



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc”

مهندسی مواد – شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

عنوان :

فراوری و خواص کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای از طریق روش های
حالت جامد

استاد راهنما :

نگارش:



تقديم به

مادر، پدر و خواهر

عزيزم



سپاس

با حمد و ستایش خداوند بلند مرتبه، که توفیق کسب علم و دانش را به
این بنده حقیر ارزانی داشت.

جای دارد تا از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر اخلاقی به خاطر
کمک های بی دریغ شان تشکر و قدردانی نمایم.



فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان مطالب
۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	فصل اول: مروری بر کامپوزیت های زمینه فلزی
۴	۱-۱: کلیات و تاریخچه ای از کامپوزیت های زمینه فلزی
۶	۲-۱: طبقه بندی کامپوزیت های زمینه فلزی
۸	۳-۱: مقایسه کامپوزیت های زمینه فلزی با سایر مواد و کامپوزیت ها
۹	۴-۱: ویژگی های ماتریس و فاز تقویت کننده در کامپوزیت های زمینه فلزی
۱۰	فصل دوم: مروری بر روش های فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی
۱۱	۱-۲: طبقه بندی روش های فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی
۱۳	۲-۲: مروری بر روش های کلی فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی در حالت مایع و یا نیمه جامد
۱۴	۱-۲-۲: روش اختلاط مستقیم
۱۶	۲-۲-۲: روش های تلقیح
۱۹	۳-۲-۲: روش های اسپری
۲۰	۴-۲-۲: روش های درجا
۲۱	۳-۲: مروری بر روش های کلی فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی با فاز دوم غیر پیوسته در حالت جامد
۲۲	۱-۳-۲: روش متالورژی پودر برای تولید کامپوزیت هایی با فاز تقویت کننده غیر پیوسته
۲۴	۱-۱-۳-۲: روش های فشردن
۲۴	الف: پرس گرم
۲۴	ب: پرس ایزواستاتیک گرم
۲۵	ج: پرس سرد
۲۵	د: پرس ایزواستاتیک سرد

۲۵	ه: متراکم سازی از طریق شوک ناشی از انفجار
۲۶	۲-۳-۱: تف جوشی
۲۷	۲-۳-۱: روش های ثانویه شکل دهی و متراکم سازی در متالورژی پودر
۲۸	الف: اکستروژن پودر
۲۹	ب: نورد پودر
۲۹	ج: فورج پودر
۳۰	۲-۳-۱: مزایای روش متالورژی پودر
۳۱	فصل سوم: روش های فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای در حالت جامد
۳۲	۳-۱: مقدمه
۳۵	۳-۱-۱: روش فویل-الیاف-فویل
۴۱	۳-۱-۲: روش پوشش دهی تک نوارها با فاز زمینه
۴۴	۳-۱-۳: روش پوشش دهی الیاف با فاز زمینه
۴۶	۳-۱-۳-۱: شبیه سازی روش پوشش دهی الیاف با فاز زمینه
۴۸	الف: اثر سیلان ماتریس بر توزیع تنش در فاز زمینه
۴۹	ب: اثر هندسه چیدمان الیاف بر فرایند متراکم سازی
۵۰	ج: اثر ضخامت پوشش بر فرایند متراکم سازی
۵۱	۳-۱-۴: متالورژی پودر دوغابی
۵۲	۳-۱-۴-۱: روش پودر-الیاف-پودر
۵۷	۳-۱-۴-۲: روش پوشش دهی تک نوارها با پودر
۵۸	الف: الیاف و رشته پیچی آنها
۵۹	ب: پودرها
۶۰	ج: چسب و دوغاب پودری
۶۲	د: ریخته گری نواری بر روی الیاف
۶۴	ه: عملیات تثبیت و متراکم سازی
۶۶	و: فراوری کامپوزیت های تقویت شده با الیاف هیبریدی با روش پوشش دهی تک نوارها با پودر
۶۸	۳-۱-۴-۳: روش پوشش دهی الیاف با پودر
۶۸	الف: فرایند دوغابی (حالت تر)

۷۰	ب: فرایند پیوسته (حالت خشک)
۷۴	۳-۱-۵- سایر روش ها
۷۴	۳-۱-۵-۱- روش های فویل-کویل-فویل و نوار-کویل-نوار
۷۵	۳-۱-۵-۲: نورد هم زمان و اکستروژن هم زمان
۷۷	۳-۱-۵-۳: روش آسیاب گلوله ای / پرس گرم
۷۹	۳-۱-۵-۴: لایه های فلزی تقویت شده با کامپوزیت زمینه پلیمری
۸۰	۳-۱-۵-۵: فراوری کامپوزیت زمینه فلزی رشته ای با کمک یک فاز مایع
۸۲	۳-۱-۵-۶: پوشش دهی الیاف از طریق تعلیق پودر
۸۴	۳-۲: فرایند تثبیت و متراکم سازی در فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای
۸۵	۳-۲-۱: پارامترهای فرایند تثبیت و متراکم سازی
۸۹	۳-۳: مقایسه روش های مختلف تولید
۹۲	فصل چهارم : نتیجه گیری و پیشنهادها
۹۳	۵-۱: نتیجه گیری
۹۴	۵-۲: پیشنهادها
۹۵	منابع و مآخذ
۹۶	فهرست منابع لاتین
۹۸	چکیده انگلیسی

فهرست جدول ها

عنوان	شماره صفحه
۱-۱: فازهای تقویت کننده مرسوم مورد استفاده در کامپوزیت های زمینه فلزی	۷
۲-۱: مقایسه کامپوزیت های زمینه فلزی با سایر مواد	۸
۱-۳: استحکام کششی طولی، سفتی و دانسیته یک کامپوزیت زمینه تیتانیومی فراوری شده به روش فویل-الیاف-فویل و اجزاء سازنده آن	۳۷
۲-۳: مشخصات و خواص مکانیکی نمونه های مورد آزمایش	۴۰
۳-۳: مشخصات و خواص مکانیکی ماتریس (Ti-6Al-4V)	۴۷
۴-۳: مواد تشکیل دهنده دوغاب پودری مورد آزمایش	۵۵
۵-۳: دانسیته و قطر تقریبی الیاف مورد استفاده در ریخته گری نواری	۵۹
۶-۳: دانسیته نمونه های مختلف آلیاژ ماتریس، بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب	۶۰
۷-۳: شرایط پرس گرم در خلاء نمونه های کامپوزیتی چهار لایه ای	۶۵
۸-۳: مشخصات برخی از نمونه های کامپوزیتی، تمام نمونه ها چهار لایه ای بوده و با الیاف SCS-6 تقویت شده اند	۶۵
۹-۳: مواد تشکیل دهنده دوغاب پودری مورد آزمایش	۶۶
۱۰-۳: مهمترین چسب های مورد استفاده در روش پوشش دهی الیاف با پودر	۶۹
۱۱-۳: شرایط پرس گرم	۷۲
۱۲-۳: مشخصات نمونه های تهیه شده در تولید کامپوزیت Mg/TiNi با الیاف پیوسته	۷۸
۱۳-۳: مقایسه هزینه های تولید کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای، از طریق روش های حالت جامد	۸۹
۱۴-۳: مقایسه استحکام نسبی و میزان کسر حجمی الیاف در کامپوزیت های تولید شده به روش های مختلف	۹۱
۱۵-۳: مقایسه قابلیت های محصولات تولیدی در روش های مختلف	۹۱

فهرست شکل ها

عنوان	شماره صفحه
۱-۱: ریز ساختار یک کامپوزیت زمینه فلزی Al/SiC	۵
۲-۱: شماتیک انواع مختلف کامپوزیت های زمینه فلزی	۶
۱-۲: شماتیکی کلی از روش های تولید کامپوزیت های زمینه فلزی	۱۲
۲-۲: شماتیک روش اختلاط مستقیم و تهیه دوغاب	۱۴
۳-۲: الف: خوشه ای شدن ذرات SiC در زمینه آلومینیمی به خاطر سرعت کم سرد شدن، ب: توزیع یکنواخت ذرات SiC در زمینه آلومینیمی به خاطر افزایش سرعت سرد شدن	۱۵
۴-۲: شماتیک مراحل روش ریخته گری کوبشی	۱۷
۵-۲: ریزساختار کامپوزیت زمینه فلزی رشته ای Al/Al ₂ O ₃ در دو بزرگنمایی مختلف	۱۸
۶-۲: شماتیک روش پاشش هم زمان	۱۹
۷-۲: شماتیک روش انجماد جهت دار	۲۰
۸-۲: شماتیک روش متالورژی پودر	۲۳
۹-۲: اثر نسبت اندازه ذرات آلومینیم به SiC،	
الف: نسبت اندازه ذرات Al به SiC، ۶,۶ (آلومینیم ۳۳ میکرون، SiC ۵ میکرون)	۲۳
ب: نسبت اندازه ذرات Al به SiC، ۱,۴ (آلومینیم ۷ میکرون، SiC ۵ میکرون)	
۱۰-۲: شماتیک روش پرس ایزواستاتیک در یک قالب کشسان	۲۵
۱۱-۲: شماتیک روش متراکم سازی از طریق شوک ناشی از انفجار	۲۶
۱۲-۲: تصویر تشکیل گلوله در حالت جامد	۲۶
۱۳-۲: شماتیک روش های اکستروژن پودر، (a) روش مستقیم، (b) روش سنتی و (c) روش هیدرواستاتیک	۲۸
۱۴-۲: شماتیک روش نورد پودر	۲۹
۱۵-۲: شماتیک مراحل روش تف جوشی-فورج	۲۹
۱-۳: دیاگرام شماتیک روش های فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای	۳۲

- ۳-۲: دیاگرام شماتیک تکنیک های پیش فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی
۳۳ رشته ای در حالت جامد (به خصوص برای کامپوزیت Ti-SiC)
- ۳-۳: دیاگرام شماتیک تکنیک های پیش فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی
۳۴ رشته ای در حالت جامد، بر مبنای متالورژی پودر دوغایی (به خصوص برای کامپوزیت Ti-SiC)
- ۳-۴: شماتیک چیدمان الیاف به کمک رشته پیچی و روش فویل-الیاف-فویل
۳۵
- ۳-۵: دیاگرام شماتیک روش فویل-الیاف-فویل
۳۶
- ۳-۶: فرم های مختلف قطعات تولید شده به روش فویل-الیاف-فویل
۳۶
- ۳-۷: شماتیک نحوه چیدمان و آماده سازی نمونه های کامپوزیتی به روش فویل-الیاف-فویل
۳۹
- ۳-۸: تصاویر SEM (الکترون های برگشتی) از نمونه های مندرج در جدول (۳-۱)
۴۰
- ۳-۹: دیاگرام شماتیک روش پوشش دهی تک نوارها با فاز زمینه به کمک اسپری پلاسما در خلاء
۴۱
- ۳-۱۰: تصویر مقطع عرضی یک تک نوار تیتانیومی با الیاف تقویت کننده SiC
۴۲
- ۳-۱۱: تصویر یک رول کامپوزیت زمینه تیتانیومی به صورت تک نوار
۴۲
- ۳-۱۲: شماتیک لایه های کامپوزیت آلومینیم/بورسیک
۴۳
- ۳-۱۳: دیاگرام شماتیک روش پوشش دهی الیاف با فاز زمینه
۴۴
- ۳-۱۴: تصویر SEM یک ليف SiC که با فاز زمینه Ti-6Al-4V که با تکنیک تبخیر با باریکه الکترونی پوشش داده شده است و از آن برای ساخت کامپوزیت زمینه فلزی به روش پوشش دهی الیاف با فاز زمینه استفاده می شود
۴۵
- ۳-۱۵: مقطع عرضی یک کامپوزیت زمینه تیتانیومی با الیاف تقویت کننده SiC به قطر ۱۵۰ میکرون
۴۶
- ۳-۱۶: نحوه چیدمان الیاف پوشش داده شده به صورت تقارن چهار جهته و شش جهته
۴۷
- ۳-۱۷: مدل المان محدود برای چیدمان شش جهته و چهار جهته در یک ليف پوشش داده شده با فاز زمینه
۴۸
- ۳-۱۸: توزیع (a) تنش شعاعی، (b) تنش محیطی در ماتریس تیتانیومی طی فرایند متراکم سازی (واحد پاسکال)
۴۹
- ۳-۱۹: حداکثر تنش فشاری در ماتریس تیتانیومی، به صورت تابعی از نیروی جابجایی، طی فرایند متراکم سازی
۴۹

- ۲۰-۳: حداکثر تنش فشاری در ماتریس تیتانیومی، به صورت تابعی از دانسیته نسبی، a و b به ترتیب تنش مماسی و محیطی در هندسه چیدمان شش جهته، ۵۰
- c و d به ترتیب تنش مماسی و محیطی در هندسه چیدمان چهار جهته ۵۲
- ۲۱-۳: اثر ضخامت پوشش بر تنش ماتریس تیتانیومی، طی فرایند متراکم سازی ۵۳
- ۲۲-۳: شماتیک روش ریخته گری نواری، در تهیه نوارهای پودری ۵۴
- ۲۳-۳: مقطع عرضی یک نوار پودری که نشان می دهد، ضخامت نوار و توزیع پودر در سراسر طول نمونه یکنواخت است ۵۵
- ۲۴-۳: مراحل فرایند پودر-الیاف-پودر بر مبنای روش ریخته گری نواری ۵۶
- ۲۵-۳: تاثیر ویسکوزیته دوغاب و فاصله تیغه از زیر لایه بر ضخامت نوار پودری در سرعت ریخته گری 0.25 ms^{-1} ۵۷
- ۲۶-۳: تاثیر سرعت ریخته گری بر ضخامت نوار پودری، با ویسکوزیته و فاصله تیغه ثابت ۵۸
- ۲۷-۳: مراحل ساخت تک نوارهای پودری در روش پوشش دهی تک نوارها با پودر ۶۴
- ۲۸-۳: شماتیک روش پوشش دهی تک نوارها با پودر (ریخته گری نواری تک مرحله ای) ۶۵
- ۲۹-۳: شماتیک مقطع (a) یک نوار پودری تر پس از ریخته گری نواری و قبل از تثبیت شدن چسب در آن، ارتفاع تیغه BH_f و قطر الیاف d نشان داده شده است، (b) یک نوار پودری خام پس از تثبیت شدن چسب در آن، فاصله بین الیاف به صورت معکوس الیاف در هر اینچ $1/f_s$ و ضخامت نوار پودری خام T_{fg} نشان داده شده است (c) کامپوزیت چهار لایه ای تخت، ضخامت ماتریس در سطح خارجی d- (α/f_s) و فاصله بین الیاف در بین ردیف های الیاف α/f_s نشان داده شده است ۶۷
- ۳۰-۳: مقطع یک کامپوزیت زمینه تیتانیومی با کسر حجمی الیاف ۳۵ درصدی، فراوری شده به روش پوشش دهی تک نوارها با پودر ۶۷
- ۳۱-۳: مقطع عرضی کامپوزیت آلومیناید نیکل، تقویت شده با الیاف هیبریدی آلومینا ۶۸
- ۳۲-۳: مقطع طولی کامپوزیت آلومیناید نیکل، تقویت شده با الیاف هیبریدی آلومینا ۶۸
- ۳۳-۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقطع عرضی یک لیف پوشش داده شده توسط پودر، که نشان دهنده پوشش یکنواخت و توزیع مناسب پودرها می باشد

- ۶۹ ۳-۳۴: شماتیک مراحل فرایند پوشش دهی الیاف با پودر
- ۷۰ ۳-۳۵: شماتیک دستگاه اعمال پوشش پیوسته چسب-پودر
- ۷۱ ۳-۳۶: یک لایه SiC که با پودرهای تیتانیومی به روش پوشش دهی پیوسته چسب-پودر پوشانده شده است
- ۷۱ ۳-۳۷: شماتیک نحوه چیدمان اولیه الیاف پوشش داده شده
- ۷۲ ۳-۳۸: سیکل ترمومکانیکی ساخت کامپوزیت Ti/SiC به روش پوشش دهی پیوسته چسب و پودر
- ۷۳ ۳-۳۹: ریزساختار کامپوزیت Ti/SiC که در فشار ۱۰۰ مگاپاسکال و ۶۵۰ درجه سانتی گراد تولید شده است
- ۷۳ ۳-۴۰: ریزساختار کامپوزیت Ti/SiC که در فشار ۱۵۰ مگاپاسکال و ۸۰۰ درجه سانتی گراد تولید شده است
- ۷۴ ۳-۴۱: (a) شماتیک روش فویل-کویل-فویل، (b) قسمتی از یک کویل الیافی که نشان دهنده توزیع یکنواخت الیاف در آن می باشد
- ۷۵ ۳-۴۲: شماتیک روش اتصال از طریق نورد برای تولید کامپوزیت های زمینه فلزی لایه ای، در این روش پیوند متالورژیکی بین لایه ها برقرار می شود
- ۷۵ ۳-۴۳: تصویر TEM از یک کامپوزیت لایه ای Al1100 و Al2024
- ۷۶ ۳-۴۴: شماتیک روش اکستروژن هم زمان برای تولید کامپوزیت زمینه مسی با الیاف نیوبیمی
- ۷۶ ۳-۴۵: ریزساختار کامپوزیت ابر رسانای Nb₃Sn/Cu مورد استفاده در میدان های قوی مغناطیسی
- ۷۷ ۳-۴۶: شماتیک فرایند پرس گرم در تولید کامپوزیت Mg/TiNi با الیاف پیوسته
- ۷۹ ۳-۴۷: تصاویر میکروسکوپی نمونه های (a) شماره ۱ و (b) شماره ۲ مندرج در جدول (۳-۱۲)
- ۷۹ ۳-۴۸: شماتیک لایه های فلزی تقویت شده با کامپوزیت زمینه پلیمری
- ۸۱ ۳-۴۹: شماتیک مراحل تثبیت و متراکم سازی یک کامپوزیت زمینه فلزی رشته ای با کمک یک فاز مایع؛ (a) فاز زود گداز به صورت فویل، (b) فاز زود گداز به صورت پودری و ماتریس شیاردار
- ۸۲ ۳-۵۰: شماتیک مراحل فراوری کامپوزیت زمینه فلزی رشته ای به روش پوشش دهی الیاف از طریق تعلیق پودر
- ۸۳ ۳-۵۱: تصاویر الیاف پوشش داده شده با پودر آلومینیم در دو بزرگنمایی مختلف

- ۵۲-۳: مقطعی از یک کامپوزیت Ti/SiC_f که به روش پوشش دهی تک نوارها با
۸۵ پودر فراوری شده است، (a) عرضی (b) طولی
- ۵۳-۳: دیاگرام شماتیک تاثیر متقابل پارامترهای حاکم بر فرایند تثبیت و متراکم
۸۷ سازی
- ۵۴-۳: پیش بینی یک مدل در ارتباط با زمان فرایند تثبیت و متراکم سازی یک
۸۸ پیش شکل فویل-الیاف-فویل

چکیده

کامپوزیت های زمینه فلزی به دلیل داشتن خواصی از قبیل استحکام و سفتی ویژه بالا در سال های اخیر همواره مورد توجه محققین بوده و در صنایعی از قبیل خودرو سازی و هوافضا مورد استفاده قرار می گیرند. در این بین کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای به خاطر ویژگی های منحصر به فردشان از جایگاه ویژه ای در میان کامپوزیت های زمینه فلزی برخوردارند. یکی از موانع پیش روی توسعه این دسته از کامپوزیت های زمینه فلزی، پیچیدگی و مشکلات فراوری آنها می باشد. به دلیل نقطه ذوب نسبتاً بالای اغلب ماتریس های فلزی و نیز به خاطر مشکلات موجود در دمای بالا، روش های حالت جامد برای فراوری این دسته از کامپوزیت ها توسعه یافته اند. روش های متداول فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای در حالت جامد اغلب شامل فرایندهای فویل-الیاف-فویل، پوشش دهی تک نوارها با فاز زمینه، پوشش دهی الیاف با فاز زمینه و روش های متالورژی پودر دوغابی می باشند. روش های متالورژی پودر دوغابی اغلب بر اساس تکنیک ریخته گری نواری و بر مبنای روش پودر-پارچه پایه گذاری شده اند. این روش ها شامل فرایندهای پودر-الیاف-پودر، پوشش دهی تک نوارها با پودر و پوشش دهی الیاف با پودر می باشند. به طور کلی هر یک از روش های ذکر شده دارای مزایا و محدودیت هایی هستند، لذا بر اساس خواص مورد نیاز و نیز امکانات در دسترس، می توان با کمک یکی از روش های فوق کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای را فراوری نمود.

امروزه تحقیقات متعددی در رابطه با مواد نو انجام می شود. دسته ای از این مواد، کامپوزیت های زمینه فلزی هستند، که در چند سال اخیر بسیار مورد توجه محققین قرار داشته و در حال توسعه می باشند. کامپوزیت های زمینه فلزی با بهره گیری از دو فاز سرامیکی و فلزی دارای ویژگی هایی از قبیل استحکام و سفتی ویژه بالا می باشند. یکی از انواع دسته بندی کامپوزیت های زمینه فلزی، طبقه بندی آنها بر اساس نوع و شکل فاز تقویت کننده می باشد. بر این اساس اگر کامپوزیت توسط الیاف پیوسته سرامیکی تقویت شده باشد، به آن کامپوزیت زمینه فلزی رشته ای گفته می شود. کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای، به دلیل اینکه فاز تقویت کننده در آنها به طور پیوسته در فاز زمینه قرار می گیرد، دارای خواص و ویژگی های منحصر به فردی می باشند. این دسته از کامپوزیت های زمینه فلزی، دارای استحکام و سفتی بیشتری نسبت به کامپوزیت های زمینه فلزی با فاز تقویت کننده غیر پیوسته هستند. از طرفی در کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای، به دلیل اینکه الیاف تقویت کننده در جهات خاصی در فاز زمینه قرار می گیرند، لذا دارای خواص آنیزوتروپیک می باشند. به طور کلی کامپوزیت های زمینه فلزی در صنایعی از قبیل هوافضا و خودروسازی به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند.

در کامپوزیت های زمینه پلیمری، استفاده از فاز تقویت کننده پیوسته چندان مشکل نبوده، لذا در ساخت این دسته از کامپوزیت ها اغلب از الیاف پیوسته استفاده می شود. اما در کامپوزیت های زمینه فلزی به دلیل بالا بودن دمای فرآوری کامپوزیت، استفاده از الیاف تقویت کننده پیوسته مشکل تر بوده، لذا محدودیت هایی در استفاده از روش های حالت مایع (ذوبی) وجود دارد. بر این اساس روش های فرآوری حالت جامد در دست توسعه قرار گرفته اند. از طرفی اغلب روش های فرآوری کامپوزیت های زمینه فلزی در حالت جامد، مخصوص کامپوزیت هایی با فاز تقویت کننده غیر پیوسته هستند، زیرا فرآوری کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای، پیچیده تر و مشکل تر می باشد. به طور کلی روش های محدودی جهت فرآوری کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای در حالت جامد وجود دارد که در این سمینار به آنها اشاره شده است.

فصل اول

مروری بر کامپوزیت های زمینه فلزی

۱-۱: کلیات و تاریخچه ای از کامپوزیت های زمینه فلزی

کامپوزیت های زمینه فلزی^۱ همانند سایر انواع کامپوزیت ها، دست کم از دو فاز، که از لحاظ فیزیکی و شیمیایی از هم مجزا هستند، تشکیل شده و دارای خواصی می باشند که هر یک از این فازها به تنهایی فاقد آن هستند. در این دسته از کامپوزیت ها معمولاً دو فاز وجود دارد، که یک فاز مانند الیاف و یا ذرات در داخل یک زمینه فلزی توزیع شده است. به طور مثال می توان از کامپوزیت زمینه آلومینیمی تقویت شده با الیاف پیوسته Al_2O_3 نام برد که از آن در خطوط انتقال نیرو استفاده می شود. به عنوان مثال های دیگر می توان از کامپوزیت زمینه مسی با فیلامنت^۲ های تقویت کننده Nb-Ti، که در ساخت قطعات مغناطیسی ابر رسانا از آنها استفاده می شود و نیز کامپوزیت زمینه آلومینیمی تقویت شده با ذرات SiC، که در صنایع هوافضا، خودروسازی و کاربردهای مدیریت گرما مورد استفاده قرار می گیرد، نام برد. در شکل (۱-۱) ریز ساختار یک کامپوزیت Al/SiC نشان داده شده است [۱].

به طور کلی اهداف مختلفی در تولید و به کارگیری کامپوزیت های زمینه فلزی دنبال می شود. به عنوان مثال با قرار دادن فاز دوم با استحکام بالا در فلزات سبک، کامپوزیت هایی تولید می شوند که در عرصه هایی که کاهش وزن در اولویت می باشد، به کار می روند. از این رو می توان اهداف توسعه کامپوزیت های زمینه فلزی سبک را به صورت ذیل عنوان نمود [۲].

الف) افزایش استحکام تسلیم و استحکام کششی در دمای اتاق و دماهای بالاتر با حفظ حداقل داکتیلیتی

ب) افزایش مقاومت به خزش در دماهای بالا، در مقایسه با آلیاژهای سنتی

ج) افزایش استحکام خستگی، به خصوص در دماهای بالا

د) ارتقاء میزان مقاومت در برابر شوک های حرارتی

ه) ارتقاء میزان مقاومت به خوردگی

و) افزایش مدول ینانگ

ز) کاهش میزان افزایش طول در اثر گرما

در حدود بیش از ۶۰ سال پیش، قبل از اینکه از واژه کامپوزیت های زمینه فلزی استفاده شود، این دسته از مواد با نام سِرمِت^۳ شناخته می شدند؛ که این واژه بر گرفته از نام های سرامیک و فلز بود. در واقع سِرمِت ها نماینده دسته ای از مواد بودند که از ادغام فلز و سرامیک تشکیل شده بودند. برای اولین بار در حدود سال ۱۹۴۰ میلادی شاخص ترین نوع سِرمِت ها، یعنی ابزارآلات برشی بر پایه WC/Co معرفی شدند [۳].

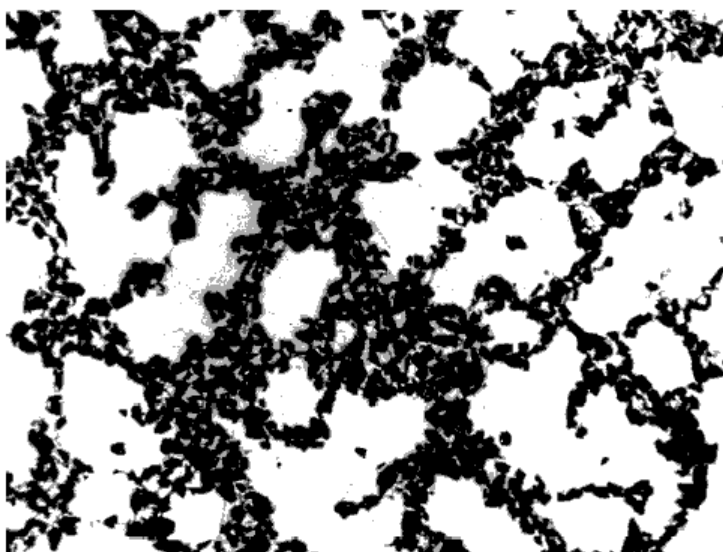
^۱. Metal matrix composite (MMC)

^۲. Filament

^۳. Cermet

هرچند راه کار استفاده از الیاف تقویت کننده به منظور افزایش استحکام^۱ و سفتی^۲ فلزات، اندیشه جدیدی نیست، اما توسعه منظم و سیستماتیک فلزات تقویت شده با الیاف یا همان کامپوزیت های زمینه فلزی تنها در حدود ۴۰ سال است که آغاز شده است. در اوایل سال های ۱۹۶۰ میلادی، اشتیاق قابل توجهی در ارتباط با فلزات تقویت شده با سیم های فلزی نازک و مستحکم وجود داشت؛ در این سال ها کامپوزیت های زمینه فلزی رشته ای مورد توجه قرار گرفتند. هرچند، مشکلات واکنش های بین مرزی^۳ و نیز استحکام در دمای بالای ضعیف الیاف، این کامپوزیت ها را به مقدار زیادی از لحاظ تجاری کم اهمیت کرد.

مجدداً از حدود ۲۵ سال پیش، موج جدیدی از تحقیقات در ارتباط با کامپوزیت های زمینه فلزی آغاز شد. این امر از یک طرف به خاطر نیاز مبرم صنایع هوا-فضا و اتومبیل سازی به مواد ساختاری با کارایی بالا و از طرف دیگر به خاطر ظهور تقویت کننده های جدید و با کیفیت بالا رخ داد. در حدود سال ۱۹۸۰ میلادی کامپوزیت های زمینه فلزی با فاز تقویت کننده غیر پیوسته نیز مورد توجه قرار گرفته و آلیاژهای گوناگونی از آلومینیوم، منیزیم و تیتانیوم به طور وسیعی برای استفاده در کامپوزیت های زمینه فلزی مورد آزمایش قرار گرفتند. امروزه نیز تحقیقات متعددی در ارتباط با جنبه های مختلف کامپوزیت های زمینه فلزی، به عنوان شاخه ای از مواد جدید، در حال انجام و توسعه می باشد [۳،۴].



شکل (۱-۱): ریز ساختار یک کامپوزیت زمینه فلزی Al/SiC [۳].

^۱. Strength

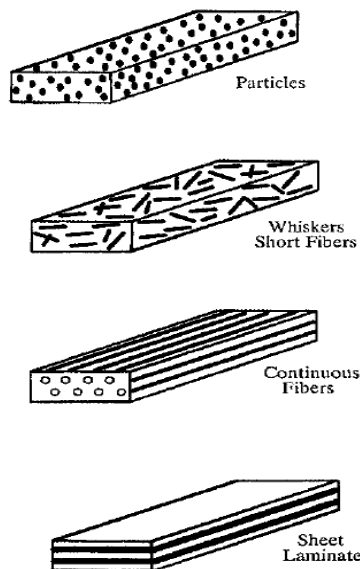
^۲. Stiffness

^۳. Interfacial reactions

۲-۱: طبقه بندی کامپوزیت های زمینه فلزی

کامپوزیت های زمینه فلزی را می توان به طرق گوناگون طبقه بندی کرد. این کامپوزیت ها دارای زمینه ای از یک فلز و یا آلیاژ فلزی هستند که توسط فاز دوم فلزی و یا سرامیکی تقویت شده است. بر این اساس معمولاً این کامپوزیت ها را بر اساس هندسه فاز تقویت کننده، طبقه بندی می کنند، لذا طبق این دسته بندی، کامپوزیت های زمینه فلزی شامل سه گروه زیر هستند:

۱. کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده با ذرات^۱
 ۲. کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده با الیاف کوتاه^۲، ویسکرها^۳ و یا پلیت ها^۴
 ۳. کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده با الیاف پیوسته^۵ و یا لایه ها^۶
- در شکل (۲-۱) به صورت شماتیک انواع کامپوزیت های زمینه فلزی نشان داده شده است. بر اساس این شکل به راحتی می توان تصور کرد که کامپوزیت های زمینه فلزی با الیاف پیوسته (رشته ای)، دارای خواص آنیزوتروپیک هستند. در جدول (۱-۱) انواع فازهای تقویت کننده متداول را که در ساخت کامپوزیت های زمینه فلزی از آنها استفاده می شود، به همراه نسبت طول به قطر و قطر آنها نشان داده شده است [۱،۲].



شکل (۲-۱): شماتیک انواع مختلف کامپوزیت های زمینه فلزی [۱].

^۱ . Particle
^۲ . Short fiber
^۳ . Whisker
^۴ . Platelet
^۵ . Continuous fiber
^۶ . Sheet

جدول (۱-۱): فازهای تقویت کننده مرسوم مورد استفاده در کامپوزیت های زمینه فلزی [۱]

Type	Aspect Ratio	Diameter, μm	Examples
Particle	1- 4	1- 25	SiC, Al_2O_3 , BN, B_4C , WC
Short fiber or whisker	10 - 10000	1- 5	C, SiC, Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$
Continuous fiber	>1000	3 - 150	SiC, Al_2O_3 , C, B, W, Nb-Ti, Nb_3Sn

اصطلاح کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده با فاز دوم غیر پیوسته معمولاً در مورد کامپوزیت هایی به کار می رود که به کمک الیاف کوتاه، ویسکرها یا ذرات تقویت شده اند. این کامپوزیت ها به دلایل زیر دارای اهمیت خاصی می باشند [۱].

الف) کامپوزیت های تقویت شده با ذرات در مقایسه با کامپوزیت های تقویت شده با الیاف پیوسته، کم خرج تر و ارزان تر می باشند. همواره هزینه تمام شده، به خصوص در کاربردهایی که نیاز به حجم بالایی از کامپوزیت ها می باشد، مانند کاربردهای صنایع خودروسازی، جزء پارامترهای مهم و حیاتی است

ب) تکنیک های فراوری متالورژیکی مرسوم، از قبیل ریخته گری یا متالورژی پودر و به تبع آن فرایندهای ثانویه مرسوم مثل نورد، فورج و اکستروژن برای این دسته از کامپوزیت ها قابل استفاده می باشد

ج) امکان استفاده در دماهای بالاتر در مقایسه با فلزات تقویت نشده وجود دارد

د) بهبود مدول و استحکام

ه) بالا بودن پایداری حرارتی

و) خواص سایشی بهتر

ز) دارا بودن خواص نسبی ایزوتروپیک^۱ در مقایسه با کامپوزیت های تقویت شده با الیاف

باید توجه داشت که در کامپوزیت های تقویت شده با الیاف پیوسته، از خواص فاز تقویت کننده (استحکام و سفتی) به طور کامل تری بهره برده می شود. در این کامپوزیت ها اثر تقویت کنندگی الیاف به علت دارا بودن مدول بالاتر آنها می باشد. در این کامپوزیت ها در اثر کرنش شرایط انتقال بار از ماتریس به الیاف فراهم می شود. چنین الیافی معمولاً از موادی با پیوندهای کوالانسی و وزن اتمی پایین ساخته می شوند. الیافی از قبیل کربن و بور و نیز بورایدها، کاربیدها، سیلیسیدها، نیتریدها و اکسید های فلزات چند ظرفیتی (۳) و فلزات واسطه، جزء الیاف متداول در تولید کامپوزیت ها هستند [۴].

^۱. Isotropic properties

۱-۳: مقایسه کامپوزیت های زمینه فلزی با سایر مواد و کامپوزیت ها

کامپوزیت های زمینه فلزی در مقایسه با سایر مواد، دارای مزایای متنوعی هستند. در جدول (۱-۲) مقایسه ای بین کامپوزیت های زمینه فلزی با فلزات تقویت نشده، کامپوزیت های زمینه پلیمری^۱ و کامپوزیت های زمینه سرامیکی^۲ انجام شده است.

جدول (۱-۲): مقایسه کامپوزیت های زمینه فلزی با سایر مواد [۳،۴،۵]

مزایا	معایب
مقایسه با فلزات تقویت نشده	
- استحکام ویژه بالاتر - سفتی ویژه بالاتر - بهتر بودن مقاومت خزشی در دمای بالا - بهتر بودن مقاومت سایشی	- چقرمگی و داکتیلیتی کمتر - پیچیده و گران قیمت تر بودن روش های فراوری
مقایسه با کامپوزیت های زمینه پلیمری	
- استحکام عرضی بالاتر - چقرمگی بیشتر - مقاومت بیشتر در برابر آسیب های محیطی (به خصوص در برابر تشعشع) - قابلیت انتقال حرارت و الکتریسیته بهتر - قابلیت تحمل دماهای بالاتر	- توسعه و تکامل کمتر تکنولوژی تولید - کمبود اطلاعات موجود و در دسترس درباره خواص کامپوزیت - قیمت بالاتر
مقایسه با کامپوزیت های زمینه سرامیکی	
- چقرمگی و داکتیلیتی بیشتر - روش های فراوری ساده تر - قیمت کمتر	- عدم تحمل دماهای بسیار بالا

همان طور که در جدول فوق مشاهده می شود، کامپوزیت های زمینه فلزی نسبت به سایر مواد دارای مزایایی هستند، که این موضوع باعث می شود تا بتوان از این کامپوزیت ها در کاربردهای متنوع صنعتی، به خصوص در صنایع هوا فضا و خودرو سازی بهره برد. در واقع این کامپوزیت ها می توانند در بسیاری از موارد جایگزین مناسبی برای مواد فوق باشند.

^۱ . Polymer matrix composite

^۲ . Ceramic matrix composite

۱-۴: ویژگی های ماتریس و فاز تقویت کننده در کامپوزیت های زمینه فلزی

به طور کلی ماده فاز زمینه و فاز تقویت کننده در یک کامپوزیت زمینه فلزی به منظور رسیدن به خواص مطلوب و مورد نیاز، می بایست دارای ویژگی های خاصی باشند. در ذیل به ویژگی های مهم در انتخاب ماده فاز زمینه و فاز تقویت کننده در کامپوزیت های زمینه فلزی اشاره شده است [۳].

ویژگی های فاز زمینه (ماتریس):

الف) قابلیت ترکندگی^۱ مناسب فاز دوم

ب) قابلیت سیالیت^۲ مناسب

ج) تطابق^۳ با فاز دوم

د) دانسیته کم

ه) دارا بودن ترکیب شیمیایی مناسب

ویژگی های فاز دوم (فاز تقویت کننده):

الف) دارا بودن خواص مناسب فیزیکی، حرارتی و مکانیکی

ب) ارزان قیمت بودن

به طور کلی ماده فاز زمینه می بایست به اندازه کافی، با الیاف اتصال داشته و همچنین از سطح آنها در مقابل صدمات محافظت کند، به طوریکه تنش های وارده، در تنش هایی به مراتب کمتر از تنش کاری کامپوزیت، بتوانند به طور مناسب به فاز تقویت کننده منتقل شوند. این آمیزه ای از استحکام و سفتی بالا به همراه چقرمگی خوب است، که باعث می شود تا مواد تقویت شده با الیاف بیش از بیش مورد توجه قرار گیرند. برای دست یابی به ترکیب مطلوبی از خواص مورد نظر، فرایند فراوری و ساخت کامپوزیت از اهمیت شایانی برخوردار است [۴].

در فصل بعد برخی از روش های فراوری کامپوزیت های زمینه فلزی بررسی شده و مزایا و معایب هر یک از روش ها و نیز تاثیر پارامترهای فراوری بر خواص نهایی محصول مشخص می شود.

^۱. Wettability

^۲. Fluidity

^۳. Compatibility