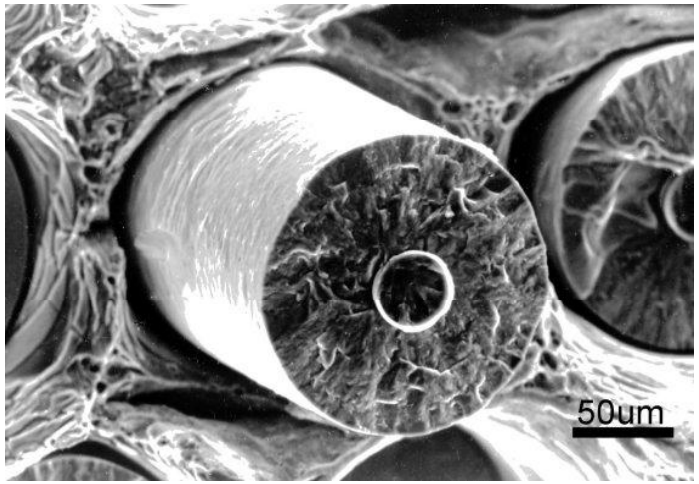
دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

روش‌های ساخت مواد مرکب



فهرست

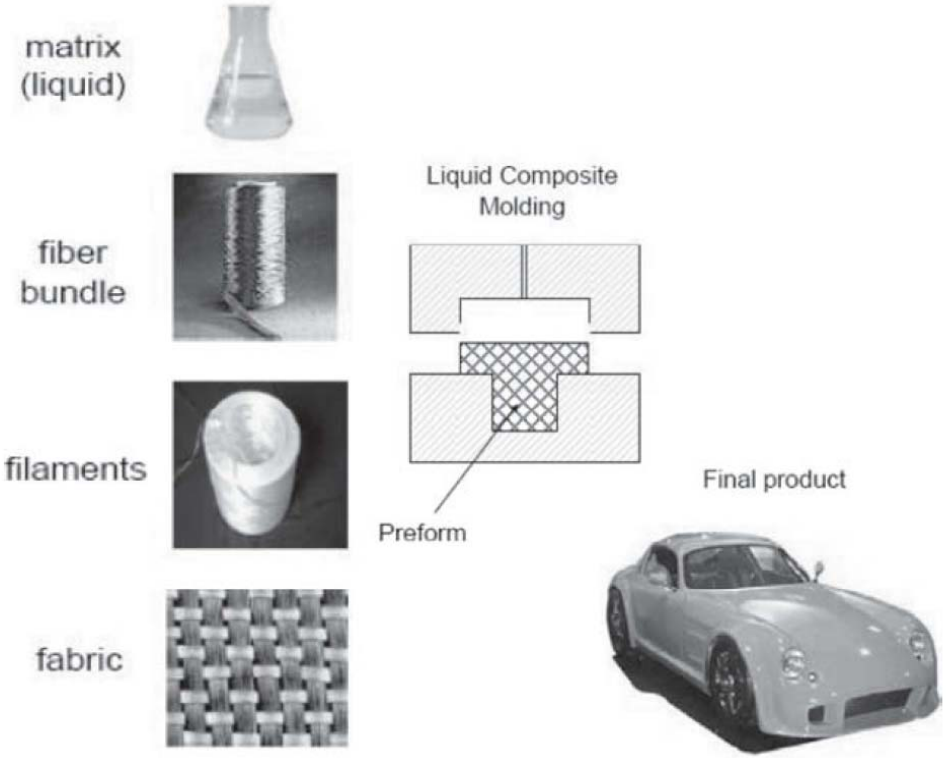
- روش چینش دستی
- روش پالتروژن
- بریدینگ
- پیچش الیاف
- Spray up
- RTM
- VARTM
- SCRIM
- SRIM

ساخت کامپوزیت‌ها به شکل مورد نظر

استفاده از مواد خام متنوع در ساخت کامپوزیت‌ها مانند:

- الیاف مختلف با اشکال مختلف
- رزین با خصوصیات متنوع

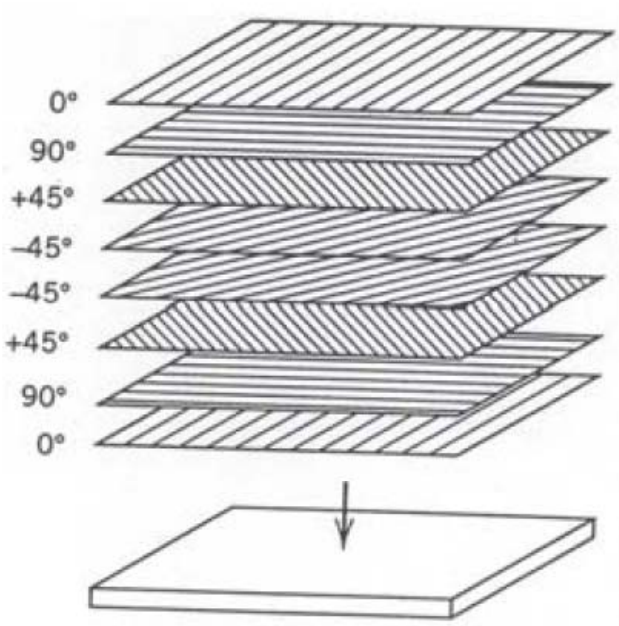
نیاز به روش های مختلف تولید، شرایط کاری مختلف و ابزارهای متفاوت

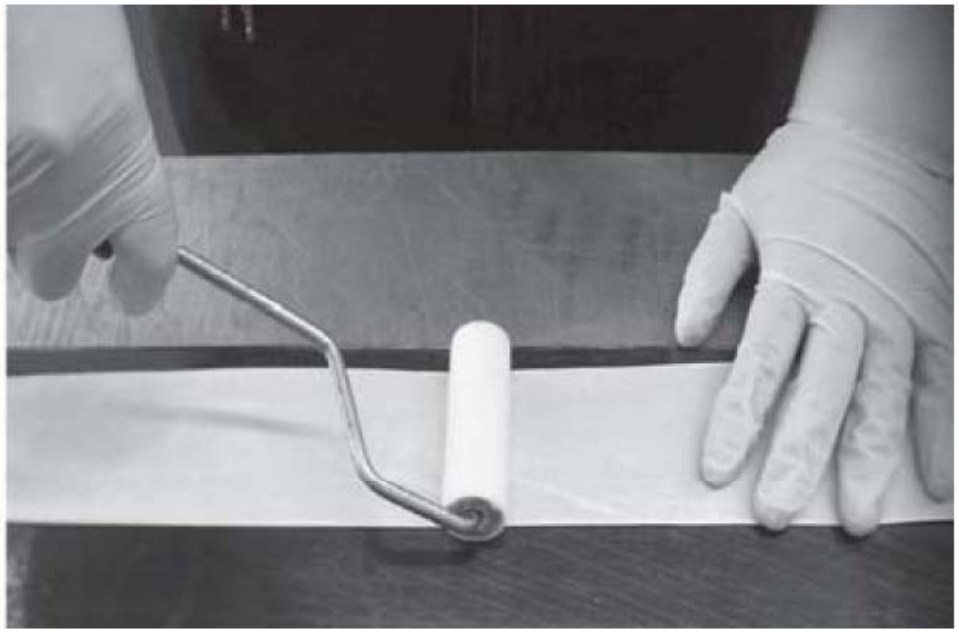


چینش دستی (Hand lay up)

در این روش با چیدن با دست الیاف به شکل مورد نظر قرار می گیرند.

با توجه به شکل نهایی مورد نظر الیاف ممکن است تحت برش و پیچش قرار گیرند.





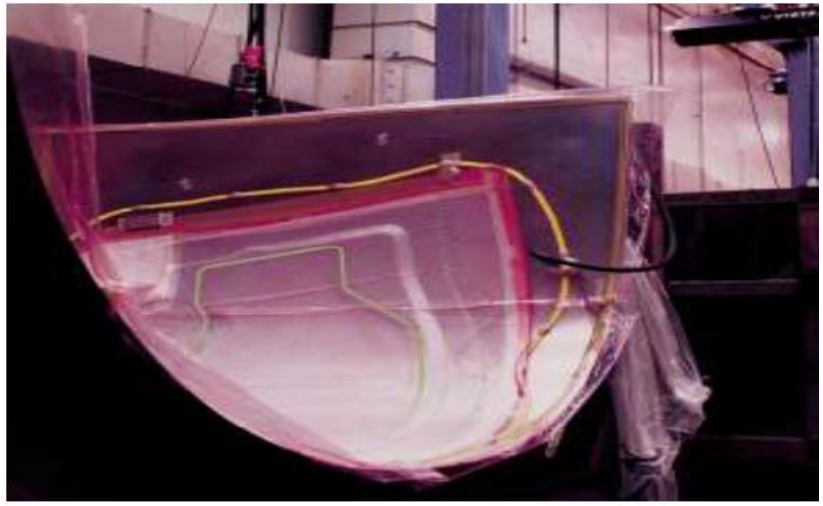
چینش دستی (Hand lay up)

- روش سنتی ساخت کامپوزیت ها بوده و همچنان کاربرد فراوانی دارد
- نیاز به نیروی انسانی ماهر به منظور لایه چینی
- امکان استفاده از الیاف خشک یا پیش آغشته وجود دارد

چینش دستی (Hand lay up)

به منظور جهت دهی و چینش دقیق الیاف در این روش باید از راهنما استفاده نمود.

راهنما می تواند خطوط روی قالب یا شابلون هایی که به قالب پین می شود باشد



Laser-Guided Ply Placement

روش دیگر استفاده از پروژکتوری است که داده های CAD را برای لایه‌های مختلف تصویر می کند.

چینش دستی اتوماتیک

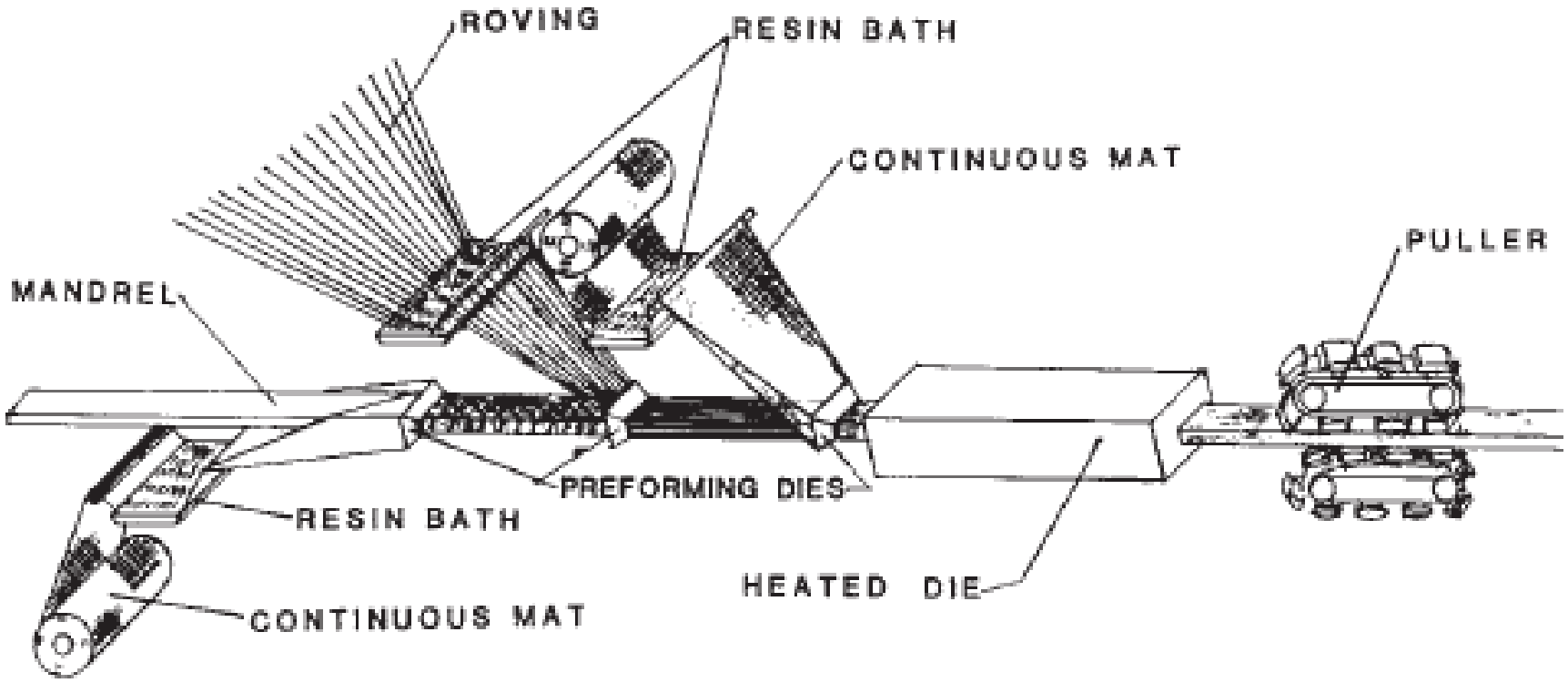
در این روش با استفاده از یک هد چند محوره الیاف و یا پیش آغشته در کانتورهای مشخص روی قالب قرار داده می شوند.

سرعت نسبت به روش دستی بالاتر است.

قالب های مورد استفاده

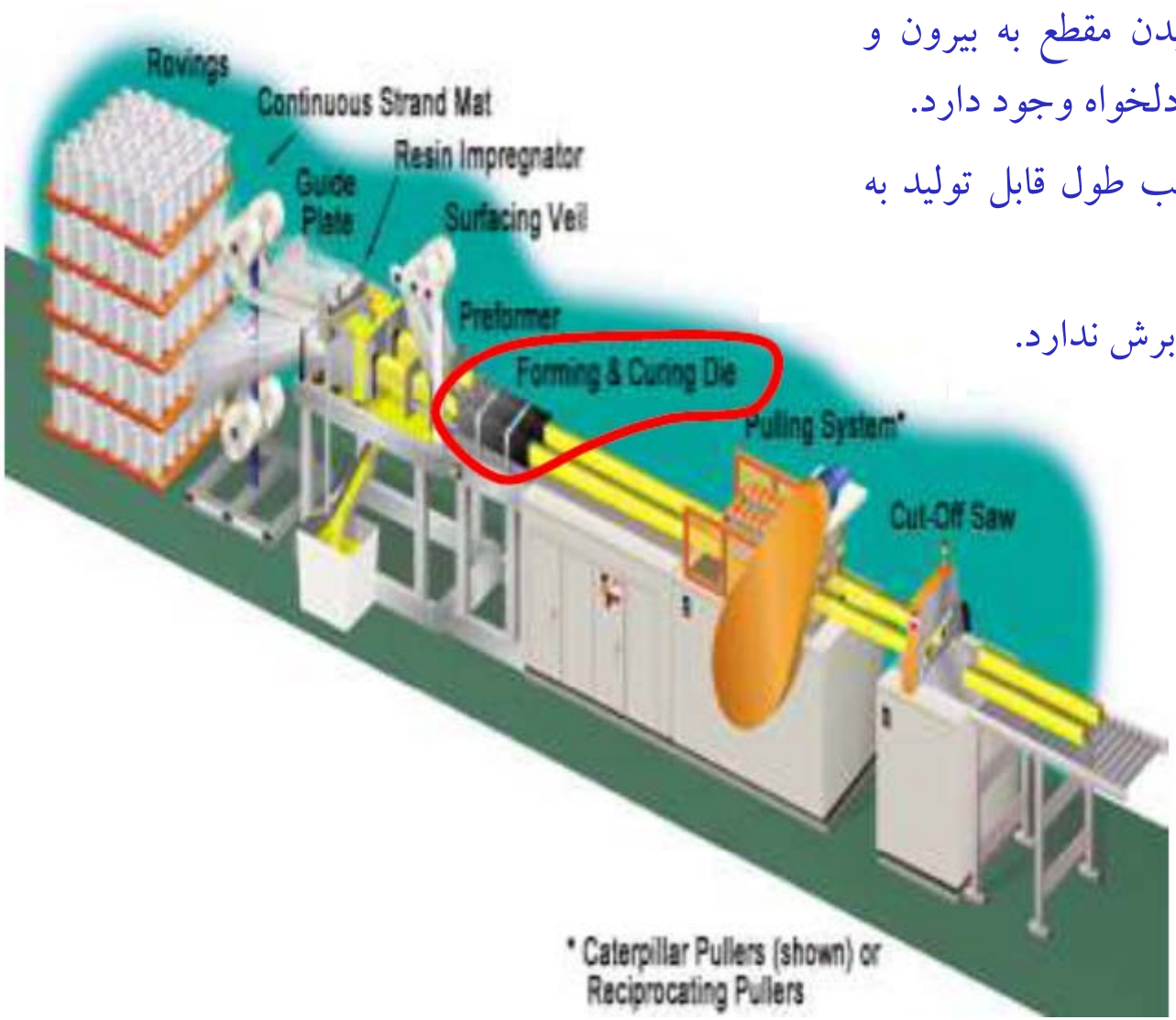
فرآیند پالتروژن (Pultrusion)

در فرآیند پالتروژن الیاف و یا مت به صورت مقطع مورد نظر جهت دهی شده و در مرحله بعد با عبور از حمام رزین به رزین آغشته می شوند. سپس از قالب و هیتر عبور داده می شوند تا علاوه بر فشرده شدن الیاف و رزین و ایجاد شکل نهایی، رزین فرآوری شود.

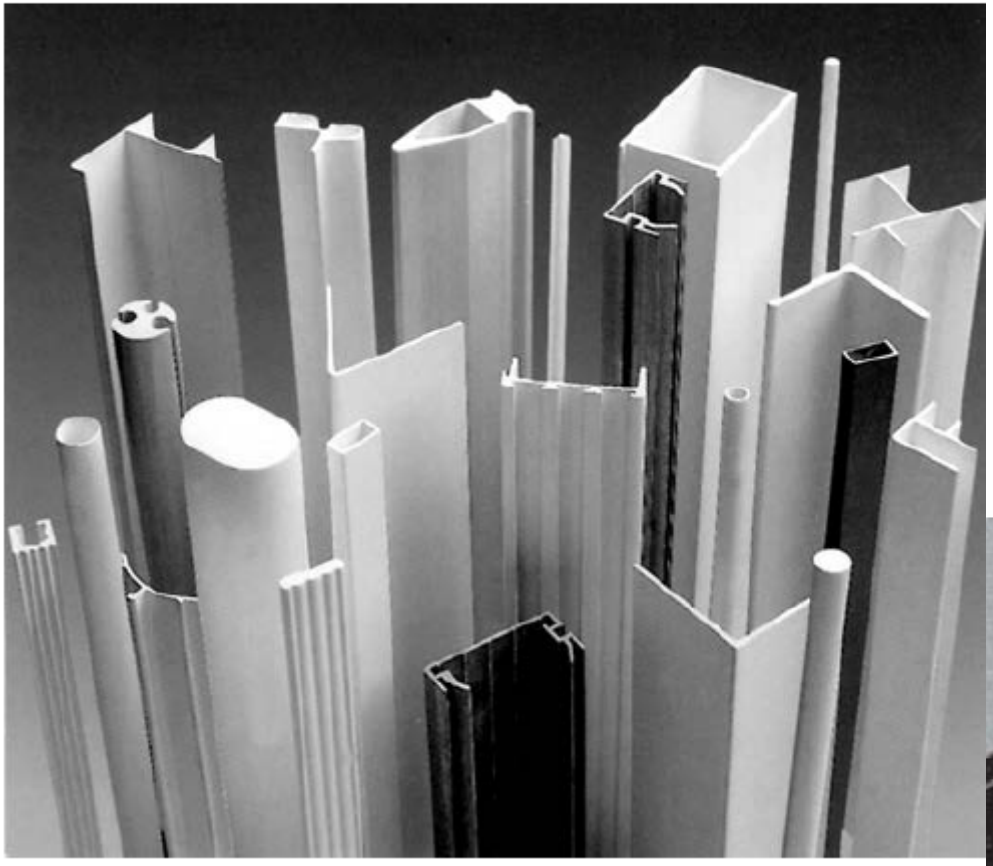


فرآیند Pultrusion

- بعد از قالب مکانیزمی برای کشیدن مقطع به بیرون و مکانیزمی برای برش مقطع به ابعاد دلخواه وجود دارد.
- با ایجاد یک مکانیزم کشنده مناسب طول قابل تولید به طول الیاف وابسته است.
- مکانیزم برش نیازی به توقف برای برش ندارد.

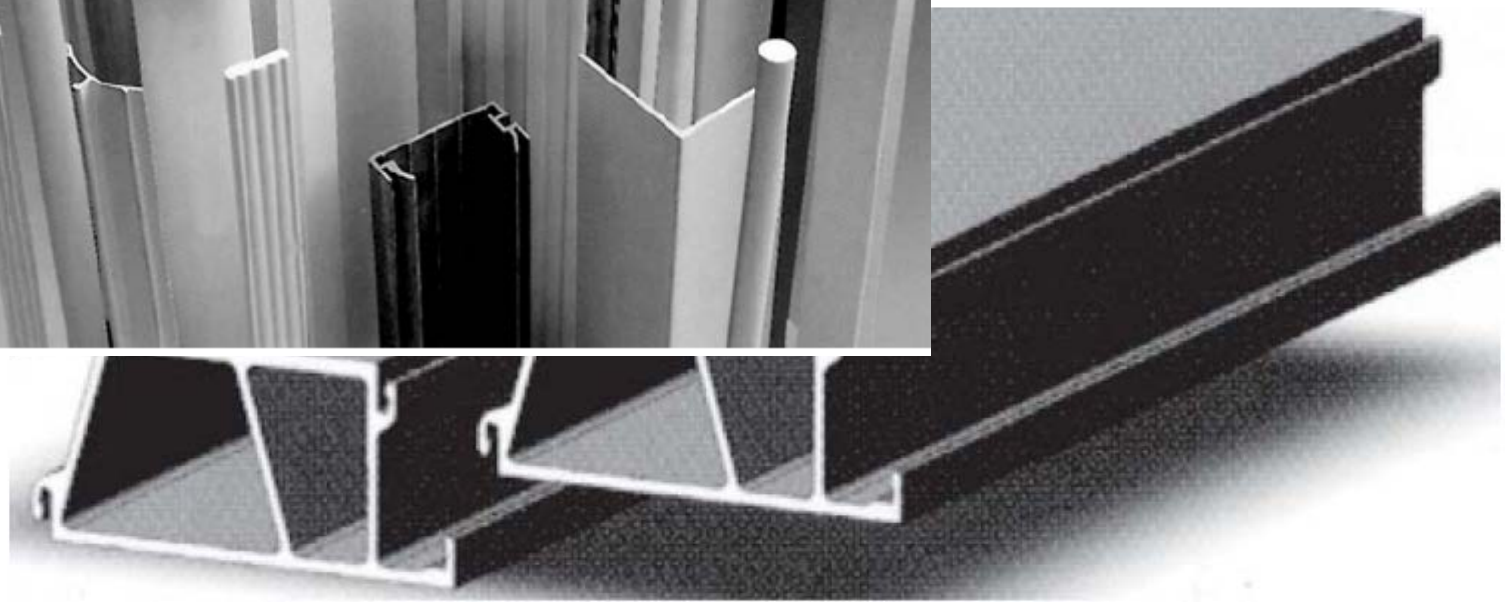


فرآیند Pultrusion



قطعات قابل تولید:

- ✓ شکل منشوری با مقطع ثابت
- ✓ قطعات با طول مستقیم بدون انحنا

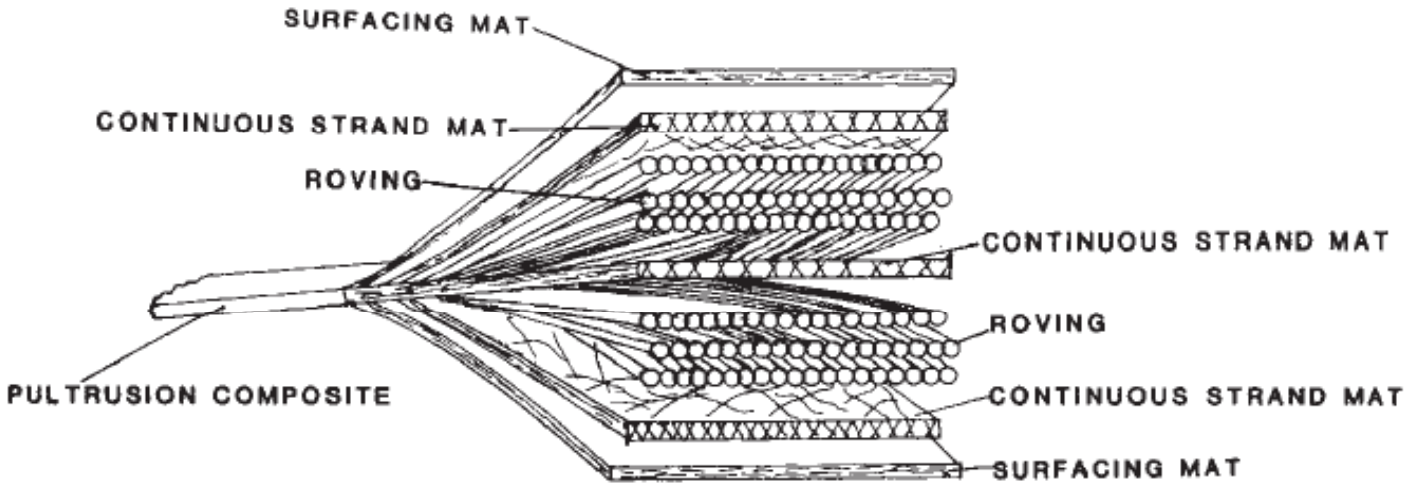


فرآیند Pultrusion

حالت های ممکن برای فاز تقویت کننده:

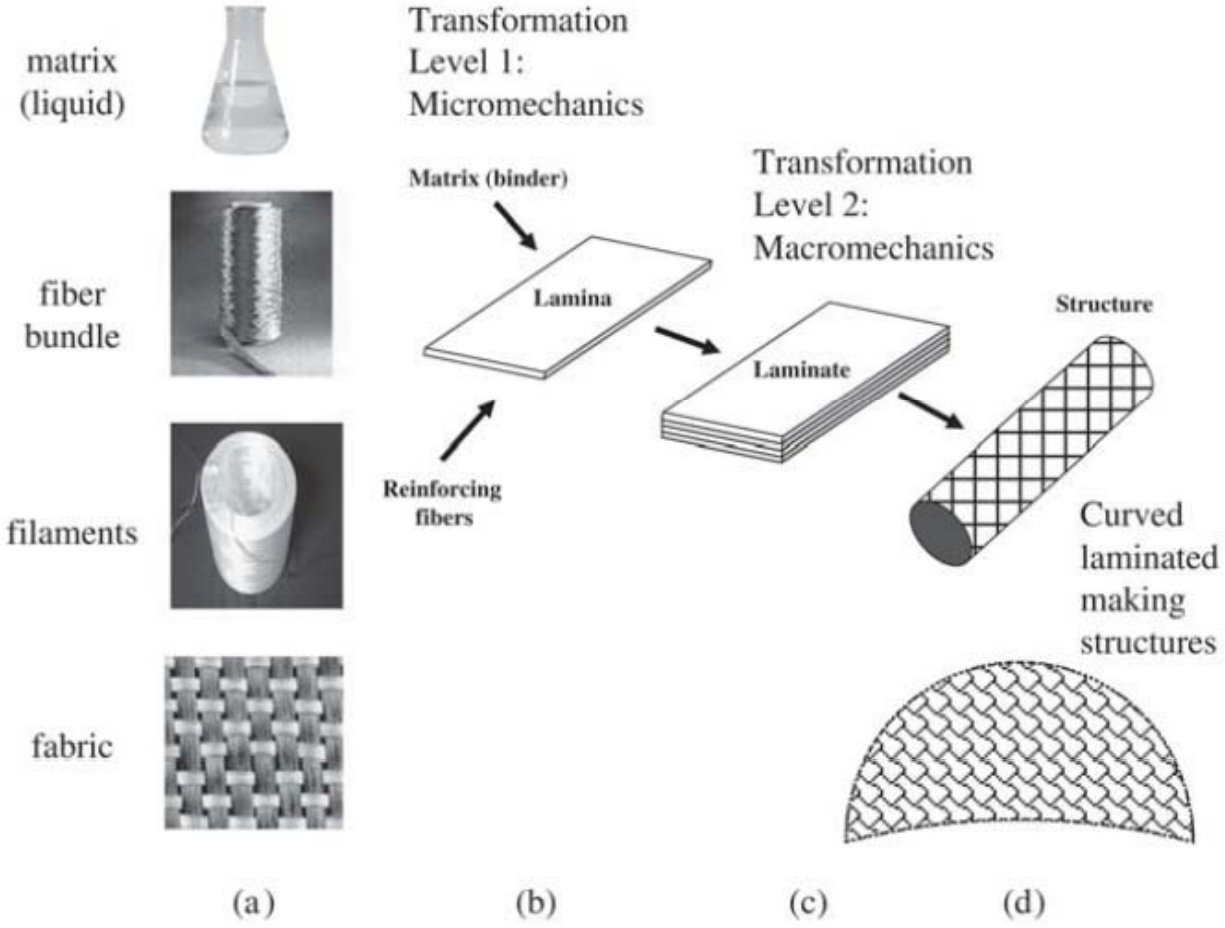
قرار گرفتن الیاف در یک جهت ← استحکام در یک جهت مناسب است این مورد برای کاربردهایی که فقط تنش نرمال در یک جهت تحمل کنند مناسب است.

استفاده از پارچه و یا در مواردی از مت در کنار الیاف ← در کاربردهای سازه ای که نیاز به تحمل انواع بارگذاری است



فرآیند Pultrusion

در ساخت مواد مرکب چند مرحله شامل ترکیب در ابعاد میکرو و ماکرو و شکل دهی نهایی سازه وجود دارد.



در این فرآیند مراحل a تا d مستقیما انجام می گیرد.

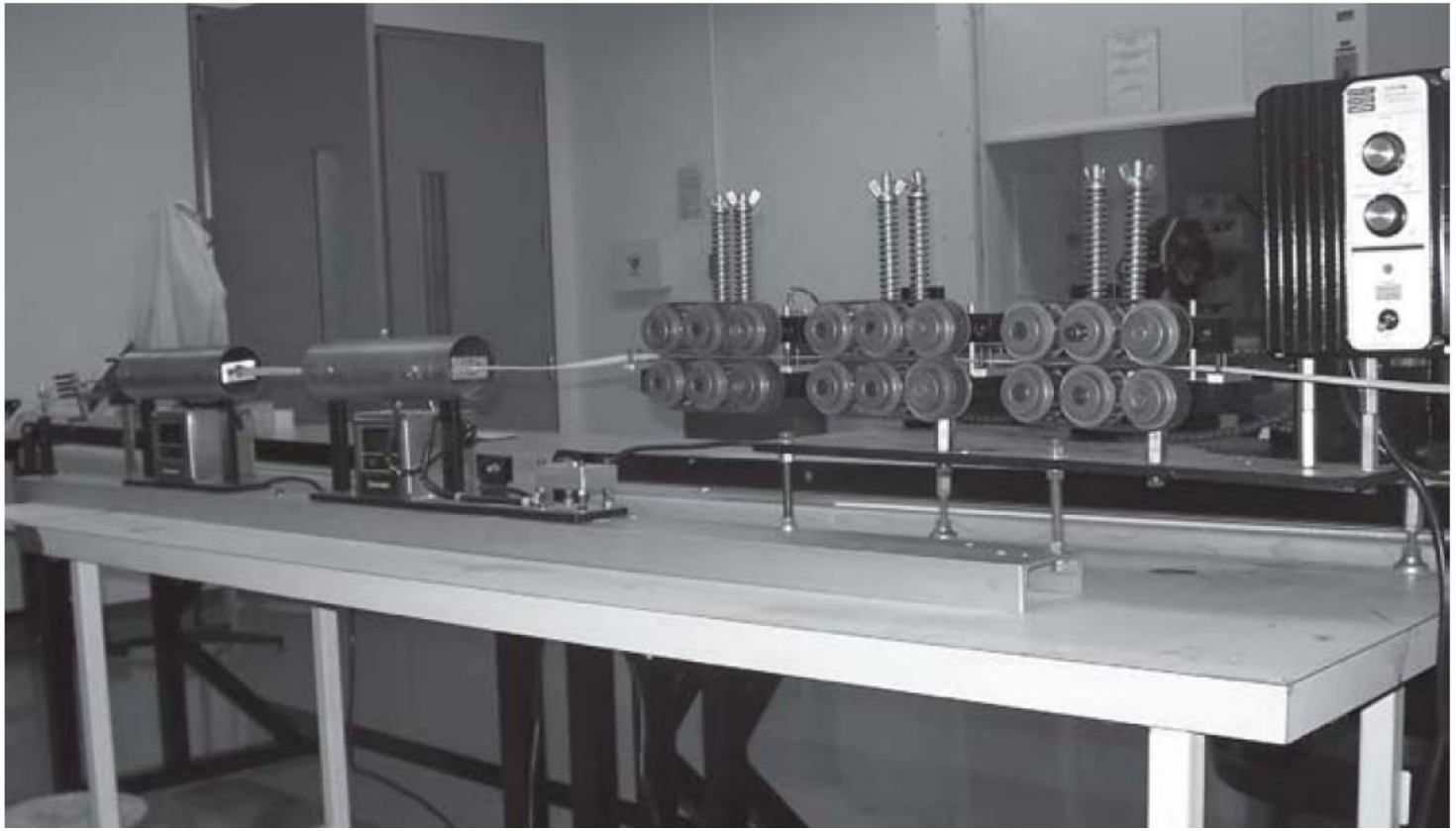
اگرچه این مسئله سرعت تولید را افزایش می دهد ولی باعث می شود امکان تست بین مراحل وجود نداشته باشد.

فرآیند Pultrusion

نرخ تولید بالا در حد متر بر ثانیه

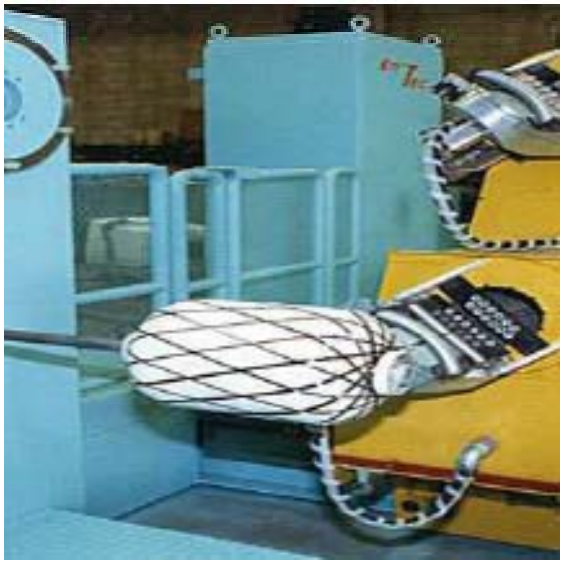
قیمت مناسب در صورت استفاده از الیاف تک جهته و خشک

با توجه به قیمت پایین فرآیند بیشر از موادی مانند شیشه و پلی استر استفاده می گردد.



فرآیند Pultrusion

فرآیند پالتروژن می تواند با فرآیندهایی مثل بریدینگ و یا پیچش الیاف نیز ترکیب شود که در ادامه هر یک شرح داده خواهد شد.



فرآیند Braiding

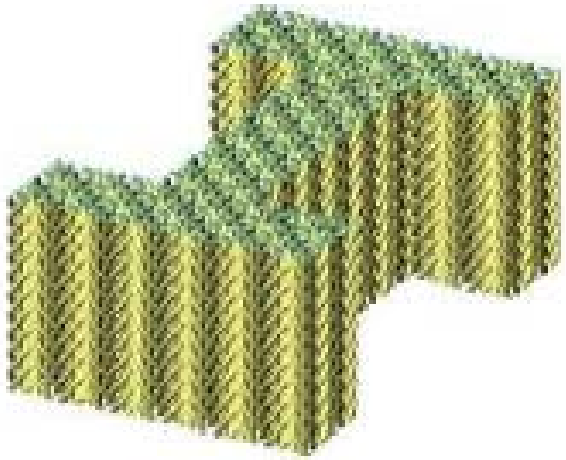
از این فرآیند می تواند برای ساخت پارچه هایی با اشکال توخالی مانند لوله و یا اشکال غیر متقارن محوری استفاده نمود.

پس از انجام بافت معمولا پریفرم تولید شده با فرآیند RTM تکمیل می شود.

چون دوک هایی که در این فرآیند استفاده می شود کوچک است در طول محدودیت وجود دارد.

فرآیند Braiding

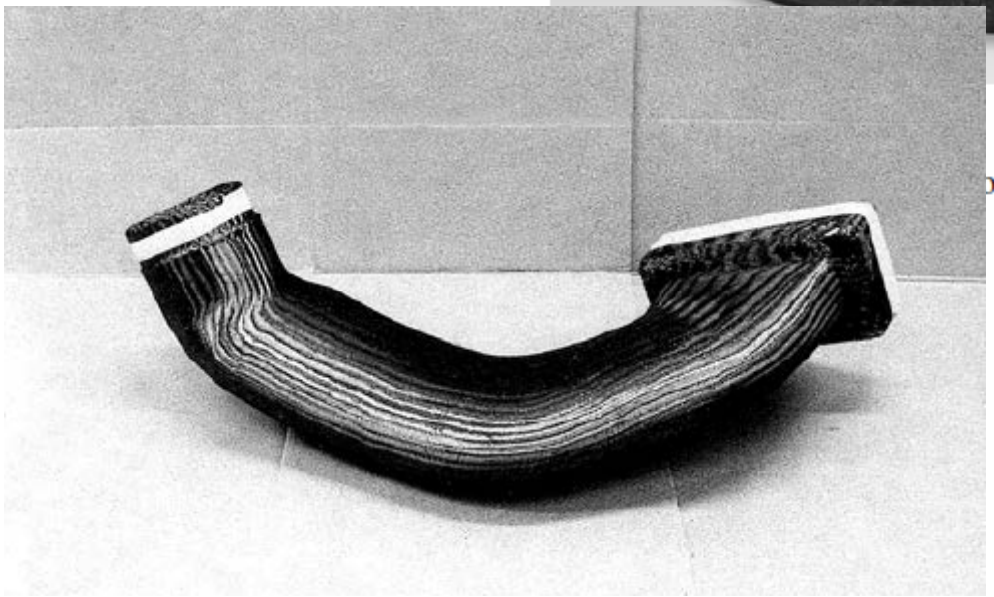
در سال های اخیر از این فرآیند برای ساخت اشکال سه بعدی مختلف مانند I, T, نیز استفاده شده است.



3Tex I-Beam

3D Braider

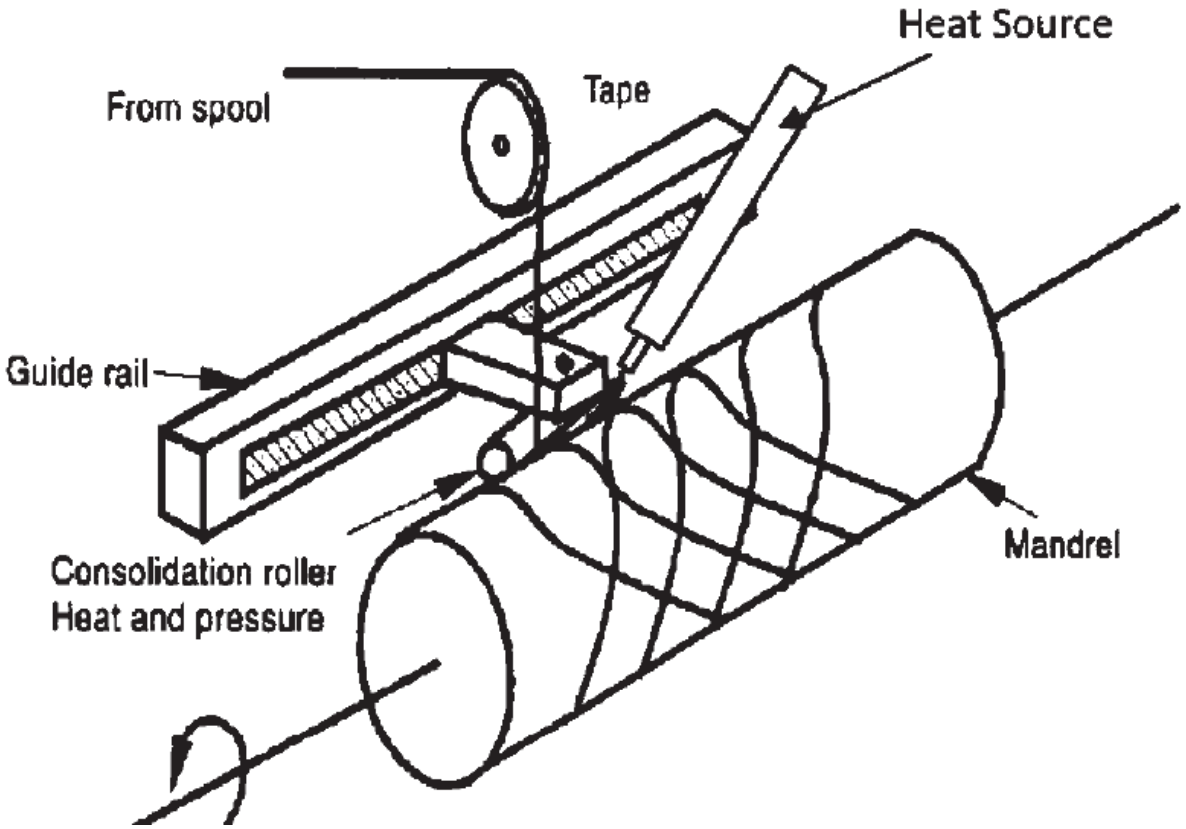
Braiding فرآیند



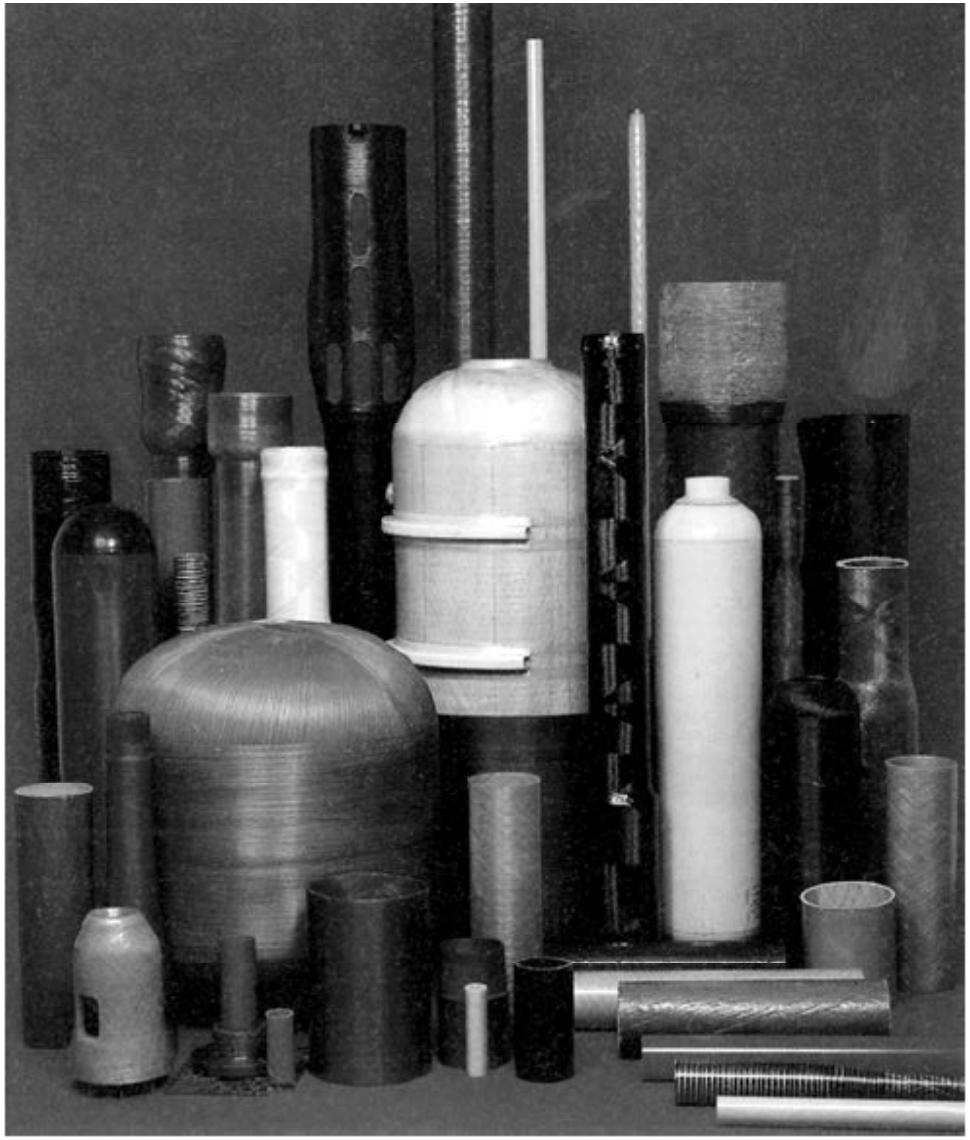
oxy toroidal hub for satellite application.

پیچش الیاف (Filament winding)

در این روش الیاف با کشش روی قطعه که بر روی یک محور چرخان قرار گرفته است به وسیله هدی که چند محور حرکت دارد پیچیده می شوند.



پیچش الیاف (Filament winding)



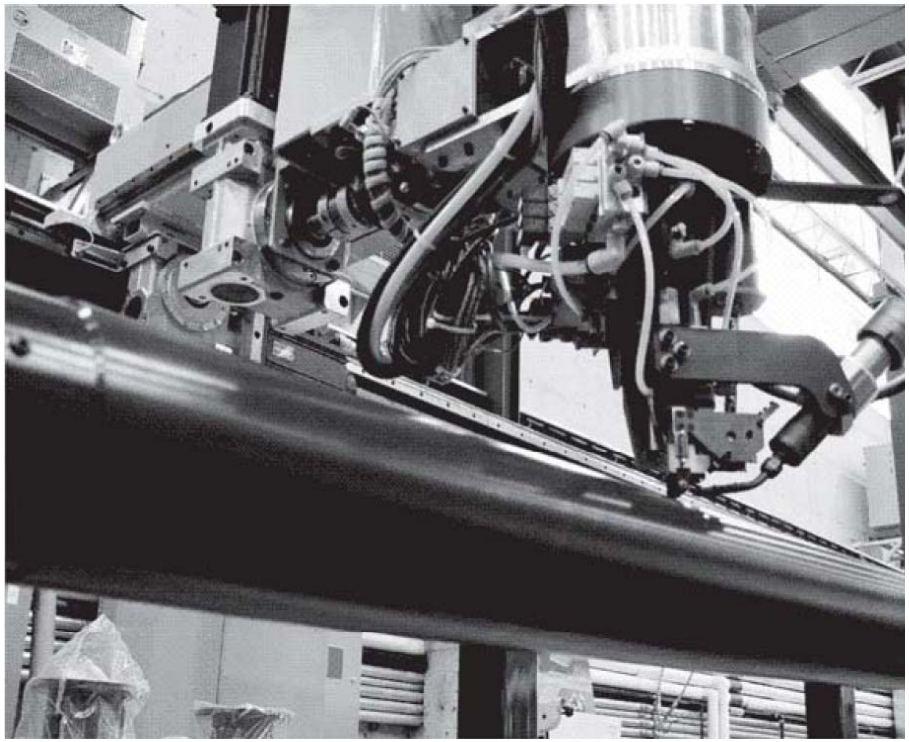
این روش برای پیچیدن الیاف روی قطعات متقارن محوری با تحدب از جمله مخزن‌های تحت فشار استفاده می شود.

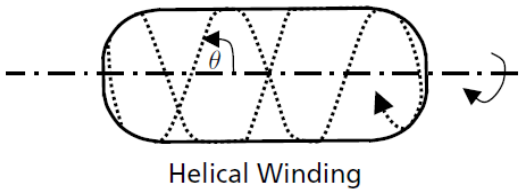
پیچش الیاف (Filament winding)

پیچش الیاف می تواند با استفاده از پیش آغشته یا با گذر الیاف از حمام رزین انجام گیرد.

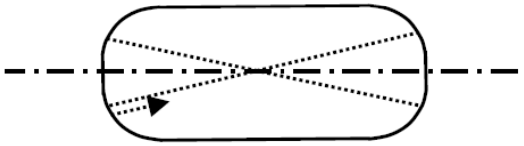
الیاف با توجه به نوع نیروی وارده در کارکرد می توانند به اشکال زیر روی قطعه پیچیده شود:

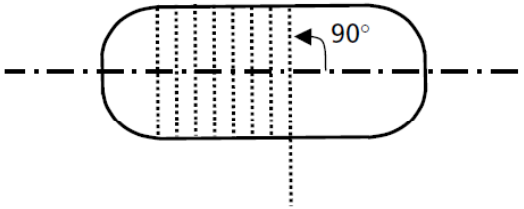
- حلقه ای
- مارپیچ
- قطبی





Helical Winding

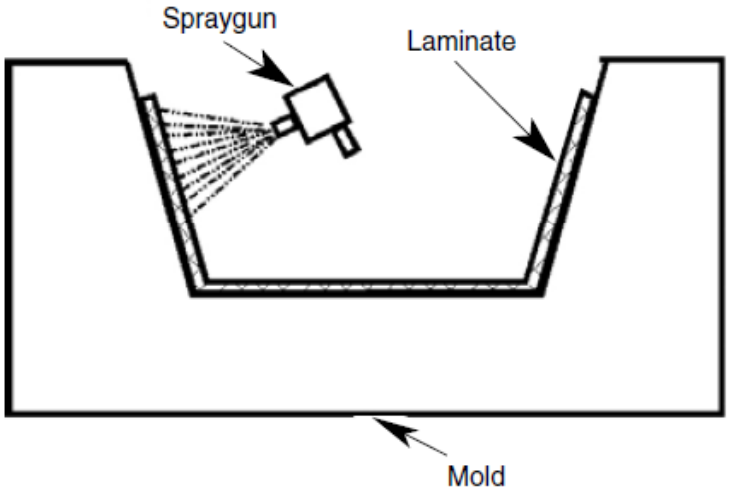

Polar Winding



Hoop or Circumferential Winding

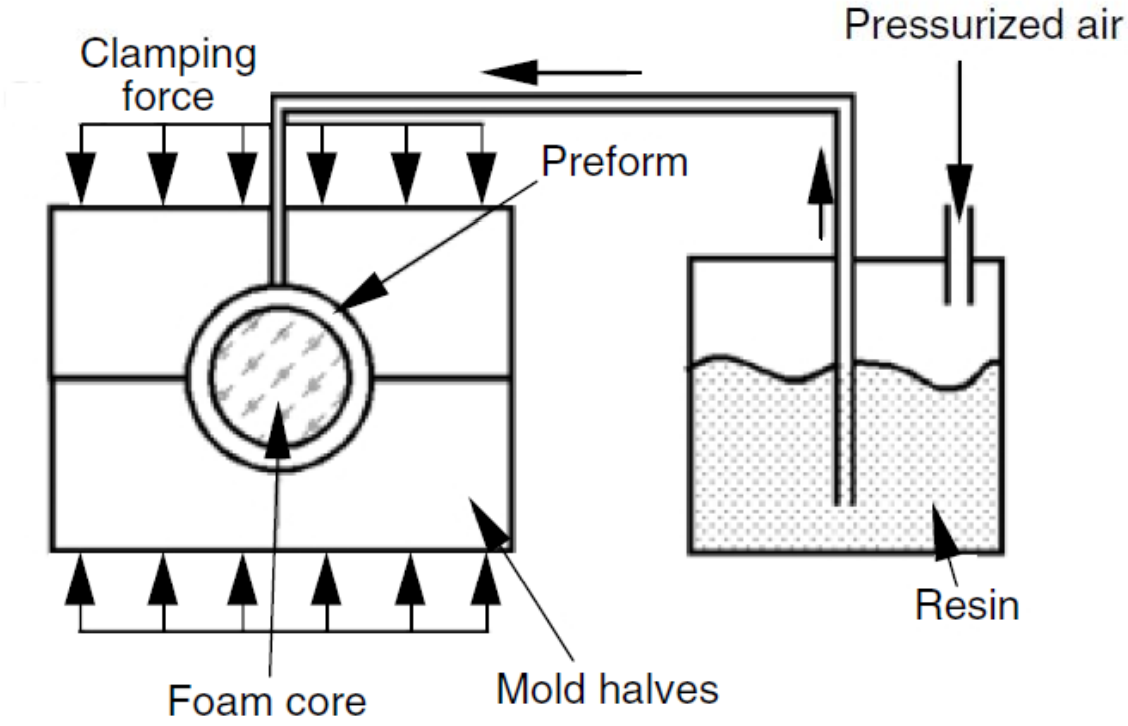
Spray up

در این روش الیاف کوتاه و رزین توسط یک نازل که می تواند به صورت دستی و یا با ربات حرکت کند بر روی قالب پاشیده می شوند.



Resin Transfer Molding (RTM)

در فرآیند RTM الیاف، مت یا پارچه که به شکل قطعه مورد نظر در آمده اند بر روی قالب دو تکه ای که با بسته شدن سطح بیرونی قطعه را تشکیل می دهد قرار می گیرند. داخل قطعه نیز با فوم یا اینزرتهای دیگر مانند چوب پر می شود. سپس رزین با فشار وارد قالب می شود. قطعه درون قالب با نگه داشتن فشار حرارت داده می شود تا فرآوری انجام شود.

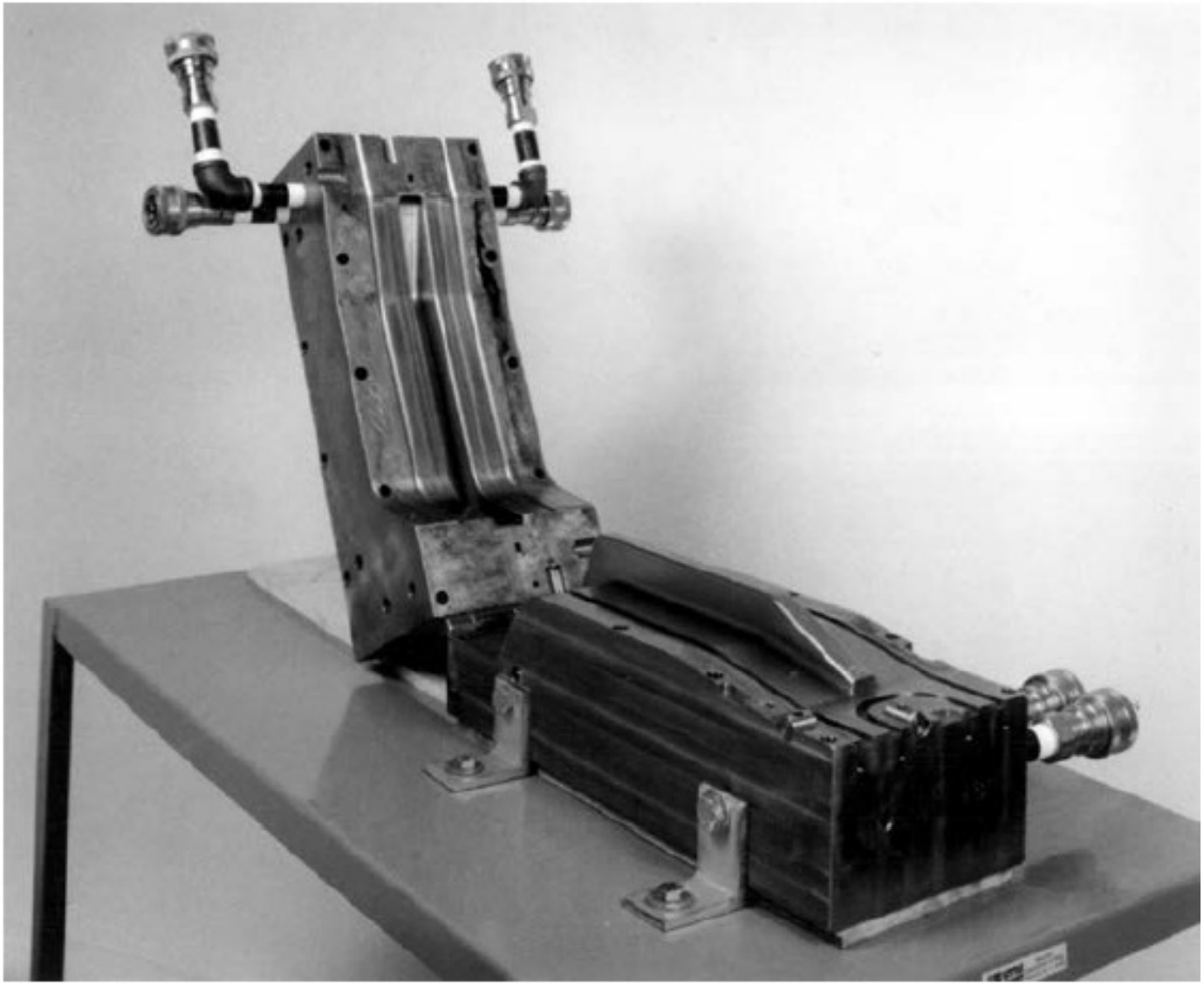


Resin Transfer Molding (RTM)

Advantages	*Disadvantages*
• Best tolerance control-tooling controls dimensions • Class A surface finish possible • Surfaces may be gel coated for better surface finish • Cycle times can be very short • Molded-in inserts, fittings, ribs, bosses, and reinforcements possible • Low pressure operation (usually less than 100 psi) • Prototype tooling costs relatively low • Volatile emissions (e.g., styrene) controlled by close mold process • Lower labor intensity and skill levels • Considerable design flexibility: reinforcements, lay-up sequence, core materials, and mixed materials • Mechanical properties comparable to autoclave parts (void content $< 1\%$) • Part size range and complexity makes RTM appealing • Smooth finish on both surfaces • Near net molded parts.	• Mold and tool design critical to part quality • Tooling costs can be high for large production runs • Mold filling permeability based on limited permeability data base • Mold filling software still in development stages • Preform and reinforcement alignment in mold is critical • Production quantities typically range from 100–5000 parts • Requires matched, leakproof molds.

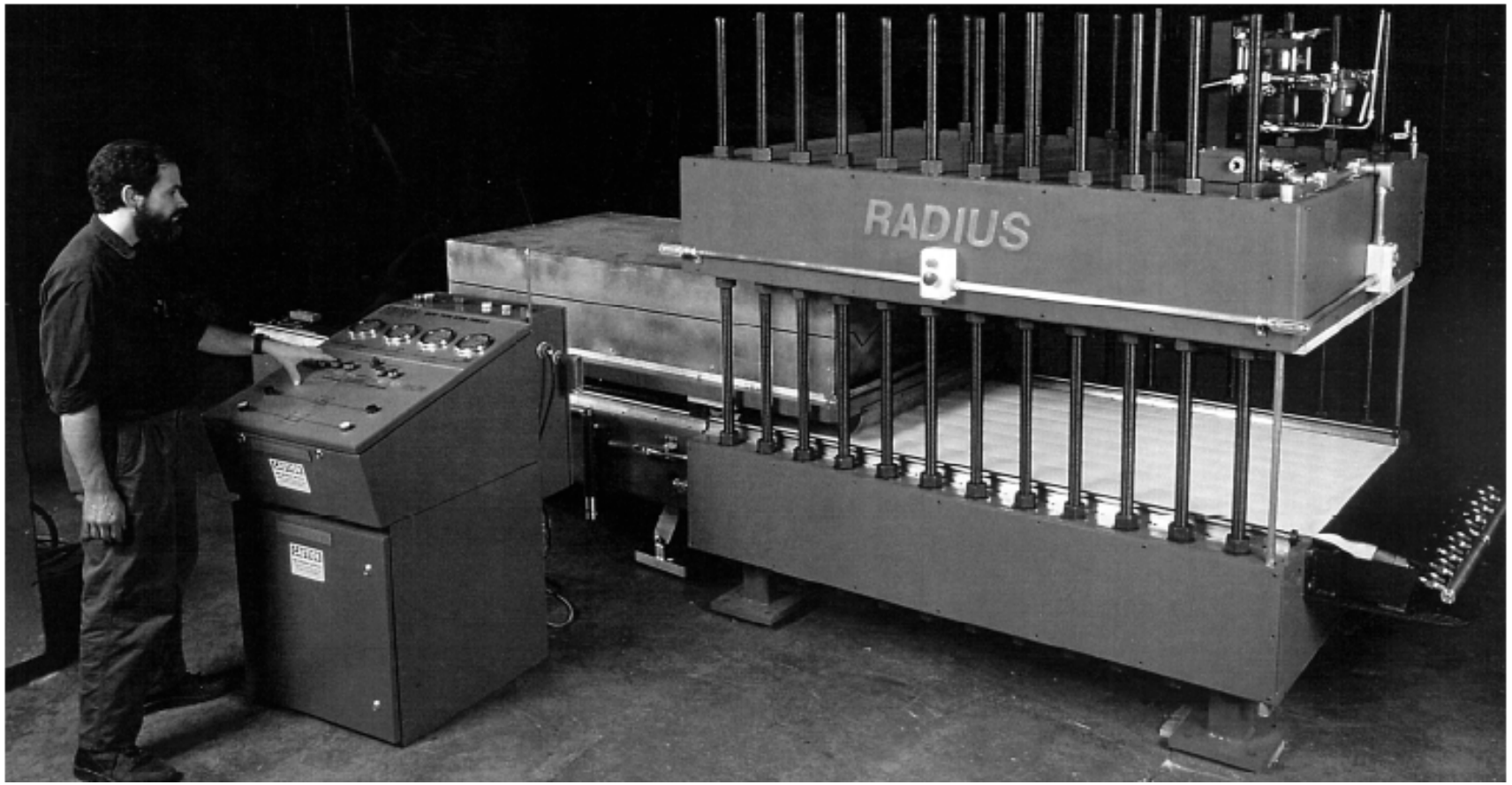
Resin Transfer Molding (RTM)

نمونه قالب



Resin Transfer Molding (RTM)

قطعات قالب تحت نیروی پرس یا با استفاده از پیچ به هم بسته می شوند.



VARTM

اصلاح شده فرآیند RTM است. قابلیت تولید قطعات بزرگ مانند بدنه قایق را با هزینه کم ایجاد می کند.

الیاف بر روی قالب قرار گرفته و بر روی آن ها یک پوشش آب بند قرار می گیرد. سپس با ایجاد خلا رزین به فضای بین الیاف مکش می شود.

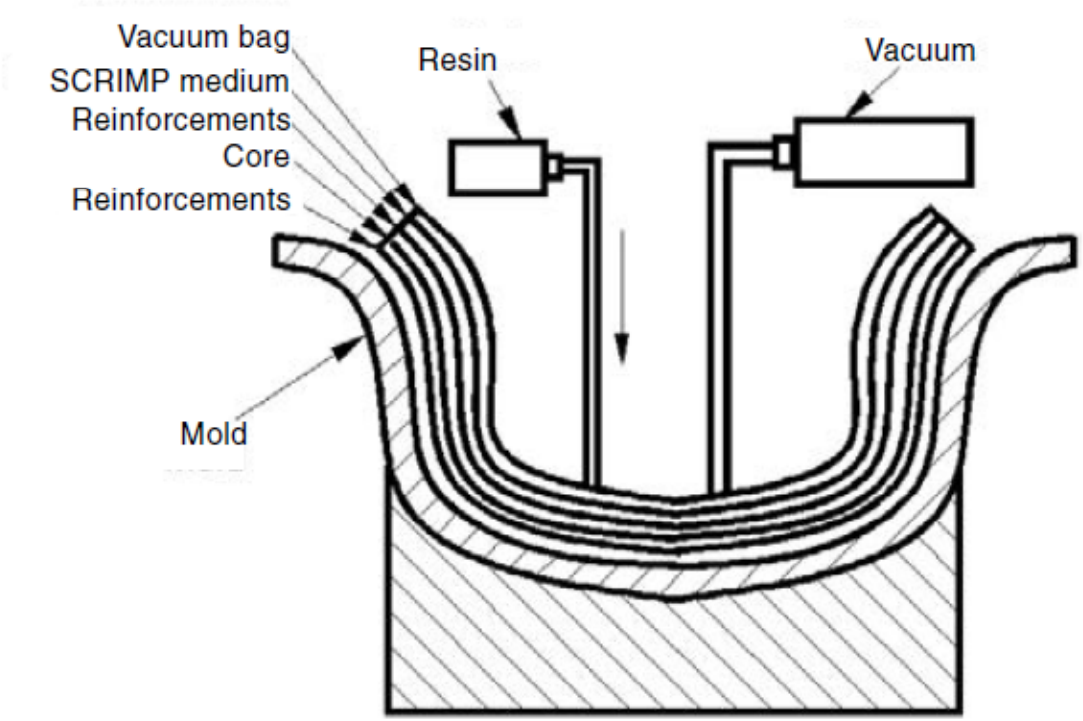
یکی از قالب ها حذف شده و هزینه قالب نصف می شود.

نسبت به فرآیندی مثل چینش این فرآیند توانایی دستیابی به نسبت حجمی الیاف بیشتری را ایجاد می کند و باعث دستیابی به سازه هایی با استحکام بیشتر می شود همچنین محیط سمی ایجاد شده در چینش در اینجا وجود ندارد.

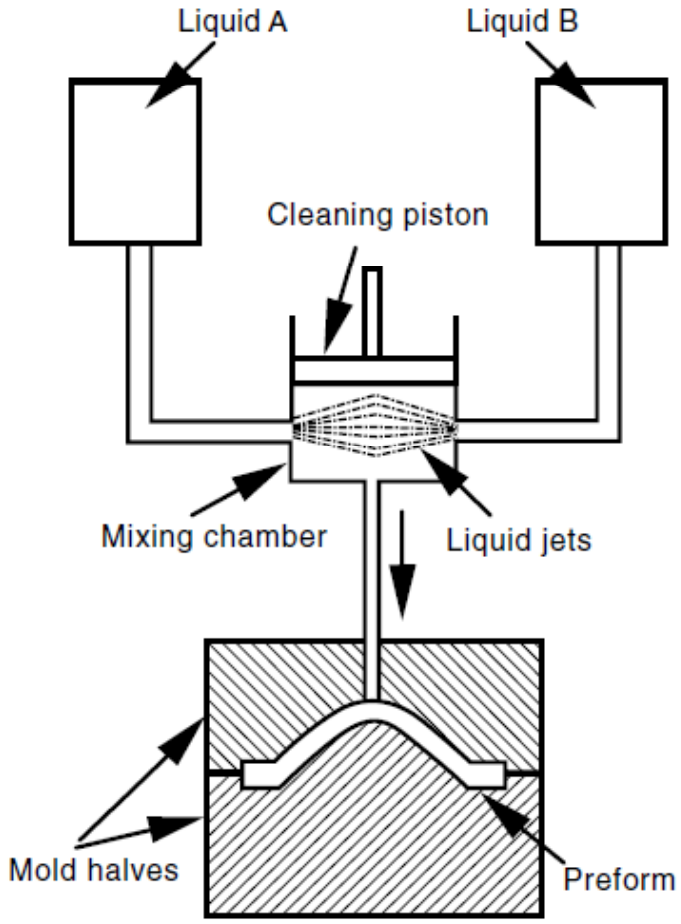
روش SCRIMP

SCRIMP=Seemann Composite Resin Infusion Molding Process

این روش شباهت زیادی به روش VARTM دارد. با این تفاوت که در ابتدا مکش ایجاد شده به منظور تراکم الیاف استفاده می شود و سپس از این مکش برای انتقال رزین استفاده می شود.



SRIM = Structural Reaction Injection Molding



مشابه فرآیند RTM است با این تفاوت که دو ماده رزین مورد استفاده با سرعت زیاد وارد محفظه ترکیب شده و پس از ترکیب با فشار وارد قالب می شوند.

معیارهای انتخاب روش ساخت

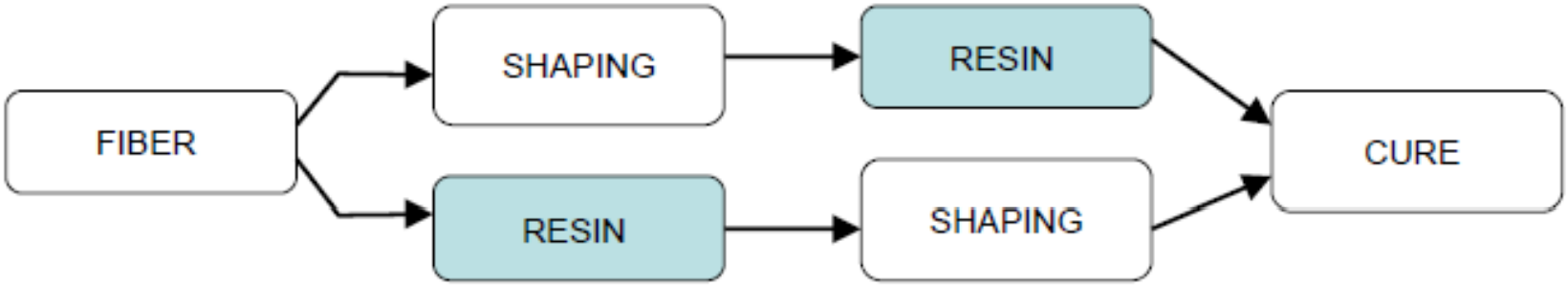
Manufacturing Process Selection Criteria

Process	Production Speed	Cost	Strength	Size	Shape	Raw Material
Filament winding	Slow to fast	Low to high	High	Small to large	Cylindrical and axisymmetric	Continuous fibers with epoxy and polyester resins
Pultrusion	Fast	Low to medium	High (along longitudinal direction)	No restriction on length; small to medium size cross-section	Constant cross-section	Continuous fibers, usually with polyester and vinylester resins
Hand lay-up	Slow	High	High	Small to large	Simple to complex	Prepreg and fabric with epoxy resin
Wet lay-up	Slow	Medium	Medium to high	Medium to large	Simple to complex	Fabric/mat with polyester and epoxy resins
Spray-up	Medium to fast	Low	Low	Small to medium	Simple to complex	Short fiber with catalyzed resin
RTM	Medium	Low to medium	Medium	Small to medium	Simple to complex	Preform and fabric with vinylester and epoxy
SRIM	Fast	Low	Medium	Small to medium	Simple to complex	Fabric or preform with polyisocyanurate resin
Compression molding	Fast	Medium	Medium	Small to medium	Simple to complex	Molded compound (e.g., SMC, BMC)
Stamping	Fast	Low	Medium	Medium	Simple to contoured	Fabric impregnated with thermoplastic (tape)
Injection molding	Fast	Low to medium	Low to medium	Small	Complex	Pallets (short fiber with thermoplastic)
Roll wrapping	Medium to fast	Low to medium	High	Small to medium	Tubular	Prepregs

جمع بندی و دسته بندی کلی

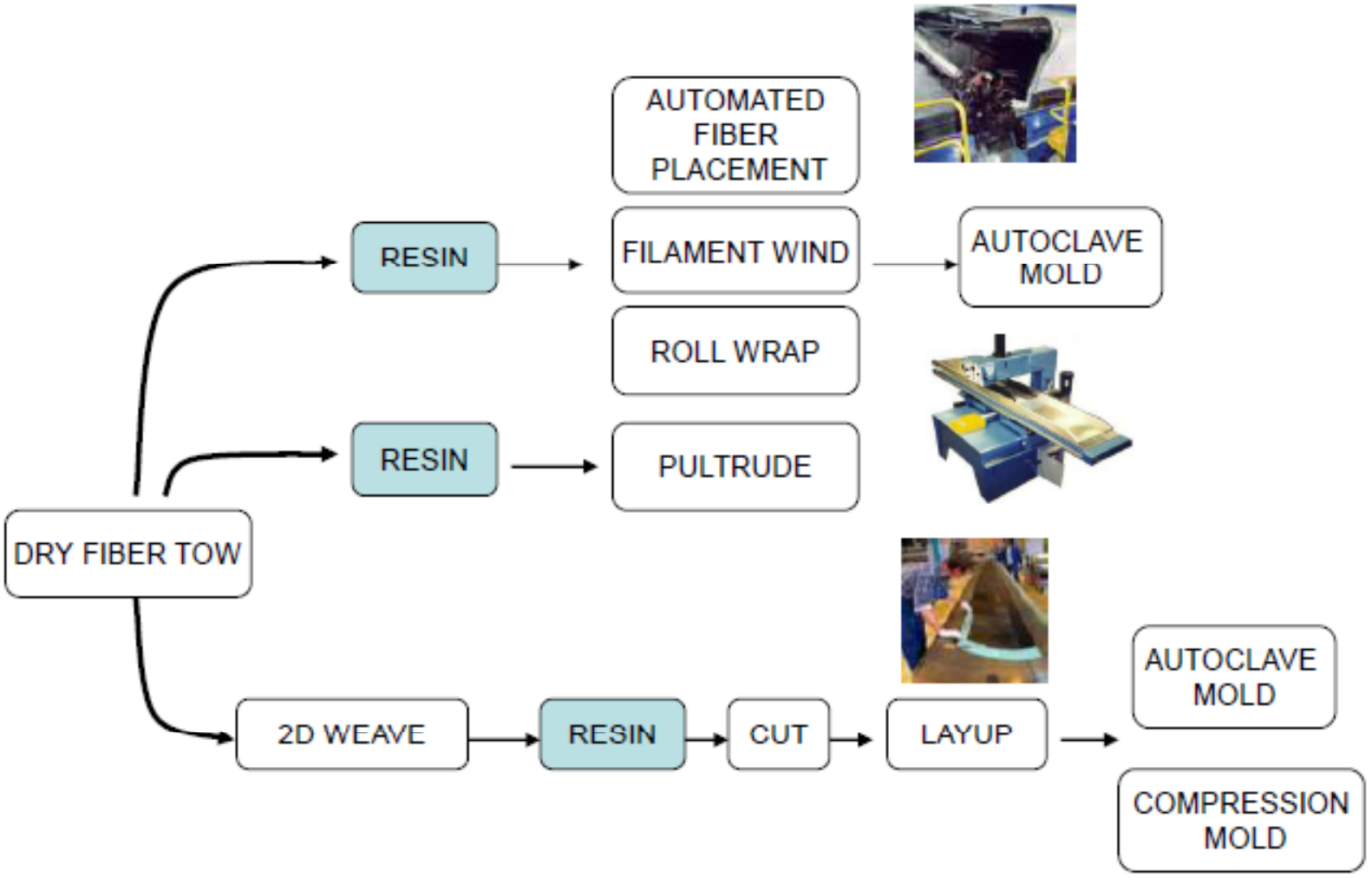
از دید اینکه ترتیب اضافه کردن رزین و شکل دهی به چه نحوی است تمامی فرآیندهای ساخت در یکی از دسته های زیر قرار می گیرند:

- شکل دهی الیاف و سپس اضافه کردن رزین
- اضافه کردن رزین و سپس شکل دهی

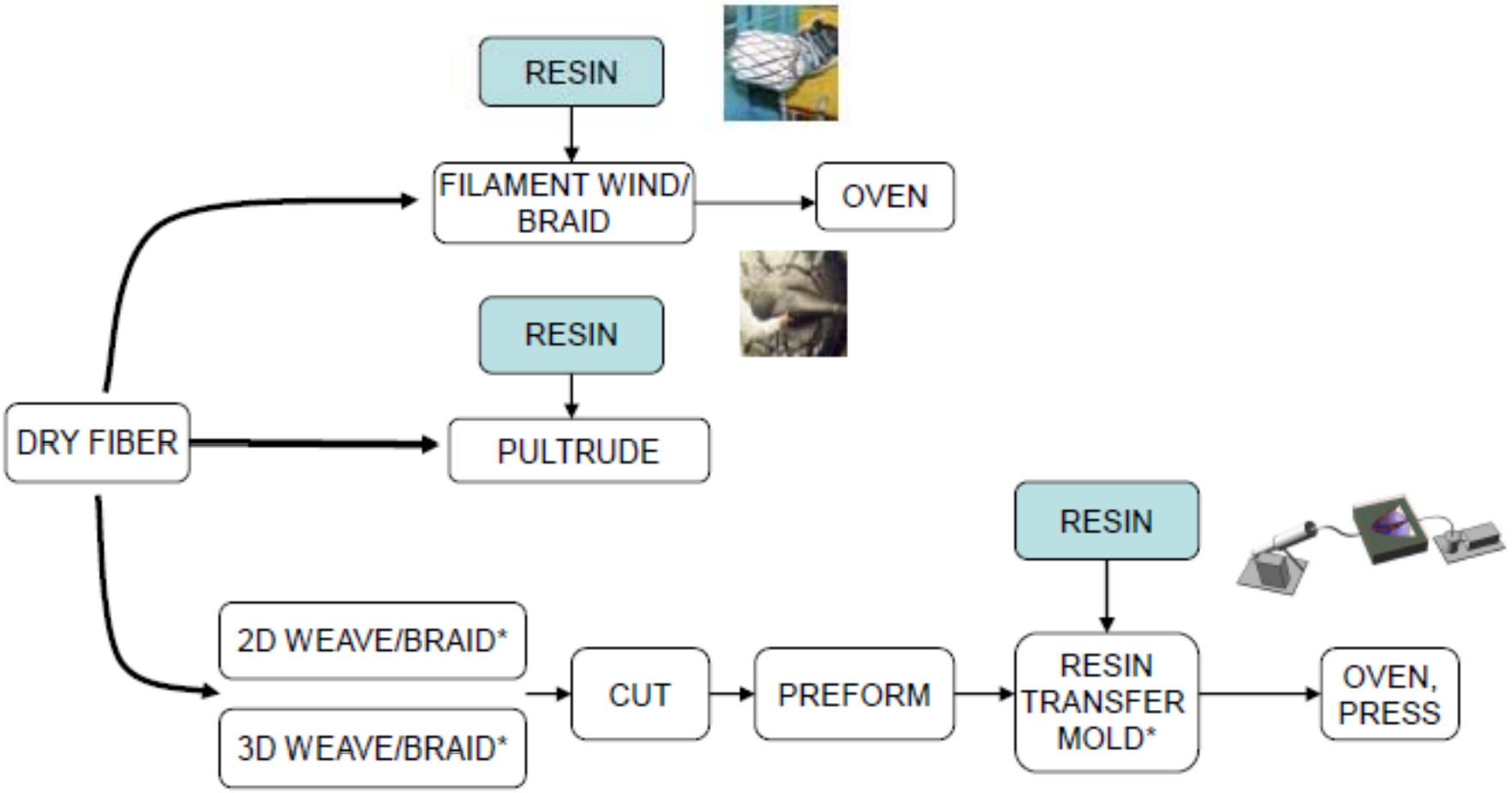


جمع بندی و دسته بندی کلی

The typical sequence for these types of processes:



جمع بندی و دسته بندی کلی



روش های ساخت کامپوزیت‌ها