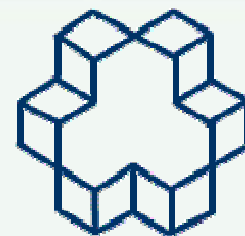




Company Logo

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مواد



کامپوزیت ها (مواد مرکب)

جلسه ششم
(انواع الیاف تقویت کننده و روش های تولید آنها)
(ادامه)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

الیاف کربن



نخستین بار الیاف کربن در سال 1850 میلادی توسط شخصی به نام Swan از کاغذ ساخته شد.

اولین کاربرد آن در سال 1888 توسط ادیسون جهت تولید نور در لامپ بود. در حقیقت ادیسون الیاف کربن را جهت فیلامنت استفاده کرد اما این کاربرد بسرعت منتهی شد، چون الیاف کربن گران بوده و عمر کوتاهی داشت.

در سال 1950 موسسه Wright Patterson نخستین کاربردهای گسترده الیاف کربن را در صنایع هوافضایی شروع کرد.



مواد اولیه تولید الیاف کربن

الیاف کربن الیافی است با قطر کمتر از قطر موی انسان که دارای قطر بین 6 تا 13 میکرون و حاوی بیش از 90 درصد کربن است. الیاف کربن از انواع مواد پلیمری (نظیر پلیمرهای حلقوی و خطی) قابل تهیه است.

پرمصرف ترین مواد به عنوان مواد اولیه جهت تولید الیاف کربن به ترتیب اولویت عبارتند از:

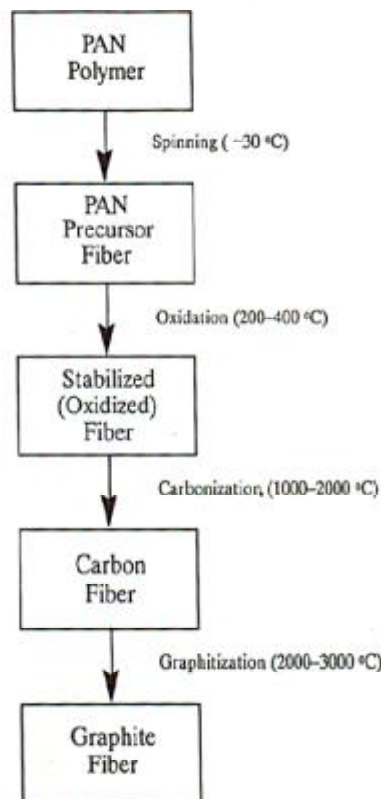
الیاف (PAN) Polyacrylonitrile

قیه (Pitch)

ریون (سلولز مصنوعی) (Rayon)

فرآیند تولید الیاف کربن

فرآیند تولید الیاف کربن شامل دو مرحله اصلی و در مواردی شامل سه مرحله اصلی است:



ü پایدارسازی یا اکسیداسیون (Stabilization)

ü کربونیزاسیون (Carbonization)

ü گرافیت‌کردن (Graphitization)

الیاف کربن



فرآیند تولید الیاف کربن

مرحله اول

پایدارسازی در محیط هوا (اکسیژن) در دمای کم (300 - 180 درجه سانتیگراد) جهت تثبیت الیاف و ذوب نشدن در حین عملیات در دمای کربونیزاسیون از طریق ایجاد اتصالات عرضی بین حلقه های پلیمر.

مرحله دوم

کربونیزاسیون در محیط گاز خنثی در دمای 800-1500 درجه سانتیگراد جهت خروج مواد غیر کربنی به صورت انواع گازها نظیر CO_2 ، CH_4 ، N_2 ، H_2 ، H_2O و HCl و تولید الیاف کربن

مرحله سوم

گرافیته کردن در محیط گاز خنثی در دمای 1500-2800 درجه سانتیگراد جهت افزایش درصد کربن الیاف و بهبود برخی از خواص مانند مدول الاستیک

الیاف کربن



خواص کلی الیاف کربن

استحکام بالا
مدول الاستیک بالا
وزن مخصوص پایین

معایب الیاف کربن

قیمت بالا
تردی بالا
مقاومت برشی ضعیف
دمای کاری کم در محیط اکسیدی



زمینه های کاربرد الیاف کربن

هوافضایی

نازل موشک، دماغه راکت، قطعات مختلف بدنه هواپیما.

نظامی

زره پوش، هلی کوپتر، انواع سلاح ها و ...

ورزشی

راکت تنیس، اسکیت، چوب هاکی، چوب گلف، تخته شنا، چوب اسکی و ...



زمینه های کاربرد الیاف کربن

الکترونیک

کیس کامپیوتر، مدارهای چاپی و ...

پزشکی

ویلچر، ایمپلنت و انواع اندام های مصنوعی نظیر کفشک زانو، لگن و ...

تجاری

شاسی ماشین، موتور و دوچرخه مسابقه ای، لنت ترمز برای هواپیما و ...



زمینه های کاربرد الیاف کربن

انرژی

پره توربین های بادی، لوله های استخراج نفت

ساختمان

جهت تقویت ساختمان های قدیمی و مقاوم به زلزله نمودن ساختمان ها.

الیاف کربن



طبقه بندی الیاف کربن بر اساس میزان استحکام، مدول و یا هر دو صورت می گیرد.
یکی از دسته بندی ها به صورت زیر است:

مشخصات مکانیکی	نماد	نوع الیاف کربن
مدول الاستیک ۶۰۰ گیگاپاسکال یا بالاتر	UHM	الیاف کربن با مدول بسیار بالا
مدول الاستیک بین ۳۵۰ تا ۶۰۰ گیگاپاسکال	HM	الیاف کربن با مدول بالا
مدول الاستیک ۲۸۰ تا ۳۵۰ گیگاپاسکال و استحکام کششی ۴/۵ گیگاپاسکال یا بالاتر	IM	الیاف کربن با مدول متوسط
مدول ۲۰۰ گیگاپاسکال یا پایین تر، استحکام کششی حدود ۲/۵ گیگاپاسکال یا پایین تر	LM	الیاف کربن با مدول کم
مدول الاستیک ۲۰۰ تا ۲۸۰ گیگاپاسکال و استحکام کششی حدود ۳۰۰ گیگاپاسکال یا بالاتر	SM	الیاف کربن با مدول استاندارد

U → *Ultra*
H → *High*
M → *Modulus*
I → *Intermediate*
L → *Low*
S → *Standard*



الیاف کربن



نمونه هایی از خواص و مشخصات برخی الیاف کربن تجاری پایه PAN

<i>Characteristic</i>	<i>High strength^a</i>	<i>Super high strength^b</i>	<i>High modulus^c</i>
Filament diameter (μm)	5.5–8.0	5.4–7.0	8.4
Density (g cm^{-3})	1.75–1.80	1.78–1.81	1.96
Carbon content (wt%)	92–95	99–99+	99+
Tensile strength (MPa)	3100–4500	2400–2550	1865
Tensile modulus (GPa)	225–260	360–395	520
Strain at fracture (%)	1.3–1.8	0.6–0.7	0.38
Electrical resistivity ($\mu\Omega\text{m}$)	15–18	9–10	6.5
Thermal conductivity (W(mK)^{-1})	8.1–9.3	64–70	–120

^aThornel T-300, T-500, T-600, T-700 (Union Carbide Corporation); Celion 3000, 6000, 1200 (Celanese Corporation); AS2, AS4, AS6, IM6 (Hercules Corporation).

^bThornel T-50, Celion G-50, HMS.

^cCelion GY-70.

الیاف کربن



نمونه هایی از خواص و مشخصات برخی الیاف کربن تجاری پایه قیر

<i>Property</i>	<i>Thornel P555</i>	<i>Thornel P755</i>	<i>Thornel P200</i>
Filament diameter (μm)	10	10	10
Density (g cm^{-3})	2.02	2.06	2.15
Carbon content (wt%)	99	99	99+
Tensile strength (MPa)	1895	2070	2240
Tensile modulus (GPa)	380	517	690
Strain at fracture (%)	0.5	0.4	0.3
Electrical resistivity ($\mu\Omega\text{m}$)	7.5	4.6	2.5
Thermal conductivity (W(mK)^{-1})	110	185	515

الیاف کربن



نمونه هایی از خواص و مشخصات برخی الیاف کربن تجاری پایه ریون

استحکام کششی (GN/m ²)	مدول الاستیک (GN/m ²)	نام سازنده	نام محصول
۲/۰۷	۳۴۵	Union Carbide	Thornel 50
۲/۵۲	۵۱۷	Union Carbide	Thornel 75
۲/۰۷	۳۴۵	Hitco	HMG-50
۱/۷۲	۲۷۶	Union Carbide	Thornel 40
۱/۷۲	۲۷۶	Hitco	HMG-40
۰/۸۳	۴۱	Union Carbide	VyB-701/2
۰/۶۲	۳۴	Union Carbide	VyB-851/2
۱/۰۳	۱۷۲	Hitco	HMG-25
۱/۳۸	۲۸	Hitco	GY2-1
۱/۲۱	۲۸	Polycarbon	Cx5/Cx2
۰/۹۷	۲۸	Carborundum	GSCy-2-5



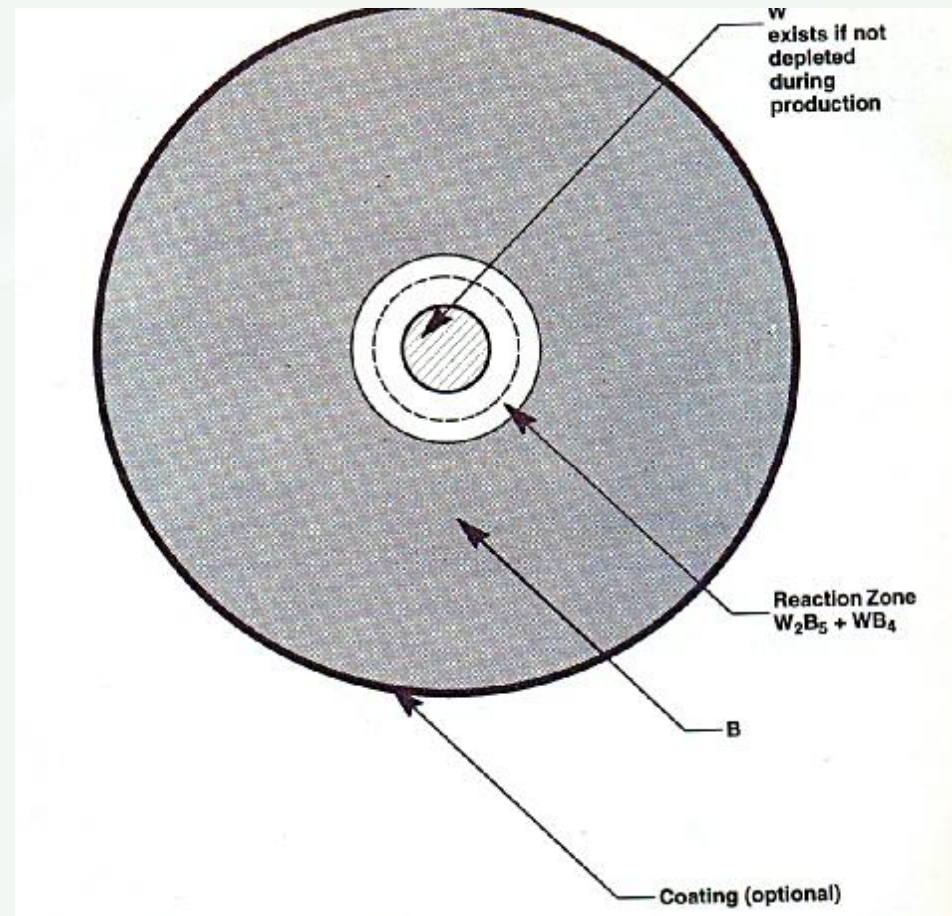
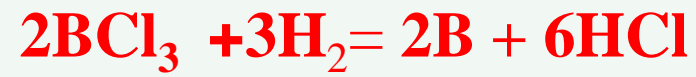
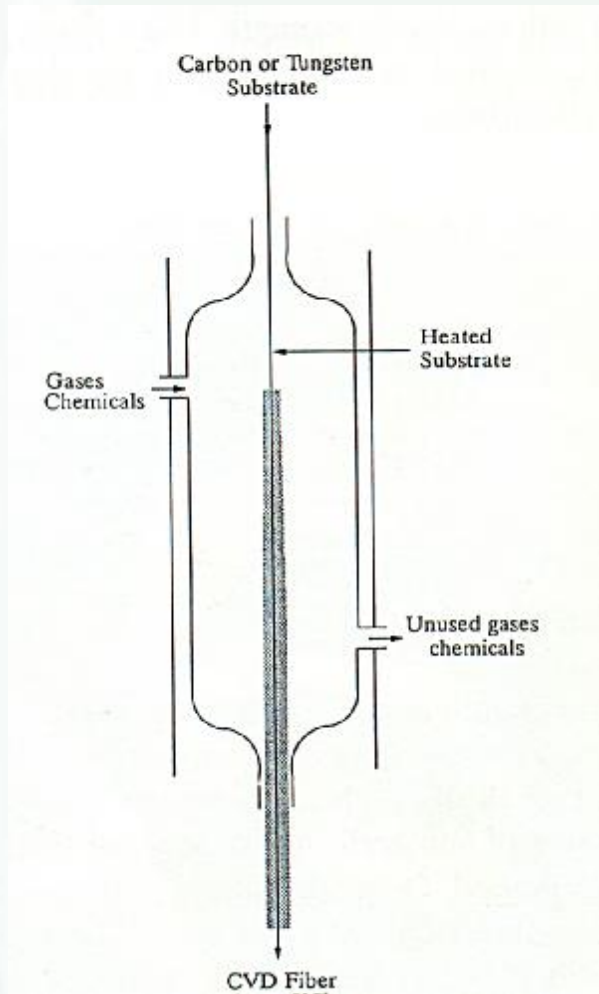
الیاف بور

روش اصلی تولید الیاف بور، روش رسوب نشانی شیمیایی از فاز بخار **Chemical Vapor Deposition (CVD)** است که اولین بار در دهه 60 در آمریکا ساخته شد.

در این روش گاز تری کلرید بور به همراه گاز هیدروژن وارد محفظه رسوب گذاری می شود. مواد مذکور در دمای حدود 1370 درجه سانتی گراد در روی الیاف تنگستن (که به عنوان پیش زمینه وارد محفظه می شود) واکنش نموده و بوراید تنگستن روی الیاف رسوب می کند. علاوه بر این، گاز HCl نیز ایجاد شده که از محفظه خارج می شود. در ادامه با افزایش ضخامت لایه رسوب، بوراید تنگستن حاصل بتدریج کم شده و در لایه های رویی عمدتاً الیاف بور داریم، لذا گفته می شود که **الیاف بور، یک الیاف کامپوزیتی است.**

الیاف پیش زمینه ورودی، بتدریج وارد محفظه واکنش شده و از طرف دیگر پس از اتمام واکنش از محفظه خارج شده و بر روی قرقره پیچیده می شود.

اللياف بور



الیاف بور



قطر الیاف تنگستن ورودی حدود 0/013 میلیمتر و قطر الیاف بور تولیدی حدود 0/2 - 0/1 میلیمتر است.

جنس پیش زمینه می تواند علاوه بر تنگستن از کربن یا سیلیکا نیز باشد.

کامپوزیت های الیاف بور عمدتاً در کاربردهای نظامی همچون هواپیماهای جنگی نظیر F14 و F16 بکار می روند.

کامپوزیت های اپوکسی - الیاف بور به علت خواص کششی عالی و حفظ آن به همراه مدول با افزایش دما، در کاربردهای فضایی استفاده می شوند.

قیمت الیاف بور به علت بالا بودن قیمت الیاف پیش زمینه و نوع فرآیند، بالا می باشد.

الیاف بور



مزایای الیاف بور

- استحکام کششی در حدود 3-4 گیگاپاسکال
- مدول یانگ 380-400 گیگاپاسکال
- دانسیته در حدود 2/34 گرم بر سانتیمتر مکعب
- نقطه ذوب 2040 درجه سانتیگراد

خواص نمونه هایی از الیاف بور

Diameter Fracture (μm)	Treatment	Strength (average*) (GPa)	COV ⁺ (%)	Relative fracture energy
142	As-produced	3.8	10	1.0
406	As-produced	2.1	14	0.3
382	Chemical polish	4.6	4	1.4
382	Heat treatment plus polish	5.7	4	2.2

*Gage length = 25 mm.

⁺ Coefficient of variation = standard deviation/average value.



الیاف کاربید سیلیسیم

یکی از روش های تولید الیاف کاربید سیلیسیم (SiC) روش CVD است. این الیاف از متداول ترین تقویت کننده های با مدول بالا می باشد که در دهه 60 در آمریکا ساخته شد.

معمولاً از الیاف کربن و در برخی از موارد از الیاف تنگستن به عنوان پیش زمینه استفاده می شود. خواص کاربید سیلیسیم رسوب کرده روی رشته کربن در دمای بالا بهتر است. گازهای سیلیکون آلی حاوی سیلیسیم و کربن یا آلکیل سیلان ها با ساختار Si-C-Si وارد محفظه واکنش شده و با تجزیه آنها، SiC روی الیاف پیش زمینه رسوب پیدا می کند.

برخی گازهای مورد استفاده شامل $C_7H_8SiCl_4$ و CH_3SiCl_3 می باشند.



الیاف کاربید سیلیسیم



الیاف SiC یکی از پر مصرف ترین انواع الیاف برای کامپوزیت های زمینه فلزی بخصوص آلومینیم و یا زمینه های سرامیکی بشمار می رود.

کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده با الیاف SiC تا دمای حدود 480 درجه سانتیگراد مورد استفاده قرار می گیرند.

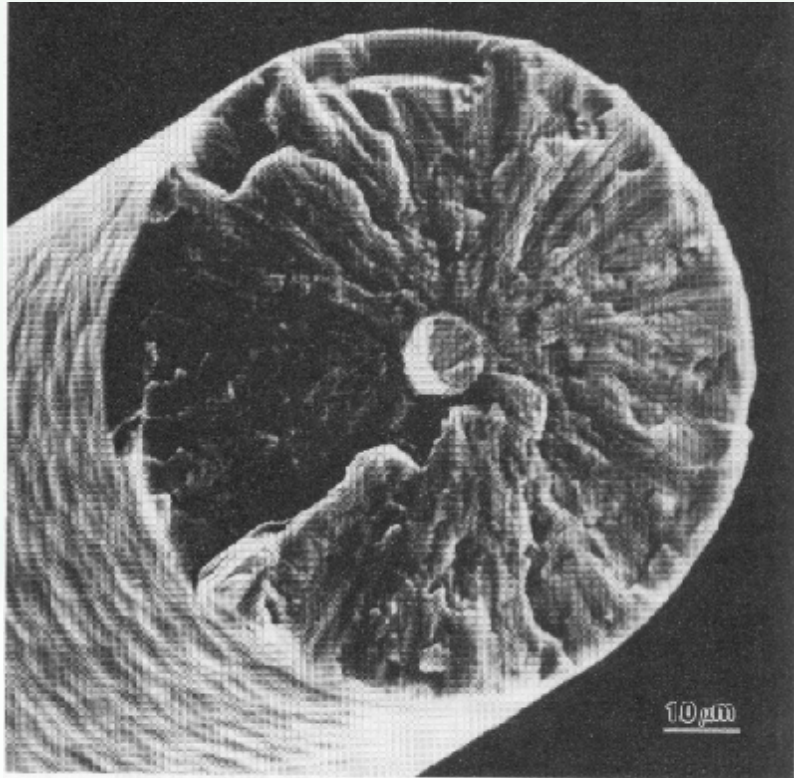


Fig. 3.36 Fracture surface of *sigma* CVD SiC fiber showing brittle fracture (courtesy of BP).

خواص نمونه ای از الیاف SiC

Composition	Diameter (μm)	Density (g cm^{-3})	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)
β -SiC	140	3.3	3500	430

الیاف آلومینا



الیاف آلومینا (Al_2O_3) نوعی الیاف سرامیکی است که دارای نقطه ذوب بالاتر از 2000 درجه سانتیگراد است و ویسکوزیته مذاب آن مناسب نیست. به همین دلیل برای تولید الیاف آلومینا روش ذوب ریسی مناسب نبوده و از روش های دوغابی و چرخاندن محلول استفاده می شود.

روش دوغابی: در این روش، محلول معلق در آب از ذرات بسیار ریز اکسید آلومینیم (آلومینا) به صورت دوغاب تهیه شده و مواد افزودنی جهت پایدارسازی حالت تعلیق و پلیمر برای اصلاح ویسکوزیته به دوغاب اضافه می شوند. سپس دوغاب با ویسکوزیته مناسب از حدیده به صورت الیاف خارج شده و با حرارت دهی، ضمن خشک شدن، مواد افزودنی نیز خارج و تف جوشی ایجاد می شود.

الیاف آلومینا



روش چرخاندن محلولی

در این روش، محلولی بسیار غلیظ و ویسکوز از ترکیب آلومینا استفاده شده که درون محفظه ای حاوی تعداد زیادی سوراخ 100-200 میکرونی قرار گرفته و با چرخاندن آن، آلومینا به صورت الیاف خارج شده و سپس مشابه روش قبل عملیات حرارتی روی آن صورت می پذیرد.

خواص نمونه ای از الیاف آلومینا

Chemical composition	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 99.5 \text{ wt}\%$
Crystal structure	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
Color	white
Diameter	$10 \mu\text{m}$
Number of filaments	1000 filaments/yarn
Density	3.6 g cm^{-3}
Tensile strength	1.8 GPa
Elastic modulus	320 GPa

