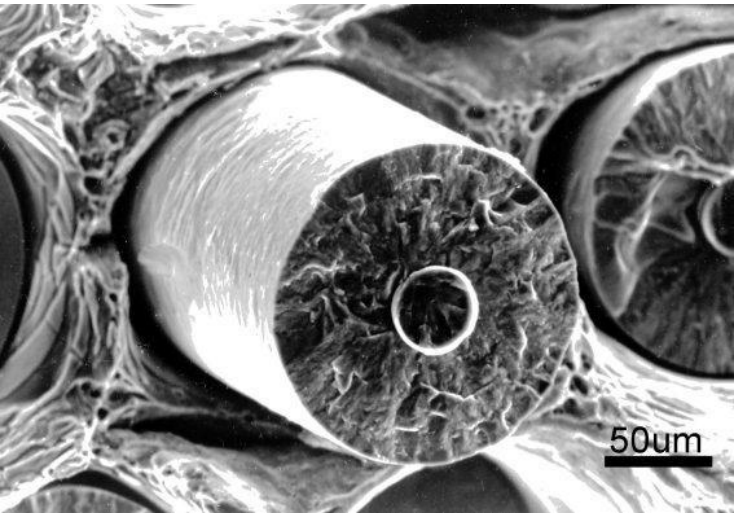
بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

مکانیک مواد مرکب پیشرفته



سرفصل درس

- مقدمه و معرفی اجمالی کامپوزیت‌ها
  - تعریف مواد مرکب، کاربردها، معایب و مزایا
  - انواع و دسته بندی
  - خصوصیات اجزا کامپوزیت ها
  - روش های ساخت، ماشینکاری و اتصال
- مقدمه ای بر مبانی تئوری لازم
  - تعاریف و روابط تانسورها
  - تعریف تنش و کرنش
  - تبدیل دستگاه ها

سرفصل درس

- بررسی رفتار ساختاری مواد الاستیک
  - کلی ترین رابطه ساختاری الاستیک
  - تقارن های مادی
    - مواد تری کلینیک
    - مواد مونوکلینیک
    - مواد اورتوتروپیک
    - مواد ایزوتروپیک عرضی
    - مواد ایزوتروپیک
- کاهش رفتار ساختاری در صفحه
- بررسی روابط یک تک لایه

سرفصل درس

- تحلیل میکرومکانیکی
  - کامپوزیت‌های تک جهته
  - کامپوزیت‌های نساجی
    - فاز تقویتی بافته
    - فاز تقویتی برید شده
    - فاز تقویتی حلقوی
  - کامپوزیت های با الیاف منقطع
    - منقطع و هم جهت
    - منقطع و هم جهت با زاویه
    - کاملا تصادفی

سرفصل درس

- تحلیل ماکرو تک لایه
- تحلیل چند لایه
  - تئوری کلاسیک صفحه های لایه لایه
  - تئوری مرتبه اول صفحه های لایه لایه
- معیارهای آسیب

ارزیابی

- میان ترم ۷ نمره
- پایان ترم ۹ نمره
- پروژه و ارائه ۲ نمره
- تکالیف ۲ نمره

- تاریخ امتحان میان ترم یکشنبه ۱۳۹۴/۸/۲۴ ساعت ۱۶:۳۰

پروژه ها

پروژه ها در دو نوبت ارائه خواهد شد:

بخش اول می تواند معرفی کامپوزیت های جدید و کاربرد آن‌ها، روش های جدید ساخت، توضیح کامل تر روابط ارائه شده در تحلیل های میکرو و ... باشد. مثلا:

- **روش های ساخت و یا ماشینکاری و اتصال**
- **کامپوزیت های سه بعدی**
- **کامپوزیت هایی با دو حالت پایدار**
- **کامپوزیت هایی با الیاف نانو**
- **کامپوزیت های هیبرید**
- **کاربرد در پزشکی**
- **بحث کامل تر بر روی روابط میکرو ارائه شده برای:**
  - کامپوزیت های بافته
  - کامپوزیت های منقطع

پروژه ها

در بخش دوم انتظار پیاده سازی عملی یک موضوع خواهد بود. در این بخش موضوعات می تواند زیرمجموعه یکی از موارد زیر باشد:

- **کدنویسی روابط مربوط به یکی از کامپوزیت ها به منظور:**
  - استخراج خواص
  - بهینه سازی لایه چینی
  - ...
- **مدلسازی اجزای محدود یک سلول واحد**
- **کدنویسی روابط صفحات و پوسته ها**
- **معرفی نرم افزارهای موجود برای تحلیل کامپوزیت یا پارچه و حل یک مثال**

مراجع درس

1. PRINCIPLES OF COMPOSITE MATERIAL MECHANICS

Ronald F. Gibson

2. Handbook of Analytical Methods for Textile Composites

NASA Contractor Report 4750

3. 3-D textile reinforcements in composite materials

4. Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells

J. N. Reddy

5. MECHANICS of Composite Materials

Autar K. Kaw

فرآیند ساخت و ماشینکاری:

1.COMPOSITES MANUFACTURING Materials, Product, and Process Engineering

Sanjay K. Mazumdar

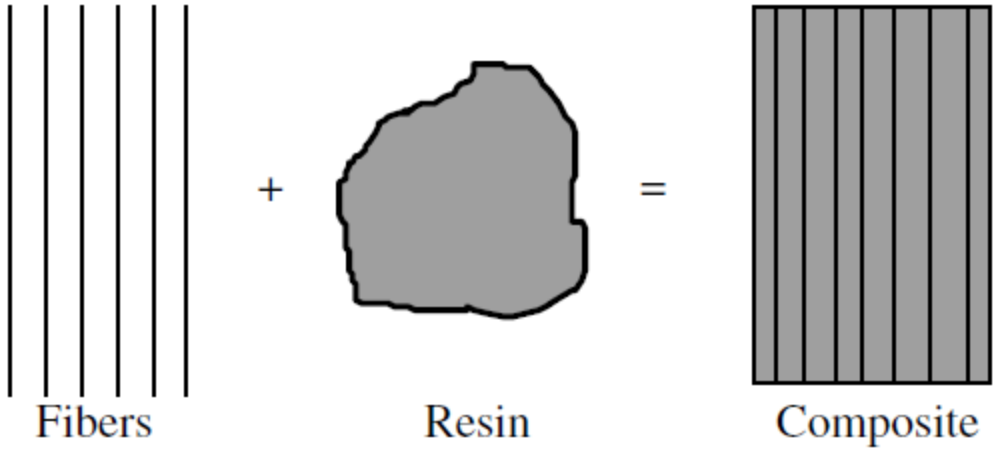
2. PRINCIPLES of the MANUFACTURING OF COMPOSITE MATERIALS

Suong V. Hoa

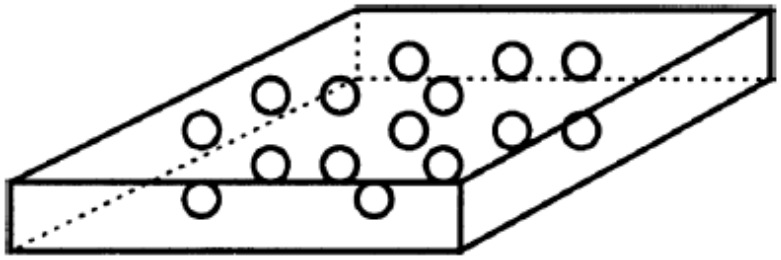
تعریف مواد مرکب

- ترکیب دو یا چند ماده مجزا برای دستیابی به ترکیبی از خواص این مواد به نحوی که در مقیاس میکروسکوپی اجزا از هم جدا هستند.

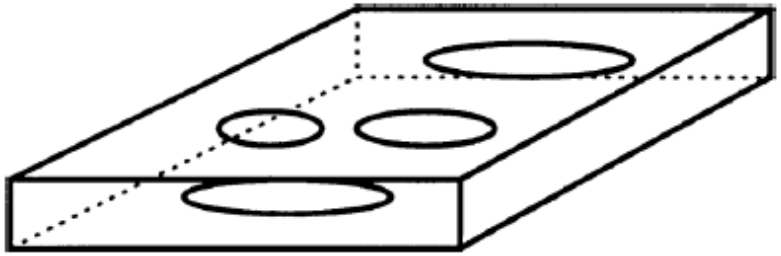
- یکی از این اجزا فاز تقویت کننده است که می‌تواند به صورت الیاف، ذرات یا پولک باشد این فاز پیوسته نیست، فاز دیگر که ماتریس نامیده می شود پیوسته است.



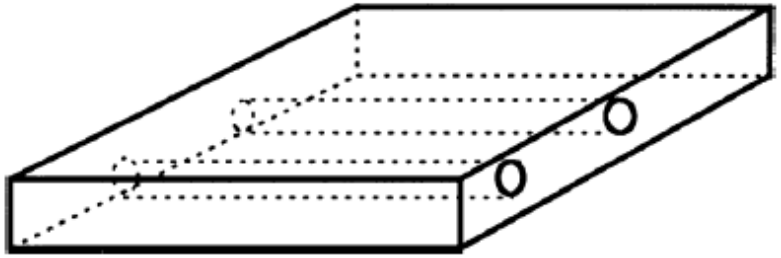
تعریف مواد مرکب



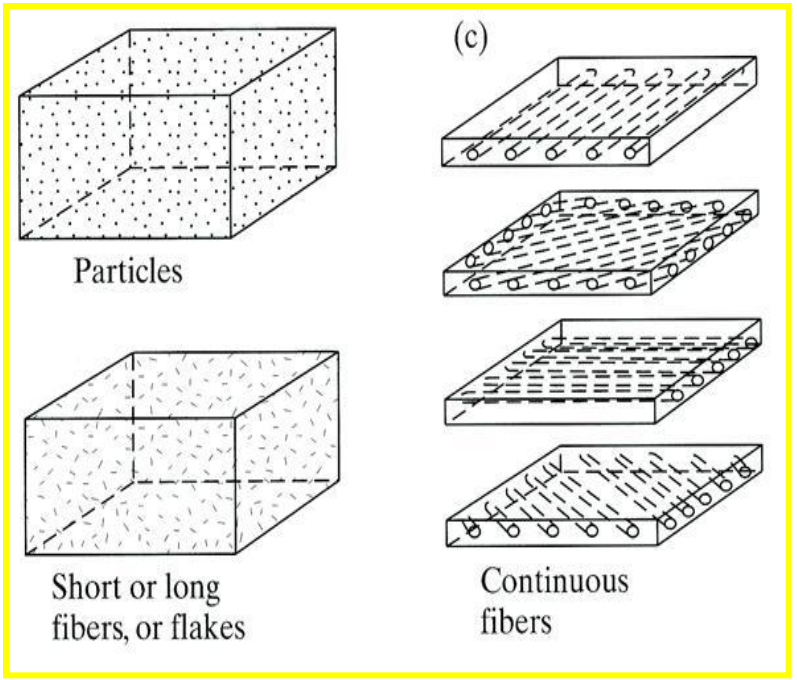
Particulate composites



Flake composites

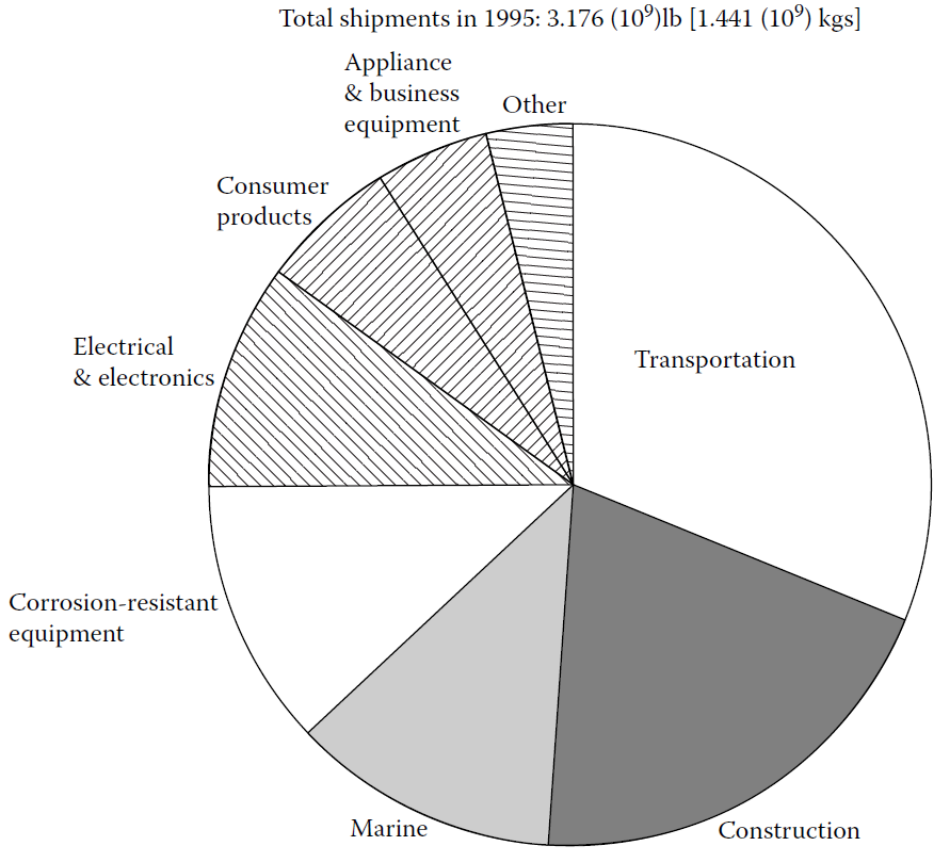


Fiber composites



تاریخچه مواد مرکب

- از قدیمی ترین مواد مرکب می توان استفاده از کاه در کنار گل رس در ساختمان ها را نام برد.

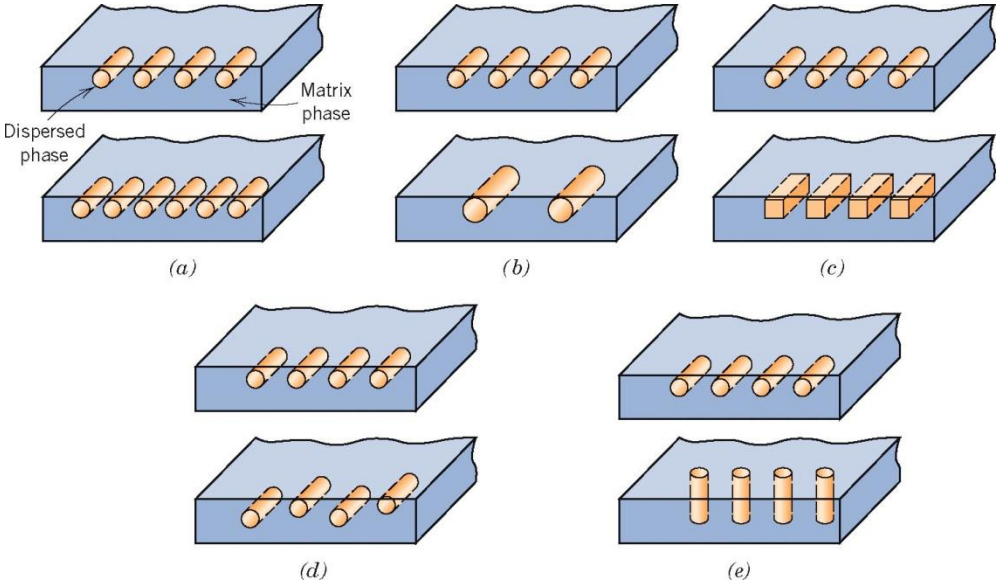


- حجم استفاده از کامپوزیت های ماتریس پلیمری در سال ۱۹۹۵

نقش فاز تقویت کننده

فاز تقویتی وظیفه تحمل بار را بر عهده دارد (۷۰ تا ۹۰ درصد بار) بنابراین خواصی مثل استحکام و سفتی (مدول الاستیسیته) کامپوزیت مستقیما تحت تاثیر این فاز است.

علاوه بر جنس الیاف که عاملی مهم در خواص نهایی کامپوزیت است موارد زیر نیز تاثیر گذار هستند:



- طول الیاف
- جهت قرار گرفتن الیاف
- شکل الیاف

نقش ماتریس

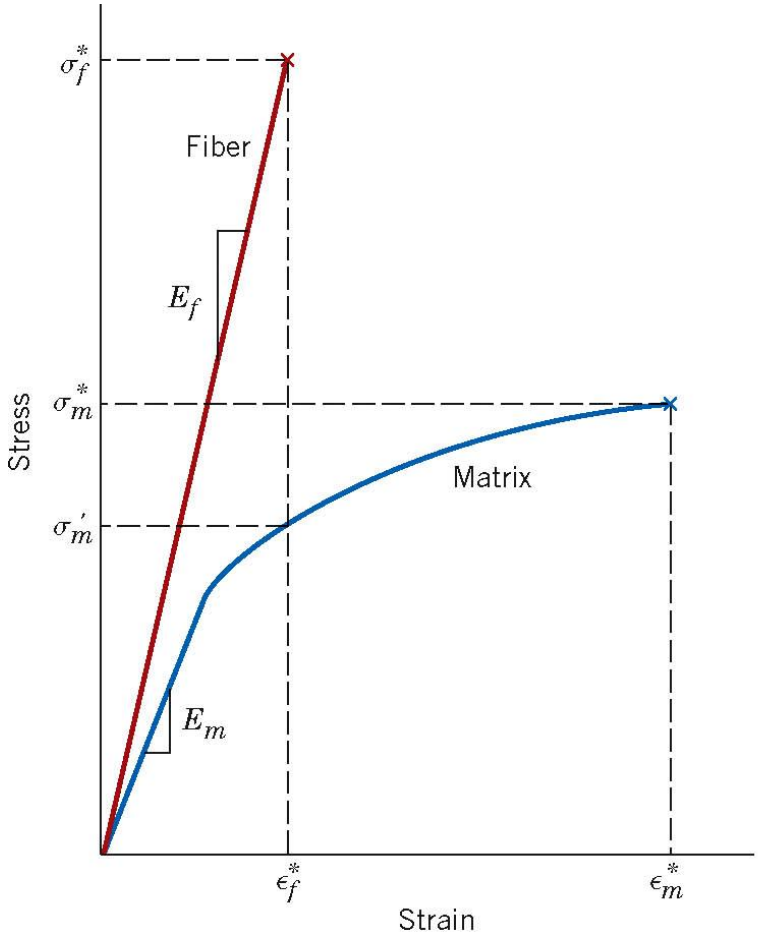
الیاف به تنهایی اگرچه استحکام و سفتی مخصوص بسیار خوبی دارند ولی فقط قابلیت کابل یا طناب بودن را دارند! شکل صلب بدست آمده در کامپوزیت نتیجه استفاده از ماتریس است.

نقش ماتریس:

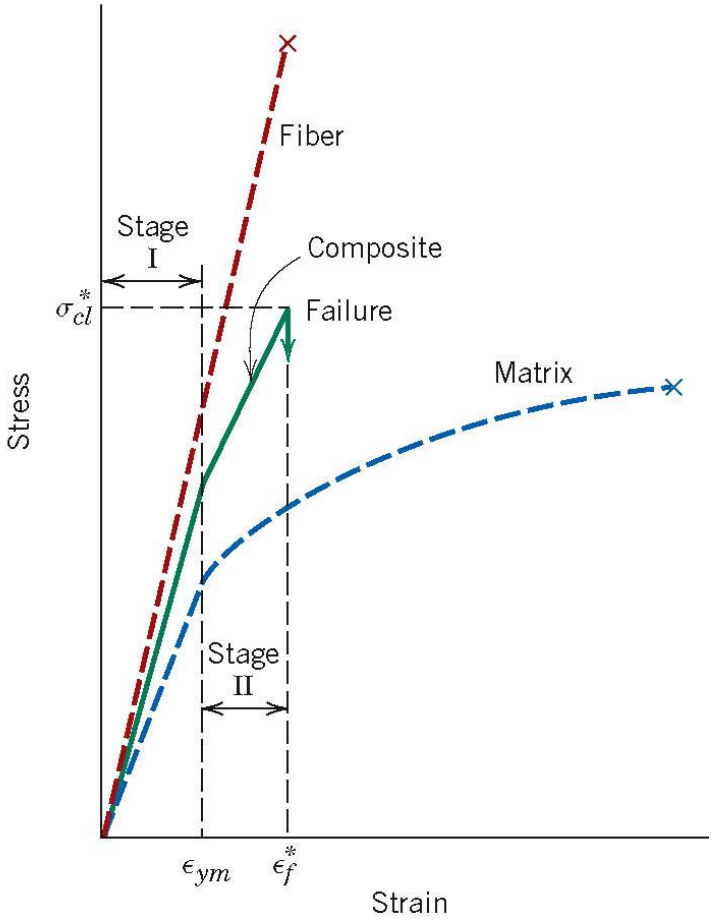
- اتصال الیاف به یکدیگر
- حفاظت الیاف در مقابل محیط
- توزیع بار بین الیاف
- حفاظت از ضربه به الیاف در جابجایی و نصب و کارکرد ...

پارامترهای مکانیکی مثل مدول یانگ در جهت عمود بر الیاف مستقیما به خواص ماتریس وابسته است.

مقایسه الیاف و ماتریس



(a)



(b)

اتصال

از موارد تاثیر گذار دیگر در خواص یک کامپوزیت نوع اتصال بین فاز تقویتی و ماتریس و استحکام آن است.

انواع اتصال

-اتصال شیمیایی

-در بعضی موارد بین دو ماده امکان این اتصال وجود دارد و در بعضی از ماده سوم (Coupling agents)استفاده می گردد.

-اتصال مکانیکی به واسطه زبری سطح الیاف

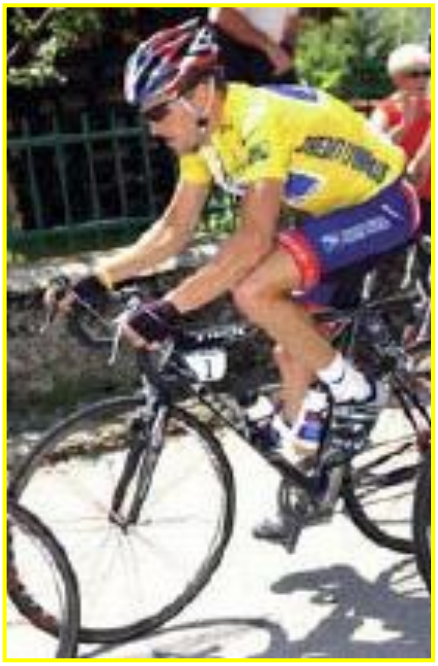
-تداخل به واسطه تفاوت در ضریب انبساط گرمایی

-نفوذ اتم های دو ماده داخل یکدیگر و تشکیل یک فاز سوم مرکب از دو ماده

کاربردهای مواد مرکب

Pedestrian bridge in Denmark, 130 feet long (1997)

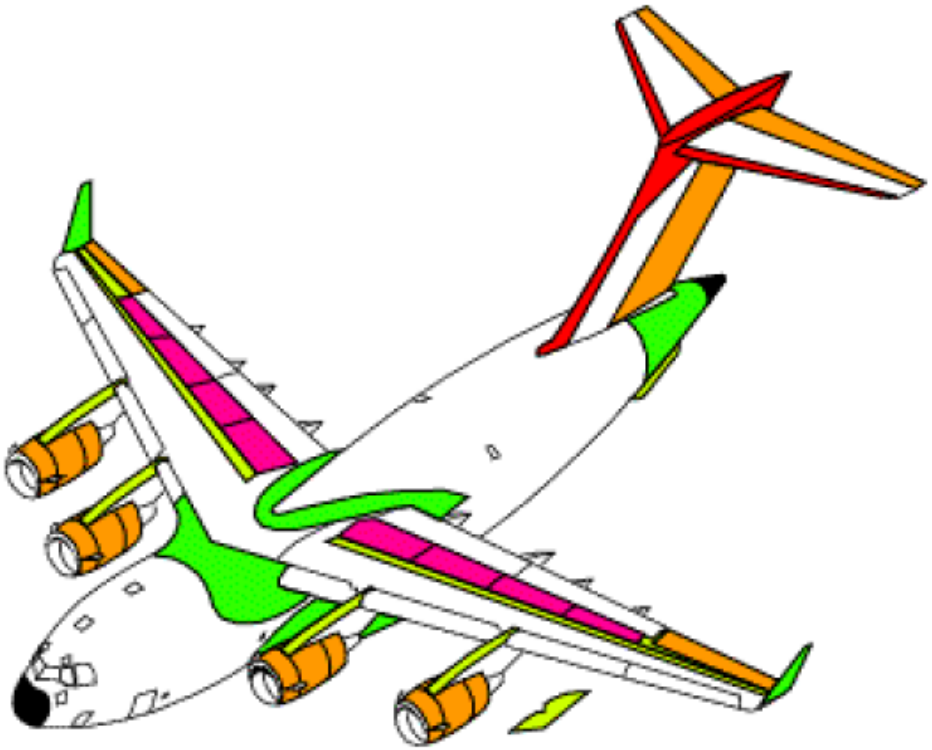
Lance Armstrong's 2-lb. Trek bike, 2004 Tour de France



Swedish Navy, Stealth (2005)

نقش مواد مرکب در صنایع هوایی

C-17 Aircraft



Carbon/epoxy

Aramid/DuPont Nomex

Carbon/aramid/epoxy

Aramid/foam core

Glass-fiber reinforced plastic

Carbon/DuPont Nomex

نقش مواد مرکب در صنایع هوایی

Composite Components in Aircraft Applications

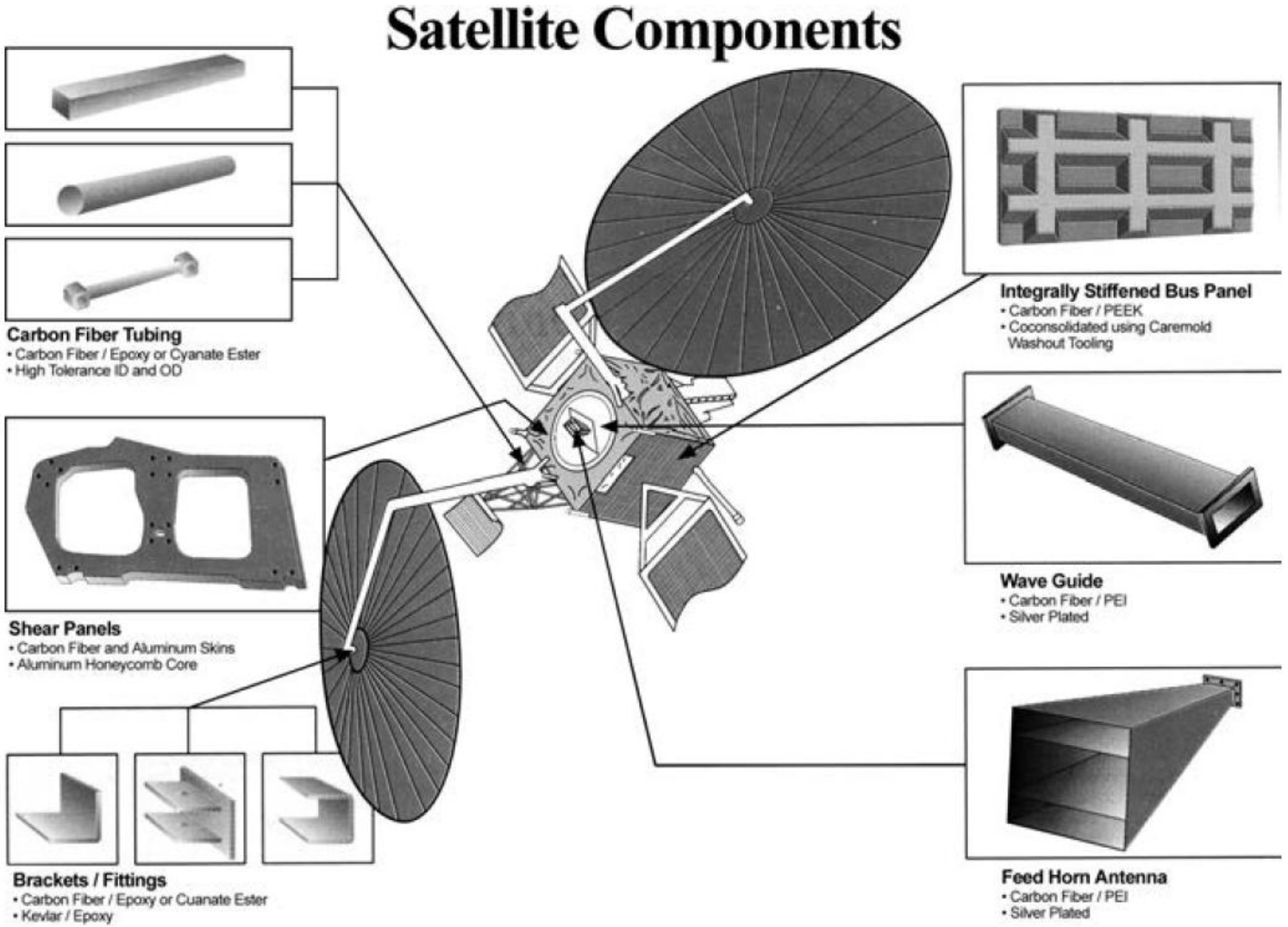
	Composite Components
F-14	Doors, horizontal tails, fairings, stabilizer skins
F-15	Fins, rudders, vertical tails, horizontal tails, speed brakes, stabilizer skins
F-16	Vertical and horizontal tails, fin leading edge, skins on vertical fin box
B-1	Doors, vertical and horizontal tails, flaps, slats, inlets
AV-8B	Doors, rudders, vertical and horizontal tails, ailerons, flaps, fin box, fairings
Boeing 737	Spoilers, horizontal stabilizers, wings
Boeing 757	Doors, rudders, elevators, ailerons, spoilers, flaps, fairings
Boeing 767	Doors, rudders, elevators, ailerons, spoilers, fairings

نقش مواد مرکب در صنایع هوایی

Boeing 777	Boeing 787/Dreamliner
Launched in 2000	*To be launched in 2007*
11% composites	50% composites
70% aluminum	20% aluminum
7% titanium	15% titanium
11% steel	10% steel
1% other	5% other

20% more fuel efficiency
and 35,000 lbs. lighter

نقش مواد مرکب در صنایع فضایی



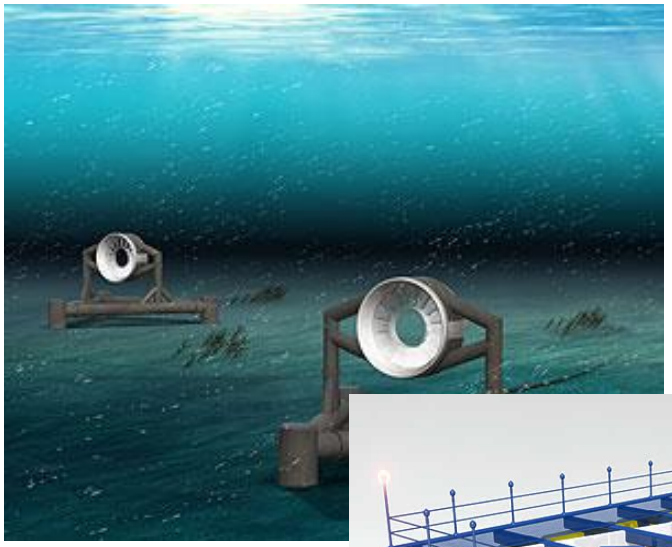
نقش مواد مرکب در انرژی های نو

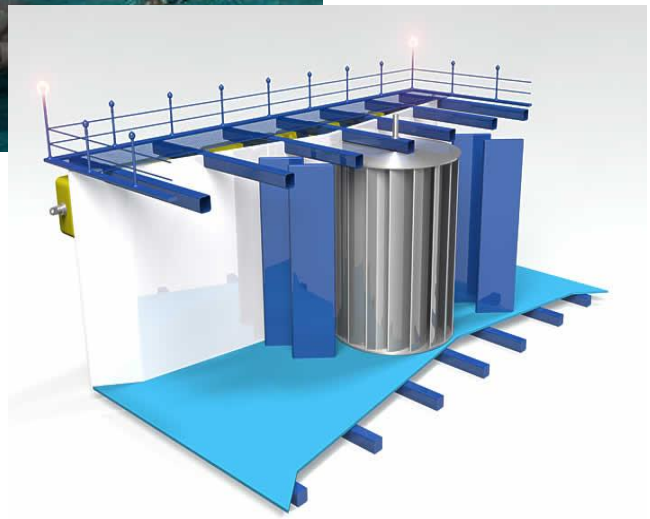
استفاده در توربین های بادی نزدیک به ساحل

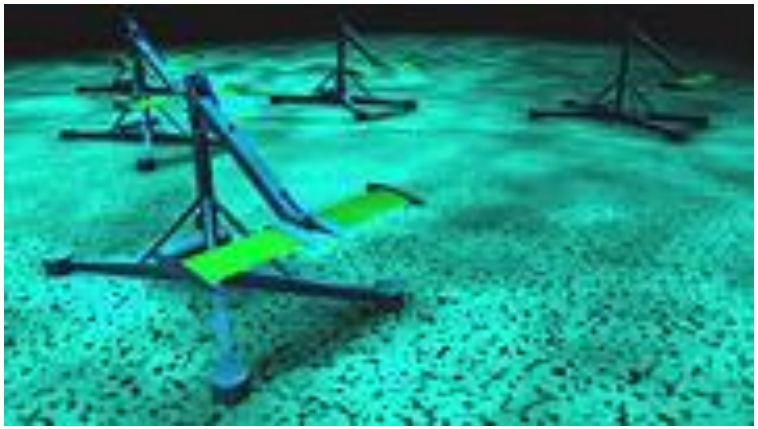
نقش مواد مرکب در انرژی های نو

انرژی های تجدیدپذیر دریایی مثل:

- انرژی امواج
- انرژی جریان های دریایی

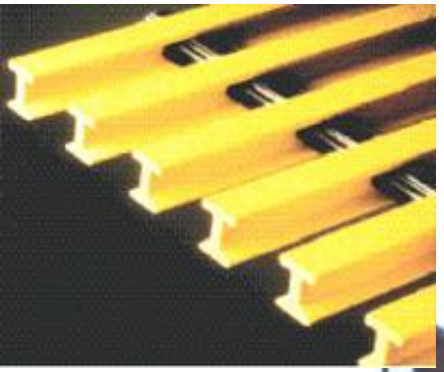






نقش مواد مرکب در صنایع دریایی

جستجو و استخراج میدان های نفت و گاز



نقش مواد مرکب در صنایع دریایی

استفاده در شناورهای زیرسطحی به عنوان مثال در بدنه فشار

نقش مواد مرکب در صنایع دریایی

استفاده در شناورهای سطحی

Inshore IB1	2003	338 kg	4.95 x 2 m	25 knots	FRC structure with Hypalon coated polyester boat fabric
Atlantic 21	1972	1.4 tonnes	6.9 x 2.44 m	32 knots	GRP hull with hypalon-coated nylon tube
Atlantic 75	1992	1.5 tonnes	7.3 x 2.64 m	32 knots	GRP hull with hypalon-coated nylon tube
Mersey	1988	14 tonnes	11.77 x 4 m	16 knots	aluminium or fibre reinforced plastic
Trent	1994	27.5 tonnes	14.26 x 4.9 m	25 knots	fibre reinforced composite
Tamar	2005	30 tonnes	16 x 5 m	25 knots	fibre reinforced plastic (FRP)
Arun	1971	31.5 tonnes	16-17 x 5.43 m	18 knots	glass reinforced plastic
Severn	1996	41 tonnes	17x5.9 m	25 knots	fibre reinforced composite

نقش مواد مرکب در صنایع دریایی

استفاده در شناورهای سطحی

نقش مواد مرکب در خودروسازی

Average Use of Composites in Automobiles per Year, 1988–1993

Applications	Usage ($kg \times 10^6$)	Matrix Material	Usage ($kg \times 10^6$)	Manufacturing Process	Usage ($kg \times 10^6$)
Bumper beam	42	Polyester (TS)	42	SMC (comp. mold)	40
Seat/load floor	14	Polypropylene	22	GMT (comp. mold)	20
Hood	13	Polycarbonate/PBT	10	Injection molding	13
Radiator support	4	Polyethylene	4	Ext. blow mold	5
Roof panel	4	Epoxy	4	Filament wound	3
Other	11	Other	7	Other	8
Total	89	Total	89	Total	89

Source: The Automotive Composites Consortium.[3]

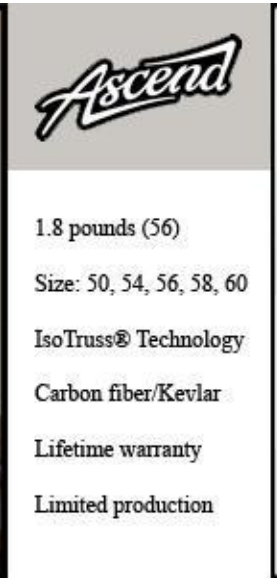
نقش مواد مرکب در صنایع دیگر

صنایع ورزشی

قطعات مختلف ورزشی که نیاز به استحکام به وزن بالا دارند از جمله:

چوب گلف — راکت تنیس

اسکی روی برف — چوب ماهیگیری



نقش مواد مرکب در صنایع دیگر

لوازم خانگی

لوازم خانگی مانند: میز، صندلی، در، کامپیوتر و پرینتر و ...

در این مورد بیشتر از کامپوزیت‌های با الیاف کوتاه استفاده می شود.

مصارف عمرانی و ساختمانی و سازه‌ای

- تعمیر و تقویت پل های موجود و استفاده در ساخت پل های جدید
- استفاده برای پوشش دادن ستون ها برای تقویت در مقابل زلزله

نقش مواد مرکب در صنایع دیگر

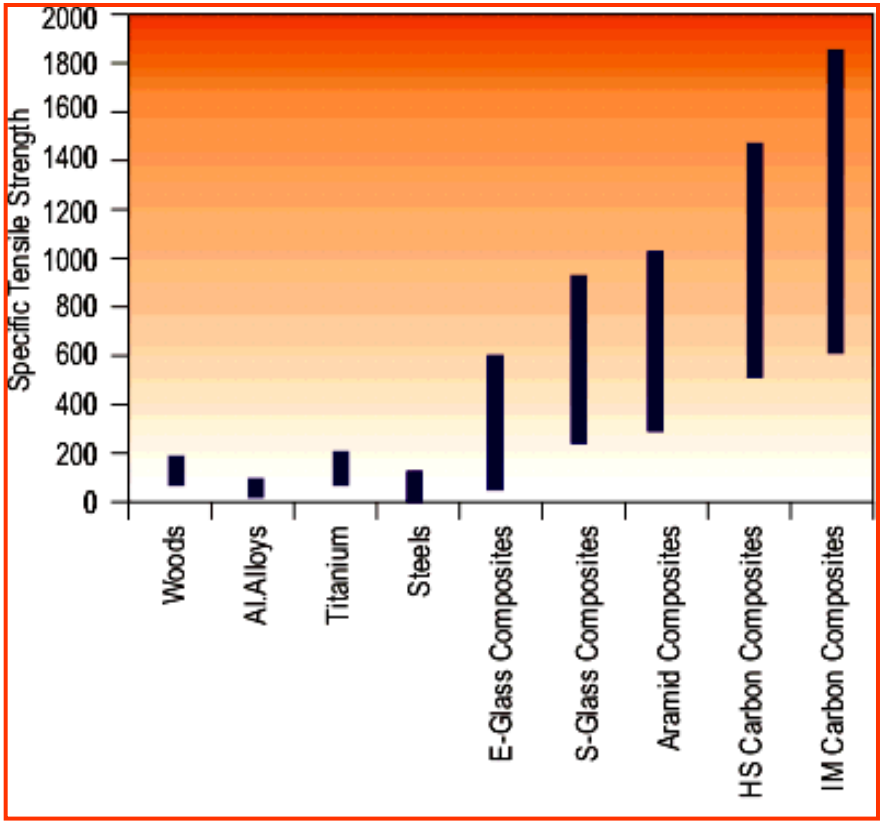
مواد مرکب در تقابل با مواد دیگر

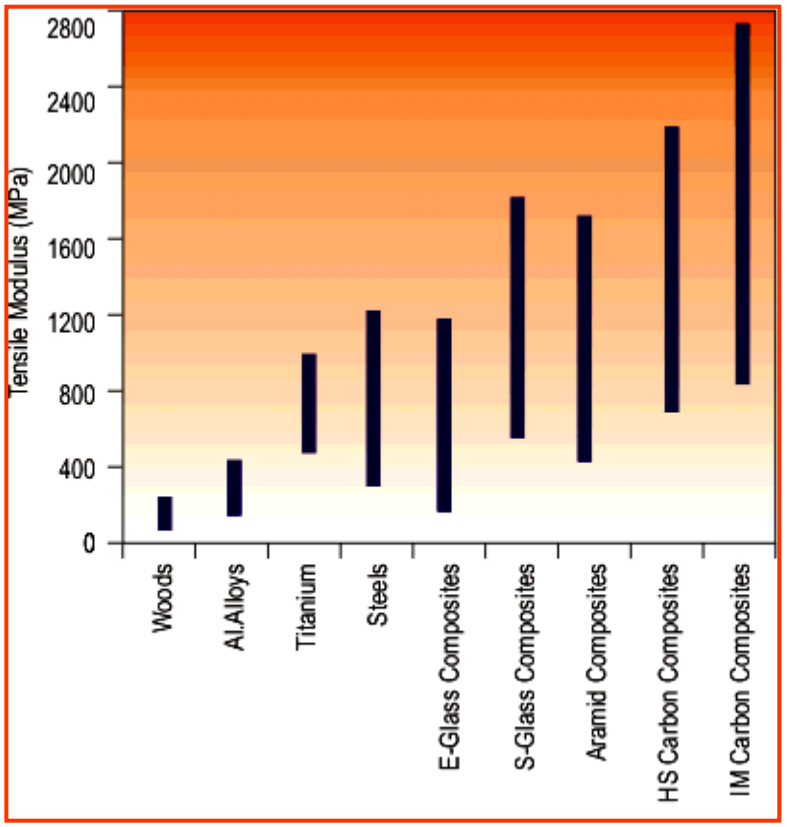
Typical Properties of Some Engineering Materials

Material	Density (ρ) (g/cc)	Tensile Modulus (E) (GPa)	Tensile Strength (σ) (GPa)	Specific Modulus (E/ρ)	Specific Strength (σ/ρ)	Max. Service Temp. (°C)
Metals						
Cast iron, grade 20	7.0	100	0.14	14.3	0.02	230–300
Steel, AISI 1045 hot rolled	7.8	205	0.57	26.3	0.073	500–650
Aluminum 2024-T4	2.7	73	0.45	27.0	0.17	150–250
Aluminum 6061-T6	2.7	69	0.27	25.5	0.10	150–250
Plastics						
Nylon 6/6	1.15	2.9	0.082	2.52	0.071	75–100
Polypropylene	0.9	1.4	0.033	1.55	0.037	50–80
Epoxy	1.25	3.5	0.069	2.8	0.055	80–215
Phenolic	1.35	3.0	0.006	2.22	0.004	70–120
Ceramics						
Alumina	3.8	350	0.17	92.1	0.045	1425–1540
MgO	3.6	205	0.06	56.9	0.017	900–1000
Short fiber composites						
Glass-filled epoxy (35%)	1.90	25	0.30	8.26	0.16	80–200
Glass-filled polyester (35%)	2.00	15.7	0.13	7.25	0.065	80–125
Glass-filled nylon (35%)	1.62	14.5	0.20	8.95	0.12	75–110
Glass-filled nylon (60%)	1.95	21.8	0.29	11.18	0.149	75–110
Unidirectional composites						
S-glass/epoxy (45%)	1.81	39.5	0.87	21.8	0.48	80–215
Carbon/epoxy (61%)	1.59	142	1.73	89.3	1.08	80–215
Kevlar/epoxy (53%)	1.35	63.6	1.1	47.1	0.81	80–215

مزایای مواد مرکب

- نسبت سفتی و استحکام به وزن بالا

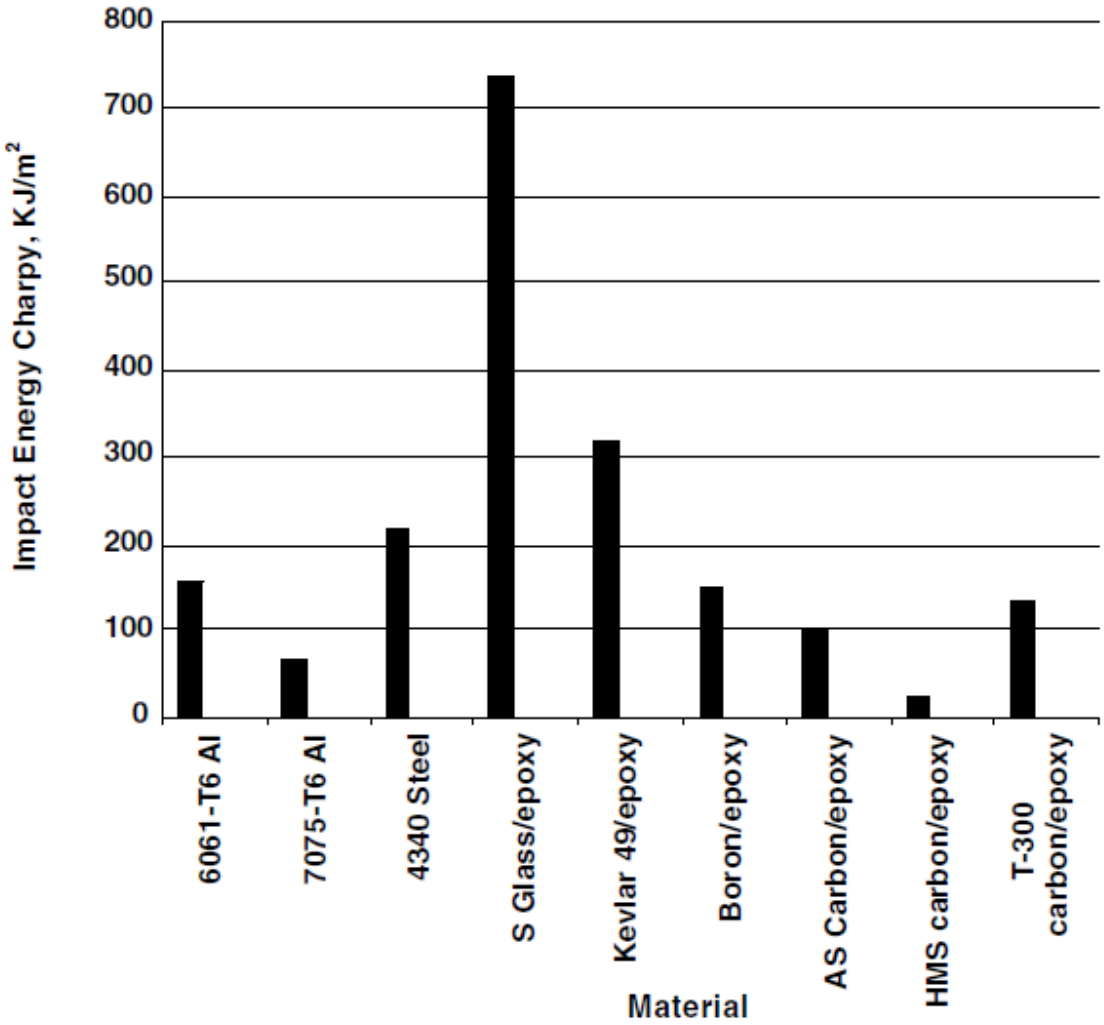




تفاوت در مقادیر یک ماده به نحوه تولید، کیفیت و ... بر می گردد

مزایای مواد مرکب

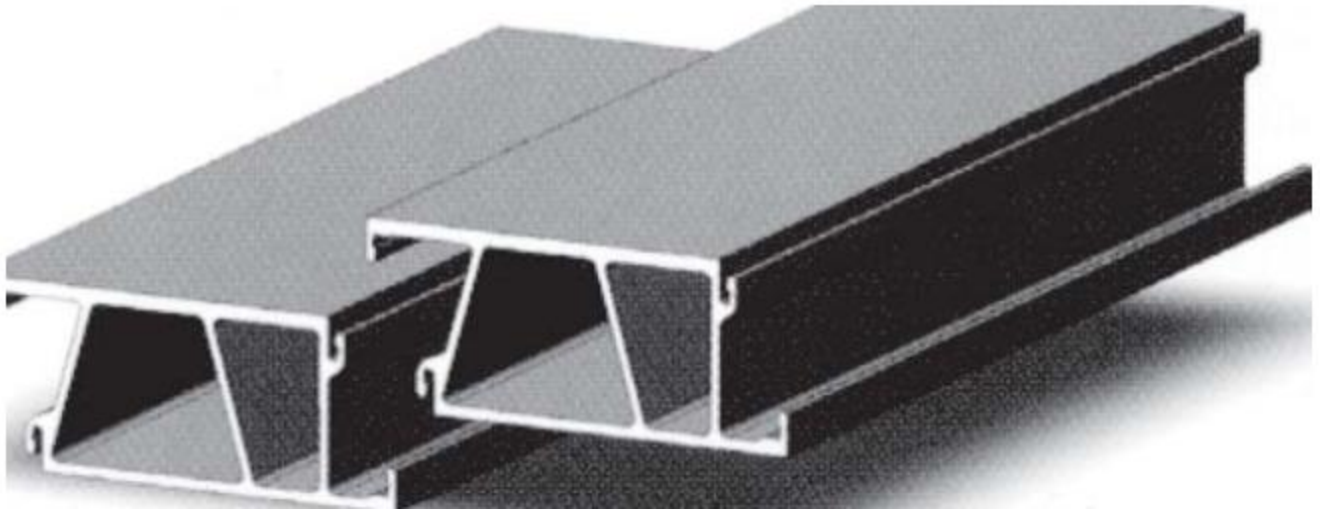
- مقاومت در مقابل ضربه و جذب انرژی



مزایای مواد مرکب

- امکان تولید یکپارچه قطعات پیچیده

بعضا ۳ یا ۴ قطعه فلزی را می توان با یک قطعه کامپوزیتی جایگزین نمود.



مزایای مواد مرکب

- استحکام خستگی بالا

کامپوزیت ها استحکام خستگی بالایی از خود نشان می دهند در مقایسه با فلزاتی مثل فولاد و آلومینیوم که استحکام خستگی آن ها در حدود نصف استحکام استاتیکی آن است در کامپوزیت های تقویت شده با الیاف این عدد به ۹۰ درصد می رسد.

- هزینه کمتر قالب های ساخت

با توجه به دما و فشار کمتری که در فرآیند ساخت کامپوزیت ها نیاز است قالب هایی با هزینه کمتر و شکل پیچیده قابل تولید است.

مزایای مواد مرکب

- آزادی عمل در طراحی
  - ترکیب موادی با خواص مختلف
  - نسبت ها و روش های مختلف ترکیب و ساخت

به عنوان مثال می توان ماده ای با ضریب انبساط حرارتی صفر ساخت

- مقاومت در برابر خوردگی و مواد شیمیایی

استفاده راحت در کنار آب و محیط های خورنده بدون پوشش

- دمپ بهتر نویز و ارتعاشات نسبت به فلزات

مزایای مواد مرکب

- حجم سرمایه گذاری کمتر نسبت به صنایع دیگر

این موضوع سبب شده است که تعداد شرکت های فعال در این زمینه زیاد باشد.

- دوام مناسب

مواد کامپوزیتی طول عمری طولانی در کنار هزینه نگهداری کم را در اختیار صنایع قرار می دهند. بسیاری از قطعات ساخته شده از کامپوزیت در نیم قرن پیش هنوز کارایی خود را از دست نداده اند.

مثال:

قایق های ساخته شده در سال ۱۹۴۷ که تا سال ۱۹۷۰ استفاده شده بودند به دلیل قدیمی بودن طرح از سرویس خارج شدند. آزمایشهای انجام گرفته روی بدنه نشان داد که مواد مرکب مورد استفاده تنها ۲ تا ۳ درصد استحکام خود را از دست داده اند.

معایب مواد مرکب

- ناهمگنی

اغلب مواد مورد استفاده در صنایع از جمله فلزات رفتار همگنی دارند به این معنی که خواص نقاط مختلف ماده یکسان است در کامپوزیت ها بدلیل استفاده از چند جزء خواص نقاط مختلف متفاوت است.

- ناهمسانگردی

خواص مکانیکی کامپوزیت ها مانند مدول الاستیسته و یا استحکام در راستاهای مختلف متفاوت است. همچنین خواصی همچون ضریب انبساط حرارتی، ضریب هدایت گرمایی و الکتریکی، مقاومت در مقابل خزش نیز در راستاهای مختلف متفاوت است. با توجه به اینکه اغلب مواد مهندسی رفتاری نزدیک به همسانگرد یا ایزوتروپیک دارند این رفتار تحلیل این مواد را بسیار پیچیده خواهد کرد.

کلیه آزمایش ها و تحقیقاتی که در سالیان گذشته برای بررسی مواد مهندسی مانند فلزات انجام گرفته و نتایج بدست آمده در اینجا قابل کاربرد نیست.

معایب مواد مرکب

- هزینه مواد اولیه

در مقایسه با فولاد و آلومینیوم هزینه مواد اولیه یک قطعه کامپوزیتی می تواند بین ۵ تا ۲۰ برابر بیشتر باشد.

- نرخ تولید کم

با توجه به اینکه در گذشته تا بحال قطعات بزرگ کامپوزیتی با تعداد بسیار محدود مثلا بین ۱ تا ۳ عدد در روز برای مصارف خاصی مثل قطعات هوایی تولید شده اند روش های تولید کند هستند.

در صنایعی مثل خودروسازی و صنایع ورزشی به تیراژی بیش از ۱۰۰۰ قطعه در روز نیاز است.

- جذب رطوبت توسط کامپوزیت ها

معایب مواد مرکب

- کار در محدوده دمایی کوچک

با توجه به اینکه اغلب کامپوزیت ها از ماتریس پلیمری استفاده می کنند که در دمای بالا به سرعت خواص خود را از دست می دهد محدوده کاری معمولا بین ۴۰-تا ۱۰۰ درجه است.

Maximum Continuous-Use Temperatures for Various Thermosets and Thermoplastics

Materials	Maximum Continuous-Use Temperature (°C)
Thermosets	
Vinylester	60–150
Polyester	60–150
Phenolics	70–150
Epoxy	80–215
Cyanate esters	150–250
Bismaleimide	230–320
Thermoplastics	
Polyethylene	50–80
Polypropylene	50–75
Acetal	70–95
Nylon	75–100
Polyester	70–120
PPS	120–220
PEEK	120–250
Teflon	200–260

معایب مواد مرکب

•عدم امکان بازرسی با روش های متعارف

کامپوزیت ها را نمی توان با روش های متعارف تست مثل: آلتراسونیک، ادی کارنت و تست‌های چشمی مثل رادیوگرافی بررسی کرد.

مثال:

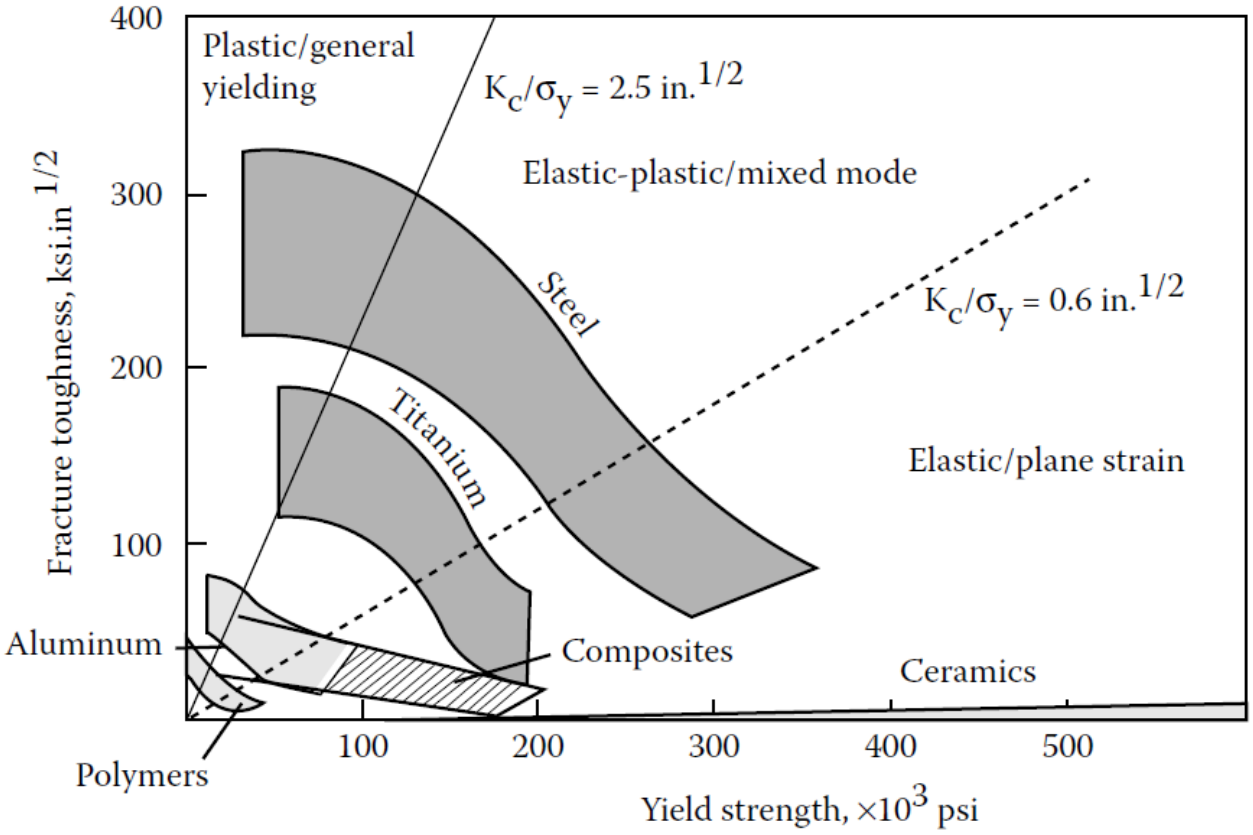
•سقوط ایرباس A300 بدلیل جدا شدن قسمتی از دم از موتور جت در سال ۲۰۰۵ که باعث مرگ ۲۶۵ نفر شد.

در اتصال دم از کامپوزیت گرافیتی به بدنه آسیبی وجود داشت که در تست های انجام شده مشخص نشده بود.

•در سال ۱۹۹۹ کشتی "Young America"بدلیل جدا شدن هسته و صفحه در کامپوزیت ساندویچی دو قسمت شد.

معایب مواد مرکب

- ترکیب استحکام و استحکام شکست کم



معایب مواد مرکب