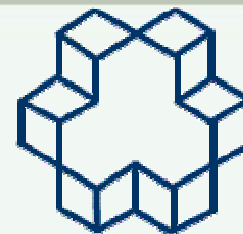




Company Logo

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد



کامپوزیت ها (مواد مرکب)

جلسه یازدهم
(مواد مرکب زمینه سرامیکی)

دکتر رضا اسلامی فارسانی



آشنایی با سرامیک ها

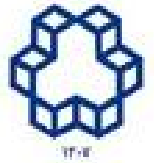
ü سرامیک ها دارای پیوند عمدتاً یونی و یا در مواردی کووالانسی هستند و ساختار آنها می تواند کریستالی، آمورف و یا مخلوط باشد.

ü سرامیک ها عموماً دارای پایداری شدید گرمایی و شیمیایی هستند.

ü این مواد معمولاً به صورت دوغاب ریخته شده و با استفاده از چسب های آلی تحت فشار شکل داده می شوند و سپس در دماهای بالا پخت می شوند.

ü سرامیک ها ترد هستند و لذا در صورت کارایی سایر مواد در دمای مورد نظر عموماً از سرامیک ها استفاده نمی شود.

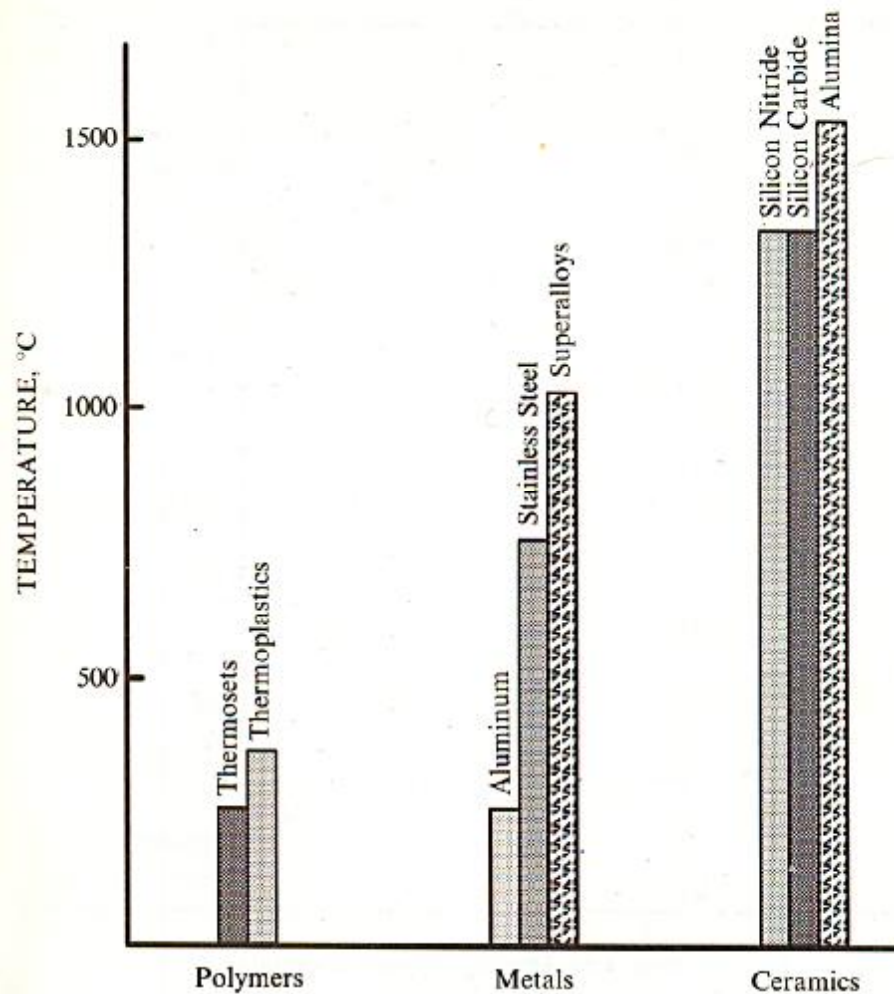
مواد مرکب زمینه سرامیکی



مشخصه های اصلی سرامیک ها

۱ تحمل دماهای بالا

حد تحمل دما برای سرامیک ها بسیار بیشتر از فلزات و پلیمرها است و آنها قادرند تا دماهای حدود 1500 درجه سانتیگراد را به راحتی تحمل کنند.



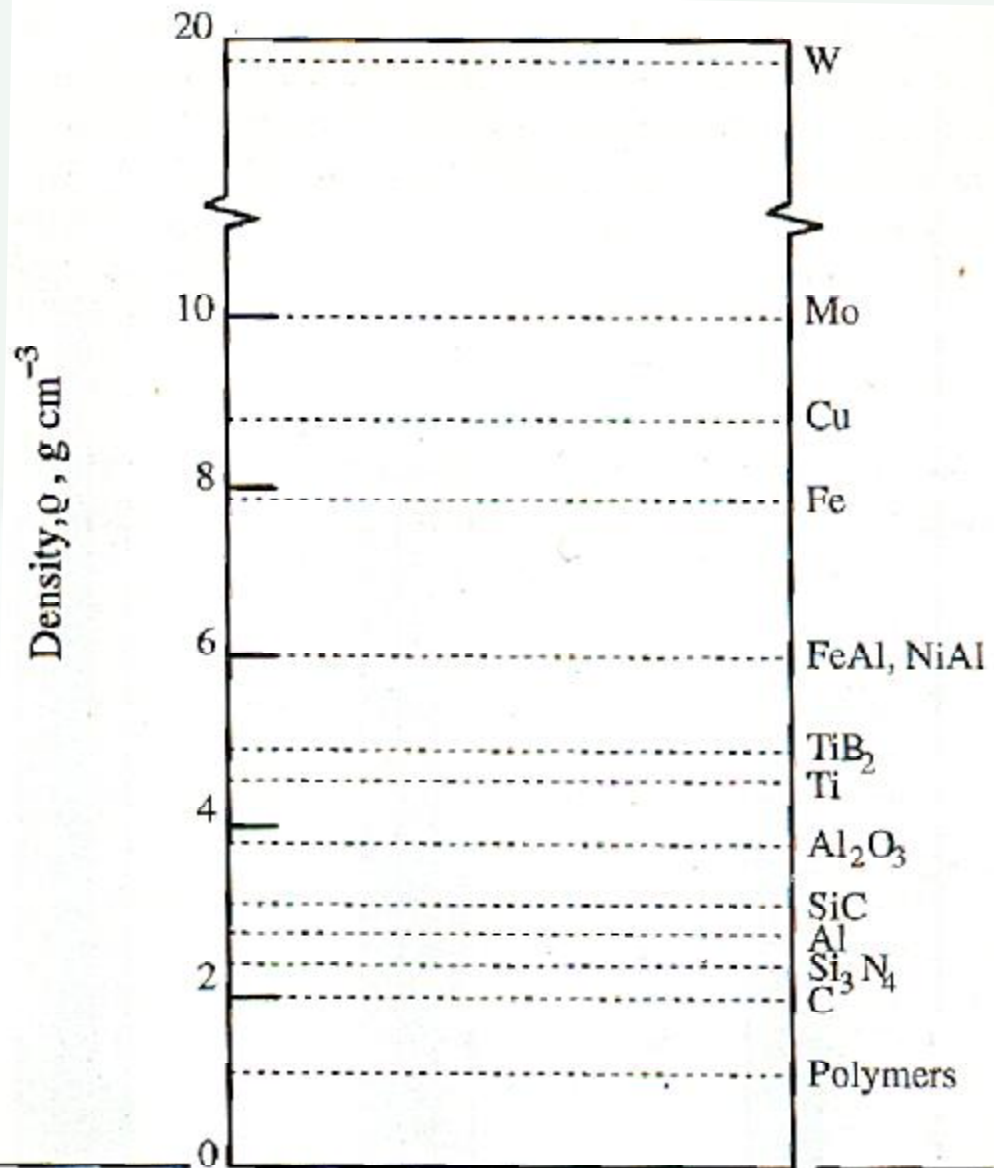
مواد مرکب زمینه سرامیکی



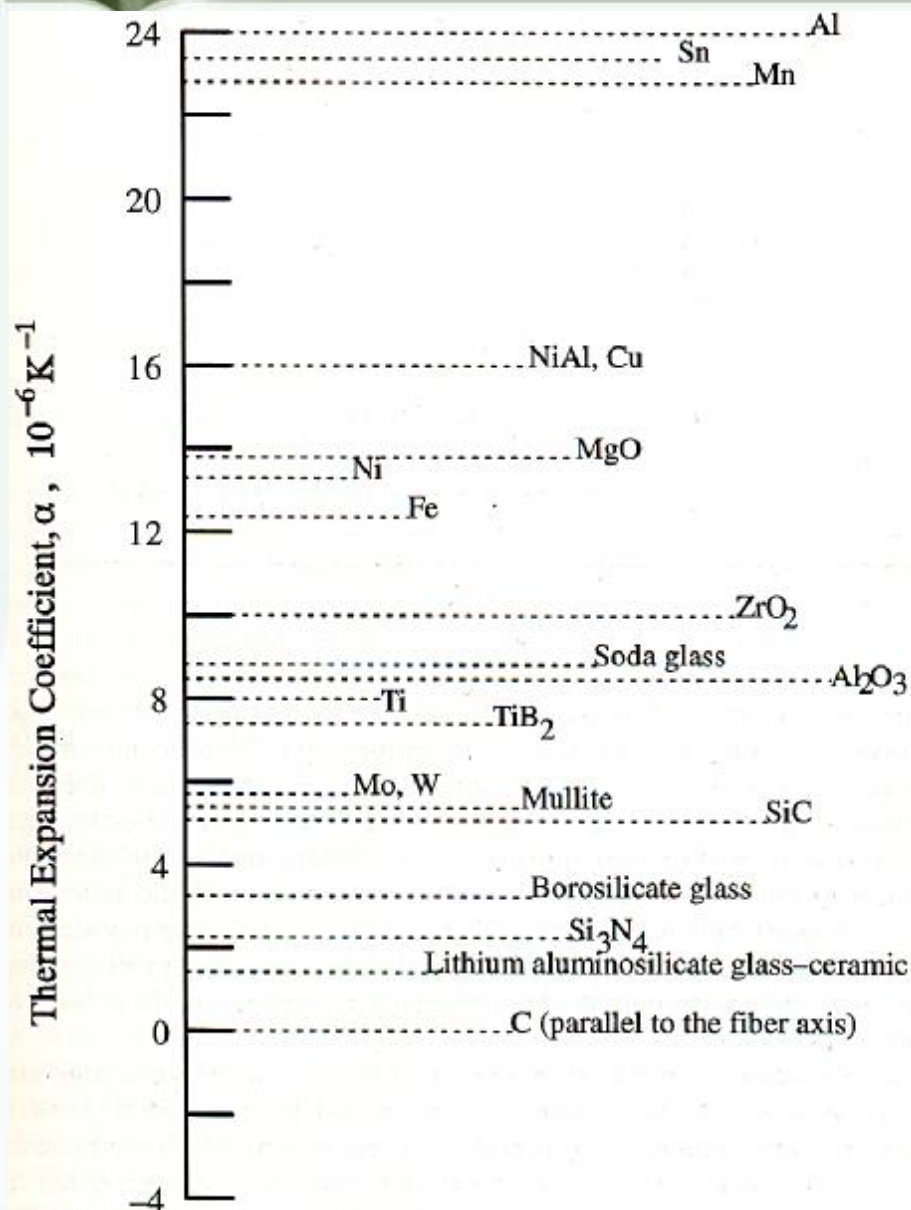
مشخصه های اصلی سرامیک ها

دانشیته پایین

سرامیک ها دارای دانشیته بسیار کمتری در مقایسه با اغلب فلزات هستند.



مواد مرکب زمینه سرامیکی



مشخصه های اصلی سرامیک ها

ü پایین بودن ضریب انبساط حرارتی

از پایداری ابعادی بالاتر در دماهای بالا نسبت به فلزات برخوردار هستند.



مشخصه های اصلی سرامیک ها

ü مهمترین عیب سرامیک ها چقرمگی شکست پایین آنهاست. این بدان معناست که سرامیک ها ترد و شکننده بوده و ترک های ایجاد شده در آنها به سرعت رشد پیدا کرده و باعث تخریب ماده می شوند.

ü معایب دیگر سرامیک ها شامل فرآیند ساخت پیچیده آنهاست که هزینه فرآوری را افزایش می دهد و از طرف دیگر سرامیک ها قابل تعمیر نیستند.

مواد مرکب زمینه سرامیکی



مقایسه چقرمگی شکست برای برخی مواد مهندسی

Material	$K_{Ic}, MPa m^{1/2}$
Polymers	
Polyethylene	1–2
Nylon	3
Epoxy, polyester	0.5
Metals	
Pure metals (copper, nickel, aluminum)	100–300
Aluminum alloys	20–50
Titanium alloys	50–100
Low carbon steel	50
Cast iron	4–10
Ceramics	
Sodalime glass	0.5–1
Magnesium oxide	3
Alumina	1–3
Silicon carbide	2–4
Silicon nitride	3–5



مواد مرکب زمینه سرامیکی



مقایسه خواص مکانیکی و فیزیکی برخی از مواد سرامیکی

	Density, ρ ($g\ cm^{-3}$)	Melting point ($^{\circ}C$)	Young's modulus E (GPa)	Coefficient of thermal expansion, α ($10^{-6}\ K^{-1}$)	Fracture toughness K_{Ic} ($MPa\ m^{1/2}$)
Al_2O_3	3.9	2050	380	7-8	1-3
SiC	3.2	—	420	4.5	2.2-3.4
Si_3N_4	3.1	—	310	3.1	2.5-3.5
MgO	3.6	2850	210	3.6	—
Mullite	3.2	1850	140	5.3	3.0-4.0
Borosilicate glass	2.3	—	60-70	3.5	0.5-2
Soda-lime glass	2.5	—	60-70	8.9	0.5-1

مواد مرکب زمینه سرامیکی



با افزودن ذرات فاز دوم به زمینه سرامیکی عیوب سرامیک ها به حداقل رسیده، ولی مزایای آن حفظ می شود.

مهمترین هدف در تولید و توسعه مواد مرکب زمینه سرامیکی بهبود میزان چقرمگی شکست سرامیک ها در دماهای تا 1000 درجه سانتیگراد است.

ذرات تقویت کننده معمولاً سرامیکی و نیمه پایدار هستند. در دماهای بالا این فازهای نیمه پایدار به فازهای پایدار تبدیل شده که با افزایش حجم روبرو است. افزایش حجم در سیستم موجب ایجاد تنش های فشاری شده که از رشد ترک جلوگیری به عمل آورده و باعث افزایش میزان چقرمگی شکست می شود.

مواد مرکب زمینه سرامیکی



وجود ذرات فاز دوم در زمینه سرامیکی به تغییر مسیر و همچنین انحراف ترک در ساختار و در مواردی توقف رشد ترک کمک می کند و از این طریق سبب بهبود چقرمگی شکست می شود.

معمولاً برای چقرمه سازی مواد مرکب زمینه سرامیکی از تقویت کننده های سرامیکی و اکسیدها استفاده می شود ولی فلزات چقرمه بکار نمی روند. این بدان علت است که تقویت کننده های سرامیکی خواصشان را تا دماهای بالا حفظ می کنند اما فلزات استحکام و مدول خود را در دماهای میانی از دست می دهند.



توسعه مواد مرکب سرامیکی به دو دلیل عمده نسبت به مواد دیگر به کندی صورت گرفته است:

(1) در این دسته مواد تنها از تقویت کننده های سرامیکی می توان استفاده نمود چون فرآوری آنها در دمای بالا صورت می گیرد.

(2) تفاوت ضریب انبساط حرارتی زمینه و تقویت کننده منجر به ایجاد تنش های حرارتی شده که در مواد مرکب زمینه فلزی با تغییر شکل مومسان زمینه آزاد می شود، اما در مواد مرکب زمینه سرامیکی باعث شکست زمینه می شود.

مواد مرکب زمینه سرامیکی



دماغه راکت، نازل های راکت، محفظه احتراق موتور جت، اجزای توربین و بسیاری از قطعات موتور، سرامیکی هستند که مواد مرکب زمینه کربنی در بسیاری از این کاربردها به خوبی توانسته اند جانشین این سرامیک ها شوند.

مواد مرکب فوق حتی در دماهای بالا (حدود 3300 درجه سانتیگراد) نیز مقاوم بوده و به مدت کوتاه (2-1 دقیقه) می توانند در برابر شوک حرارتی مقاومت کرده و ذوب یا تجزیه نشوند.

موارد کاربرد این مواد مرکب در دماهای بالا شامل جداره خارجی فضاپیما و سایر قطعات مشابه و کارآمد در هواپیما یا فضاپیما می باشد.

فرآوری مواد مرکب زمینه سرامیکی



بطور کلی روش های فرآوری مواد مرکب زمینه سرامیکی عبارتند از:

۱. روش مخلوط کردن و پرس مرسوم

۲. روش های دوغابی

۳. فرآوری حالت مایع

۴. فرآیند سل - ژل

۵. روش های رسوب بخار

۶. روش های درجا

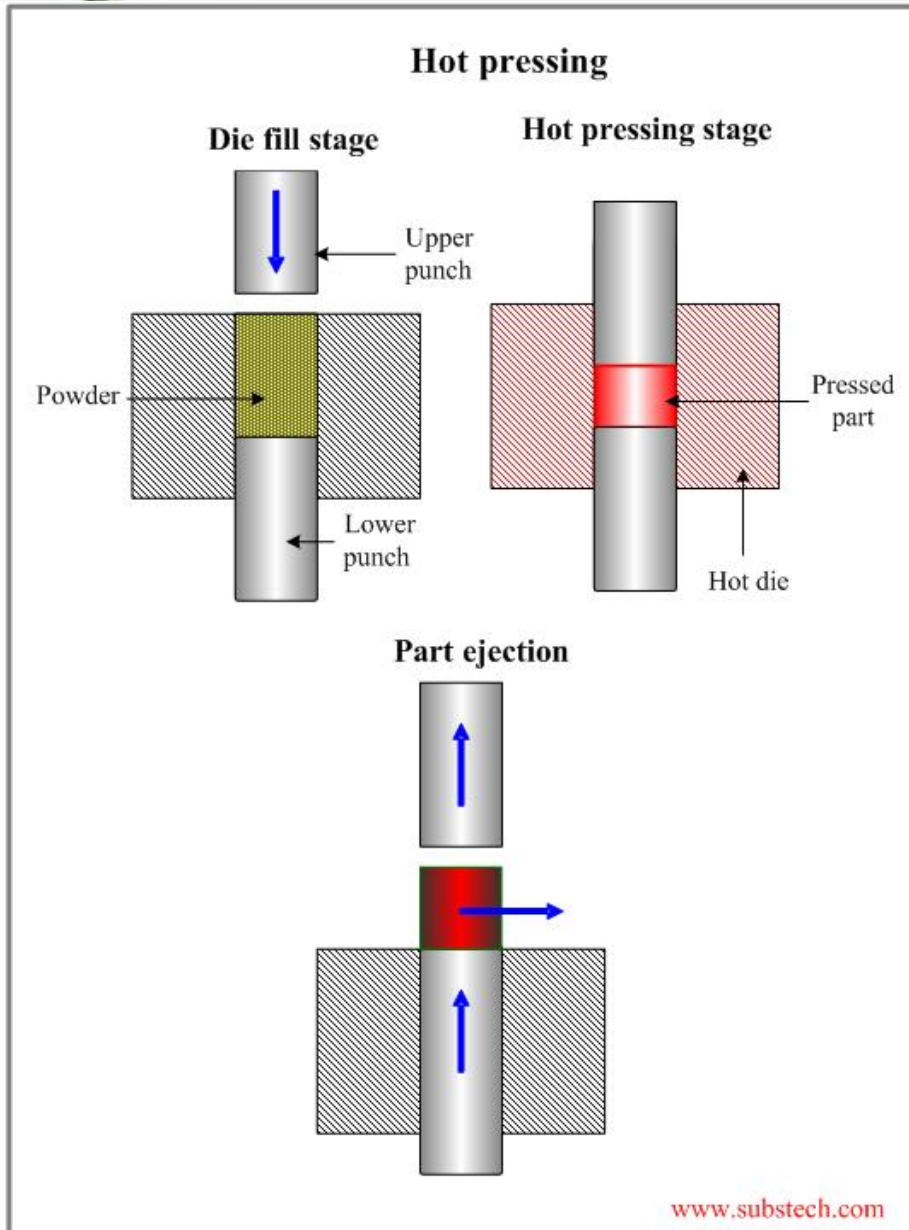


روش مخلوط کردن و پرس مرسوم

در این روش پودر اجزای سازنده زمینه به همراه تقویت کننده چقرمه کننده (ذرات، الیاف کوتاه یا ویسکر) به همراه چسب با هم مخلوط شده و در ادامه تحت فشار قرار گرفته و سپس تف جوشی می شوند و یا پس از مخلوط سازی تحت پرس گرم قرار می گیرند.

از مهمترین معایب این روش می توان به خوشه ای شدن ویسکرها و همچنین خسارت های وارده به آنها در حین فرآیند پرس اشاره کرد. بنابراین در این روش نمی توان نسبت بالای فاز چقرمه کننده را به آسانی بدست آورد.

فرآوری مواد مرکب زمینه سرامیکی



روش مخلوط کردن و پرس مرسوم





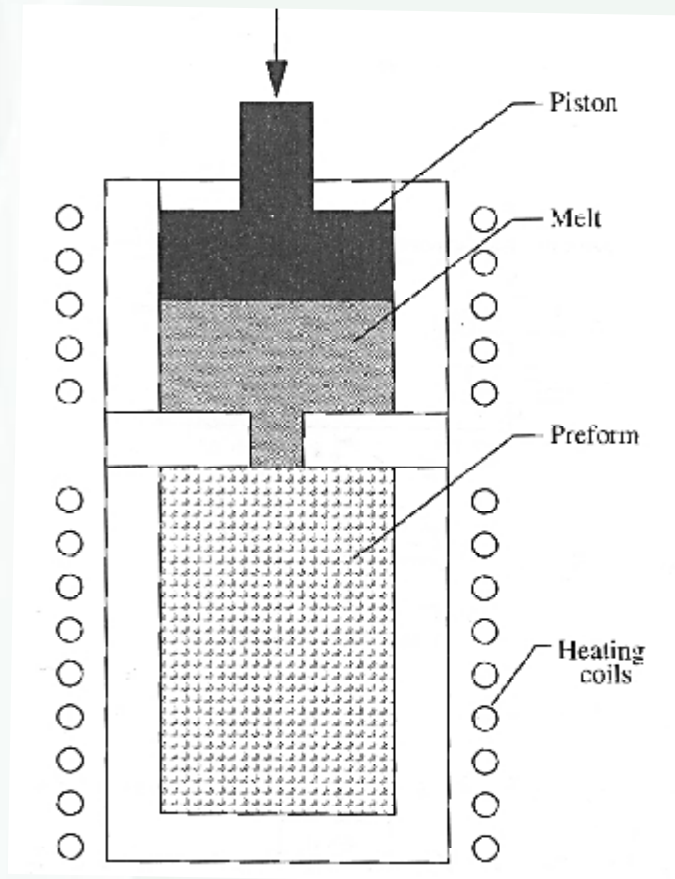
روش دوغابی

این روش شامل تهیه دوغاب از مواد تقویت کننده و زمینه (مخلوط کردن در یک حلال مناسب)، پخش کردن مطلوب آنها با استفاده از هم زن یا آلتراسونیک و در ادامه فرآیند ریخته گری دوغابی آن است.

در روش دیگر پس از خشک کردن دوغاب و خروج حلال آبی، عملیات فشردن سرد و سپس تف جوشی و یا پرس گرم صورت می گیرد.

روش دوغابی به منظور حل مشکلات مربوط به توزیع مطلوب فاز تقویت کننده در روش مخلوط کردن و پرس مرسوم بکار می رود.

فرآوری حالت مایع



روش های حالت مایع برای سرامیک ها بطور محدود استفاده می شود، چون در دماهای بالای ذوب مواد سرامیکی، احتمال واکنش بین زمینه و فاز تقویت کننده زیاد است. از طرف دیگر به علت ویسکوزیته بالا سرعت نفوذ مذاب به داخل پیش شکل کم می باشد.



فرآوری حالت مایع

یکی از روش های حالت مایع مرسوم، روش قالب گیری انتقالی زمینه است که برای اشکال استوانه ای رایج می باشد. پیش شکل به همراه قطعه شیشه ای خام وارد قالب استوانه ای شده و با کمک گرما و فشار شیشه سیال وارد منافذ پیش شکل شده و پس از سرد شدن لوله کامپوزیتی از قالب خارج می شود.



فرآیند سل - ژل

سل، ذرات کوچکتر از 100 نانومتر هستند که در اثر ایجاد رسوب از یک واکنش شیمیایی در محلول حاصل می شوند.

ژل، در حقیقت سلی است که مقداری از آب خود را از دست داده است و ویسکوزیته آن افزایش پیدا کرده است.

روش های مختلفی برای تولید کامپوزیت زمینه سرامیکی با کمک فرآیند سل - ژل وجود دارد.



فرآیند سل - ژل

در یکی از این روش ها، الیاف مورد استفاده ابتدا وارد محفظه ای حاوی سل شده و لایه ای از سل روی آن قرار می گیرد و سپس خشک شده و به دور ماندن پيچیده می شود. این قطعه که هنوز در حالت سل است حرارت داده شده و سل تبدیل به ژل شده و بدنه سرامیکی ایجاد می شود.

در روش دیگر، تقویت کننده ویسکری یا ذره ای با زمینه به صورت سل یا ژل مخلوط شده و در ادامه این مخلوط خشک می شود. در نهایت نیز فرآیندهای فشردن و سپس سینترینگ یا فرآیند فشردن داغ انجام می پذیرد.



فرآیند سل - ژل

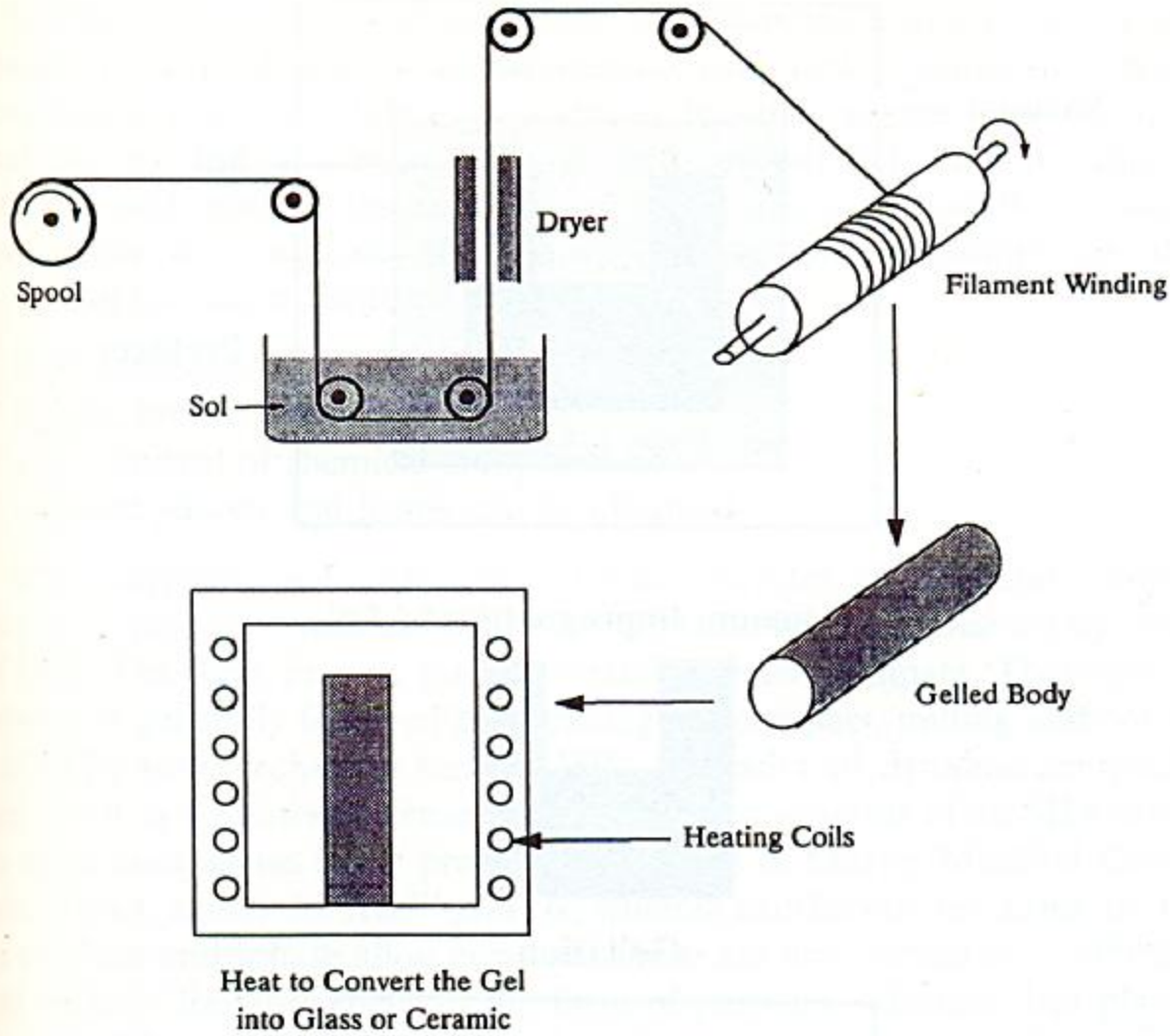
در روش دیگر، سل را می توان بر روی یک پیش شکل ریخته تا به علت سیالیت سل، به داخل آن نفوذ کند. سپس فرآیند حرارت دهی در دمای کم جهت خشک کردن انجام می شود.

در این فرآیند به دلیل انقباض بسیار زیاد و بهره وری پایین، نیاز به تکرار فرآیند نفوذ و خشک کردن برای رسیدن به وزن مخصوص بالاست. در نهایت نیز عملیات پخت صورت می پذیرد.

مهمترین مزیت این فرآیند دمای پایین آن است که احتمال خرابی پیش شکل را کاهش می دهد.



فرآوری مواد مرکب زمینه سرامیکی



فرآیند سل - ژل



روش های رسوب بخار

روش های متعددی از رسوب یک بخار برای تولید مواد مرکب زمینه سرامیکی وجود دارد که مرسوم ترین روش آن، فرآیند رسوب شیمیایی از بخار (Chemical Vapor Deposition-CVD) است. در این روش، واکنش های شیمیایی در حالت گازی منجر به رسوب یک جامد بر روی سطح یک بستر گرم شده می شوند.

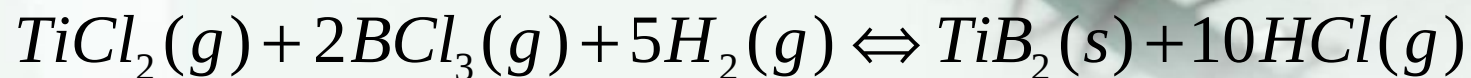
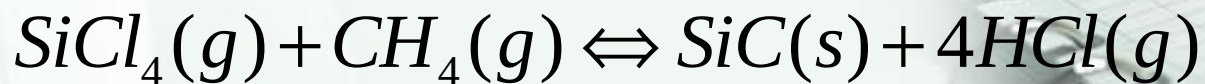
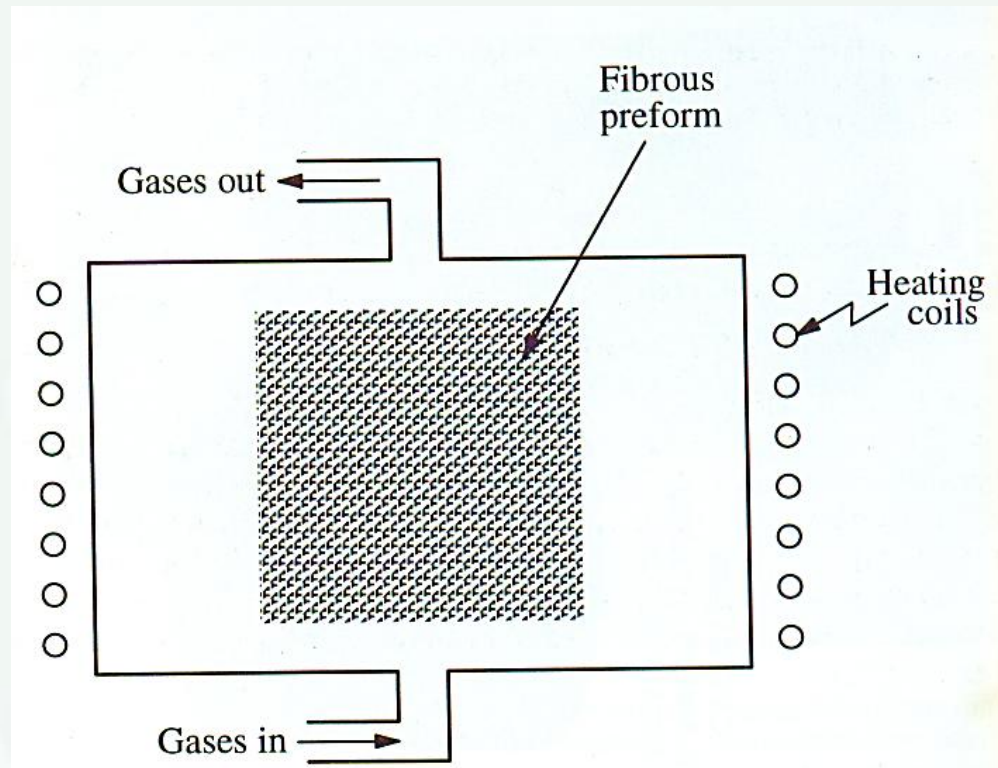
در مواد مرکب زمینه سرامیکی از این روش برای تراوش دهی پیش شکل های متخلخل به منظور ایجاد زمینه ها استفاده می شود که این روش را تراوش دهی شیمیایی بخار (Chemical Vapor Infiltration/Injection-CVI) گویند.



فرآوری مواد مرکب زمینه سرامیکی



روش تراوش دهی شیمیایی بخار





فرآیند لنگساید و روش های درجا

این فرآیند شامل ساخت یک زمینه سرامیکی توسط واکنش میان یک فلز مذاب و یک گاز است. برای مثال می توان به واکنش آلومینیم مذاب با اکسیژن جهت تولید آلومینای زمینه اشاره کرد.

رشد سرامیک مزبور از سطح فلز اولیه و از میان پیش شکل یا حتی مواد تقویت کننده بدون حالت پیش شکلی (نظیر ذرات یا الیاف) انجام می شود.

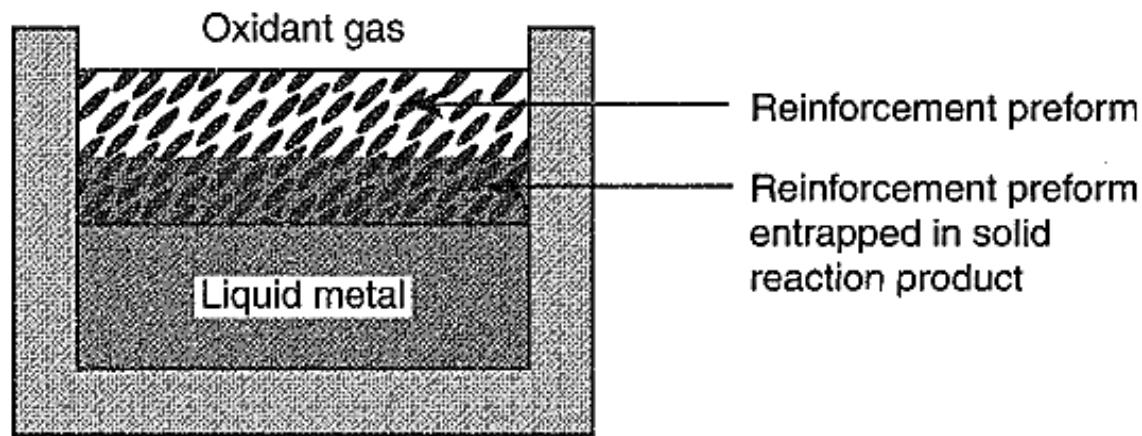
در حالت کاربرد ذرات یا الیاف باید این مواد با گاز واکنش انجام نداده و توسط سرامیک خیس شوند.



فرآیند لنگساید و روش های درجا

در روش لنگساید (تراوش به پیش شکل)، گاز به فلز تزریق شده تا سرامیک تشکیل شده و بتدریج با نفوذ به درون پیش شکل رشد کند. در این فرآیند 4 لایه به ترتیب از پایین به بالا وجود دارد:

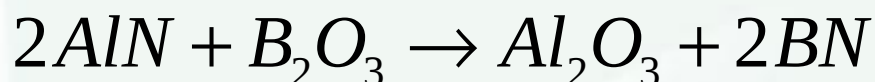
- 1- فلز مایع
- 2- پیش شکل خورانده شده
- 3- پیش شکل
- 4- محیط گازی واکنش دهنده



فرآوری مواد مرکب زمینه سرامیکی



در روش های جدید دیگر ماده مرکب توسط یک واکنش شیمیایی به صورت درجا شکل می گیرد. برای مثال:



اگر واکنش بشدت گرمازا باشد، می تواند خود انجام شود. بدین معنا که اگر در قسمتی از ماده واکنش آغاز شود، با توسعه آن به کل ماده موجود، واکنش ادامه می یابد. برای مثال:

