بسم الله ...

www.Asec.ir

مقدمه ای بر کامپوزیت ها

کامپوزیت های زمینه فلزی و سرامیکی

کلیه حقوق این اثر متعلق به مرکز مهندسی هوافضا می باشد

www.Asec.ir

AeroSpace Engineering Center
مرکز مهندسی هوافضا

مقدمه ای بر کامپوزیت ها

کامپوزیت های زمینه فلزی و سرامیکی

در سایت مرکز مهندسی هوافضا

گروه سازه

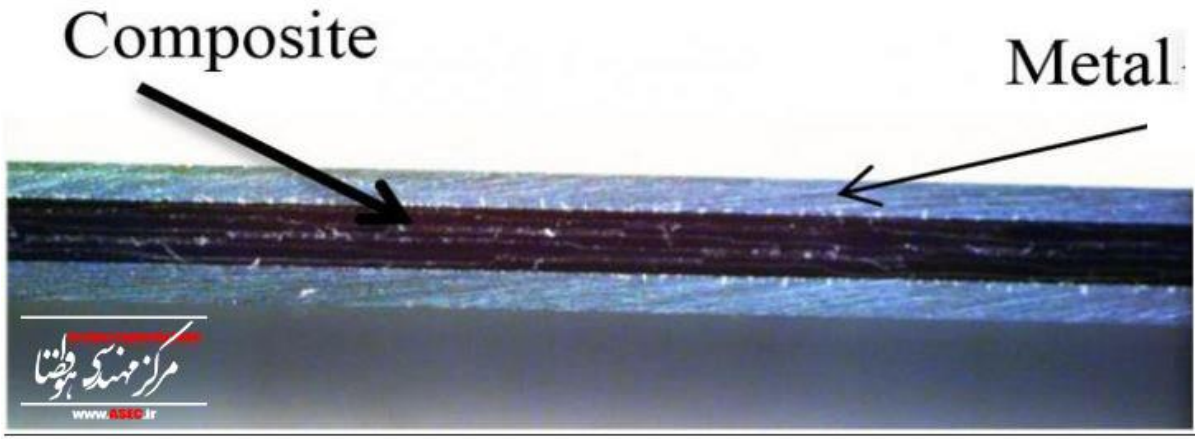
کلیه حقوق این اثر متعلق به مرکز مهندسی هوافضا می باشد و هرگونه کپی برداری و انتشار از این سند غیر مجاز است.

مقدمه :اگرچه کامپوزیت های زمینه فلزی (MMC) نسبتاً تازه وارد هستند و مدت زیادی نیست که در زمره ی مواد مهندسی قرار گرفته اند، ولی هر روز بهبود خواص و آگاهی بیشتر از این مواد حاصل می شود. بهبود مسائل اقتصادی این مواد منجر به کارگیری این مواد در ساختارهای آینده می شود.

تعریف :یک سیستم کامپوزیتی زمینه فلزی عمدتاً به سادگی و با استفاده از یک زمینه ی ساخته شده از یک آلیاژ فلزی ساخته می شود که بوسیله ی یک تقویت کننده ی سرامیکی محافظت می شود برای مثال کامپوزیت ۶۰۶۱ AL/30v/oSicpاز یک آلیاژ تقویت شده با ۳۰ درصد حجمی تقویت کننده ی سیلیسیم کاربید، تشکیل شده است. البته تعریفی که کردیم، یک تعریف کامل سیستم کامپوزیتی نیست زیرا این تعریف اطلاعاتی در زمینه ی فرایند تثبیت و استحکام بخشی نداده است. همچنین در مورد عملیات حرارتی دوباره یا جهت گیری خاص الیاف نیز صحبت نکرده است.

پس با توجه به صحبت های گفته شده می فهیمم که باید نکاتی را بدانیم تا بتوانیم کامپوزیت های زمینه فلزی را از دیگر انواع مواد کامپوزیتی تمیزدهیم. از این لحاظ، چندین تفاوت این کامپوزیت ها را در زیر آورده ایم:

فاز زمینه ی یک کامپوزیت زمینه فلزی، یا یک فلز آلیاژی است و یا یک فلزخالص است. (نه یک پلیمر یا سرامیک)



ساختار کامپویت زمینه فلزی

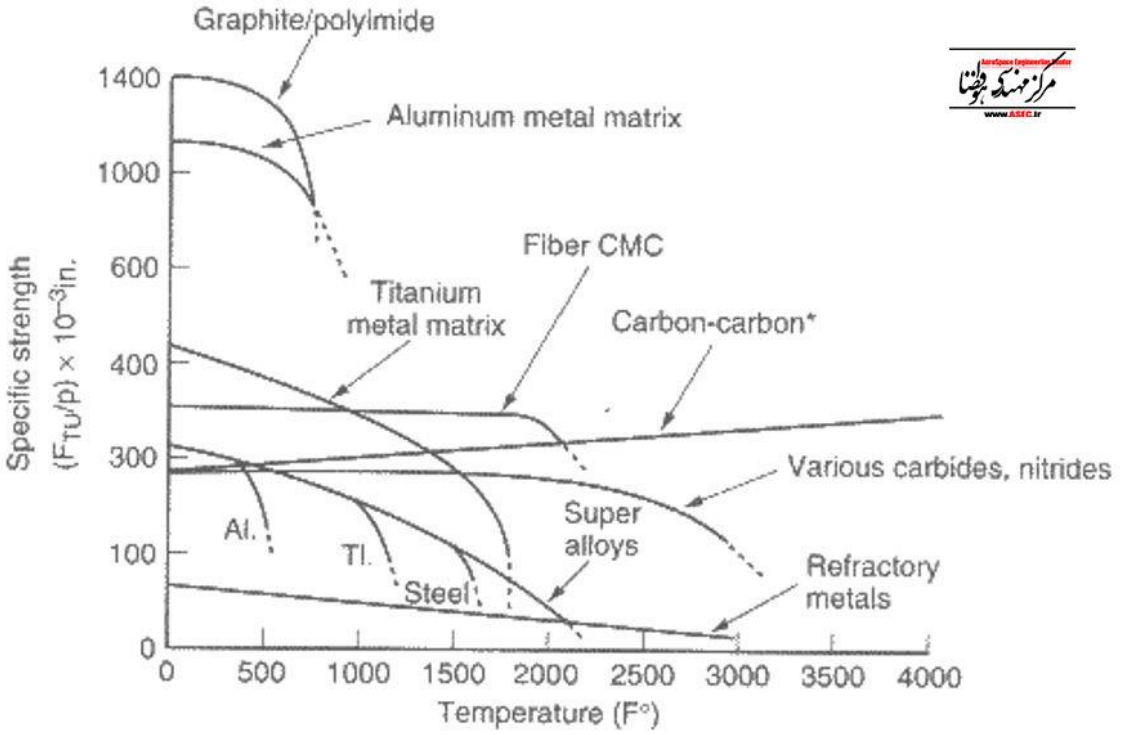
کامپوزیت های زمینه فلزی از سرامیک ها یا کامپوزیت های زمینه سرامیکی (CMC) داکتیل تر و دارای تافنس بیشتری هستند. اگرچه در مقایسه با آلیاژهای تقویت نشده مورد استفاده در زمینه، این کامپوزیت ها داکتیلیتی کمتری دارند و از لحاظ تافنس نیز ضعیف ترند.

نقش تقویت کننده در کامپوزیت های زمینه فلزی، افزایش استحکام و مدول است،درست شبیه به کامپوزیت های زمینه پلیمری ولی در مورد کامپوزیت های زمینه سرامیکی، تقویت کننده عمدتاً نقش کاهش خسارات ناشی از تاب برداشتن را بر عهده دارند.

کامپوزیت های زمینه فلزی عمدتاً ظرفیت گرمایی بزرگ تری نسبت به پلیمرها و کامپوزیت های زمینه پلیمری دارند ولی ظرفیت گرمایی آنها از سرامیک ها و کامپوزیت های زمینه سرامیکی کم تر است.

مواد زمینه : (Matrix Materials)

فلزات یکی از مواد بسیار مناسب برای مواد مهندسی هستند. یک ماده ی فلزی دارای گستره ی وسیعی از خواص قابل کنترل است. که این خواص با انتخاب عناصر آلیاژی و فرآیندهای ترمومکانیکی کنترل می گردد. استفاده ی گسترده از فلز نه تنها استحکام و تافنس بالای این ماده را نشان می دهد بلکه سهولت نسبی و قیمت پایین تولید قطعات مهندسی با گستره ی وسیعی از روش های تولید را نیز نشان می دهد. برای رسیدن به خواص مطلوب مانند سختی، مقاومت در برابر خستگی و سایش و استحکام بالا در عین دارا بودن خواص مانند کاهش ضریب انبساط گرمایی و رسانش، باید زمینه ی فلزی با یک استحکام دهنده ی مناسب ترکیب شود. البته هزینه ی رسیدن به چنین خواص بهبود یافته ای یکی از چالش های پیش رو در کاربردهایی است که پتانسیل استفاده کردن از کامپوزیت های زمینه فلزی در آن ها وجود دارد. در مقایسه با انواع دیگر کامپوزیت (زمینه پلیمری و زمینه سرامیکی)، کامپوزیت های زمینه فلزی به طور واضح با ترکیبات خاص و فرآیندهای تولید متفاوت درگیر هستند. این مسأله بطورعمده بخاطر تفاوت های ذاتی بین فلز با پلیمر و سرامیک است. (این مواد در زمینه ی کامپوزیت استفاده می شوند) . در حقیقت در مورد این مسأله زمینه ی کامپوزیت در ایجاد خواص مربوطه نسبت به تقویت کننده ها بیشتر تأثیر دارد. فلزات خالص مات و عناصر شیمیایی درخشانی اند و به طورکلی رساناهای خوبی برای گرما و الکتریسیته هستند.



قابلیت بالای دمایی کامپوزیت زمینه فلزی و سرامیکی

همچنین اگر سطحشان را پویش کنیم، تمایل دارند که نور را به خوبی منعکس کنند. اکثر فلزات داکتیل هستند اما آنها نسبتاً مواد پردانسیته ای هستند. این خواص فلزات منعکس کننده ی طبیعت پیوند اتمی در فلزات است. در فلزات اتم ها تمایل دارند که الکترون از دست دهند، که نتیجه ی این مسأله ایجاد یون های مثبت می شود. در مقابل این مسأله سرامیک ها و پلیمرها موادی هستند که از لحاظ شیمیائی ترکیبی از عناصر هستند. پیوندها در مواد سرامیکی و پیوندهای بین مولکولی در پلیمرها نتیجه ی اشتراک بین اتم ها و یا انتقال الکترون ها از اتمی به اتم دیگر است. به دلیل عدم وجود الکترون های آزاد در سرامیک ها و پلیمرها (درپلیمرها به علت وجود پیوندهای و اندروالس، الکترون آزاد وجود ندارد.) رسانایی گرمایی و الکتریکی ضعیف است و قابلیت تغییر شکل و تافنس در مقایسه با مواد فلزی کم تر است.

نقش مواد مورد استفاده در زمینه :

اتخاب آلیاژهای زمینه برای کامپوزیت های زمینه فلزی بوسیله ی چندین ملاحظه انجام می شود. و به عنوان یک مسأله ی بسیار خاص، به شکل تقویت کننده (از لحاظ مداوم بودن و یا نبودن) توجه بسیار می شود. استفاده از الیاف مداوم به عنوان تقویت کننده ممکن است باعث انتقال مقدار زیادی از بار اعمالی، به تقویت کننده شود. افزایش استحکام این نوع کامپوزیت با افزایش میزان استحکام الیاف بکار برده در ساخت آنها، زیاد می شود. نقش های عمده ی آلیاژ زمینه بوسیله ی انتقال بهتر بال به الیاف و جلوگیری از رشد

ترک در زمانی که در الیاف شکست اتفاق می افتد، انجام می شود، بنابراین آلیاژ زمینه برای کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده با الیاف مداوم بیشتر از مواد چقرمه انتخاب می شود تا با استحکام بالا. براین اساس، در کامپوزیت های تقویت شده با الیاف مداوم از آلیاژهای زمینه ای استفاده می شود که استحکام کمتر، داکتیلیتی بیشتر و تافنس بیشتر داشته باشند. برای کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده با الیاف کوتاه (غیر مداوم) زمینه ممکن است در استحکام کامپوزیت تأثیر زیادی داشته باشد. پس در انتخاب زمینه ممکن است توجه به نیاز استحکام کامپوزیت تأثیر داشته باشد و از این رو نیاز به آلیاژهای زمینه ای مستحکم تر می باشد. ملاحظات اضافی در انتخاب زمینه شامل تقویت کننده های بالقوه یا واکنش های ماتریکس در هنگام فرآیند تولید یا در هنگام کارکرد است. این ملاحظات ممکن است باعث کارکرد بدتر کامپوزیت، تنش گرمایی بوجود آمده به علت عدم تناسب در انبساط گرمایی تقویت کننده و زمینه و تأثیر رفتار خستگی زمینه بر روی واکنش سیکلی کامپوزیت، شود. درحقیقت رفتار کامپوزیت های زمینه فلزی در شرایط اعمال نیروهای سیکلی، بخشی است که نیازمند ملاحظات خاصی است. در کامپوزیت های زمینه فلزیی که برای استفاده در دماهای بالا استفاده می شوند، یک ملاحظه ای اضافی توجه به تفاوت دمای ذوب بین تقویت کننده و زمینه است. تفاوت زیاد در دمای ذوب ممکن است باعث ایجاد خزش در هنگامی که تقویت کننده هنوز الاستیک است و حتی در دماهایی که زمینه در حال رسیدن به نقطه ی ذوب است، اتفاق افتد. به هر حال در هنگامی که تفاوت کوچکی در نقطه ذوب کامپوزیت وجود دارد، خزش باید در زمینه و تقویت کننده بررسی شود.

شکل های مواد زمینه :

فلزات به صورت روتین در گستره ی وسیعی از شکل های تولیدی، در دسترس هستند. این شکل های تولیدی در عملیات های تولیدی بعدی مورد استفاده قرار می گیرند. این شکل ها شامل مواد ذوب مجدد شده برای ریخته گری، مواد شکل داده شده مانند سیم، فویل، صفحه، میله، پلیت، گونه های مختلفی از اشکال اکسترود شده و پودر می شود. بسیاری از این اشکال مختلف برای تولید کامپوزیت های زمینه فلزی استفاده می شوند. روش های ذوبی مانند تصفیه فلز مایع می شود که این روش ها نیازمند ترکیبات با قابلیت ذوب مجدد هستند. روش های فویل / الیاف/ فویل نیازمند فویل های زمینه به ضخامت مناسب (به طور نمونه ۰,۱ میلی متر یا ۰,۰۰۴ اینچ) هستند. به طورعمومی، فویل به معنای یک محصول پیچیده (به صورت توپ در آمده) با ضخامت کمتر از ۰,۰۱۲ اینچ (۰,۳ میلی متر) است. چنین ضخامتی به سهولت در دسترس است و از عبور بسیاری از آلیاژهای زمینه ای داکتیل از میان دو غلطک بدست می آید، البته ممکن است که برای آلیاژهای با کار سختی بالا از روش های خاص استفاده شود. بسیاری از فلزات را می توان با روش های متنوعی به حالت پودر در آورد.

انواع مواد زمینه :

بسیاری از کاربردهای کامپوزیت زمینه فلزی دارای ملاحظات بغیر از استحکام هستند. برای مثال، در کنتاکت های الکتریکی و بنابراین احتیاجات متناظری از لحاظ نوع مواد زمینه وجود دارد. فلزات خالص عموماً نرم و کم دوام هستند. در حالی که دارای رسانندگی الکتریکی و گرمایی خوبی هستند. این مسأله به دلیل عواملی بوجود می آید که موجب تغییر فرم پلاستیک آسان و استحکام پایین همراه با داکتیلیتی بالا و همچنین اجازه ی حرکت آسان الکترون های آزاد مهیا می گردد (این حرکت آسان موجب افزایش رسانش گرمایی و الکتریکی فلز خالص می گردد) . بنابراین در کاربردهایی که نیاز به رسانایی گرمایی یا الکتریکی بالا به همراه استحکام بالا و مقاومت در برابر سایش، داریم (برای مثال در نوک های کنتاکت) از کامپوزیت های با زمینه فلزی با فلز خالص که با تقویت کننده های سرامیکی ساخته شده اند، استفاده می شود. در سال های اخیر، تأکید رو به رشدی بر استفاده از ترکیبات آلیاژی شبیه به ترکیبات اینترمتالیک کامل مانند تیتانیم آلومینیوم، انجام شده است. ترکیبات اینترمتالیک این چنینی و آلیاژهای آنها اغلب ترکیبات جالب با دانسیته ی پایین، نقطه ذوب بالا و استحکام بالا در دماهای بالا ایجاد می کنند. به عبارت دیگر، داکتیلیتی چنین ترکیباتی عمدتاً ضعیف است که علت آن این است که پیوندهای موجود در این مواد اغلباً به جای پیوندهای فلزی، پیوندهای کوالانسی ویونی هستند.

آلیاژهای زمینه همچنین براساس دمای ذوب نیز طبقه بندی می شوند. به طورغیرطبیعی، به خاطر دماهای ذوب بالا که در کامپوزیت های حاوی مولیبدن، نیوبیوم و شگستن اتفاق می افتد، این کامپوزیت ها را اجسام نسوز می نامند البته جسم نسوز به معنای جسمی است که به سختی ذوب می شود، و در اصل به اشتباه به این اجسام نسوز می گویند. فلزاتی مانند آهن، نیکل و مس دارای رفتار ذوب شدن متوسطی هستند. در حالی که آلومینیوم و منیزیم مواد با دمای ذوب نسبتاً پایین تری هستند.

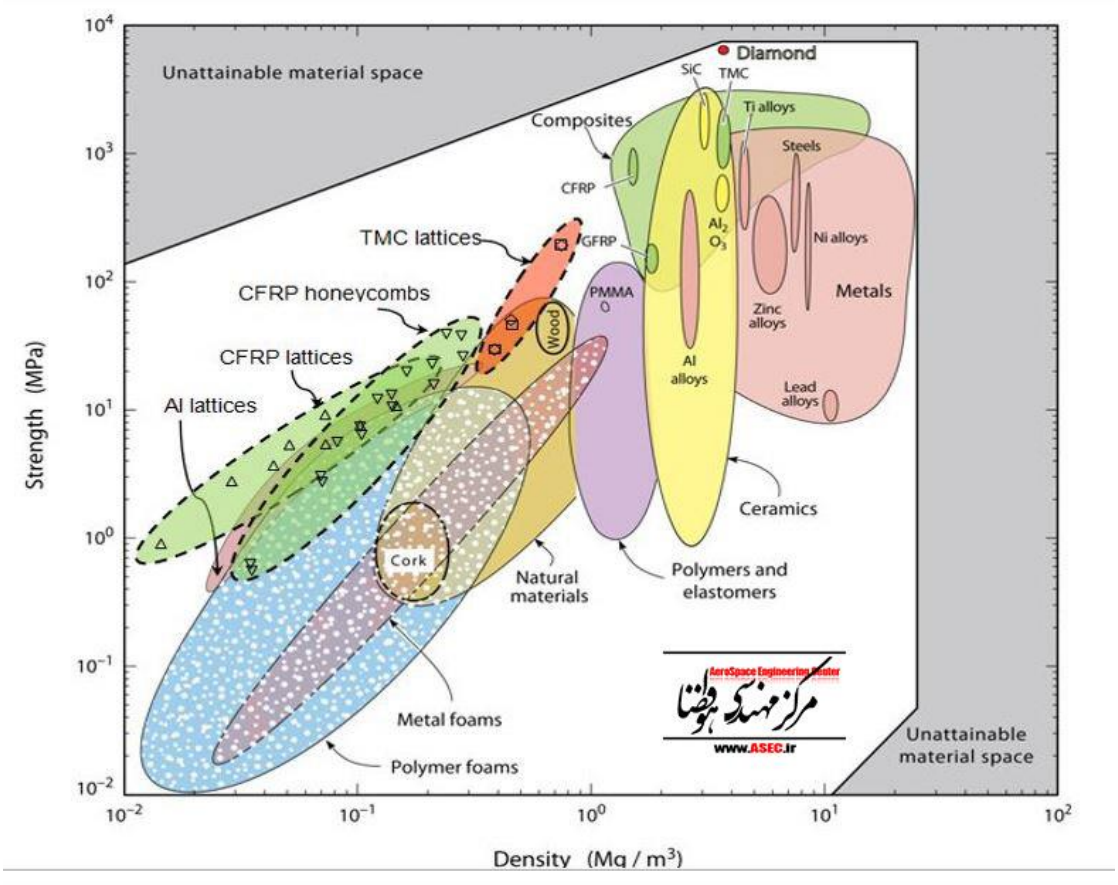
فلزات مختلفی در ساخت کامپوزیت های زمینه فلزی استفاده می شوند با انتخاب مواد زمینه، بنیانی برای طبقه بندی این کامپوزیت ها میسر می سازد. سیستم های آلیاژی شامل آلومینیوم، مس، آهن (فولادها)، منیزیم، نیکل، تیتانیم به عنوان زمینه مصرف می شوند. که به عنوان نمونه، از بین این مواد در مورد آلیاژهای آلومینیوم صحبت می کنیم.

آلومینیوم:

گستره ی وسیعی از آلیاژهای آلومینیوم در شکل های متنوع در کامپوزیت های زمینه فلزی استفاده می شود. دانستیه ی اغلب آلیاژهای آلومینیوم به دانسیته ی آلومینیوم خالص نزدیک است که این مقدار تقریباً ۰,۱ پوند بر اینچ مربع (۲۶۹۸ کیلوگرم بر متر مربع) است. آلومینیوم خالص در دمای ۱۲۲۰ درجه فارنهایت (۶۶۰ درجه سانتیگراد) ذوب می شود. این دمای ذوب نسبتاً پایین در مقایسه با اکثر فلزات مستعد برای زمینه، باعث تسهیل فرآیند تولید کامپوزیت های زمینه فلزی پایه آلومینیوم مانند متالورژی پودر و روش های قالب گیری می گردد. آلیاژهای آلومینیوم به طور عمده بر اساس روش شکل دهی (بدون استفاده از

ریخته گری و یا مواد قالب گیری طبقه بندی می شوند. علاوه بر این کامپوزیت های تولیدی به روش بدون ریخته گری همچنین به شکل پودر نیز وجود دارند. واژه ی بدون ریخته گری به معنای این است که این مواد ابتدائاً بوسیله ی روش های مکانیکی شکل دهی شده اند؛ این روش های مکانیکی، تولیداتی مانند صفحات غلطک کاری شده، ورق یا صفحات، انواع شکل های اکسترود شده، لوله، قطعات خرج شده، سیم، میله و یا شمش را تولید می کنند.

استفاده از فویل های آلیاژی آلومینیومی و فرآیندهای تولیدی در دمای پایین، باعث تولید موفق و استفاده ی کامپوزیت های زمینه آلومینیومی می شود. این کامپوزیت ها به روش فویل/ الیاف/ فویل تولید می شوند و بوسیله ی الیاف بور یا الیاف بور پوشش داده شده با سیلیسیم کاربید تقویت می شوند. این کامپوزیت ها در دهه ی ۱۹۷۰ برای کاربردهای هوایی استفاده می شده است. از آلیاژ ۶۰۶۱ Al-Mg-Siدر شکل فویل نیز در برخی موارد استفاده می شود. همچنین از آلیاژهای با چنین ترکیبی و به صورت ریخته گری برای تولید زمینه های مناسب برای کامپوزیت های تقویت شده با الیاف مداوم گرافیت- آلومینیوم استفاده می شوند.



نمودار استحکام مواد کامپوزیتی با زمینه های مختلف

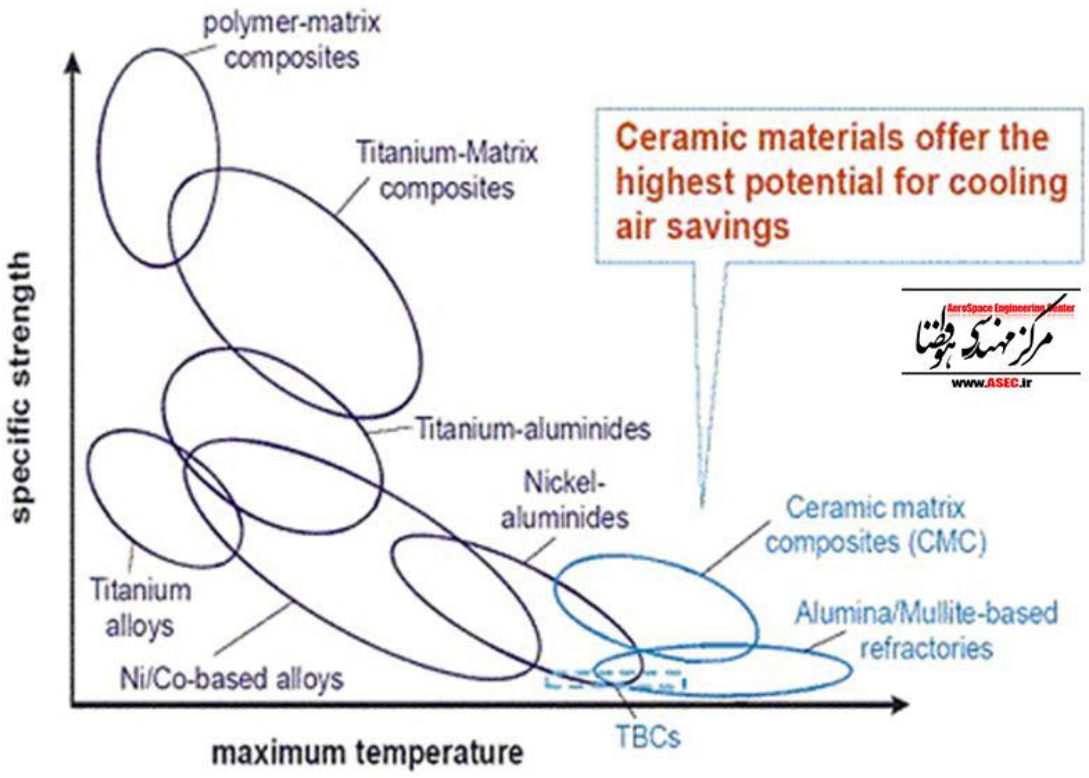
کامپوزیت‌های زمینه سرامیک (Ceramic Matrix Compozit)

کامپوزیت‌های زمینه سرامیک (Ceramic Matrix Compozit) یا به اختصارCMC ، خانواده‌ای از مواد کامپوزیتی هستند که کاربردهای زیادی را در صنایع مختلف خصوصاً هوافضا به خود اختصاص داده‌اند. متن زیر که از مجلهٔ کامپوزیت، شماره ۳ نقل می‌شود به معرفی این تکنولوژی و کاربردهای آن پرداخته است:

سرامیک‌های پیشرفته دارای ویژگی‌های مطلوبی مانند سختی، استحکام بالا، تحمل دماهای بالا، خنثایی شیمیایی، مقاومت در برابر فرسایش و چگالی کم هستند. ولی در برابر بارهای کششی و ضربه ضعیف هستند و بر خلاف فلزات، از خود انعطاف‌پذیری نشان نمی‌دهند و مستعد شکست تحت بارهای مکانیکی و شوک حرارتی هستند.

اگر مقایسه‌ای بین سرامیک‌ها و دیگر مواد داشته باشیم، باید گفت که سرامیک‌ها تنها گروه از مواد هستند که در دماهای بالا قابل استفاده‌اند و دارای سختی، استحکام و مدول الاستیک بالاتری از فلزات و پلیمرها می‌باشند. همچنین چگالی، ضریب انبساط حرارتی و هدایت الکتریکی و حرارتی کمی دارند. به ویژه چگالی و انبساط حرارتی کم سرامیک‌ها اهمیت زیادی در اغلب کاربردها دارد.

بزرگترین نقطهٔ ضعف سرامیک‌ها در مقایسه با دیگر مواد به ویژه فلزات، چقرمگی شکست (FractureToughness)فوق‌العاده پایین آن‌هاست که در عمل این مواد را در برابر ترک بسیار حساس کرده است. بنابراین نیاز شدیدی به افزایش چقرمگی سرامیک‌ها احساس می‌شود. یکی از راه‌های مهم دستیابی به چقرمگی بالاتر، تهیه کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی است. گنجاندن الیاف و ذرات تقویت‌کننده در یک زمینه سرامیکی می‌تواند به تهیه یک ماده سرامیکی چقر (Tough) منجر شود و کنترل مناسب ویژگی‌های مرز مشترک زمینه و تقویت‌کننده از اهمیت زیادی برخوردار است. در تصویر زیر نسبت فوق العاده تحمل دما به استحکام سرامیک ها دیده می شود:



قابلیت دمایی سرامیک ها

نکته قابل توجه دیگر این است که اگر چه نسبت مدول الاستیسیتهٔ تقویت‌کننده و زمینه در کامپوزیت‌های زمینه فلزی و پلمیری عموماً بین ۱۰ و ۱۰۰ است ولی برای کامپوزیت زمینه سرامیکی، این نسبت معمولاً برابر یک یا کمتر از آن است. نسبت مدول بالا در کامپوزیت‌های زمینه فلزی و پلیمری، سبب انتقال موثر بار از زمینه به تقویت‌کننده می‌شود. در حالی که در یک کامپوزیت سرامیکی، زمینه و تقویت‌کننده در توانایی تحمل بار اختلاف زیادی ندارد؛ به این معنا که هدف از ساخت کامپوزیت سرامیکی، افزایش استحکام نیست. مگر آن‌هایی که زمینهٔ آنها مدول الاستیسیتهٔ کمی دارند (مانند زمینه‌های شیشه‌ای) حوزه‌های مهم در تهیه کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی عبارتند از:

انواع گوناگون شیشه، شیشه‌سرامیک‌ها و سرامیک‌هایی همچون کربن، کاربیدسیلیسیوم، نیتریدسیلیسیوم، آلومینات‌ها و اکسیدها. تقویت‌کننده‌های مورد استفاده عبارتند از کاربیدها، بوریدها، نیتریدها و کربن. کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی تنها کامپوزیت‌هایی هستند که بالای ۹۰۰ درجهٔ سانتیگراد استحکام خود را حفظ می‌کنند.

عمده ترین کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی عبارتند از: کامپوزیت‌های کربن/کربن، کامپوزیت‌های آلومینا SiC/و کامپوزیت‌هایی با زمینه Si3N4 یا SiC تقویت شده با الیاف پیوسته SiC و کربن.

کاربردها

معمولاً کاربرد کامپوزیت‌های سرامیکی به دو دستهٔ هوافضایی و غیرهوافضایی تقسیم می‌شوند. در کاربردهای هوافضایی مسالهٔ اصلی، عملکرد کامپوزیت است. در حالی که در کاربردهای غیر هوافضایی عامل قیمت بسیار مهم است.

کامپوزیت‌های سرامیکی با الیاف پیوسته، عموماً دارای خواص مکانیکی ویژهٔ بالایی هستند و می‌توانند در کاربردهای هوافضایی دمای بالا به کار گرفته شوند. کامپوزیت‌های کربن/کربن با پوشش SiC به عنوان محافظ حرارتی در شاتل‌های فضایی استفاده شده است و کامپوزیت‌های کاربید سیلیسیم/کربن مواد مناسبی برای هواپیماها هستند.

از کاربردهای غیر هوافضایی کامپوزیت‌های سرامیکی می‌توان به اجزای موتورهای دما بالا، مته و ابزار تراش، اجزای مقاوم در برابر سایش، لوله اگزوز، نازل، لوله‌های مبدل گرما و غیره اشاره کرد.