



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc”
مهندسی مواد – شناسایی و انتخاب مواد فلزی

عنوان :

روشهای تولید و بررسی خواص مواد تابعی کامپوزیتی زمینه فلزی

استاد راهنما :

نگارش:

یاشار ایرانپور ننه کران

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان مطالب
۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	فصل اول : کلیات
۴	۱-۱) هدف
۴	۲-۱) پیشینه تحقیق
۵	۳-۱) روش کار و تحقیق
۷	فصل دوم : روشهای تولید مواد تابعی
۸	۱-۲) روش از هم گسیختگی دو غاب و رسوب دهی شیب دار
۹	۲-۲) روش جداسازی الکترومغناطیسی
۱۴	۳-۲) روش میدان فراصوتی قوی
۲۱	۴-۲) روش رسوب دهی الکتریکی
۲۷	۵-۲) روش ریخته گری گریز از مرکز
۳۳	۶-۲) روش تلقیح مذاب
۳۷	۷-۲) روش ثقلی یاته نشینی
۳۸	۸-۲) روش انجماد جهت دار
۳۹	۹-۲) روش متالورژی پودر
۴۰	۱۰-۲) روش پالایش توسط فشار
۴۲	فصل سوم : خواص مواد تابعی
۴۳	۱-۳) خواص مکانیکی
۵۴	۲-۳) خواص سایشی
۵۷	فصل چهارم : کاربرد مواد تابعی
۵۹	منابع و مآخذ
۵۹	فهرست منابع لاتین
۶۲	چکیده انگلیسی

فهرست جدول ها

عنوان	شماره صفحه
۱-۲ : نتایج برخی از آزمایشهای صورت گرفته بر روی مواد تابعی	۹
۲-۲ : خواص کلوئیدی پودرها	۲۳
۳-۲ : پارامترهای (m_i) ، (Q_i) و (S_{Li})	۲۴
۴-۲ : دانسیته خام نمونه ها و تخلخل رسوبات بعد از تف جوشی	۲۵
۵-۲ : شرایط تولید	۳۲
۱-۳ : خواص اجزای مواد تابعی	۴۸
۲-۳ : دانسیته و استحکام خمشی مؤثر مواد تابعی Ni / Al_2O_3 و Al / SiC	۵۰
۳-۳ : مقایسه خواص مواد تابعی چند لایه	۵۳
۴-۳ : مشخصات ذرات SiC	۵۴

فهرست نمودارها

عنوان	شماره صفحه
۱-۲ : منحنیهای سرد شدن نمونه با و بدون اعمال میدان فراصوتی	۱۹
۲-۲ : منحنیهای سرد شدن نمونه ماده تابعی سرد شده با آب	۲۰
۳-۲ : بازدهی رسوب دهی و جریان اندازه گیری شده به عنوان تابعی از زمان رسوب دهی	۲۴
۴-۲ : غلظت Al_2O_3 (برحسب درصدوزنی)، بعنوان تابعی از ضخامت نمونه تف جوشی شده	۲۶
۵-۲ : توزیع ذرات SiC در طول ضخامت نمونه $700rpm (b) 1300rpm (a)$	۲۹
۶-۲ : توزیع اندازه ذرات اولیه Al_3Ni در مواد تابعی Al / Al_3Ni	۳۱
۷-۲ : تشکیل شیب در W / Cu	۳۵
۱-۳ : منحنی تنش- کرنش آلیاژ $Al A359$ و کامپوزیت تابعی $Al A359/SiC$	۴۳
۲-۳ : ۲ توزیع ذرات SiC در امتداد ضخامت نمونه های Al / SiC $700rpm (b) 1300rpm (a)$	۴۴
۳-۳ : استحکام کششی نهایی به عنوان تابعی از موقعیت (X)	۴۵
۴-۳ : تغییرات مدول الاستیک بر حسب فاصله از کف نمونه	۴۵
۵-۳ : تغییرات سختی بر حسب فاصله از کف نمونه	۴۶
۶-۳ : تغییرات تافنس شکست و مدول الاستیک بر اساس طول ترک	۴۶
۷-۳ : نرخ انرژی آزاد شده بر اساس طول ترک	۴۷
۸-۳ : مقایسه میکروسختی در مقطع لایه ها و در فصل مشترک نمونه های Al/SiC ، قبل وبعد از عملیات حرارتی	۵۰

فهرست شکل‌ها

عنوان	شماره صفحه
۱-۱: انواع مختلفی از مواد تابعی	۶
۱-۲: شماتیک روش از هم گسیختگی دو غاب و رسوب دهی شیب دار	۸
۲-۲: مبانی روش جداسازی الکترومغناطیسی	۱۰
۳-۲: اصول کلی روش جداسازی الکترومغناطیسی	۱۱
۴-۲: نمونه ای از مواد تابعی ($Al-Si$) ساخته شده توسط روش جداسازی الکترومغناطیسی	۱۲
۵-۲: ریزساختار مربوط به هریک از نواحی A, B, C و D	۱۳
۶-۲: ریزساختارهای اطراف فصل مشترک ناحیه I (میان نواحی B و C) و فصل مشترک ناحیه II (میان نواحی C و D)	۱۴
۷-۲: اجزای سیستم فراصوتی	۱۵
۸-۲: ریزساختار نمونه ای از مواد تابعی تولید شده توسط روش میدان فراصوتی قوی	۱۶
۹-۲: تصاویر SEM از تخلخل در نمونه غیر تابعی (a) و نمونه تابعی (b)	۱۷
۱۰-۲: نمایش جریان القاء شده در مذاب بوسیله انعکاس صوتی	۱۹
۱۱-۲: مبانی روش رسوب دهی الکتریکی	۲۱
۱۲-۲: اصول کلی روش رسوب دهی الکتریکی	۲۲
۱۳-۲: تصاویر SEM از سطح مقطع ماده تابعی که در $1600^\circ C$ درجه سانتیگراد و به مدت ۱ ساعت تف جوشی شده	۲۶
۱۴-۲: (a) اجزای روش گریز از مرکز و (b) نمونه ای از مواد تابعی تهیه شده توسط این روش	۲۷
۱۵-۲: سطح مقطع از یک بلوک ریخته شده با $1300rpm$	۲۸
۱۶-۲: ریزساختار ماتریس و توزیع ذرات SiC در $1300rpm$	۳۰
۱۷-۲: نمونه ای از ماده تابعی ساخته شده توسط روش ذره جامد گریز از مرکز	۳۳
۱۸-۲: طرحی کلی از شرایط آزمایشگاهی جهت تابعی سازی الکتروشیمیایی	۳۵
۱۹-۲: ریزساختار کامپوزیت تابعی W/Cu	۳۶
۲۰-۲: تولید ماده تابعی Cu/Al_2O_3 بوسیله فرآیند $GMFC$	۳۷
۲۱-۲: تجهیزات مورد استفاده در انجماد جهت دار	۳۹
۲۲-۲: طرح دستگاه پالایش	۴۱
۱-۳: ابعاد قالب بکاررفته جهت ساخت مواد تابعی	۴۷
۲-۳: تصاویر ریزساختار میکروسکوپ نوری	۴۸
۳-۳: تصاویر SEM ریزساختار مواد تابعی	۴۹
۴-۳: مجموعه آزمایشگاهی به کاررفته جهت تست خستگی حرارتی	۵۱

- ۵۲ ۵-۳: تصاویر ترکها بعد از حرارت دادن سیکلی و سرد شدن
- ۵۴ ۶-۳: تصاویر SEM سطح شکست
- ۵۵ ۷-۳: اجزای دستگاه تست سایش خراشان
- ۵۵ ۸-۳: تصویر SEM سطح تماس نمونه (*compact13*) سائیده شده با ذرات Al_2O_3 (با اندازه 85mm)
- ۵۶ ۹-۳: تصویر SEM سطح تماس نمونه (*compact37*) سائیده شده با ذرات Al_2O_3 (با اندازه 85mm)

چکیده:

مواد تابعی (FGM) بدلیل اینکه در آنها ترکیب شیمیایی و ریزساختار به صورت پیوسته و شیب دار در یک تاسه بعد تغییر می کند، باعث ایجاد خواص منحصر به فردی می شود که امکان بکارگیری آنها را در صنایع مختلف فراهم کرده است. از جمله مواد FGM می توان به کامپوزیتهای تابعی Al/SiC اشاره نمود که در آنها سختی و خواص مکانیکی به عنوان تابعی از درصد فاز تقویت کننده (SiC) در ابعاد مختلف قطعه به صورت شیب دار تغییر می کند و می تواند جایگاه ویژه ای را در موارد مختلف داشته باشد.

مقدمه :

یکی از مهمترین چالشهای تکنولوژی در علم مواد، ایجاد خواص ناسازگار (ناهمگون) در یک سازه است [۱]. بعضاً در فرآیند ساخت اجزای یکپارچه ترکیبی از خواص ناسازگار در یک سازه یکسان و در کنار یکدیگر مورد نیاز است. مثلاً می توان در این مورد به وجود سختی بالا در یک طرف سازه و نرمی ساختار در طرف دیگر اشاره نمود [۲]. همچنین در پوششهای عایق حرارتی، اگرچه یک لایه سرامیکی و یک لایه فلزی مستقیماً به هم وصل می شوند اما به علت نا همخوانی ترمومکانیکی در فصل مشترک این دو، تنشهای باقیمانده بوجود می آیند [۳]. یک راهکار جهت رفع این مشکلات بهره گیری از مواد تابعی^۱ است. مواد تابعی، موادی هستند که در آنها ترکیب یاریز ساختار به طور پیوسته در یک تاسه بعد تغییر می کنند [۲ و ۳]. در مواد تابعی با تغییر ترکیب و ریز ساختار در ابعاد مختلف، خواص و در نتیجه عملکرد (قطعه) نیز از یک نقطه تا نقطه دیگر به طور شیب دار تغییر می کند. در واقع شیب تابعی می تواند مناسب با شرایط سرویس قطعه باشد لذا می توان اطمینان خاطری در مورد عملکرد سیستم هائی که تحت بار ترمومکانیکی هستند بدست آورد. بعبارت دیگر به علت تغییر ترکیب و ریز ساختار (بطور شیب دار) ممکن است از فصل مشترک های تند که خود باعث تمرکز تنش موضعی می شوند جلوگیری کرد. علاوه بر این اگر شیب بطور مناسب طراحی شود، عملکرد مواد تابعی در مقایسه با مواد کامپوزیتی معمولی میتواند بهبود پیدا کند. برای مثال در مواد تابعی آلومینا- شیشه، بهینه سازی تغییرات ترکیب ممکن است به طور قابل ملاحظه ای مقاومت سطح به ترک را در مقایسه با کامپوزیتهای معمولی افزایش دهد. همچنین آسیبهای ناشی از تماس لغزشی به طور قابل توجهی کاهش می یابند [۳].

¹ Functionally Graded Materials

فصل اول

کلیات

۱-۱) هدف

به منظور استفاده از مواد تابعی در کاربردهای مختلف، نیاز به روشهای ساخت مناسب می باشد که امکان تولید شیب در ترکیب و ریزساختار را بطور دقیق بوجود آورد. تکنیکهای تولید معمولاً به دو گروه اصلی تقسیم بندی می شوند:

الف) فرآیندهایی برپایه جابجایی طبیعی^۱

ب) فرآیندهای ساختاری^۲

روشهای گروه اول بیشتر مبتنی بر پدیده هایی خودبه خودی نظیر نفوذ اتمی، انتقال حرارت و غیره هستند در حالیکه در گروه دوم بوسیله ترسیب لایه به لایه شیب مورد نظر ایجاد می شود [۳].

در مورد توسعه روشهای ساخت و بهینه سازی مواد تابعی، پیشرفتهای قابل توجهی صورت گرفته است. این تکنیکها به گروههای زیر طبقه بندی می شوند:

۱- روشهای فاز مایع

۲- روشهای فاز جامد

۳- روشهای فاز بخار

از دیدگاه دیگری، فرآیندهای تولید مواد تابعی به مراحل ایجاد ساختار غیر هموژن^۳ و منسجم سازی ساختار به صورت ماده توده ای^۴ تقسیم بندی می شوند.

فرآیندهای شیب دار کردن نیز می تواند به فرآیندهای تشکیل دهنده، هموژنی و جدایشی طبقه بندی شوند. فرآیندهای تشکیل دهنده برپایه یک ساختار شیب دار شده و بطور مرحله ای از مواد پیش رو یا پودر ها ساخته می شوند. در فرآیندهای هموژنی، یک فصل مشترک تندبین دوماده، بوسیله جابجایی ماده تبدیل به یک فصل مشترک شیب دار می شود. فرآیندهای جدایشی همراه بایک ماده هموژن که بطور ماکروسکوپی تبدیل به یک ماده شیب دار شده آغاز می شوند. فرآیندهای هموژنی و جدایشی شیب پیوسته ای را بوجود می آورند اما محدودیت هایی نیز در ارتباط بانوع شیب دارند. معمولاً در ادامه فرآیند شیب دار کردن، مراحل خشک کردن، سینترینگ یا انجماد صورت می پذیرد [۱۰]. اگر چه بیشتر این روشها ممکنست برای کاربردهای خاص بخوبی مطالعه شده باشند اما با این حال محدودیتهایی از قبیل پیچیدگی در فرآیند، سرعت ته نشینی پایین و قیمت بالای فرآیند وجود دارد [۱۱].

۲-۱) پیشینه تحقیق

مواد تابعی برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ میلادی بعنوان یک کلاس مشخص از مواد معرفی شدند که به جهت کارایی بالادر پوششهای عایق حرارتی در فضاپیماها به کار گرفته شدند [۳]. برنامه ای تحقیقاتی به مدت پنج سال با عنوان «مطالعه بنیادی بر روی افت تنش حرارتی دردمای بالا با استفاده از مواد با ساختارهای شیب دار شده» در سال ۱۹۸۷ با بودجه ای معادل ۱/۲۱۵ میلیون ین

¹ - Natural transport based processes

² - Constructive processes

³ - Gradation

⁴ - Consolidation

در ژاپن آغاز شد. هدف از این تحقیق، توسعه مواد تابعی جهت استفاده در اجزائی که در دماهای بالا کاربرد داشتند، بود. به علت اهمیت بالای مواد تابعی، پروژه پنج ساله دیگری در ژاپن در سال ۱۹۹۳ پیرامون مواد تابعی و کاربردهای آنها در مبدلها آغاز شد. اگرچه تحقیقات سیستماتیکی بر روی طراحی، ساخت و توسعه مواد تابعی در ژاپن در طی سالهای گذشته صورت گرفته است اما باید خاطرنشان شد که سایر کشورها نظیر آلمان، آمریکا و چین نیز تحقیقات گسترده ای پیرامون این دسته از مواد انجام داده اند که این موضوع حاکی از جایگاه مهم این دسته از مواد می باشد [۴].

۱-۳) روش کار و تحقیق

جهت ادامه تحقیقات در مورد مواد تابعی دسترسی به فاکتورهای زیر ضروری می باشد:

۱- بیان تعاریف و تئوریهای ریاضی در مورد خواص و ساختارهای شیب دار شده

۲- توسعه استفاده از کامپیوتر در طراحی و مدلسازی مواد تابعی

۳- توسعه روشهای بهینه در ساخت مواد تابعی

۴- ارزیابی خواص شیب دار شده [۴].

مواد تابعی کامپوزیتی دسته ای از مواد شیب دار هستند که در آنها تغییر درصد فاز سرامیکی در یک یا چند بعد از قطعه منجر به مزایای منحصربه فردی چون عبور آهسته تنشهای حرارتی در ضخامت و کمتر شدن تمرکز تنش در فصل مشترک دوماه نامشابه (فلز و سرامیک) می شود [۵]. برای مثال در یک ماده تابعی سرامیک/فلز، سمتی که از فلز غنی تر است عموماً در ناحیه ای که نیاز به خواص مکانیکی بالا (نظیر تافنس) می باشد قرار می گیرد و در مقابل، سمت سرامیکی که رسانایی حرارتی پائینتری دارد و می تواند در دماهای بالا مقاومت خوبی داشته باشد در ناحیه ای که شیب دمائی بالایی دارد واقع می شود [۶]. در واقع هدف از طراحی مواد تابعی فلز-سرامیک، بدست آوردن مزایا و خواص مطلوب سرامیک نظیر سختی بالا، مقاومت به خوردگی و نقطه ذوب با لامی باشد. در حالیکه مزایای فاز فلزی شامل تافنس شکست خوب، قابلیت ماشینکاری و جوش پذیری نیز همراه با خواص مطلوب سرامیکی در ماده باقی می ماند. هنگامیکه از لایه های مشخصی از فلز و سرامیک استفاده می شود، اختلاف در ضریب انبساط حرارتی این دو می تواند منجر به تنش های داخلی بالایی شود. لذا مزیت دیگر استفاده از ترکیب شیب دار شده، جلوگیری از این مشکل (تنشهای باقیمانده) می باشد [۷].

بطور کلی مزایای مواد تابعی را می توان بشرح ذیل عنوان نمود:

۱) کاهش پیک تنشهای حرارتی

۲) افزایش استحکام پیوند فصل مشترک، بین مواد غیر مشابه بوسیله ایجاد یک شیب پیوسته در ترکیب

۳) حذف تمرکز تنش در تقاطع فصل مشترکها و لبه های آزاد در کامپوزیتهای ورقه ای

۴) بهبود تافنس شکست سرامیکهای ترد بوسیله معرفی یک فاز فلزی که بطور پلاستیک، تغییر فرم می یابند [۸].

در شکل ۱-۱ انواع مختلف مواد تابعی نشان داده شده است [۹].