



به نام خدا

مواد کامپوزیتی و خواص

1



ماده مرکب (کامپوزیت) چیست؟

- همانطور که از نام آن مشخص است، ماده مرکب (کامپوزیت) ماده ای است که از مواد مختلف تشکیل شده است.
- معمولاً مواد مرکب به موادی نسبت داده می شود که دارای الیاف های قوی پیوسته یا ناپیوسته در زمینه پلیمری ضعیف (ماتریس) هستند.
- مواد کامپوزیتی جدید نیستند بلکه چوب و چوب ذرت نیز نوعی کامپوزیت هستند.

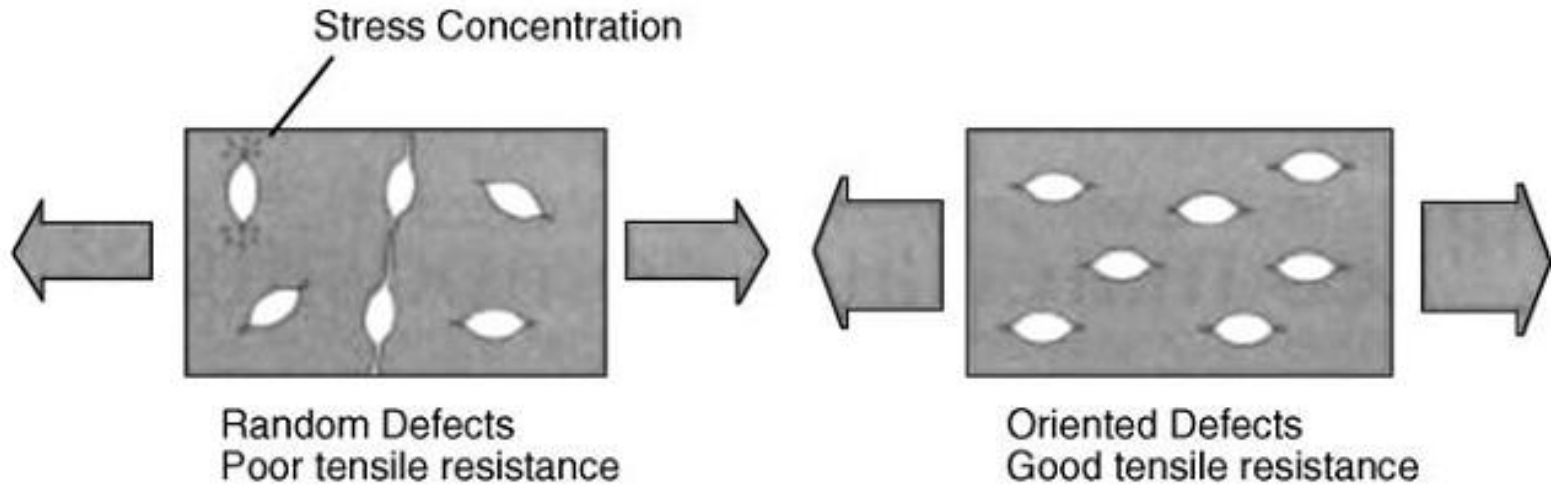


الیاف و ماتریس

- اتصال بین الیاف و ماتریس در طول فاز ساخت ماده مرکب ایجاد می شود.
- این اتصال اثر اساسی روی خواص مکانیکی دارد.



اثر جهت ناخالصی در زمینه





الیاف

- الیاف دارای هزاران فیلمان است که هر فیلمان دارای قطر بین ۵ تا ۱۵ میکرون هستند که می توانند توسط ماشینهای نساجی تولید شوند.
- الیافها به شکلهای مختلف فروخته می شوند:
- الیاف کوتاه، که دارای طول از چندسانتیمتر تا کسری از میلیمتر هستند (felts, mates). این الیاف در قالبگیری تزریقی کاربرد دارند.
- الیاف طویل که در ساخت کامپوزیتهای لایه ای استفاده می شود.

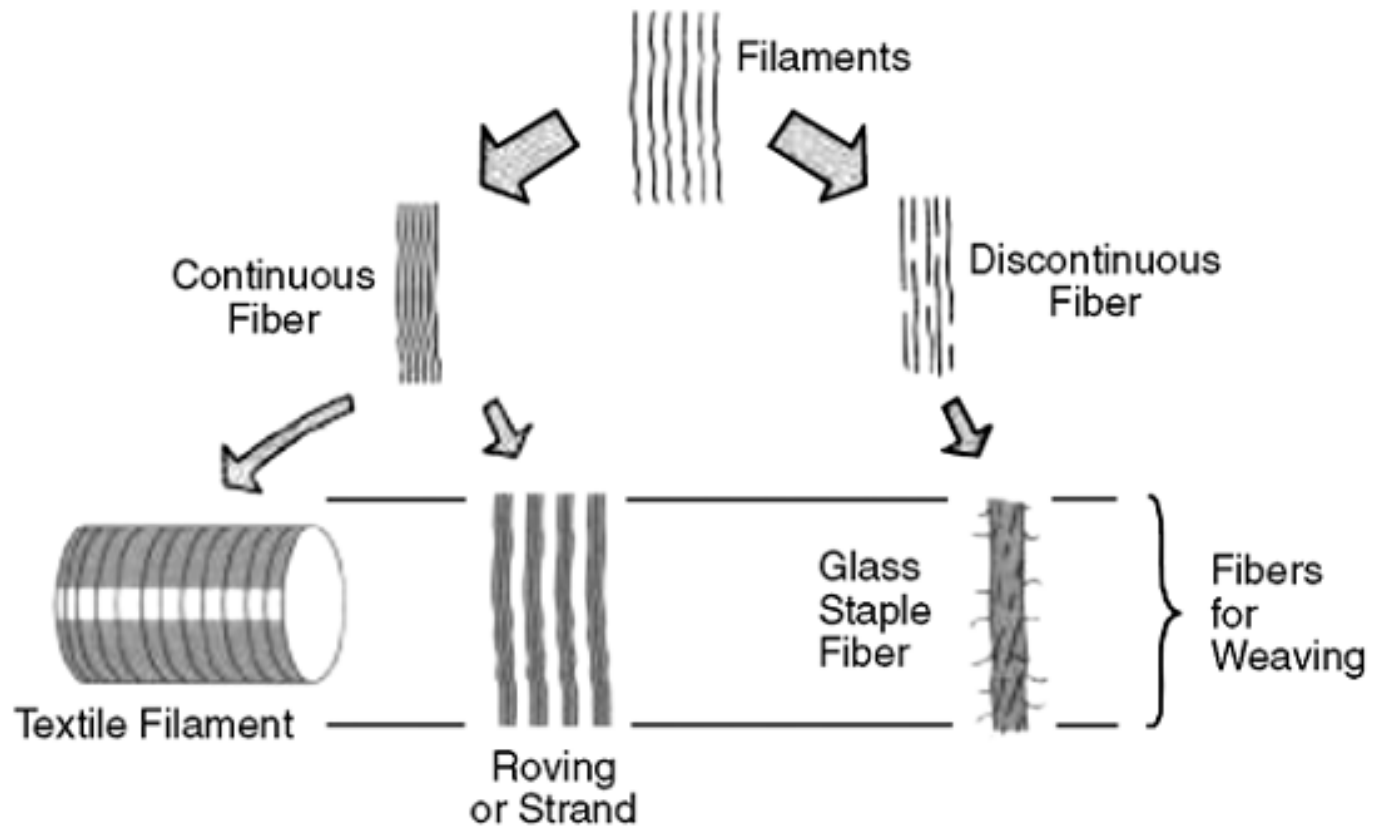


انواع الیاف

- Glass
- Aramid or Kevlar® (very light)
- Carbon (high modulus or high strength)
- Boron (high modulus or high strength)
- Silicon carbide (high temperature resistant)



شکلهای مختلف الیاف





نحوه قرار گیری الیاف در ماده مرکب

- **Unidimensional:** unidirectional tows, yarns, or tapes
- **Bidimensional:** woven or nonwoven fabrics (felts or mats)
- **Tridimensional:** fabrics (sometimes called *multidimensional fabrics*) with fibers oriented along many directions (>2)



○ قبل از استفاده از الیاف به عنوان تقویت کننده آنها به دلایل زیر پوشش دهی سطحی می شوند.

1. کاهش خوردگی الیاف در حین عبور از میان ماشینهای شکل دهی.

2. بهبود چسبندگی الیاف به ماتریس



الیاف شیشه

- الیاف شیشه: از طریق کشیدن شیشه (ترکیب سیلیکون، کربنات سدیم و کربنات کلسیم در دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد) از میان اوریفیس های (روزنه های) یک صفحه از جنس آلیاژ پلاتینیوم تولید می شوند.
 - الیاف شیشه دارای انواع مختلفی است:
1. E-Glass: معمولترین نوع الیاف شیشه است و دارای خواص الکتریکی و استحکام خوبی است.
 2. C-Glass: برای مقاومت شیمیایی استفاده می شود و استحکام خوبی نیز دارد.
 3. D-Glass: برای چگالی و ضریب دی الکتریک کم استفاده می شود.
 4. L-Glass: محتوی سرب است و برای حفاظت در مقابل اشعه استفاده می شود.
 5. S-Glass: برای کاربردهایی که نیاز به استحکام بالا دارند استفاده می شود. استحکام آن ۲۰٪ بیشتر از نوع E است.
 6. M-Glass: دارای مدول الاستیک بالایی است.



FIGURE 2.2

Glass rovings and yarns. Three spools of glass yarns are shown at the center and four roving spools are shown at edges. (Courtesy of Saint-Gobain Vetrotex America.)



FIGURE 2.3

Photograph of individual rovings. (Courtesy of GDP-DFC, France.)

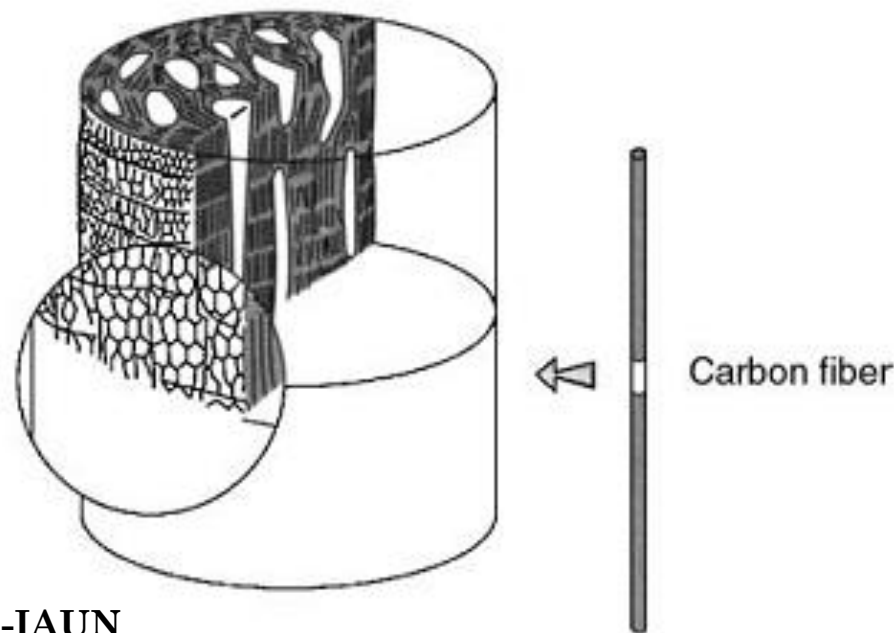


الیاف کولار (الیاف پلیمری)

- این یک الیاف آرامید است، دارای رنگ مایل به زرد است. این ها پلی آمیدهای آروماتیک هستند که با ترکیب در دمای ۱۰- درجه سانتیگراد بدست آمده اند و سپس با کشیده شدن به صورت الیاف درآمده اند.
- در بین همه الیاف ها کولار دارای بیشترین نسبت استحکام به وزن است.
- الیاف کولار هادی الکتریسیته نیست و امواج رادیویی را منعکس نمی کند.
- انواع الیاف کولار:
 1. کولار ۲۹: در حفاظت بالستیک، طنابها، کلاههای ارتشی، لباسهای ضدگلوله و ... کاربرد دارد.
 2. کولار ۴۹: در بدنه قایق، چرخ لنگر، تسمه پروانه، لوله های آبیاری و سازه های داخلی هواپیما کاربرد دارد.
- هر دو دارای استحکام مشابه هستند ولی کولار ۴۹ مدول بسیار بالاتری دارد.

الیاف کربن

- فیلمانهای پلی آکریلونیترایل در دمای بالا اکسیداسیون می شود (۳۰۰ درجه سانتیگراد) و سپس تا دمای ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد در اتمسفر نیتروژن گرمتر می شود. سپس تنها کربن هگزاگونا ل باقی می ماند. با کشیدن این فیلمانهای سیاه و سفید در دمای بالا مدول بالا بدست می آید. این الیاف دارای استحکام خیلی بیشتری نسبت به شیشه است.





الیاف بور

- از فیلمانهای تنگستن (قطر ۱۲ میکرون) به عنوان کاتالیست برای برهمکنش بین کلرید بور و هیدروژن در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می شود. الیاف بور بدست آمده دارای قطر ۱۰۰ میکرومتر است.



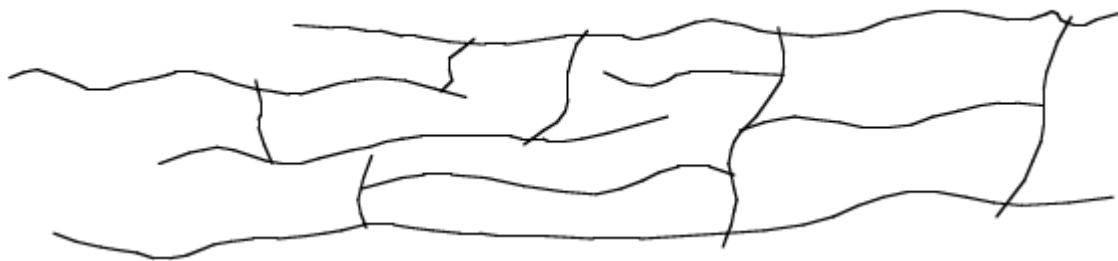
زمینه پلیمری

- گرمانرمها
- گرماسخت ها



رزین های گرماسخت

○ این مواد به خاطر تشکیل پیوند عرضی قابل ذوب شدن و بازیابی نیستند.



○ گرماسخت ها ترد هستند و معمولاً با تقویت کننده استفاده می شوند.

TABLE 2.2

Typical Unfilled Thermosetting Resin Properties

Resin Material	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus GPa (10 ⁶ psi)	Tensile Strength MPa (10 ³ psi)
Epoxy	1.2–1.4	2.5–5.0 (0.36–0.72)	50–110 (7.2–16)
Phenolic	1.2–1.4	2.7–4.1 (0.4–0.6)	35–60 (5–9)
Polyester	1.1–1.4	1.6–4.1 (0.23–0.6)	35–95 (5.0–13.8)



اپوکسی

- اپوکسی یک رزین گرماسخت است که دارای تنوع محصولی بسیار زیاد است و بطور گسترده از صنایع هوافضا گرفته تا محصولات ورزشی استفاده می شود.
- اپوکسی تا دمای ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد به خوبی می تواند کار کند. اپوکسی هایی نیز وجود دارد که تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد به خوبی کار می کنند.
- اپوکسی به صورت مایع، جامد و نیمه جامد وجود دارد. رزین مایع در RTM، رشته پیچی (filament winding)، پولتروژن، لایه نشانی دستی و غیره کاربرد دارد. نیمه جامد ها به شکل پریپرگ برای روشهای vacuum bagging و اتوکلاو کاربرد دارد. نوع جامد آن به شکل کپسولی برای اتصالات کاربرد دارد.
- اپوکسی نسبت به پلی استر و وینیل استر گرانتز است از اینرو برای جاهای حساس بکار می رود.



فنولیک ها

- این رزینها برای داخل هواپیما، وسایل آشپزخانه، انواع چسب ها، لوازم الکتریکی و غیره کاربرد دارد.
- فنولیکها از برهمکنش فنول (اسید کربولیک) و فرم آلدئید شکل گرفته و توسط یک اسید کاتالیست می شود. به جای فنول می توان از اوره و ملامین به منظور رسیدن به خواص متفاوت استفاده کرد.
- پخت این رزین با رزینهای دیگر مانند اپوکسی متفاوت است زیرا در حین پخت آن آب تولید می شود که البته این آب باید از آن با روشهای مختلفی مانند پمپ کردن گرفته شود.
- رنگ این رزینها معمولاً تیره است و به عمین دلیل در جاهایکه رنگ مهم نباشد استفاده می شوند. محصولات آنها معمولاً قرمز، آبی، قهوه ای و سیاه است. برای داشتن رنگ روشن از ملامین فرمالدئید یا اوره فرمالدئید استفاده می شود.



موارد مصرف فنولیک ها

- جاهاییکه پایداری حرارتی بالا نیاز باشد.
- جاهاییکه خواص الکتریکی مناسب نیاز باشد.
- جاهاییکه مقاومت به سایش مهم باشد.
- جاهاییکه مقاومت شیمیایی خوب و پایداری ابعادی ضروری باشد.



پلی استر

- پلی استرها رزین های کم هزینه ای هستند که مقاومت به خوردگی آنها عالی است.
- دمای کاری پلی استر پایین تر از اپوکسی است. و از آن در بیشتر روشهای تولید مواد مرکب استفاده می شود.
- پلی استرهای غیر اشباع حاصل برهمکنش اسیدهای آلی و الکل هستند.
- برای پخت آنها به آن استایرن به میزان ۳۰ تا ۵۰ درصد اضافه می کنند. برای انجام پخت به کاتالیزور نیز نیاز است.
- به خاطر ضررهایی که برای سلامتی دارد استفاده از آن امروزه در مواد مرکب رو به کاهش است.
- پلی استر هم به شکل گرمانرم و هم به شکل گرماسخت موجود است.



وینیل استرها

- از وینیل استر به طور گسترده در فرآیندهای پولتروژن، فیلمان ویندینگ، SMC و RTM استفاده می شود.
- آنها دارای مقاومت شیمیایی و خوردگی خیلی خوبی هستند و برای تولید لوله ها و تانکهای تقویت شده در صنایع شیمیایی کاربرد دارند.
- آنها ارزانتر از اپوکسی هستند از اینرو در صنعت اتومبیل و کاربردهای پرحجم که هزینه خیلی مهم است کاربرد دارد.
- در مولکولهای وینیل استر مکانهای غیراشباع کمتری نسبت به وینیل استر و اپوکسی وجود دارد، بنابراین پس از پخت دارای انعطاف پذیری و چقرمگی بیشتری نسبت به آن دو خواهد بود.



سیانات استر

- این رزین ها دارای استحکام و چقرمگی بهتر، خواص الکتریکی بهتر و جذب رطوبت کمتر نسبت به سایر رزینها هستند. و اگر بدرستی تهیه شوند مانند پلی ایمید در دماهای بالا قابل کاربرد است.
- کاربرد آنها در فضاپیماها، هواپیماها، موشکها، آنتن ها و محصولات میکروویو است.
- پخت آنها خیلی راحتتر از اپوکسی است.



پلی ایمید و بیسمالیمید

- پلی ایمید و بیسمالیمید (BMI) برای کاربردهای دما بالا در هواپیماها، موشکها و مورد مدارها استفاده می شود. دمای انتقال شیشه ای BMI بین ۳۰۰ تا ۳۲۰ درجه سانتیگراد و پلی ایمید بیشتر از ۳۷۰ درجه سانتیگراد است.
- فرآوری آنها مشکل است به همین دلیل کمتر مورد استفاده قرار می گیرند. در طول عملیات پخت از خود رطوبت و بخار ساطع می کنند و در نتیجه در محصول آنها حباب وجود دارد.
- عیب دیگر آنها این است که چقرمگی آنها نسبت به اپوکسی و سیانات کمتر است و جذب رطوبت آنها خیلی بالاست.
- پلی ایمید هم به شکل گرمانرم و هم به شکل گرماسخت موجود است.



پلی اورتان

- پلی اورتان در صنایع اتومبیل به عنوان سپر پنل های بدنه و غیره استفاده می شود.
- از پلی اورتان تقویت نشده برای تولید صندلی، مبلمان فوم تشک و غیره استفاده می شود.
- پلی اورتان هم به شکل گرمانرم و هم به شکل گرماسخت موجود است.
- پلی اورتان دارای مقاومت به سایش و پارگی عالی، مقاومت شیمیایی خیلی خوب، چقرمگی بالا و جهندگی خیلی بالا است.



رزینهای گرمانرم

- این مواد نسبت به گرماسخت ها انعطاف پذیرتر و چقرمه تر هستند. از طرفی قابل ذوب و بازیابی هستند.
- به صورت بی شکل و نیمه بلوری هستند. بی شکلهای شفافند و نیمه کریستالی ها مات هستند و نور را از خود عبور نمی دهند.

TABLE 2.3

Typical Unfilled Thermoplastic Resin Properties

Resin Material	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus GPa (10 ⁶ psi)	Tensile Strength MPa (10 ³ psi)
Nylon	1.1	1.3–3.5 (0.2–0.5)	55–90 (8–13)
PEEK	1.3–1.35	3.5–4.4 (0.5–0.6)	100 (14.5)
PPS	1.3–1.4	3.4 (0.49)	80 (11.6)
Polyester	1.3–1.4	2.1–2.8 (0.3–0.4)	55–60 (8–8.7)
Polycarbonate	1.2	2.1–3.5 (0.3–0.5)	55–70 (8–10)
Acetal	1.4	3.5 (0.5)	70 (10)
Polyethylene	0.9–1.0	0.7–1.4 (0.1–0.2)	20–35 (2.9–5)
Teflon	2.1–2.3	—	10–35 (1.5–5.0)

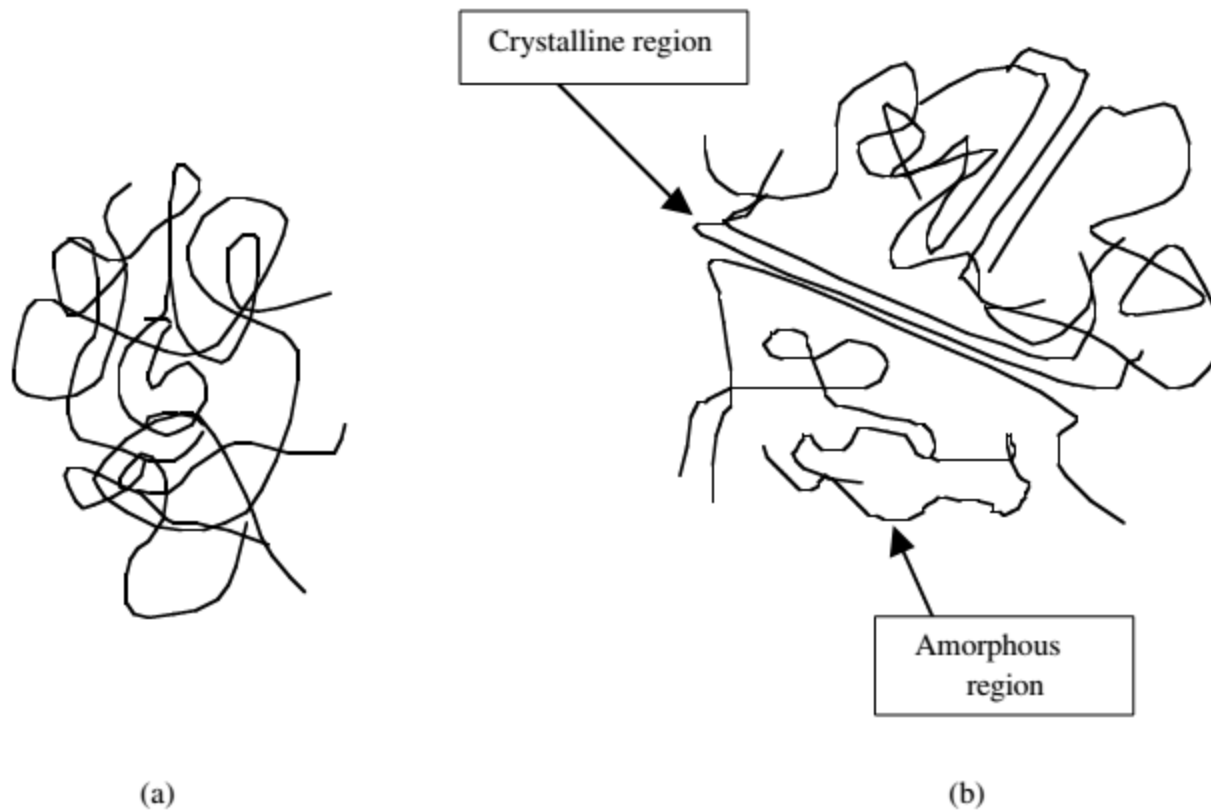


FIGURE 2.5
Molecular arrangements in (a) amorphous and (b) semi-crystalline polymers.



نایلون (پلی آمید)

- از نایلون در ورودی منیفولد، محفظه، چرخ دنده، بلبرینگ، بوش، پروانه و غیره استفاده می شود.
- نایلون تقویت شده با الیاف شیشه و کربن به شکل قرص برای قالبگیری تزریق موجود هستند.
- نایلونها با انواع نایلون ۶، نایلون ۶۶، نایلون ۱۲ و غیره موجود هستند.
- نایلون دارای ظاهر مناسب است. نایلون دارای جذب رطوبت خیلی بالایی است. که البته الیاف شیشه میزان جذب رطوبت آن را کاهش داده و خواص مکانیکی آن را بهبود میدهد.



پلی اتراترکتون (PEEK)

- PEEK یک گرمانرم جدید است که در دمای بالا کاربرد دارد. PEEK تقویت شده با الیاف کربن در قطعات بدنه هواپیما، ماهواره و دیگر صنایع فضایی استفاده می شود. آنها به طور پیوسته می توانند در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد کار کنند.
- دمای انتقال شیشه PEEK، ۱۴۳ درجه سانتیگراد و دمای ذوب آن ۳۳۶ درجه سانتیگراد است.
- PEEK ده برابر کمتر از اپوکسی آب جذب می کند، و از طرف دیگر چقرمگی آن نسبت به اپوکسی ۵۰ تا ۱۰۰ برابر است.
- عیب مواد مرکب پایه PEEK این است که قیمت مواد آن خیلی بالاست.
- PEEK یک ماده نیمه کریستالی با درجه کریستالی ۴۸٪ است.



پلی فنیلین سولفاد (PPS)

- PPS یک گرمانرم مهندسی با درجه کریستالی ۶۵٪ است. دمای عملیاتی آن بالا بوده و می تواند بطور پیوسته در دمای ۲۲۵ درجه سانتیگراد کار کند.
- دمای انتقال شیشه ای آن ۸۵ درجه سانتیگراد بوده و دمای ذوب آن ۲۸۵ درجه سانتیگراد است.
- مواد مرکب با پایه pps در جاهاییکه استحکام و مقاومت شیمیایی بالا در دمای بالا نیاز باشد استفاده می شود.



مزایای مواد کامپوزیتی

- کاهش وزن که موجب صرفه جویی در سوخت، افزایش ظرفیت ترابری، یا افزایش در دامنه ای که کارایی را بهبود می دهد.
- مقاومت به خستگی مناسب که منجر به افزایش عمر کاری است که شامل صرفه جویی در هزینه های بلند مدت محصول می شود.
- مقاومت به خوردگی خوب به معنی کمتر بودن تجهیزات بازرسی است که منجر به کاهش هزینه ای نگهداری می شود.

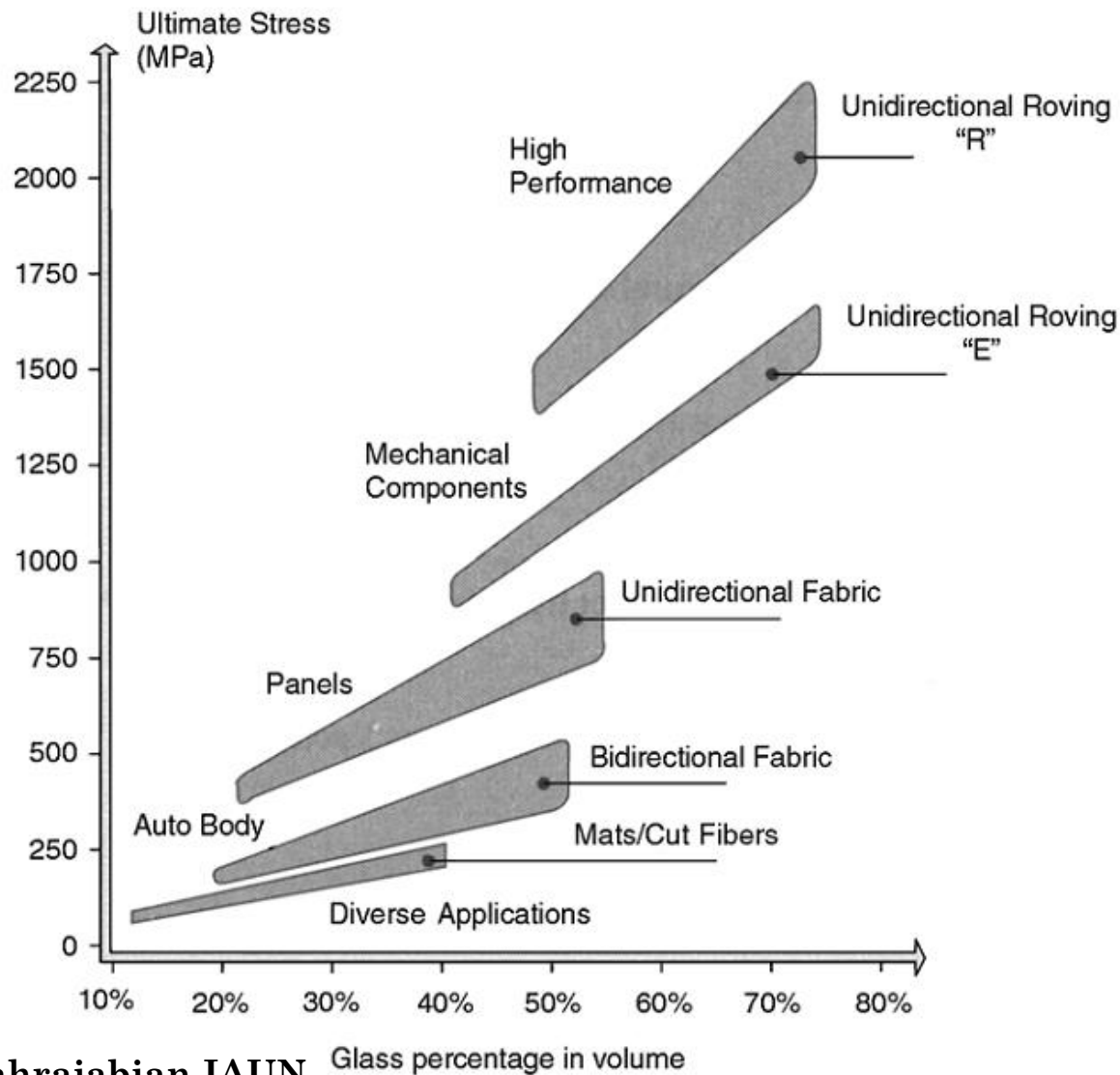


خواص شاخص کامپوزیتها

- کامپوزیتها تسلیم نمی شوند (حد الاستیک آنها همان حد شکست است).
- کامپوزیتها بسیار مقاوم به خستگی هستند.
- مواد کامپوزیتی در معرض رطوبت و گرما عمر کوتاهتری پیدا می کنند. (اپوکسی تا ۶٪ وزنش رطوبت جذب می کند و کامپوزیت الیافی آن تا ۲٪).
- مواد کامپوزیتی زنگ نمی زنند، مگر در موردیکه الیاف کربن با آلومنیوم در تماس باشد که در این صورت پدیده گالوانیک باعث خوردگی سریع می شود.
- کامپوزیتها به مواد شیمیایی مرسوم که در موتور استفاده می شود حساس نیستند، مانند روغن هیدرولیک، رنگها و حلالها و نفت. هرچند تینر رنگ باعث خوردگی اپوکسی می شود.
- کامپوزیتها دارای مقاومت به ضربه کمی نسبت به فلزات هستند.

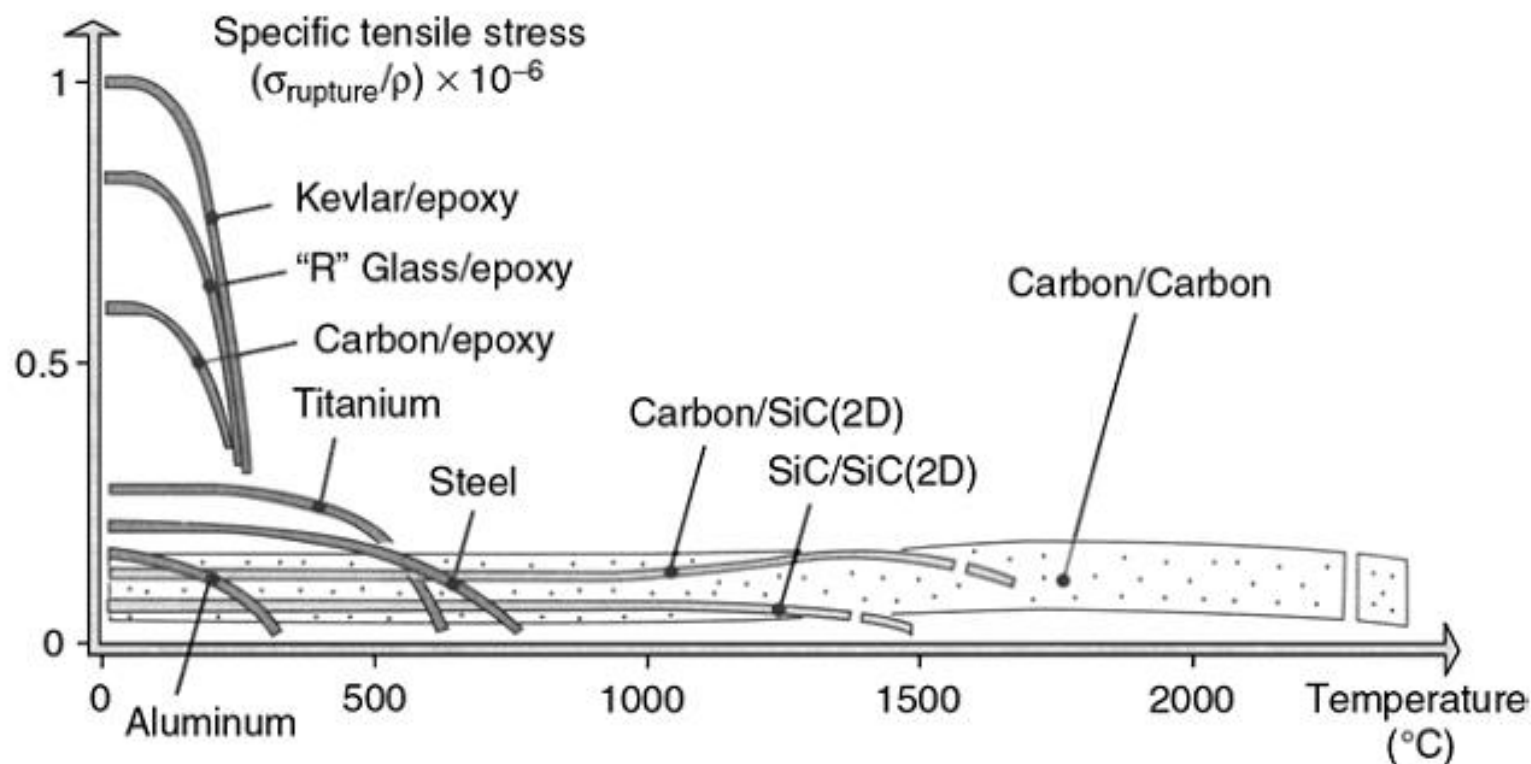


استحکام کششی کامپوزیت رزین/شیشه





استحکام مخصوص کامپوزیتهای مختلف





پارچه (FABRIC)

○ دو نوع پارچه وجود دارد:

1. تارو پودی (Woven)
2. تک جهته (nonwoven) یا (noncrimp)



پارچه WOVEN

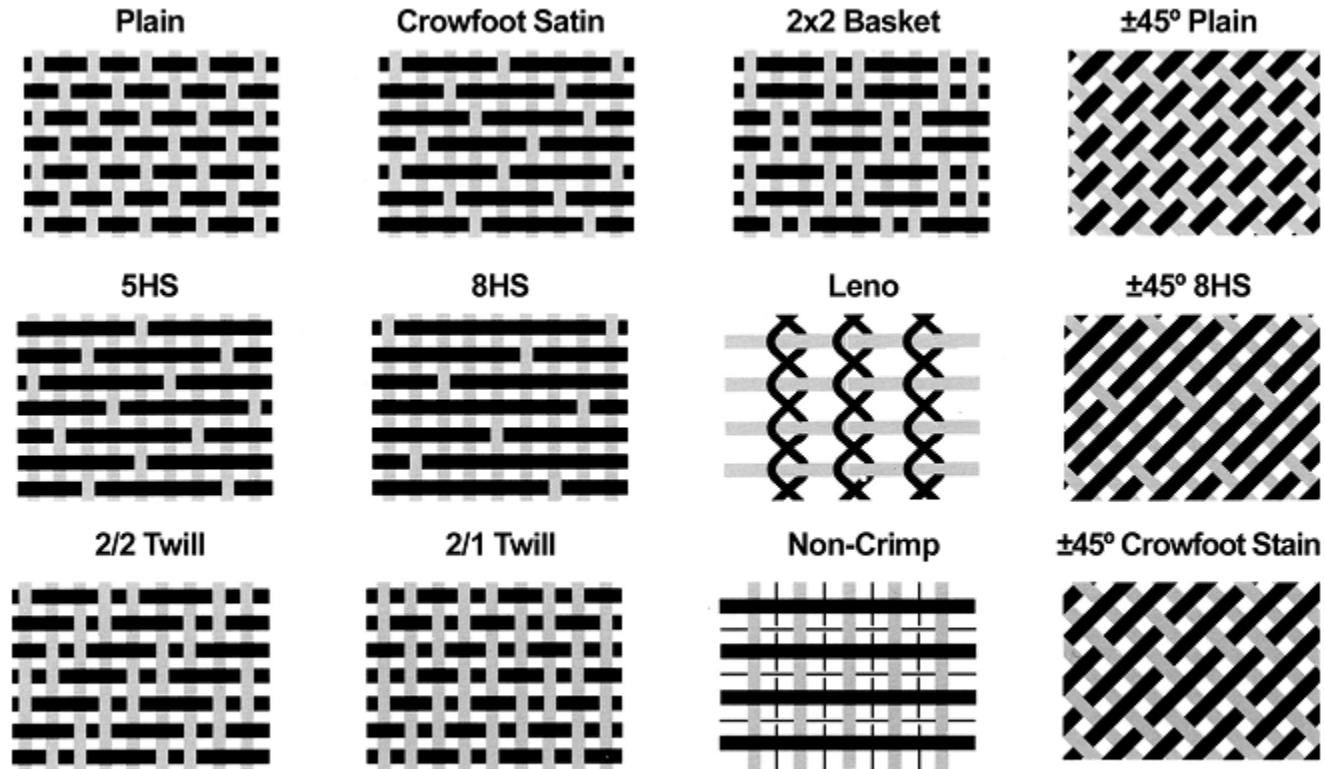


FIGURE 2.6
Various weave styles for fabrics. (Courtesy of Cytec Fiberite.)

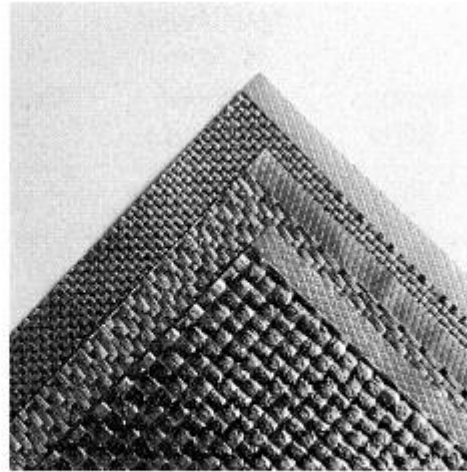


FIGURE 2.7
Carbon fabrics with a variety of weave styles. (Courtesy of Cytec Fiberite.)

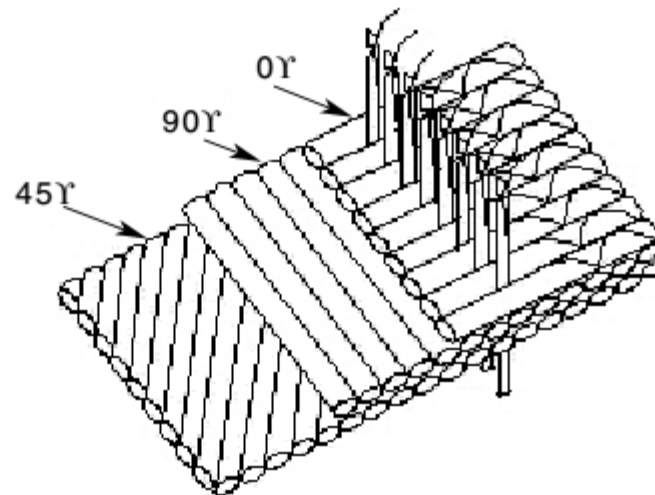


FIGURE 2.8
Schematic of noncrimp fabrics.



پارچه NONCRIMP

- در این نوع، الیافها (yarns) موازی با هم قرار گرفته و با استفاده از نخ های پلی استر به همدیگر بخیه (stitch) می شوند. در واقع این الیاف ها تک جهت هستند. یا صفر درجه (warp) یا ۹۰ درجه (weft)

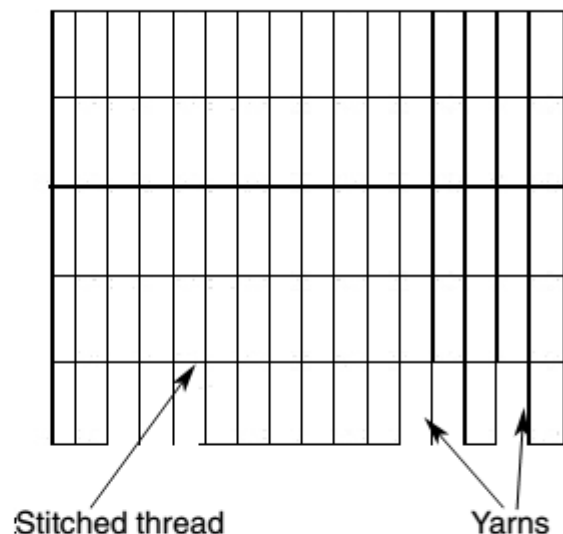


FIGURE 2.9
Warp unidirectional fabrics.

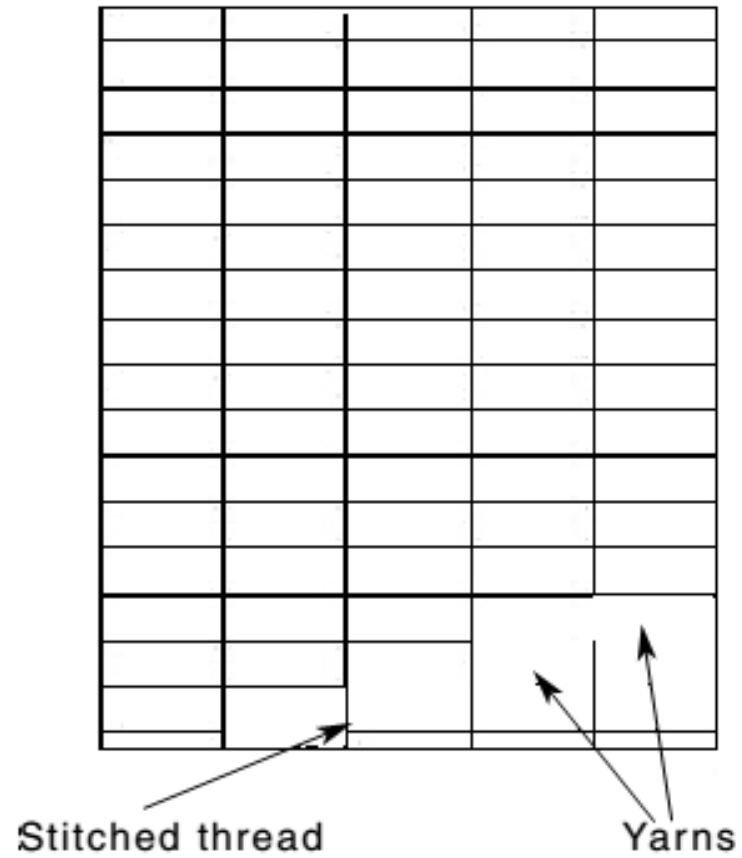


FIGURE 2.10
Weft unidirectional fabrics.

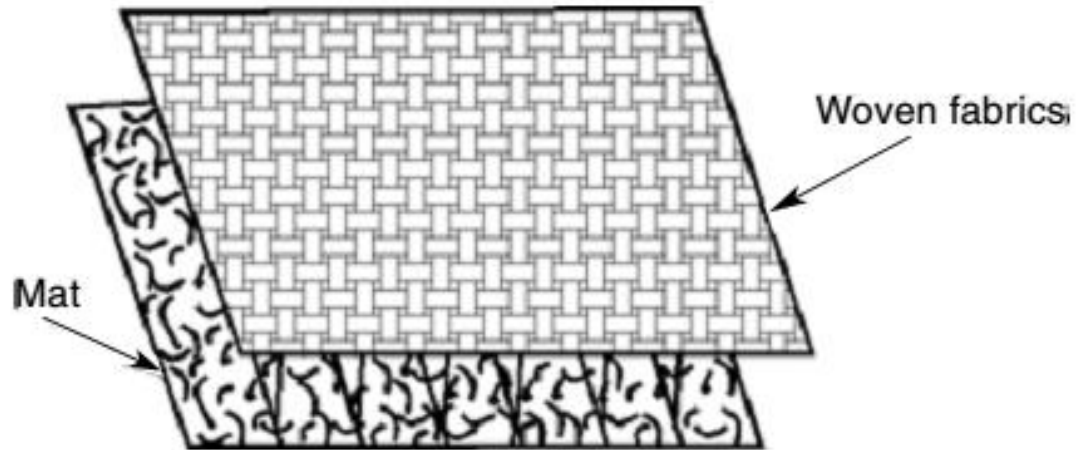


FIGURE 2.11
Illustration of bi-ply fabric.



FIGURE 2.12

Photograph of a mat. (Courtesy of GDP-DFC, France.)

پریپرگ (PREPREG)

- پریپرگ یک الیاف، پارچه مت آغشته به رزین به صورت مسطح است که به منظور استفاده در روش دستی یا فرآیندهای دیگر ذخیره می شود.

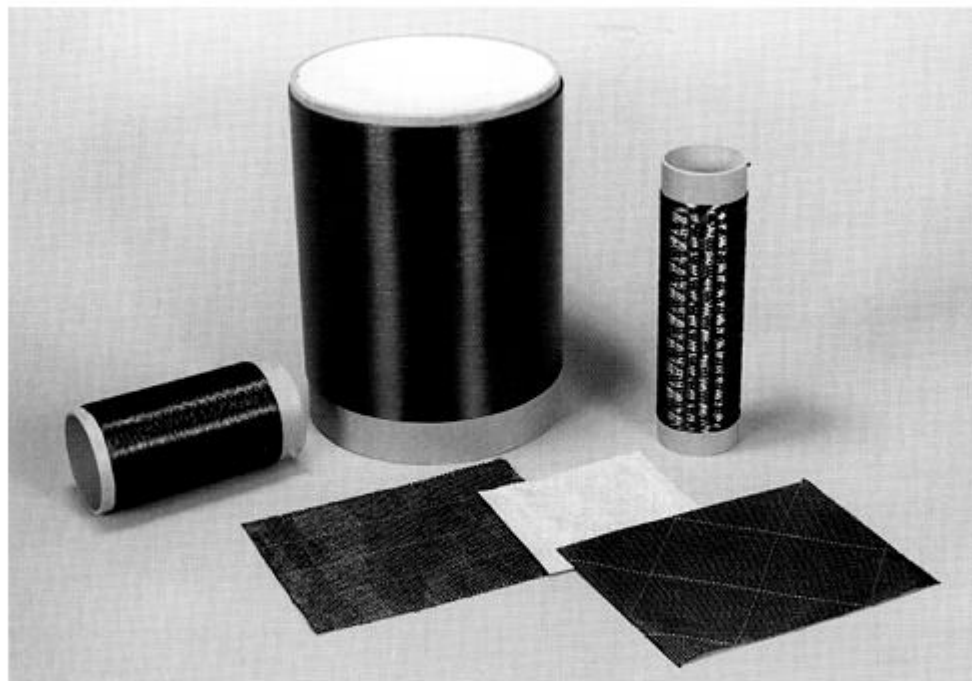


FIGURE 2.13

Prepreg types: unidirectional tape, woven fabric prepregs, and rovings. (Courtesy of Cytec Fibers)

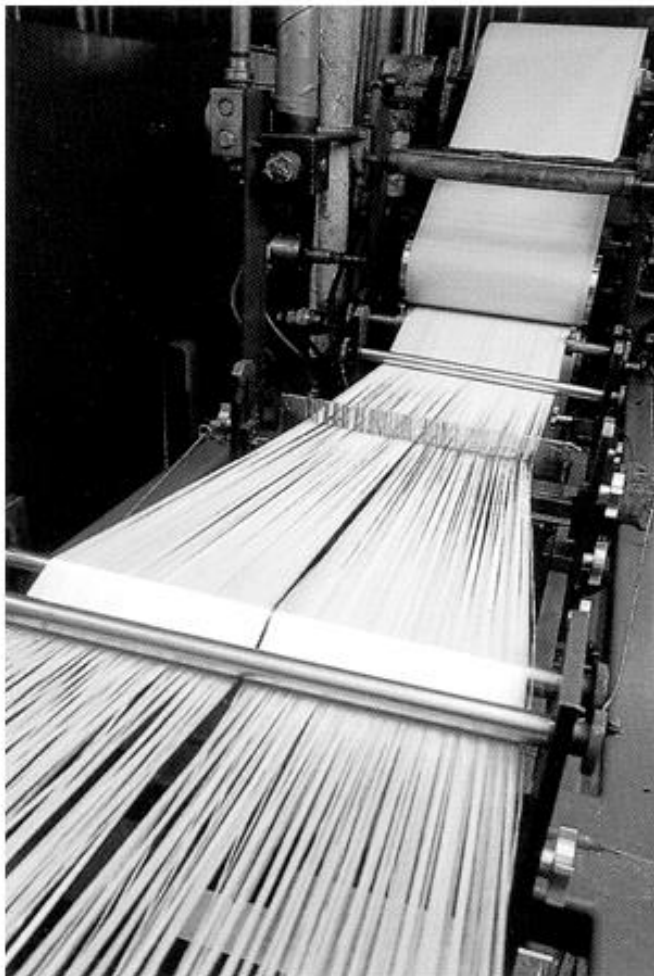


FIGURE 2.14
Making unidirectional prepreg tape. (Courtesy of Cyttec Fiberite.)



2.4

Properties of Various Prepreg Materials

Prepreg Material	Fiber Volume Fraction (%)	Processing Temp. (°F)	Tensile Modulus (Msi)	Tensile Strength (ksi)	Compressive Modulus (Msi)	Compressive Strength (ksi)	Maximum Service Temp. (0°F, Dry)	Shelf Life (0°F, Months)	Out Time at Room Temp. (Days)
Unidirectional thermoset									
Carbon (AS4, T-300)/epoxy	55–65	250	15–22	180–320	15–20	160–250	180–250	6–12	14–30
Carbon (IM7)/epoxy	55–60	250	20–25	320–440	18.5–20	170–237	250	12	30
S-2 glass/epoxy	55–63	250–350	6.0–8.0	120–230	6–8.0	100–160	180–250	6	10–30
Kevlar/epoxy	55–60	250–285	10	140	9	33	180	6	10–30
Carbon (AS4)/bismaleimide	55–62	350–475	15–22	200–320	15–20	245	450–600	6	25
Carbon (IM7)/bismaleimide	60–66	350–440	20–25	380–400	22–23	235–255	450–600	6–12	25
Carbon (IM7)/cyanate ester	55–63	350–450	20–25	100–395	18.5–23	205–230	450	6	10
S-2 glass/cyanate ester	55–60	250–350	7	180	9	130	400	6	10
Unidirectional thermoplastic									
Carbon (IM7)/PEEK	57–63	550	26	410	22	206	350	Indefinite	Indefinite
Carbon (G34/700)/Nylon 6	55–62	450–500	16	216	14	90	200	Indefinite	Indefinite
Aramid/Nylon 12	52	400	6.8	205	6.5	—	—	Indefinite	Indefinite
Carbon (AS4)/PPS	64	450–520	17.5	285	16.5	155	—	Indefinite	Indefinite
Carbon (IM7)/polyimide	62	610–665	25	380	22	156	400	Indefinite	Indefinite
Fabric (plain weave) thermoset									
Carbon (AS4)/epoxy	57–63	250	8–9	75–124	7–9.5	65–95	—	6	10
S-2 glass/epoxy	55	250	5	80	4.5	55	180	6	10
Fabric (plain weave) thermoplastic tape									
Carbon HM (T650-35)/polyimide	58–62	660–730	10–18	130–155	15.5	130	500–600	12	Indefinite



کاربرد مواد مرکب

- هواپیما و تجهیزات نظامی
- کاربردهای فضایی
- اتومبیل
- تجهیزات ورزشی
- صنایع دریایی
- زیرساخت



هواپیما و تجهیزات نظامی

TABLE 1.3
Early Applications of Fiber-Reinforced Polymers in Military Aircrafts

Aircraft	Component	Material	Overall Weight Saving Over Metal Component (%)
F-14 (1969)	Skin on the horizontal stabilizer box	Boron fiber-epoxy	19
F-11	Under the wing fairings	Carbon fiber-epoxy	
F-15 (1975)	Fin, rudder, and stabilizer skins	Boron fiber-epoxy	25
F-16 (1977)	Skins on vertical fin box, fin leading edge	Carbon fiber-epoxy	23
F/A-18 (1978)	Wing skins, horizontal and vertical tail boxes; wing and tail control surfaces, etc.	Carbon fiber-epoxy	35
AV-8B (1982)	Wing skins and substructures; forward fuselage; horizontal stabilizer; flaps; ailerons	Carbon fiber-epoxy	25

Source: Adapted from Riggs, J.P., *Mater. Soc.*, 8, 351, 1984.

هواپیما و تجهیزات نظامی

- حدود ۲۵٪ وزن هواپیمای پنهانکار F-22 از کامپوزیت اپوکسی / الیاف کربن تشکیل شده است.
- پوسته بیرونی هواپیمای پنهانکار B-2 از کامپوزیت اپوکسی / الیاف کربن ساخته شده است.





هواپیما و تجهیزات نظامی

TABLE 1.4
Early Applications of Fiber-Reinforced Polymers in Commercial Aircrafts

Aircraft	Component	Weight (lb)	Weight Reduction (%)	Comments
<i>Boeing</i>				
727	Elevator face sheets	98	25	10 units installed in 1980
737	Horizontal stabilizer	204	22	
737	Wing spoilers	—	37	Installed in 1973
756	Ailerons, rudders, elevators, fairings, etc.	3340 (total)	31	
<i>McDonnell-Douglas</i>				
DC-10	Upper rudder	67	26	13 units installed in 1976
DC-10	Vertical stabilizer	834	17	
<i>Lockheed</i>				
L-1011	Aileron	107	23	10 units installed in 1981
L-1011	Vertical stabilizer	622	25	

هواپیما و تجهیزات نظامی

○ حدود ۲۵٪ وزن ایرباس ۳۸۰ از کامپوزیت ساخته شده است.

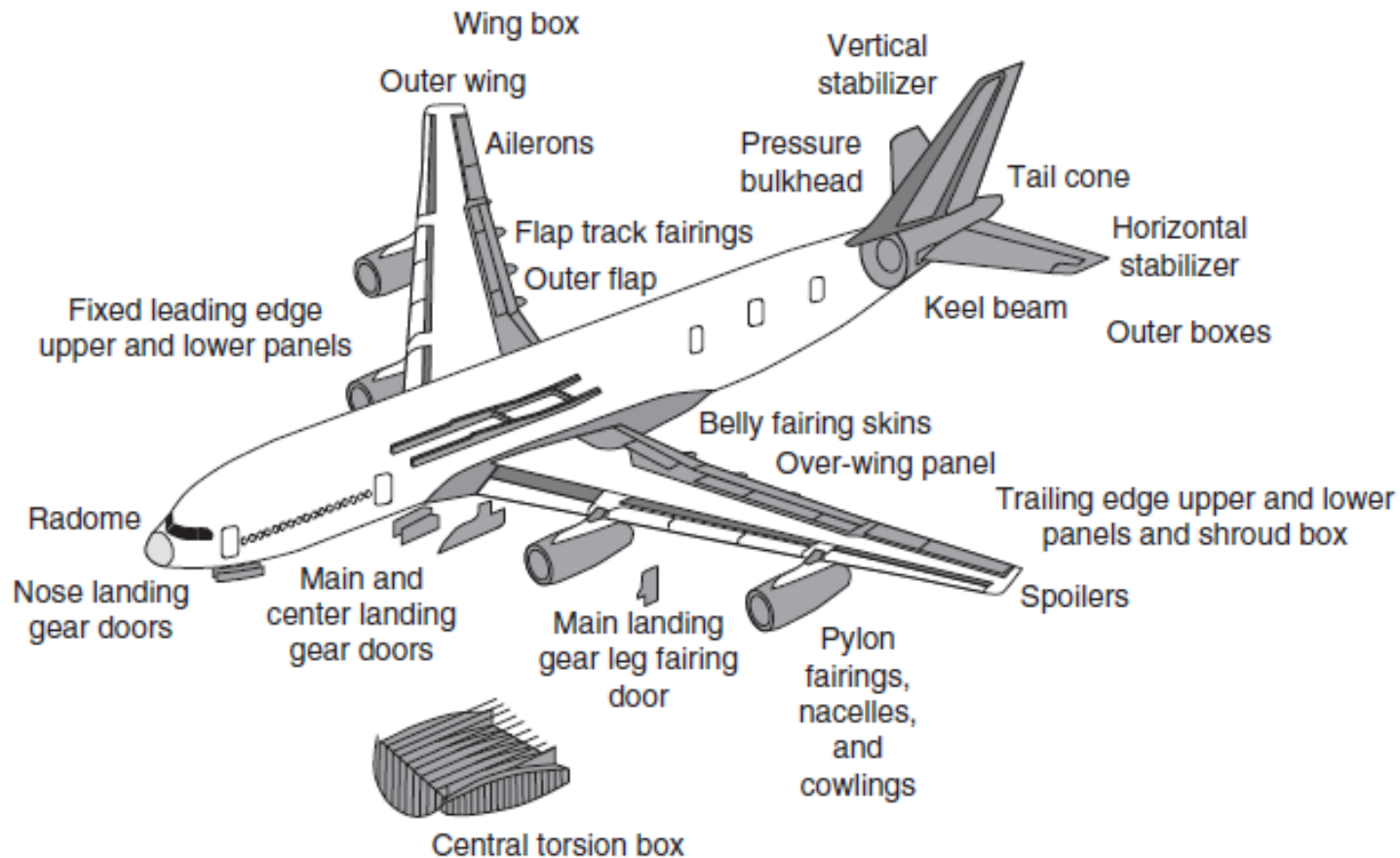
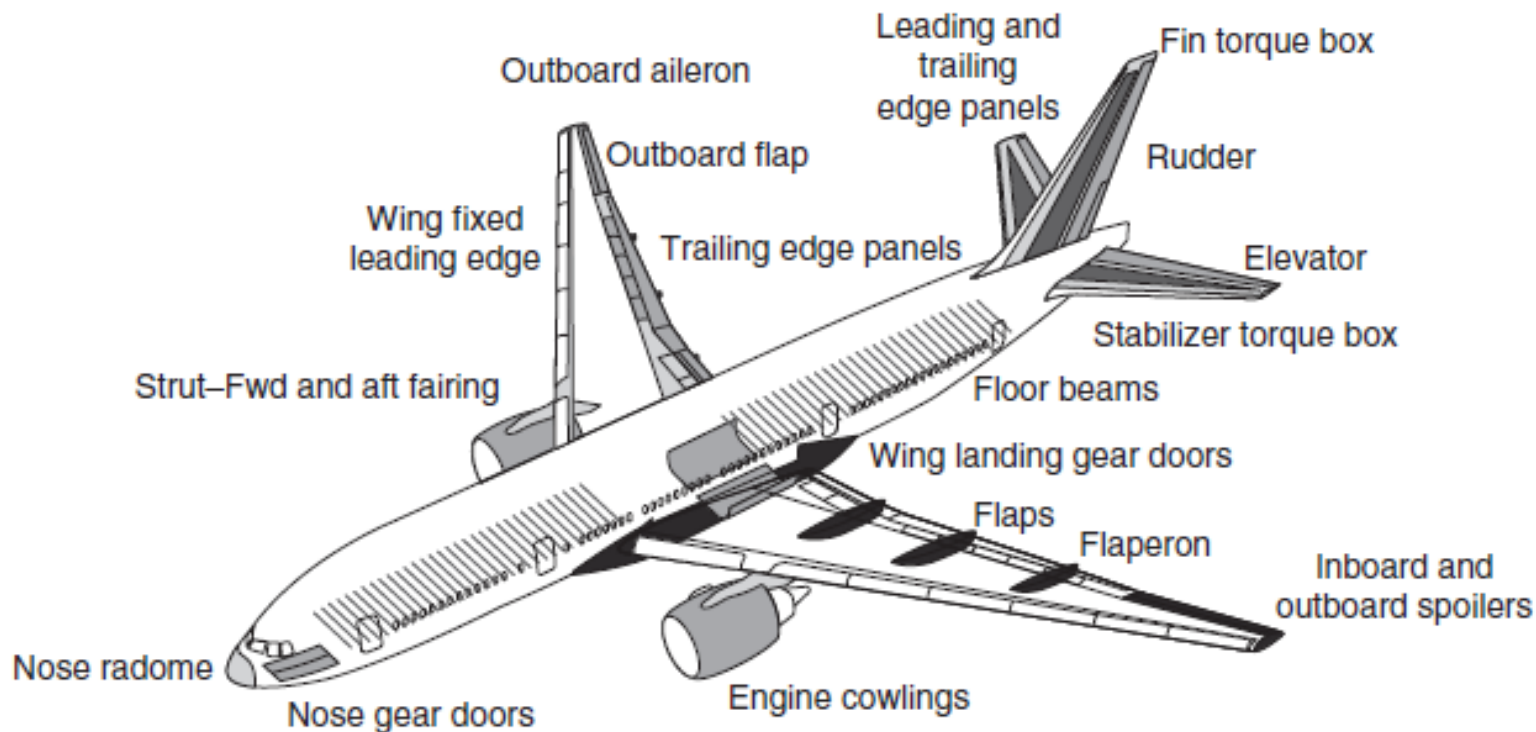


FIGURE 1.2 Use of fiber-reinforced polymer composites in Airbus 380.



هواپیما و تجهیزات نظامی

- حدود ۱۰٪ اسکلت بوئینگ ۷۷۷ از کامپوزیت اپوکسی/الیاف کربن ساخته شده و حدود ۵۰٪ از آلیاژ آلومینیوم.





هواپیما و تجهیزات نظامی

- هواپیمای Voyager کاملاً از کامپوزیت ساخته شده و می تواند ۲۵۰۰۰ مایل را بدون سوختگیری مجدد پرواز کند.





کاربردهای فضایی

- از جمله کاربردهای مختلف در ساختار شاتل‌های فضایی می‌توان به ساختار خربایی بدنه میانی (لوله‌های آلومینیومی تقویت‌شده با فیبر بور)، درب محفظه بار (ورقه‌های ساندویچی از ورق‌های اپوکسی تقویت‌شده با فیبر کربن و هسته لانه زنبوری آلومینیومی)، بازوی کنترل از راه دور (لوله اپوکسی تقویت‌شده با فیبر کربن با مدول بسیار بالا) و مخازن تحت فشار اشاره کرد.
- یک عامل اصلی در انتخاب مواد مرکب برای کاربردهای فضایی، پایداری ابعادی آنها در محدوده دمایی وسیع است. بسیاری از لمینت‌های اپوکسی تقویت‌شده با فیبر کربن را می‌توان برای تولید CTE نزدیک به صفر "طراحی" کرد. بسیاری از آلیاژهای هوافضا به عنوان مثال (Invar) همچنین دارای CTE قابل مقایسه هستند. با این حال، کامپوزیت‌های فیبر کربنی چگالی بسیار کمتر، استحکام بالاتر و همچنین نسبت سختی به وزن بالاتری دارند.



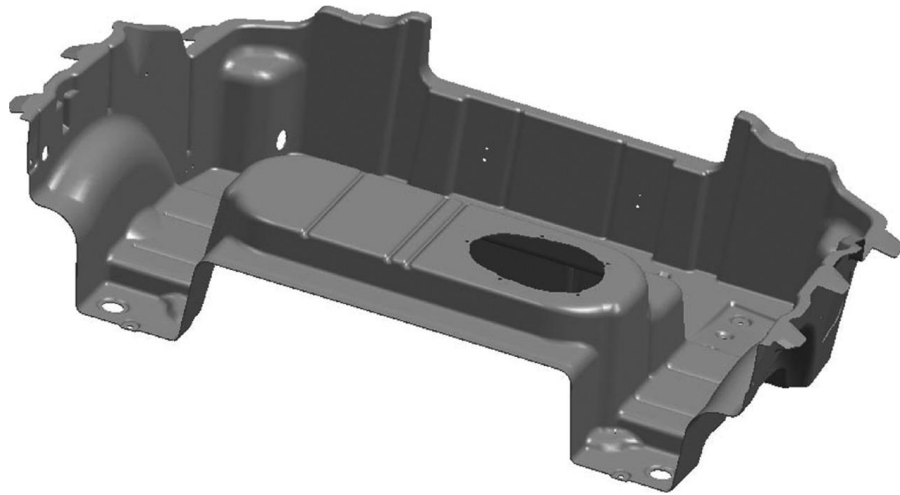
کاربردهای فضایی

- ترکیب منحصربفردی از خواص مکانیکی و CTE منجر به کاربردهایی برای اپوکسی های تقویت شده با فیبر کربن در ماهواره های مصنوعی شده است. یکی از این کاربردها در ساختار پشتیبانی از آینه ها و عدسی ها در تلسکوپ فضایی است.
- از آنجایی که دما در فضا ممکن است بین ۱۰۰- تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد متغیر باشد، بسیار مهم است که ساختار پشتیبانی از نظر ابعادی پایدار باشد. در غیر این صورت، تغییرات زیاد در موقعیت های نسبی آینه ها یا عدسی ها به دلیل انبساط حرارتی یا اعوجاج ممکن است باعث ایجاد مشکل در تمرکز تلسکوپ شود.

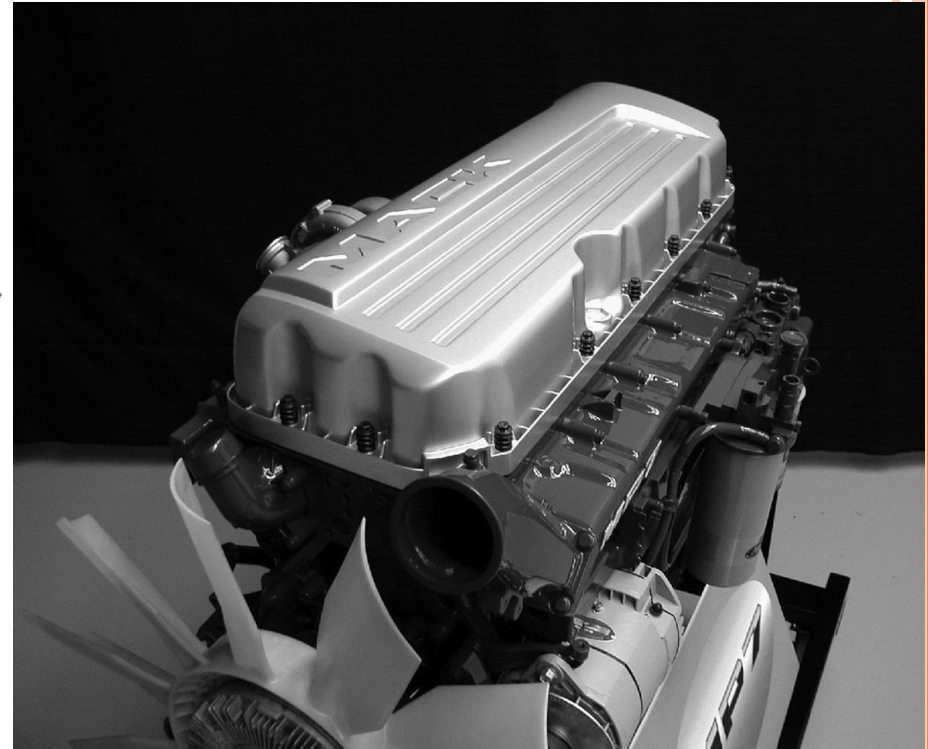


اتومبیل

- کاربردهای کامپوزیت های تقویت شده با الیاف در صنعت خودرو را می توان به سه گروه اجزای بدنه، اجزای شاسی و اجزای موتور طبقه بندی کرد.
- اجزای بیرونی یا بدنه، مانند کاپوت یا پنل درها، به سفتی بالا و تحمل آسیب (مقاومت در برابر فرورفتگی) و همچنین به سطح کلاس A برای نمایش ظاهری نیاز دارند.
- ماده کامپوزیتی مورد استفاده برای این قطعات، ترکیبات قالب گیری ورق تقویت شده الیاف E-glas است (SMC) که در آن الیاف شیشه ای ناپیوسته (معمولاً به طول ۲۵ میلی متر) به طور تصادفی در رزین پلی استر یا وینیل استر پراکنده می شوند.
- بسیاری از اجزای زیر بدنه و زیر کاپوت وجود دارند که ظاهر خارجی آنها مهم نیست. نمونه هایی از چنین قطعاتی که در آنها از SMC استفاده می شود شامل تکیه گاه های رادیاتور، تیرهای سپر، قاب سقف، قاب درها، پوشش سوپاپ موتور، پوشش زنجیر تایم، تابه روغن و غیره می باشد. دو مورد از این کاربردها در اسلاید بعد نشان داده شده است



○ تنه کادیلاک Solstice



○ پوشش سوپاپ برای موتور
کامیون



○ پانل سقف اپوکسی تقویت شده با فیبر کربن در خودروی BMW M6



○ سیستم تعلیق و جعبه دنده اپوکسی تقویت شده با فیبر کربن در ماشین مسابقه فرمول ۱.



TABLE 1.5 Applications of Fiber-Reinforced Polymers in Sporting Goods

Tennis rackets
Racket ball rackets
Golf club shafts
Fishing rods
Bicycle frames
Snow and water skis
Ski poles, pole vault poles
Hockey sticks
Baseball bats
Sail boats and kayaks
Oars, paddles
Canoe hulls
Surfboards, snow boards
Arrows
Archery bows
Javelins
Helmets
Exercise equipment
Athletic shoe soles and heels



○ قاب دوچرخه اپوکسی تقویت شده با فیبر کربن.



صنایع دریایی

- پلی استرهای تقویت شده با الیاف شیشه در انواع مختلف قایق ها (مانند قایق بادبانی، قایق ماهیگیری، قایق، قایق نجات و قایق بادبانی) از زمان معرفی آنها به عنوان یک ماده تجاری در دهه ۱۹۴۰ استفاده شده است.
- امروزه، تقریباً ۹۰ درصد از تمام قایق های تفریحی از پلی استر تقویت شده با الیاف شیشه یا رزین وینیل استر تقویت شده با الیاف شیشه ساخته می شوند.
- در سال های اخیر، فیبر Kevlar 49 به دلیل نسبت استحکام کششی به وزن و نسبت مدول به وزن بالاتر نسبت به الیاف شیشه، جایگزین الیاف شیشه در برخی از این کاربردها شده است. از جمله کاربردها می توان به بدنه قایق، عرشه، دیوارها های داخل بدنه کشتی، قاب و دکل اشاره کرد.
- اپوکسی تقویت شده با فیبر کربن در قایق های مسابقه ای استفاده می شود که در آنها کاهش وزن برای مزیت رقابتی بسیار مهم است.



صنایع دریایی

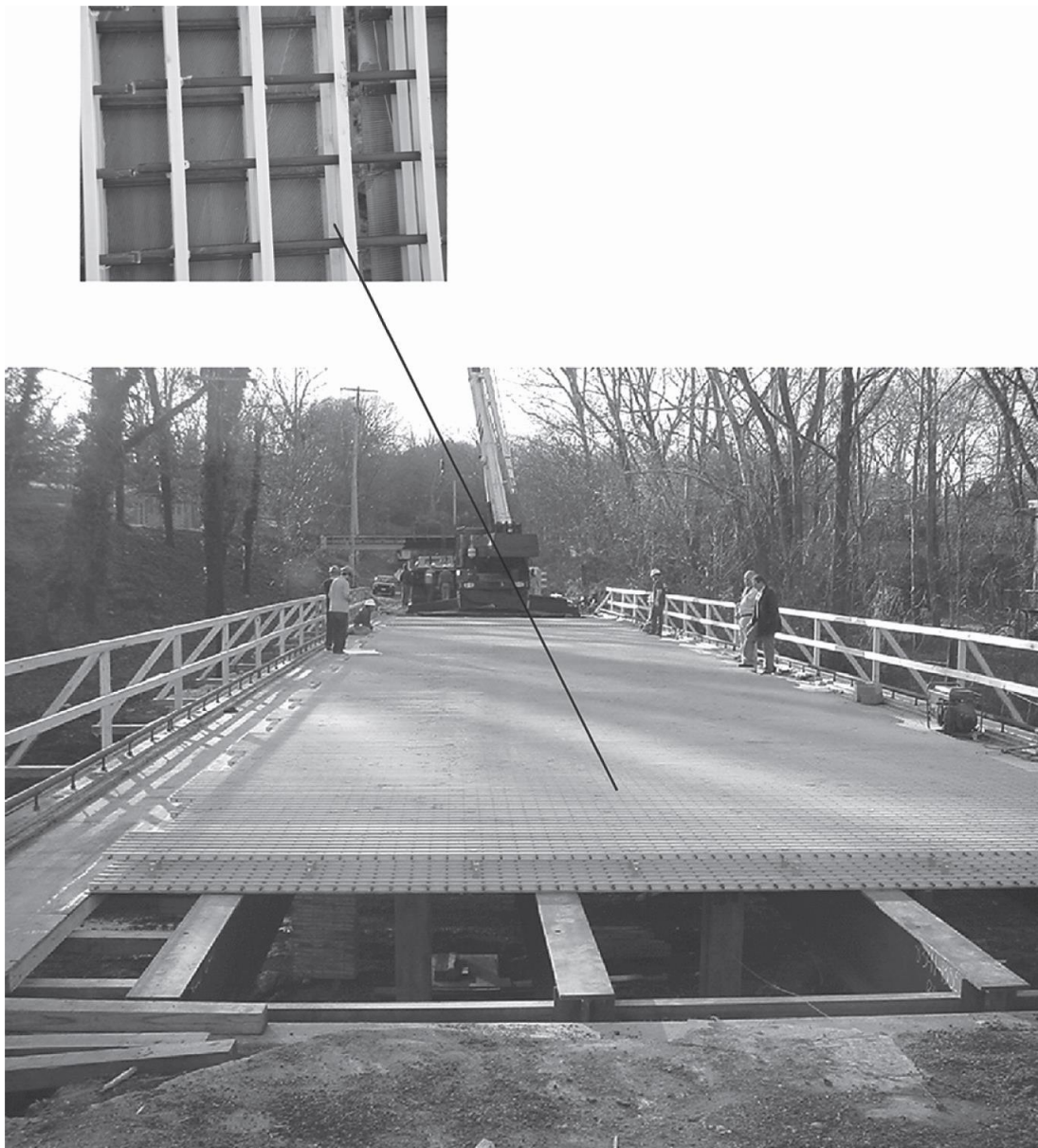
- اخیراً نیروی دریایی ایالات متحده یک کشتی جنگی به طول ۲۴ متر به نام Stiletto را راه اندازی کرده است که در آن اپوکسی تقویت شده با فیبر کربن ماده اولیه ساخت آن خواهد بود.



زیر ساخت

- پلیمرهای تقویت شده با الیاف پتانسیل زیادی برای جایگزینی بتن تقویت شده و فولاد در پل ها، ساختمان ها و سایر زیرساخت های عمرانی دارند.
- دلیل اصلی انتخاب این کامپوزیت ها مقاومت آنها در برابر خوردگی است که منجر به طول عمر بیشتر و هزینه های نگهداری و تعمیرات کمتر می شود.
- پل های بتن آرمه پس از چندین سال استفاده به دلیل خوردگی میلگردهای تقویت کننده فولادی (میلگردها) مورد استفاده در ساخت آنها، پس از چندین سال از بین می روند.
- مشکل خوردگی به دلیل پخش شدن نمک یخ زدایی در سطح جاده پل در ماه های زمستان در بسیاری از نقاط جهان تشدید می شود.

زیر ساخت



○ بخش هایی از وینیل استر تقویت شده با الیاف شیشه در ساخت یک سیستم عرشه پل.