

تحلیل ورق‌ها

و

پوسته‌های هدفمند تابعی

نویسندگان:

دکتر کرامت ملک‌زاده فرد

عضو هیئت علمی دانشگاه مالک‌اشتر

مهندس علی نظری

محقق پژوهشکده هوایی

سرشناسه	ملک زاده فرد، کرامت، ۱۳۴۷
عنوان و نام پدیدآور	: تحلیل ورق‌ها و پوسته‌های هدمند تابعی/کرامت
مشخصات نشر:	ملک‌زاده / علی نظری
مشخصات ظاهری	: کرج الماس البرز، ۱۳۹۲
شابک	: ج، ۴۲۹ ص: مصور، جدول، نمودار.
وضعیت فهرست نویسی	: ۲۵۰۰۰۰ ریال ۱-۰-۹۳۵۳۹-۶۰۰-۹۷۸
ناشر	: فیپا
موضوع	: کتابنامه
موضوع	: مواد گرادیان تابعی
موضوع	: مهندسی هوافضا-مواد صنعتی
شناسه افزوده	: سازه و تحلیل
رده بندی کنگره	: نظری، علی، ۱۳۶۲-
رده بندی دیویی	: TA۴۱۸/۹/۵۴۷ ۱۳۹۲
شماره کتاب شناسی ملی	: ۶۲۰۱۱۱۰
	: ۳۱۷۲۱۱۱

تحلیل ورق‌ها و پوسته‌های هدمند تابعی

دکتر کرامت ملک‌زاده - ملکی، علی، نظری

انتشارات الماس البرز

ناظر چاپ و ویراستار: کاظم پری‌پیکر

تیراژ: ۵۰۰ جلد قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال

چاپ اول: ۱۳۹۲ شابک: ۹۳۵۳۹-۱-۰-۶۰۰-۹۷۸

کرج- بلوار طالقانی - ۱۶ متری انقلاب - گلستان ۲ - ساختمان مروارید

تلفن همراه: ۰۹۱۲۶۹۶۳۶۲۱ - نمابر: ۰۲۶-۳۲۴۰۰۳۶۳ - ایمیل aa_pub@yahoo.com

فهرست مطالب

۱۱	پیش‌گفتار
۱۸	فصل اول
۱۸	مقدمه‌ای بر مواد هدفمند
۲۰	۱-۲- معرفی مواد هدفمند:
۲۳	۱-۳- روش‌های کاربرد مواد هدفمند
۲۴	۱-۴- تاریخچه
۲۷	۱-۵- کاربردهای مواد هدفمند
۲۸	۱-۶- منابع و مراجع:
۳۳	فصل دوم
۳۳	معرفی سازه‌های ساندویچی و برخی از کاربردهای ساندویچی‌ها به کار
۳۶	۲-۳- خصوصیات هسته سازه‌های ساندویچی:
۳۸	۲-۳- دلایل استفاده از مواد هدفمند در هسته سازه‌های ساندویچی
۳۹	۲-۴- کاربرد و مزایای سازه‌های ساندویچی
۴۱	۲-۵- انواع سازه‌های ساندویچی
۴۵	۲-۶- بررسی برخی از پرکاربردترین تئوری‌های به کار رفته در تحلیل سازه‌های ساندویچی:
۴۵	۲-۷- تئوری کلاسیک ورق‌های چند لایه (CLPT)
۴۷	۲-۸- تئوری مرتبه اول برشی
۴۹	۲-۹- تئوری مرتبه سوم برشی
۵۱	۲-۱۰- تئوری Kant

۵۵	۱۱-۲- تغییرات انرژی کرنشی لمینیت
۵۸	ضعف‌های تئوری Kant
۶۳	۲-۱۱-۲- میدان‌های تنش و تغییر مکان
۶۷	۲-۱۱-۳- معادلات حاکم
۶۹	۲-۱۱-۴- حل معادلات حاکم
۷۸	تغییرات انرژی جنبشی
۸۳	۲-۱۳- تئوری برشی Donnell
۸۳	۲-۱۴- تئوری مرتبه‌بالای زاک
۹۳	۲-۱۵- تئوری Layerwise
۱۰۶	فصل سوم
۱۰۶	بررسی تئوری مرتبه سوم در تحلیل سازه‌های غیرخطی
۱۰۶	۳-۱- تئوری تغییر شکل برشی مرتبه بالای
۱۱۳	۳-۲- بررسی معادلات غیر خطی ون-کارمن
۱۱۹	۳-۳- منابع و مراجع:
۱۲۱	فصل چهارم:
۱۲۱	بررسی کمانش پوسته‌های استوانه‌ای FGM تحت اثر نیروی فشاری محوری
۱۲۷	۴-۳- فشار محوری یکنواخت:
۱۳۲	۴-۴ فشار خارجی:
۱۳۷	۴-۵- روش حل مسئله مورد بررسی:
۱۴۰	۴-۶- معادلات تصحیح یافته برای کمانش یک پوسته FGM:
۱۴۲	۴-۷- حل معادلات کمانش با استفاده از مدول یانگ خطی:
۱۴۳	۴-۸- معادلات تعادل و شرایط مرزی:

- ۱۴۴ ۹-۴- حل موده‌های کمانش و بارگذاری‌ها:
- ۱۴۶ ۱۰-۴- حل معادلات کمانش با استفاده از مدول ینانگ سهموی:
- ۱۵۰ ۱۱-۴- بارهای کمانشی حاصل از مدول ینانگ خطی
- ۱۵۲ ۱۲-۴- بارهای کمانشی حاصل از مدول ینانگ سهموی
- ۱۵۳ ۱۳-۴- جمع بندی
- ۱۶۰ ۱۴-۴- فیس بستم:
- ۱۶۰ آنالیز خمش غیرخطی ورق‌های FGM با تغییر شکل برشی
- ۱۶۰ ۱-۵- مروری بر کارهای انجام شده:
- ۱۶۲ ۲-۵- بررسی خمش غیرخطی ورق‌های FGM تحت بارهای مکانیکی در محیط‌های حرارتی:
- ۱۸۱ ۳-۵- بررسی خمش حرارتی غیرخطی ورق‌های FGM ناشی از هدایت حرارتی
- ۱۹۴ فصل ششم:
- ۱۹۴ آنالیز کمانش غیر خطی ورق‌های FGM - شکل برشی
- ۱۹۶ ۲-۶- بررسی رفتار پس از کمانش ورق‌های FGM با عملگرهای پیزوالکتریک
- ۲۲۷ ۳-۶- رفتار کمانش حرارتی ورق‌های FGM با عملگرهای پیزوالکتریک:
- ۲۵۱ فصل هفتم:
- ۲۵۱ بررسی ارتعاشات آزاد پانل ساندویچی با هسته هدفمند (FGM)
- ۲۵۱ ۱-۷- مقدمه
- ۲۵۲ ۲-۷- مروری بر تحقیقات انجام شده:
- ۲۶۰ ۳-۷- فرض‌های در نظر گرفته شده در تحلیل:
- ۲۶۱ ۴-۷- تعریف مسئله
- ۲۶۳ ۵-۷- تئوری‌های مورد استفاده در رویه‌ها و هسته
- ۲۶۵ ۶-۷- روش انرژی و اصل همیلتون:

- ۲۶۵ ۷-۶-۱- معادله تغییرات مرتبه اول انرژی پتانسیل:
- ۲۶۶ ۷-۶-۲- معادله تغییرات مرتبه اول انرژی حاصل از نیروهای خارجی
- ۲۶۸ ۷-۶-۳- معادله تغییرات مرتبه اول انرژی جنبشی
- ۲۷۲ ۷-۶-۴- شرایط سازگاری
- ۲۸۱ ۷-۸-۱- رابطه سینماتیکی بین نیروها و گشتاورها و کرنش‌های در روبه‌ها و هسته میانی
- ۲۸۵ ۷-۹-۱- پاس‌دینامیکی ارتعاشات آزاد ورق با تکیه‌گاه ساده
- ۲۸۷ ۷-۱۰-۱- نتایج ارتعاشات آزاد پانل ساندویچی
- ۲۸۷ ۷-۱۰-۱-۱- ارتعاشات آزاد ورق ساندویچی پنج لایه با تکیه‌گاه ساده
- ۲۹۰ ۷-۱۰-۲- ارتعاشات آزاد ورق ساندویچی هفت لایه با تکیه‌گاه ساده
- ۲۹۲ ۷-۱۰-۳- ارتعاشات آزاد ورق هدفمند با تکیه‌گاه ساده
- ۲۹۵ ۷-۱۰-۴- ارتعاشات آزاد ورق ساندویچی با هسته هدفمند و تکیه‌گاه ساده
- ۲۹۷ ۷-۱۰-۵- بررسی پارامتری ورق ساندویچی با هسته هدفمند
- ۲۹۹ ۷-۱۰-۶- بررسی تاثیر تغییرات ضریب منظری بر فرکانس طبیعی
- ۳۰۰ ۷-۱۰-۷- بررسی تاثیر تغییرات طول به ضخامت بر فرکانس طبیعی
- ۳۰۱ ۷-۱۰-۸- بررسی پارامتری ورق ساندویچی با هسته هدفمند
- ۳۰۳ ۷-۱۰-۹- بررسی تاثیر تغییرات ضخامت هسته به ضخامت کل بر فرکانس طبیعی $\omega_{1,1}$
- ۳۰۴ ۷-۱۰-۱۰- بررسی تاثیر تغییرات ضخامت هسته به ضخامت کل بر فرکانس طبیعی $\omega_{2,1}$
- ۳۰۴ ۷-۱۰-۱۱- بررسی تاثیر تغییرات ضریب منظری بر فرکانس طبیعی
- ۳۰۵ ۷-۱۰-۱۲- بررسی تاثیر تغییرات طول به ضخامت بر فرکانس طبیعی
- ۳۰۶ ۷-۱۰-۱۳- بررسی تاثیر تغییرات طول به ضخامت بر فرکانس طبیعی
- ۳۰۷ ۷-۱۰-۱۴- بررسی تاثیر تغییرات طول به ضخامت بر فرکانس طبیعی
- ۳۰۸ ۷-۱۰-۱۵- بررسی تاثیر تغییرات توان تابع توزیع خواص P بر جابجایی هسته U_0

- ۳۰۸ ۷-۱۰-۱۶- بررسی تاثیر تغییرات توان تابع توزیع خواص P بر جابجایی هسته V_c
- ۳۱۰ ۷-۱۰-۱۷- بررسی تاثیر تغییرات توان تابع توزیع خواص P بر جابجایی هسته W_c
- ۳۲۰ فصل هشتم:
- ۳۲۰ پاسخ دینامیکی ضربه عرضی با سرعت پایین بر روی پانل ساندویچی با هسته هدفمند FGM ۳۲۰
- ۳۲۲ ۸-۱-۲- بررسی پانل دینامیکی صفحات ساندویچی با هسته FGM و
- ۳۲۳ ۸-۳- بررسی پانل دینامیکی صفحات ساندویچی با هسته FGM و
- ۳۳۴ ۸-۴-۱- مدل های ارائه شده برای آنالیز ضربه با سرعت پایین
- ۳۳۴ ۸-۴-۱- مکانیک برخورد
- ۳۳۵ ۸-۴-۲- مدل توازن انرژی
- ۳۳۷ ۸-۴-۳- مدل جرم و فنر
- ۳۳۷ ۸-۴-۴- مدل های کامل
- ۳۳۸ ۸-۵- مدل پیشنهادی برای تحلیل ضربه با سرعت پایین
- ۳۳۹ ۸-۶-۱- پاسخ دینامیکی ورق ساندویچی با هسته FGM تحت بار ضربه ای
- ۳۴۳ ۸-۶-۱- محاسبه مقادیر سفتی و جرم مدل دو درجه آزادی
- ۳۴۵ ۸-۶-۲- روابط تکمیلی برای ضربه با جرم کوچک
- ۳۴۶ ۸-۷-۱- نتایج حاصل از آنالیز دینامیکی ورق ساندویچی تحت بار ضربه ای با سرعت پایین
- ۳۴۷ ۸-۷-۱- مثال اول: پاسخ دینامیکی ورق ساندویچی با رویه های کامپوزیتی و
- ۳۵۱ پارامتر سرعت اولیه ضربه زننده
- ۳۵۳ پارامتر جرم ضربه زننده
- ۳۵۴ پارامتر جنس ضربه زننده
- ۳۵۵ پارامتر شعاع کره ضربه زننده

۳۵۶	اثر هسته PFGM بر روی مقادیر خیز و نیروی تماس
۳۶۰	اثر هسته SFGM بر روی مقادیر خیز و نیروی تماس
۳۸۱	فصل نهم:
۳۸۱	کمانش پانل کامپوزیتی ساندویچی با هسته میانی انعطاف پذیر و هدفمند
۳۸۱	مروری بر تحولات انجام شده
۳۸۶	فرمول بندی و حل مساله کمانش پانل های ساندویچی کامپوزیتی با هسته هدفمند
۳۸۷	تعریف مسئله
۳۸۸	ایده FGM
۳۹۲	روش کلی استخراج معادلات
۳۹۳	سیستم معادلات دیفرانسیل پانل
۳۹۳	پاسخ ناویر برای تحلیل کمانش پانل ساندویچی با تکیه گاه ساده
۳۹۴	مفهوم فیزیکی اعداد صحیح m و n
۳۹۶	تحلیل نتایج
۳۹۶	بررسی اثر ضریب منظری پانل ساندویچی بر مود کمانش بحرانی
۴۰۸	بررسی اثر نسبت ضخامت پانل ساندویچی بر بار بحرانی کمانش
۴۱۶	بررسی اثر نسبت مدول الاستیسیته هسته هدفمند بر بار بحرانی کمانش پانل ساندویچی

پیش‌گفتار

قسمت‌های مختلف یک قطعه بسته به شرایط کارکرد، باید دارای ویژگی‌های مختلفی باشند. مثلاً یک چاقوی آشپزخانه لازم است دارای لبه تیزی باشد، بنابراین کافیسیت که تنها لبه آن از جنسی با استحکام و سختی زیاد ساخته شود. به عنوان مثالی دیگر در چرخندها باید سطح دندانهای آن بسیار سخت و ضدسایش باشد. در نتیجه نیاز به استفاده از موادی که دارای تغییرات تدریجی در خواص خود می‌باشند ضروری به نظر می‌رسد. همچنین با پیشرفت سریع صنایع هواپیماسازی و سفینه‌های فضایی، نیاز به ساخت موادی که بتوانند پدیده‌های شدید محیطی از جمله دماهای بسیار بالا و گرادیان‌های تنش حرارتی را تحمل کنند پیدا شد. ایده منحصر به فرد این گونه مواد تهیه نمودن یک کامپوزیت جدید با تغییرات تدریجی ترکیبات از سرامیک‌های مقاوم به حرارت تا فلزهای مقاوم به شکست می‌باشد. به این مواد در اصطلاح علمی **Functionally Graded Materials** یا به اختصار **FGM** گفته می‌شود.

استفاده از مواد هدفمند (FGM) در بهره‌ها مزایای بسیار زیادی به همراه خواهد داشت که در ادامه به چند مورد از آن‌ها اشاره شده است:

- کم شدن تمرکز تنش حرارتی به دلیل تغییر ساختار جنس
- کاهش تنش‌های پسماند
- داشتن خواص چندگانه مانند مقاومت به سایش و ترمیم به شکست بالا
- توانایی بسیار در بهبود ویژگی‌های ترمومکانیکی مواد
- به تاخیر انداختن نقطه پلاستیک شدن و نقطه شکست برای یک بارگذاری ترمومکانیکی مشخص

○ رساندن تنش‌های حرارتی به کمترین مقدار و کنترل محل پیشامد این تنش‌ها

○ اتصال بهتر بین پوشش محافظ و ماده پایه و در نتیجه کاهش احتمال جدایش به خاطر بارگذاری‌های مکانیکی و حرارتی

با توجه به اینکه کشور عزیزمان ایران در زمینه صنایع هوافضا روز به روز در حال شکوفایی و پیشرفت است و از طرفی استفاده از مواد هدفمند در سازه‌های مدرن هوافضایی ضروری می‌باشد لذا مولفان این کتاب تصمیم گرفتند تا با تجربه ای که در زمینه تحلیل‌های سازه‌های هدفمند کسب کرده اند کتاب حاضر را با عنوان "سازه‌های هدفمند تابعی و کاربردهای آن‌ها در صنایع هوابی و فضایی" تالیف و در اختیار دانش پژوهان و مهندسان صنایع هوایی و فضایی قرار دهند.

در این کتاب به دو موضوع اهمیت ویژه‌ای داده شده است:

کتاب طوری طراحی و آماده شده است که دانشجویان رشته‌های مهندسی بتوانند از این کتاب به عنوان کتاب درسی استفاده نمایند. در این زمینه سعی شده است تئوری‌های مختلف مورد استفاده در تحلیل ورق‌ها و پانل‌های سازه‌ای مورد بررسی قرار گیرد و انواع تحلیل‌های گوناگون از جمله تحلیل‌های ارتعاشی، کمانشی و استاتیکی و همچنین ضربه مورد بررسی قرار گرفته است.

این کتاب برای مهندسين نیز می‌تواند مفید باشد. آشنایی با نحوه استفاده از خصوصیات مواد هدفمند، مزایای کاربرد این مواد در طراحی سازه‌ها، روش‌های تولید این مواد و همچنین فراگیری نحوه تحلیل این سازه‌ها می‌تواند به عنوان مرجعی برای طراحان و سازندگان در طراحی و ساخت سازه‌های هدفمند قرار گیرد.

اکثر فصول کتاب قسمت‌هایی از کارهای تحقیقاتی مؤلفین کتاب می‌باشد. در این رابطه سعی شده است به آخرین مقالات چاپ شده و نیز پایان نامه‌های ارائه شده رجوع گردد.

خلاصه فصل‌های این کتاب به صورت زیر است:

فصل اول تحت عنوان "تعریف، تاریخچه و مقدمه‌ای بر مواد هدفمند" نام‌گذاری گردیده است. در این فصل مواد هدفمند معرفی گردیده اند و تاریخچه کاربرد این مواد مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین انواع کاربردها و مزایای کاربرد این مواد در سازه‌ها از دیگر مباحث مطرح شده در این فصل می‌باشد.

فصل دوم تحت عنوان "معرفی سازه‌های ساندویچی و برخی از پرکاربردترین تئوری‌های به کار رفته جهت تحلیل این نوع سازه‌ها" نام‌گذاری گردیده است. از آنجایی که در فصل‌های پیش رو سازه‌های ساندویچی مورد بررسی قرار گرفته اند، لذا اولین گام آشنایی با این نوع سازه‌ها و همچنین تئوری‌های مورد استفاده جهت تحلیل آن‌ها می‌باشد. در این فصل خصوصیات هسته و رویه‌های ساندویچی، مزایا و کاربرد این نوع سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نیز برخی از پرکاربردترین تئوری‌های به کار رفته جهت تحلیل ورق‌ها و همچنین پانل‌های ساندویچی مورد بررسی قرار گرفته اند.

فصل سوم تحت عنوان "بررسی تئوری‌های مورد استفاده در تحلیل مسائل تغییرخطی" نام‌گذاری گردیده است. از آنجائی که جهت آنالیزهای غیر خطی در فصل‌های آینده آشنایی با تئوری‌های مورد استفاده در تحلیل‌های غیر خطی لازم می‌باشد لذا در این فصل تئوری تغییر شکل برشی مرتبه بالای ردی و معادلات ون-کارمن که در تحلیل‌های غیر خطی کاربرد فراوانی دارند تشریح گردیده‌اند.

فصل چهارم تحت عنوان "بررسی کماتش پوسته‌های استوانه‌ای FGM تحت تاثیر نیروی فشاری محوری" نام‌گذاری گردیده است. در این فصل ابتدا روابط و تعاریف بنیادی مربوط

به پوسته‌های استوانه‌ای به اختصار توضیح داده شده است. سپس با استخراج معادلات تعادل و شرایط مرزی کمانش پوسته هدفمند مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل پنجم تحت عنوان "آنالیز خمش غیرخطی ورق‌های FGM با تغییر شکل برشی" نام‌گذاری گردیده است. معمولاً اولین گام جهت تحلیل ورق‌ها بررسی پدیده خمش می‌باشد. در این فصل خمش غیر خطی ورق هدفمند تحت انواع بارگذاری‌های مکانیکی در محیط قرار می‌گیرد. مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین خمش ناشی از هدایت حرارتی ورق هدفمند در مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل ششم تحت عنوان "آنالیز کمانش غیرخطی ورق‌های FGM با تغییر شکل برشی" نام‌گذاری گردیده است. در این فصل کمانش غیر خطی ورق هدفمند تحت بارهای ترموالکتریک مورد بررسی قرار گرفته است. ورق هدفمند در نظر گرفته شده به صورت ترکیب ورق هدفمند به همراه یک لایه پیزوالکتریک می‌باشد. در این فصل دو نوع از ورق‌های چند لایه که به صورت (P/FGM) و (FGM/P) می‌باشند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین در این فصل کمانش حرارتی این ورق‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل هفتم تحت عنوان "بررسی ارتعاشات آزاد پانل‌های چند لایه با هسته هدفمند" نام‌گذاری گردیده است. در این فصل ارتعاشات آزاد صفحات ساندویچی با هسته‌ای از جنس مواد هدفمند و رویه‌های چند لایه کامپوزیتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. استخراج معادلات دینامیکی و شرایط مرزی مورد نیاز به وسیله روش انرژی و اصل همپتون انجام گرفته است. فرمولاسیون ریاضی در ادامه مراحل تئوری بهبود یافته مرتبه بالای ورق‌های ساندویچی بوده است. نیروهای اینرسی هسته میانی و رویه‌ها، ممان‌های اینرسی و تغییر شکل‌های برشی در هسته میانی و رویه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. همچنین فرض شده است

که هسته قابلیت تحمل تنش‌های برشی و نرمال صفحه‌ای را نیز دارا می‌باشد و اثر آن‌ها در استخراج نتایج مورد بررسی قرار گرفته شده است.

فصل هشتم تحت عنوان "پاسخ دینامیکی ضربه عرضی با سرعت پایین بر روی پانل ساندویچی با هسته هدفمند" نام‌گذاری گردیده است. یکی از مسائل مهم در سازه‌های ساندویچی خسارت ناشی از ضربه با سرعت پایین است. رخداد ضربه شامل حرکت هدف، حرکت ضربه زننده و نیز تغییر شکل در محل برخورد دو جسم به هم می‌باشد. تنش‌های برشی بین لایه‌ای، بواسطه نیروهای تماسی، به اندازه کافی بزرگ هستند که باعث جدایش رویه‌ها از هسته شوند. در این فصل مدل‌های گوناگونی برای بررسی دینامیک ضربه ارائه شده است. در ابتدا شرایط بار داده به مکانیک برخورد شده، سپس آنالیز دینامیکی ورق چند لایه کامپوزیتی ساندویچی تحت بار ضربه‌ای عرضی با سرعت پایین انجام گرفته است. برای تحلیل این پدیده از مدل بحرانی دو درجه آزادی همراه با خطی سازی قانون تماس هرتز استفاده شده است. در پایان مثال‌هایی جهت بررسی صحت و دقت تئوری و بررسی اثرات پارامترهای مختلف، حل و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

فصل نهم تحت عنوان "کمانش ورق‌ها و کمانش ساندویچی با هسته میانی انعطاف‌پذیر و هدفمند" نام‌گذاری گردیده است. در این فصل، پدیده کمانش پانل‌های ساندویچی مستطیلی با هسته‌ای از جنس مواد هدفمند و رویه‌های چند لایه کامپوزیتی بررسی شده است. تحلیل در منطقه الاستیک می‌باشد و از اثرات دما، حرارت و رطوبت صرف‌نظر می‌شود. بار بحرانی کمانش در مودهای مختلف و در شرایط مرزی گوناگون، مانند انواع ضریب منظری و نسبت‌های ضخامت به دست آمده است. شرایط مرزی به نسبت به صفحه میانی، متقارن مدل گردیده است. این تقارن شامل تقارن در هندسه، مواد هدفمند، رویه‌ها و شرایط مرزی می‌باشد.

امید است این کتاب خدمت کوچکی به جامعه علمی و صنعتی میهن اسلامی و مخصوصاً خانواده بزرگ صنایع هوایی باشد. با توجه به اینکه مطالب این کتاب خالی از اشکال نیست از شما خوانندگان محترم خواهشمندیم که ما را از پیشنهادات خود که راهنمای ما در اصلاح و تکمیل مطالب این کتاب خواهد بود محروم نگردانید.

شما می‌توانید هر گونه پیشنهاد و انتقاد خود را از طریق پست الکترونیکی به آدرس www.k.malekzadeh@gmail.com ارسال فرمائید.

در پایان لازم است تمامی کسانی که ما را در تهیه این کتاب یاری دادند به خصوص از آقایان مسعود سلیمی، محمد افطاری و محمدحسین شکیب تشکر و قدردانی نمائیم. امید است اجر معنوی این کتاب شما همه عزیزانی باشد که ما را با راهنمایی‌ها و کمک‌های خویش، موهون عنایت خود نمودند.

کرامت ملک‌زاده - علی نظری

فصل اول

مقدمه‌ای بر مواد هدفمند

۱-۱- مقدمه:

در صنایعی که سازه در مجاورت دمای بسیار بالا قرار دارد استفاده از مواد همگن که خواسته‌های طراحان را برآورده کنند مشکل است. در حرارت‌های زیاد فلزات و آلیاژهای فلزی به شدت در معرض اکسیداسیون، خوردگی، تنش و ... قرار می‌گیرند. همچنین استفاده تنها از مواد با خواص ترمودینامیکی مطلوب همواره امکان‌پذیر نیست. بسیاری از خواص مورد نظر در طراحی مانند چقرمگی و استحکام بالا را برآورده نمی‌کنند. برای رفع این مشکل از فلزات یا مواد مرکب با پوشش عایق حرارتی استفاده می‌شود. اما به علت تغییرات سریع خواص مواد در فصل مشترک بین لایه‌ای، تمرکز تنش که ناشی از تغییر خواص الاستیکی و گرمایی در سطح تماس دو ماده است، ایجاد می‌شود. به عنوان مثال، در محفظه احتراق موتور یک هواپیما، نامناسب بودن ضریب افزایش حرارتی، سبب ایجاد تنش‌های پسماند بزرگی می‌شود و این امر سبب ایجاد جدایی یا ترک در کامپوزیت می‌شود. از این رو در سال‌های اخیر دستیابی به موادی که دارای تغییرات یکنواخت خواص مکانیکی و حرارتی در راستای ضخامت باشند مورد توجه محققان قرار گرفته است. وجود گرادیان یکنواخت در