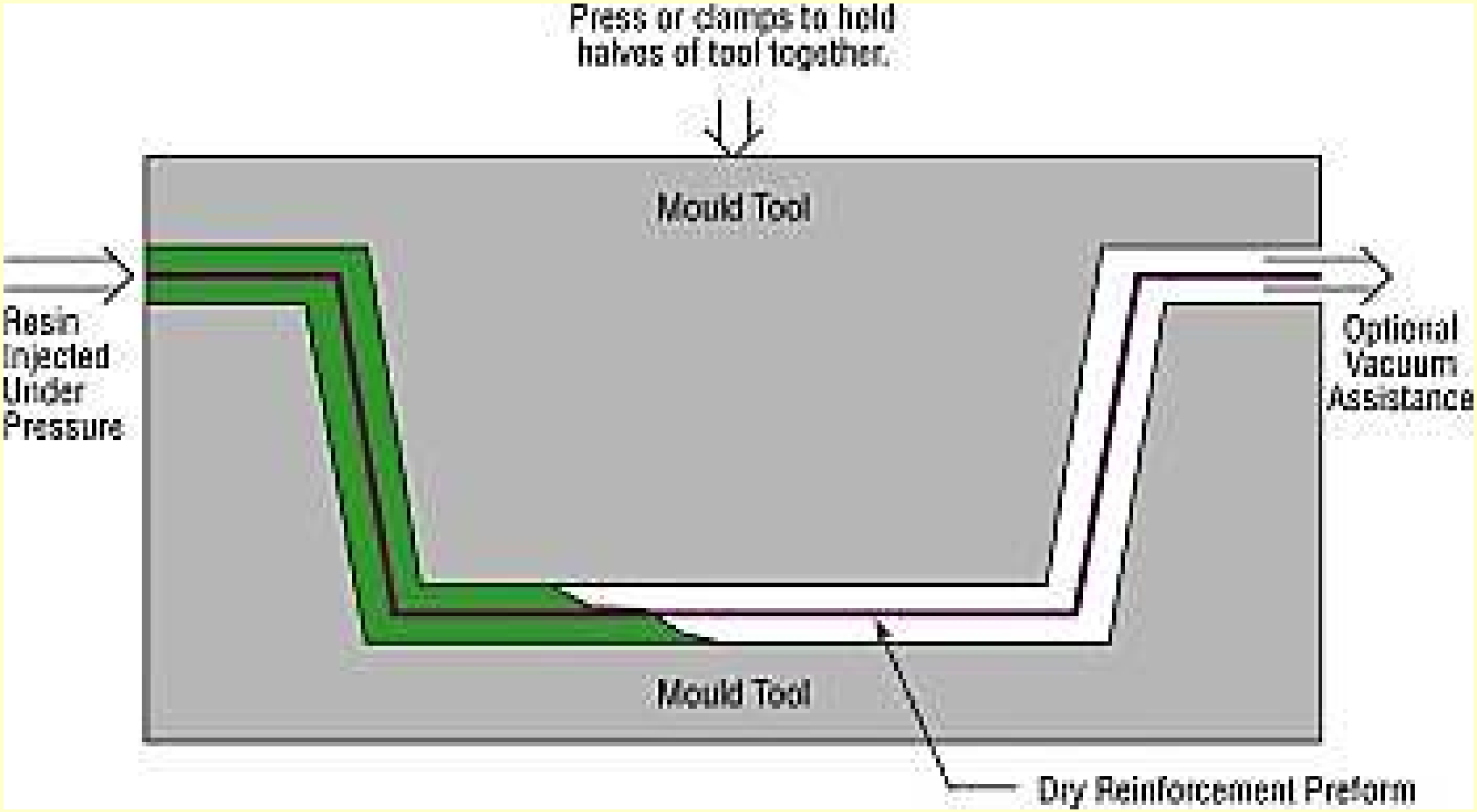
روش رشته پیچی



روش قالب گیری انتقالی رزین (Resin Transfer Molding=RTM)

- در این روش ابتدا پارچه ها یا الیاف را در داخل قالب قرار می دهند و سپس رزین به داخل قالب تزریق می شود. قالب شامل دو لنگه بالایی و پایینی است.
- برای ساخت کامپوزیت، ابتدا پارچه، نمد و یا الیاف در لنگه پایینی قالب خوابانده شده و سپس لنگه بالایی روی آن قرار داده می شود. رزین در فضای بین دو لنگه قالب تزریق می شود.
- به منظور داشتن قطعات سالم و با کیفیت برتر می توان از سمت دیگر قالب عملیات مکش را انجام داد. در ادامه به قطعه فرصت داده می شود تا عملیات پخت صورت گیرد. سپس قالب باز شده و قطعه خارج می شود.

روش قالب گیری انتقالی رزین



روش قالب گیری کیسه ای

مهمترین روش های قالب گیری کیسه ای (Bag Techniques):

- ✓ کیسه کردن در خلاء (شکل دهی در خلاء)
- ✓ قالب گیری اتوکلاو
- ✓ کیسه کردن فشاری

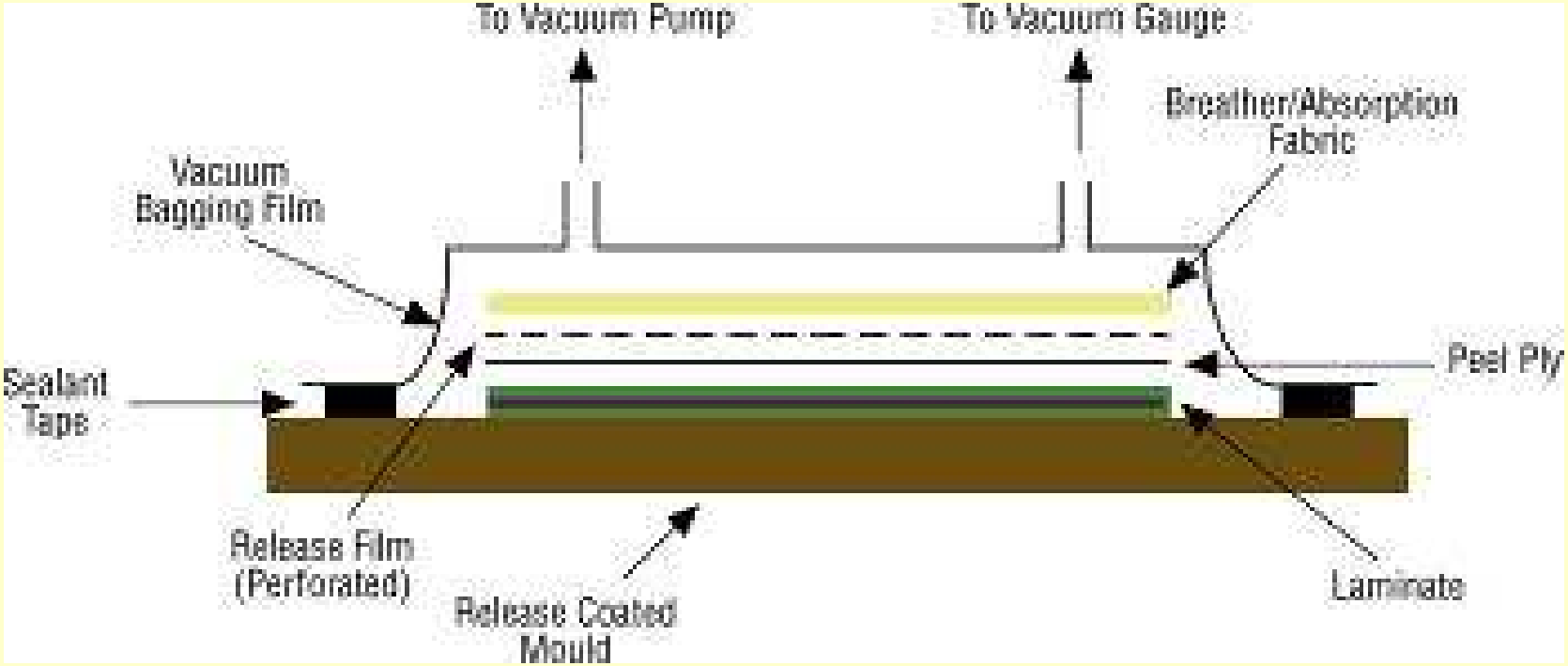
روش قالب گیری کیسه ای

✓ روش کیسه کردن در خلاء (Vacuum Bag Molding)

در روش قالب گیری کیسه ای در خلاء، یک قالب فلزی وجود دارد که فشار اعمالی روی آن فشار اتمسفر است و در آن از فشار مکانیکی استفاده نمی شود. در این حالت، لایه های تقویت کننده پیش آغشته گرم شده درون قالب قرار گرفته و کیسه قابل انعطاف مخصوص روی آن قرار می گیرد. سپس هوای درون قالب تخلیه شده و شرایط خلاء تا تکمیل عملیات پخت رزین ادامه پیدا می کند. قالب مورد استفاده می تواند قسمت نر یا ماده باشد.

روش قالب گیری کیسه ای

روش کیسه کردن در خلا



روش قالب گیری کیسه ای

روش قالب گیری اتوکلاو (*Autoclave Molding*)

- ✓ در این روش، قالب درون اتوکلاو قرار داده شده و همزمان حرارت و فشار توسط یک گاز (معمولاً نیتروژن) اعمال می شود. در این روش، فشار اعمالی بیش از فشار اتمسفر بوده و برای افزایش تراکم کامپوزیت در موارد حساس نظیر صنایع هوافضا استفاده می شود.

روش قالب گیری کیسه ای

روش کیسه کردن فشاری (Pressure Bag Molding)

- ✓ در این روش، فشاری بیش از فشار اتمسفر استفاده می شود. این روش به اتوکلاو نیازی نداشته و ارزان تر است. کیسه ای قابل انعطاف روی قالب و بالای لایه های مواد قرار می گیرد. این کیسه با هوای فشرده باد شده و در اثر آن، لایه ها به درون قالب رانده و شکل قالب را بخود می گیرند.