١٤٢٦

دانشکده فنی

گروه مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

تحلیل کمانش و پس کمانش پوسته های استوانه ای پیزوFGM تحت شرایط بارگذاری مختلف

از

مهدی جاوید

استادان راهنما

دکتر منصور درویزه

دکتر ابوالفضل درویزه

۱۳۸۹/۷/۴

استادان مشاور

دکتر فرید وکیلی تهامی

دکتر رضا انصاری

شهریور ۱۳۸۸

۱۴۱۴۲۶

تقدیم به:

پدر و مادرم

مظاهر پاکی، محبت، صداقت و صبر

و به تمامی تلاشگران راه علم و دانش

آنانکه علم را برای علم می خواهند و بس

تشکر و قدردانی:

اکنون که به یاری خداوند بزرگ، توفیق آن را یافته ام که تهیه و تدوین پایان نامه کارشناسی ارشد را به انجام رسانم بر خود لازم می دانم که زحمات تمامی آنانی را که در این راه مرا یاری داده اند، ارج نهم.

از جناب آقای پرفسور منصور درویزه و جناب آقای پرفسور ابوالفضل درویزه، استادان راهنمای پایان نامه که در تمامی مراحل تهیه و تدوین پایان نامه از مساعدت و همکاری صمیمانه ایشان برخوردار شدم.

جناب آقای دکتر رضا انصاری که مشاوره با ایشان کمک زیادی در پیشبرد اهداف پایان نامه داشته و در طول دوره تحصیلی زحمات فراوانی برای ارتقا سطح علمی دانشجویان متحمل شده اند.

صمیمانه ترین و خالص ترین تشکر قلبی ام را حضور جناب آقای دکتر فرید وکیلی، استاد مشاور پایان نامه، که در تمام دوران تحصیل و مراحل انجام پروژه های کارشناسی و کارشناسی ارشد، در نهایت صمیمیت و علاقمندی و با گشاده رویی در اوقات مختلف مرا پذیرا بوده و از بذل هر گونه عنایت و راهنمایی دریغ نداشته اند، تقدیم می دارم.

از خداوند متعال توفیق روزافزون برای اساتید گرانمایه خواهانم.

همچنین از تمامی دوستان عزیز و ارجمندی که در طول دوران تحصیل و انجام پایان نامه از همفکری و همکاری ایشان بهره مند شدم، بخصوص آقای مهندس علیرضا علیزاده، تشکرو قدردانی می نمایم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول ها	خ
فهرست شکل ها	د
چکیده فارسی	ر
چکیده انگلیسی	ز
فصل اول: پیشگفتار	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده	۳
۱-۳- روند کلی اجرای رساله	۵
فصل دوم: مواد FGM و روابط حاکم بر مواد مرکب	۶
۲-۱- مقدمه	۷
۲-۲- تاریخچه پیدایش مواد FGM	۸
۲-۳- فرآیندهای تولید مواد FGM	۱۰
۲-۴- کاربرد مواد FGM	۱۱
۲-۵- نوع پراکندگی ساختار	۱۱
۲-۶- تغییرات آرام بر خلاف ساختارهای لایه های مستقیم	۱۲
۲-۷- معادلات ساختاری مواد FGM	۱۴
۲-۷-۱- کلیات	۱۴
۲-۷-۲- قوانین مخلوط ها در مواد FGM	۱۵
۲-۷-۳- روش تغییر متغیر در مواد FGM	۱۶
۲-۷-۴- روشهای میکرومکانیکی	۱۷
۲-۷-۵- تکنیکهای منطق فازی	۲۱
۲-۸- روابط کسر حجمی	۲۲

۲-۹- خصوصیات موثر مواد ۲۳
۲-۱۰- رفتار ماکرومکانیکی مواد FGM ۲۴
۲-۱۰-۱- رفتار ماکرومکانیکی یک ماده مرکب چند لایه ۲۴
۲-۱۰-۲- روابط تنش و کرنش مواد FGM ۳۰
۲-۱۱- مفهوم کمانش ۳۲
فصل سوم: در آمدی بر سازه های هوشمند ۳۴
۳-۱- مقدمه ای بر سازه های هوشمند ۳۵
۳-۱-۱- درباره سازه های هوشمند ۳۵
۳-۲- آلیاژهای حافظه دار ۳۸
۳-۲-۱- تحریک دمایی در تغییر فاز مارتزیتی ۳۸
۳-۲-۲- تغییر فاز مارتنزیتی توسط ایجاد تنش ۴۰
۳-۳- مواد Electro/magneto-strictive ۴۱
۳-۴- مواد Electro/magneto– rheologica ۴۴
۳-۵- فیبرهای نوری ۴۶
۳-۶- تاریخچه پیزو الکتریسیته ۴۶
۳-۶-۱- اصل قطبیت الکتریکی ۴۸
۳-۶-۲- سرامیک های فروالکتریک ۵۱
۳-۶-۳- ناخالص سازی اثر در PZT ۵۴
۳-۶-۴- پلیمرها ۵۵
فصل چهارم: حل معادلات حاکم بر مساله به روش اختلالات ۵۸
۴-۱- مقدمه ۵۹
۴-۲- تعریف بسط منظم ۵۹
۴-۳- حل یک معادله ساده جبری ۶۰
۴-۴- حل یک معادله دیفرانسیل با استفاده از بسط منظم ۶۲

۴-۴-۱- حل تقریبی با استفاده از روش بسط منظم ۶۲
۴-۴-۲- حل دقیق معادله ۶۴
۴-۴-۳- رسم منحنی های حاصل از حل به روش بسط منظم و حل دقیق ۶۴
۴-۵- بسط منفرد ۶۷
۴-۶- تئوری دانل برای به دست آوردن معادلات کمانشی پوسته ۶۸
۴-۷- هندسه پوسته استوانه ای FGM ۶۹
۴-۸- خواص مکانیکی پوسته استوانه ای ۷۰
۴-۹- معادلات دیفرانسیل حاکم بر مساله ۷۱
۴-۱۰- نیروها و ممان های حرارتی و الکتریکی ۷۲
۴-۱۱- شرایط مرزی حاکم بر مساله ۷۴
۴-۱۲- روش تحلیلی اختلالات منفرد برای حل معادلات حاکم بر مساله ۷۵
۴-۱۲-۱- بی بعد کردن معادلات حاکم ۷۵
۴-۱۲-۲- بی بعد کردن شرایط مرزی ۷۷
۴-۱۲-۳- به دست آوردن تابع تنش و خیز عرضی پوسته ۷۸
۴-۱۲-۴- به دست آوردن مسیر تعادل پس از کمانش ۸۳
فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری ۸۶
۵-۱- بحث و نتیجه گیری ۸۷
۵-۲- جمع بندی ۹۶
۵-۳- پیشنهادهای ادامه کار ۹۷
مراجع ۹۸

فهرست جدول ها

صفحه

جدول(۳-۱) خواص عمده shape memory ۳۹

جدول(۳-۲) مقایسه بین خواص ساختاری ER و MR ۴۵

جدول (۳-۳) مشخصات PZT و PVDF ۵۶

جدول (۵-۱) خواص مواد سازنده پوسته استوانه ایFGM ۸۷

جدول (۵-۲) مقایسه بارهای بحرانی کمانش (بر حسب kN) برای پوسته های استوانه ای $Si_3N_4/SUS304$ ۸۸

جدول (۵-۳) مقایسه بارهای بحرانی کمانش (بر حسب kN) برای پوسته های استوانه ای $ZrO_2/Ti\text{-}6Al\text{-}4V$ ۸۸

فهرست شکل ها

صفحه

شکل (۲-۱) مثالهایی از ریز ساختارهای با تغییرات تدریجی متفاوت با روشهای ساخت مختلف ۱۰

شکل(۲-۲) شکل شماتیک تغییرات ریز ساختاری که در یک ماده دو فازی، به صورت افزایش کسر حجمی فاز دوم، رخ می دهد ۱۱

شکل (۲-۳) شکل نشان دهنده تفاوت بین ریز ساختار لایه ای و یک ریز ساختار با تغییرات پیوسته ۱۲

شکل(۲-۴) نمودار تنش و کرنش برای مواد FGM بر طبق قانون مخلوط ۲۰

شکل (۲-۵) تغییرات کسر حجمی f_c برای پوسته تک لایه با موقعیت شعاعی z در جهت ضخامت پوسته ۲۱

شکل(۲-۶) لایه های تشکیل دهنده یک چند لایه ۲۳

شکل (۲-۷) شکل یک چند لایه با N لایه مختلف ۲۸

شکل (۳-۱) تغییر فاز مارتنزیتی ۳۸

شکل(۳-۲) پدیده shape memory ۴۰

شکل(۳-۳) pseudo-elasticity ۴۱

شکل(۳-۴) بارگذاری مواد magneto – strictive ۴۲

شکل (۳-۵) منحنی‌های کرنش – میدان مغناطیسی برای تنش‌های فشاری متفاوت ۴۳

شکل(۳-۶) خاصیت Electrostriction (سرامیک PMN) خاصیت پیزوالکتریکی (سرامیک PZT) ۴۴

شکل(۳-۷) جهت گیری ذرات معلق در میدان الکتریکی اعمالی ۴۴

شکل(۳-۸) اصول قطبیت ۴۸

شکل (۳-۹) ساختار کریستال cds ۴۹

شکل (۳-۱۰) تغییر کرنش مرتبط با جهت گیری قطبیت ۵۲

شکل (۳-۱۱) میدان الکتریکی بر حسب کرنش PZT ۵۳

شکل (۳-۱۲) ساختار پروسکیت در PZT ۵۳

شکل (۳-۱۳) اثر دو قطبی ۵۴

شکل (۳-۱۴) PVDF یک جهته و دو جهته ۵۵

شکل (۴-۱) مقایسه منحنی‌های حاصل از حل دقیق و حل بسط منظم معادله دیفرانسیل $y' + y = \varepsilon y^2$ ۶۵

شکل (۴-۲)- مشابه شکل (۴-۱) بوده با این تفاوت که $\varepsilon = 0.5$ فرض شده است. ۶۶
شکل (۴-۳) مشابه شکل (۴-۱) بوده با این تفاوت که $\varepsilon = 0.1$ فرض شده است. ۶۶
شکل (۴-۴) پوسته استوانه ای اف جی ام با لایه های پیزو الکتریک ۶۹
شکل (۵-۱) مقایسه منحنی بار- کرنش کوتاه شدگی پوسته استوانه ای $Si_3N_4/SUS304$ با نتیجه مرجع[6] ۸۹
شکل (۵-۲) تاثیر افزایش دما بر روی کمانش و رفتار پس از کمانش پوسته های استوانه ای $Si_3N_4/SUS304$ ۹۰
شکل (۵-۳) تاثیر ولتاژ کنترلی بر روی کمانش و رفتار پس از کمانش پوسته های استوانه ای $Si_3N_4/SUS304$ ۹۱
شکل (۵-۴) تاثیر شاخص کسر حجمی، N، بر روی کمانش و رفتار پس از کمانش پوسته های استوانه ای $Si_3N_4/SUS304$ ۹۲
شکل (۵-۵): تاثیر پارامتر هندسی پوسته بر روی کمانش و رفتار پس از کمانش پوسته های استوانه ای $Si_3N_4/SUS304$ ۹۳
شکل (۵-۶) تاثیر نقص هندسی اولیه پوسته بر روی کمانش و رفتار پس از کمانش پوسته های استوانه ای $Si_3N_4/SUS304$ ۹۴
شکل (۵-۷) مقایسه رفتار کمانشی و پس از کمانش پوسته های استوانه ای $Si_3N_4/SUS304$ و $ZrO_2/Ti\text{-}6Al\text{-}4V$ ۹۵

چکیده:

تحلیل کمانش و پس کمانش پوسته های استوانه ای پیزو- FGM تحت شرایط بارگذاری مختلف

مهدی جاوید

در این رساله تحلیل کمانش و پس کمانش پوسته های استوانه ای جدار نازک از جنس FGM و شامل عملگرهای پیزوالکتریک تحت بارگذاری فشاری محوری به همراه بارگذاریهای الکتریکی و حرارتی انجام گرفته است. میدان حرارتی برای پوسته استوانه ای و در راستای ضخامت آن به صورت یکنواخت در نظر گرفته شده است و برای میدان الکتریکی، مولفه جانبی غالب E_z در نظر گرفته شده است. خواص مواد، تابع دما در نظر گرفته شده است و در راستای ضخامت پوسته طبق قانون ساده توزیع کسر حجمی مواد سازنده، توزیع شده است. معادلات حاکم بر اساس تئوری کلاسیک استوانه ون کارمان دانل استخراج گردیده است. عیوب هندسی اولیه برای پوسته، در نظر گرفته شده است. روش اختلالات منفرد برای بیان بارهای کمانش و مسیر پس از کمانش به کار گرفته شده است. مثالهای عددی بارهای کمانشی و رفتار پس از کمانش پوسته های استوانه ای جدار نازک FGM تشکیل یافته از دو ماده سازنده و شامل لایه های پیزوالکتریک را تحت بارگذاری محوری مکانیکی به همراه بارگذاریهای مختلف گرمایی و الکتریکی نشان می دهد. تاثیر افزایش دما، ولتاژ، توزیع کسر حجمی، پارامتر هندسی استوانه و عیوب هندسی اولیه مورد بحث و مطالعه قرار گرفته است.

کلید واژه: FGM، کمانش، پس کمانش، پیزوالکتریک، روش اختلالات منفرد

Abstract

Buckling and postbuckling analysis of piezo-FGM cylindrical shells subjected to different loading conditions

Mehdi Javid

Buckling an postbuckling analysis is presented for a functionally graded cylindrical shell with piezoelectric actuators subjected to axial compression combined with electric loads in thermal environments. The temperature field considered is assumed to be uniform distribution over the shell surface and the electric field is assumed to be the transverse component E_z only. The material properties of functionally graded materials (FGMs) are assumed to be graded in the thickness direction according to a simple power law distribution in terms of the volume fractions of the constituents. The governing equations are based on the classical shell theory with von Karman-Donnell-type of kinematic nonlinearity. A singular perturbation technique is employed to determine the buckling loads and postbuckling equilibrium paths. The numerical illustrations concern the postbuckling response of axially-loaded, perfect and imperfect, cylindrical thin shells with two constituent materials and under different sets of thermal environments. The effects played by temperature rise, volume fraction distribution, shell geometric parameter, and initial geometric imperfections are studied.

Keywords: FGM, buckling, postbuckling, piezoelectric, singular perturbation technique

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت های چشمگیر علمی و تحولات عظیمی که در عرصه صنعت به وقوع پیوسته و با توجه به گرایش صاحبان صنایع بزرگ به استفاده از روش های علمی مناسب در جهت بهبود فن آوری های صنعتی و دست یابی به تکنولوژی های برتر، پرداختن به موضوعات تحقیقاتی نو، همواره در دستور کار صنایع و محققان ذیربط قرار داشته است. در این خصوص یکی از موضوعات مهمی که همواره مورد توجه قرار گرفته، بحث مواد جدید و کارآمد با قابلیت های خاص، به منظور دست یابی به کارآیی بهتر و نیز فراهم شدن امکانات رقابتی در عرصه های علمی، صنعتی و اقتصادی بوده است.

از مقوله های مهمی که در این زمینه و به خصوص در سال های اخیر به آن پرداخته شده است، بحث مواد جدیدی به نام Functionally Graded Material می باشد که مختصرا FGM نامگذاری گردیده اند.

مواد FGM از زمانی که برای اولین بار در سال ۱۹۸۴ در ژاپن معرفی شدند، به طور گسترده در کاربردهای مهندسی مورد توجه قرار گرفته اند. FGM ها مواد کامپوزیتی هستند که در مقیاس ماکروسکوپی نا همگن بوده و از یک سطح تا سطح دیگر به طور آرام و پیوسته تغییر می کنند. این خاصیت، با تغییر تدریجی کسر حجمی مواد سازنده حاصل می شود. مواد FGM ابتدائا به عنوان مانع گرمایی در ساختارهای فضایی و راکتورهای ذوب طراحی شده بودند ولی امروزه به طور عمومی به عنوان اجزا سازنده در محیط های با دمای بسیار بالا کاربرد پیدا کرده اند. بر خلاف مواد کامپوزیت فیبر-ماتریس که داری عدم مطابقت خواص مکانیکی بین دو لایه مجزا که به یکدیگر قید شده اند و ممکن است در دماهای بالا موجب گسیختگی دو لایه شود، FGM ها دارای مزیت مقاومت در محیطهای با دمای بسیار بالا با حفظ تمامیت ساختار ماده را دارا هستند. با افزایش استفاده از این مواد، فهمیدن رفتار کمانش و پس از کمانش پوسته های استوانه ای از جنس FGM خیلی مهم و ضروری به نظر می رسد.

این رساله کارهای قبلی را در مورد پوسته های استوانه ای جدار نازک FGM تحت بارگذاری محوری مکانیکی و در محیط گرمایی توسعه می بخشد. خواص مواد به صورت تابعی از دما در نظر گرفته شده است و در راستای ضخامت پوسته طبق قانون توانی کسی حجمی توزیع شده است. نتایج عددی رفتار کاملا غیر خطی پس از وقوع کمانش را برای پوسته های استوانه ای FGM نشان می دهد. معادلات حاکم بر اساس تئوری ون کارمان دانل - سینماتیک غیر خطی و در نظر گرفتن اثرهای حرارتی استخراج گردیده است. روش اختلالات منفرد برای بیان بارهای بحرانی کمانش و مسیر تابع پس از کمانش به کار گرفته شده است.

۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده

مطالعات زیادی روی رفتار اولیه پس از وقوع کمانش یا رفتار کاملا غیر خطی بعد از کمانش پوسته های استوانه ای همگن و متورق مرکب به وسیله تئوری کلاسیک پوسته استوانه ای صورت گرفته است. با وجود این مطالعه رفتار پوسته های استوانه ای FGM تحت بارگذاری گرمایی یا مکانیکی محدود به چند مورد می باشد. لوی ات ال[۱] تحلیل ارتعاشات پوسته های استوانه ای جدار نازک FGM با شرایط تکیه گاهی ساده را ارائه داده است[1]. این کار سپس برای پوسته های استوانه ای جدار نازک FGM تحت شرایط مرزی مختلف توسط پرادهان ات ال[۲] توسعه داده شده است[2]. ان جی ات ال[۳] پایداری دینامیکی پوسته های استوانه ای جدار نازک تحت بارگذاری محوری متناوب را مورد بررسی قرار داده است[3]. در ادامه این تحقیقات، ردی و همکارانش تئوری ساده ای را توسعه دادند که در آن خواص ماده در راستای ضخامت پوسته طبق قانون توانی کسر حجمی توزیع شده است، اما نتایج عددی آنها تنها برای مورد ساده ای از پوسته های FGM در محیط حرارتی ثابت نتیجه گیری شده است. استین[۴] اولین شخصی بود که اهمیت تغییر شکل قبل از کمانش را بر بارکمانش پوسته های استوانه ای تایید کرد[4]. شن[۵] پس کمانش پوسته های استوانه ای FGM در محیط های حرارتی را مورد بررسی قرار داده است[5].

موری موتو[۶] و تانیگاوا[۷]، به مقوله کمانش حرارتی پوسته های استوانه ای FGM تحت اثر بارهای حرارتی با شرایط مرزی گیردار پرداخته اند[6]. نجف زاده و حیدری، کمانش حرارتی پوسته های استوانه ای FGM را به به کارگیری تئوری تغییر شکل های برشی مرتبه بالاتر مورد بررسی قرار داده و نتایج را در حالات مختلف دمایی استخراج نموده اند[7].

در خصوص کمانش استوانه های FGM با نقص اولیه نیز مقالاتی ارائه گردیده است. از جمله میرزاوند و اسلامی، کمانش حرارتی پوسته های استوانه ای FGM با نقص اولیه را با به کارگیری دو مدل کویتر[۸] و وان-دانل[۹] بررسی نموده اند[8,9]. بررسی پس کمانش ترمودینامیکی پانل های استوانه ای با نقص اولیه تحت بار محوری با میدان حرارتی یکنواخت، توسط یانگو[۱۰] و همکارانش، با فرض وابستگی خواص مواد به دما مورد بررسی قرار گرفته است[10].

---

[1] Loy et al
[2] Pradhan et al
[3] Ng et al
[4] Stein
[5] Shen
[6] morimoto
[7] Tanigava
[8] Koiter
[9] Wan-Donnell
[10] Yang

شی[11] و باترا[12]، کمانش پوسته های FGM در اثر اعمال فشار محوری را مورد تحلیل قرار داده اند[11]. گانباتی[13] و پراگاش[14] کمانش حرارتی پوسته های مورب در شرایط تکیه گاهی ساده را با به کارگیری روابط کلاسیک، مورد بررسی قرار داده اند[12]. کیونگ[15] و کیم[16] نیز کمانش حرارتی ورق های FGM با به کارگیری روش المان محدود، مورد مطالعه قرار داده اند[13].

روابط بین خمش متقارن محوری و کمانش با استفاده از تئوری تغییر شکل های برشی مرتبه بالاتر و روش های کلاسیک توسط ما[17] و وانگ[18] ارائه شده است[14].

لیو[19] و همکاران نیز به بررسی تنش های حرارتی ایجاد شده در پوسته های استوانه ای FGM با فرض انتقال حرارت پایدار پرداخته اند[15]. وو[20] و لیو، مساله کمانش ترمودینامیکی ورق های FGM و پوسته های استوانه ای کم عمق FGM تحت بارهای فشاری و یک میدان درجه حرارت بررسی نموده اند. فرمول بندی مساله از تئوری تغییر شکل های مرتبه بالاتر و خواص نیز از قانون هوک تبعیت می کنند[16]. وو و همکاران در مقاله ای دیگر کمانش حرارتی پوسته های استوانه ای FGM تحت اثر بارگذاری های مختلف حرارتی را مورد بحث قرار داده اند[17].

نودا در مقاله ای به بحث تنش های حرارتی در مواد FGM و نیز پدیده ترک در این مواد تحت اثر بارهای حرارتی پرداخته است[18]. بررسی تنش های پسماند حرارتی در مواد FGM به روش المان محدود توسط دارک[21] و همکارانش ارائه گردیده است[19].

اثر نقص اولیه بر کمانش حرارتی ورق های FGM و نیز کمانش حرارتی ورق های ضخیم FGM توسط شریعت و اسلامی مورد بررسی قرار گرفته است[20,21,22].

تحقیقات جدیدی نیز در زمینه مواد هایبرید FGM صورت پذیرفته است. شن به بررسی کمانش ورق های هایبرید FGM با دو لایه محرک پیزوالکتریک تحت بار فشاری محوری، میدان الکتریکی و میدان حرارتی یکنواخت پرداخته است[23].

---

[11] Shi
[12] Batra
[13] Ganbati
[14] Prakasha
[15] Kyong
[16] Kim
[17] Ma
[18] Wang
[19] Liew
[20] Woo
[21] Dark

علاوه بر موارد ذکر گردیده، مقالاتی نیز به صورت کاربردی و ملموس تر به بحث و بررسی در خصوص کاربرد این موارد، مسائل مربوط به ساخت و استفاده آنها در ابزارهای صنعتی و بهینه کردن آن پرداخته اند[24,25].

۱-۳- روند کلی اجرای رساله

فصل اول عموما به کلیات امر و معرفی کارهای انجام شده قبلی در زمینه مواد FGM اختصاص داده شده است.

در فصل دوم به معرفی مواد ، تاریخچه و به طور کامل روابط بنیادین حاکم بر مواد مرکب و نیز بحث کمانش پرداخته شده است.

فصل سوم به معرفی سازه های هوشمند و مواد پیزوالکتریک، تاریخچه و مزایای سازه های هوشمند و استفاده از مواد پیزوالکتریک اختصاص داده شده است.

در فصل چهارم به معرفی روش اختلالات و حل معادلات حاکم بر مساله به کمک این روش پرداخته شده است.

فصل پنجم نیز به ارائه نتایج حاصله و مقایسه آن با سایر نتایج، بحث و گفتگو در خصوص نتایج حاصله، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات جهت ادامه کار فعلی و فعالیت های مشابه جدیدتر، اختصاص داده شده است.

فصل دوم

مواد FGM و روابط حاکم

مواد مرکب

۲-۱- مقدمه

مواد FGM مواد کامپوزیتی هستند که از دیدگاه میکروسکوپی غیر همگن بوده و خصوصیات مکانیکی آن به طور محسوس و پیوسته از یک سطح به سطح دیگر تغییر می کنند. این امر با تغییر در ترکیب ماده FGM رخ می دهد که این امر نیز از تغییر پیوسته در کسر حجمی مواد تشکیل دهنده ترکیب ناشی می گردد [۲].

در کاربرد های صنعتی، بسیاری از اجزای ساختاری با شرایط خاصی روبرو می شوند که موادی خاص با نقش و عملکرد متغیر با مکان ذرات تشکیل دهنده داخل جزء را می طلبد. انتقال ناگهانی در ترکیب و خواص مواد در داخل یک جز، چه تنش داخلی باشد و چه به صورت خارجی اعمال گردد، اغلب به تمرکز تنش های محلی و تشدید تنش منجر می شود. با داشتن این نکته که در صورتی که انتقال گرما از یک ماده به ماده دیگر تدریجی باشد، تمرکز تنش ها به میزان زیادی کاهش می یابد، این ملاحضات از ارکان اساسی در منطق پیدایش مواد FGM هستند.

به بیان واضح تر، مواد FGM برای ایجاد اجزایی با خاصیت تغییرات یا انتقال های تدریجی در میکروساختارها و یا ترکیبات ساخته شده مهندسی، به کاربرده می شود. آشناترین ماده FGM، یک ساختار با تغییرات تدریجی خواص و عملکرد ها از یک فلز به یک سرامیک می باشد. چنین ماده ای می تواند وظایف ناسازگار با یکدیگر، مثل مقاومت در برابر حرارت و خوردگی و زنگ نزدن سرامیک ها و استحکام بالا و سفتی و قابلیت ماشین کاری فلزات را بدون فراهم آمدن تنش های حرارتی به صورت یکپارچه، دارا باشد. به طور کلی مواد FGM توانایی بهبود خواص ترمودینامیکی یک جزء به روش های مختلف نظیر موارد ذیل را دارا هستند :

۱- اندازه تنش های حرارتی می تواند مینیمم گردد. همچنین نواحی بحرانی که ماکزیمم تنش حرارتی در آن قسمت به وجود می آید می تواند کنترل شود.

۲- شروع تسلیم پلاستیک و شکست برای یک بارگذاری ترمومکانیکی می تواند با تاخیر اتفاق بیافتد.

۳- جلوگیری از تمرکز تنش های شدید در محل تقاطع لبه ها و نقاط تکین.

۴- مقاومت باندهای واسط بین جامدات غیر همگون مانند فلز و سرامیک با کاهش پیوسته ترکیب یا جهت دار کردن تغییر خواص مکانیکی می تواند افزایش پیدا کند.

۵- نیروی پیشران برای رشد ترک می تواند با انتخاب مناسب درجه بندی خواص مکانیکی کاهش یابد.

۶- قرار گیری پوشش سخت روی نمونه فرعی با جنس نرم به وسیله درجه بندی پیوسته خواص مکانیکی و جهت دار کردن تغییر خواص مواد می تواند آسان تر شود.

۷- درجه بندی ترکیب در لایه های سطح می تواند میدان های تکین ناشی از بریدگی ها و فرو رفتگی های نوک تیز را از بین برده و مشخصه های تغییر شکل پلاستیک اطراف فرورفتگی ها را تغییر دهد[۲۶].

۲-۲ - تاریخچه پیدایش مواد FGM

ایده اصلی پیدایش این نوع مواد مرکب برای اولین بار در سال ۱۹۷۲ توسط Bever و Duwez برای کامپوزیت ها و مواد پلیمری ارائه گردید. برای این منظور، مدلهای مختلفی برای اجزای ترکیب شونده با کاربرد های خاص برای این نوع ساختار های مواد مرکب پیشنهاد شد. با این وجود تا سال ۱۹۸۰ بررسی و تحقیق واقعی پیرامون چگونگی طراحی، ساخت و ارزیابی Graded Structure وجود نداشت [۲۷]. در سال ۱۹۸۵، به منظور افزایش استحکام چسبندگی و کاهش تنش های حرارتی در پوشش های سرامیکی و اتصالات موتور راکت، روش کنترل بافت پیوسته پیشنهاد گردید و پس از اجرا، این نتیجه حاصل گردید که کنترل پیوسته یک خاصیت، می تواند به مفهوم کلی تری جهت دست یابی به خواص و توابع جدید از طریق اعمال تغییرات تدریجی در بافت یا ترکیب آن، مورد استفاده قرار گیرد[۲۸]. در سال ۱۹۸۶، این نوع مواد مرکب Functionally Graded Materiasl نامگذاری گردیده و واژه اختصاری FGM به آن اطلاق گردید و عصر جدیدی برای تحقیقات گسترده روی این نوع مواد گشوده شد. پیرو مذاکراتی که در سومین همایش بین المللی FGM ها در سال ۱۹۹۴ در لوزان سوئیس برگزار گردیده بود، در سال ۱۹۹۵، تصمیم گرفته شد که نام Functionally Graded Materials برای این مواد ثبت گردد. زیرا از هر دو نظر توصیفی و گرامری دقیق است. از آنجا که FGMها موادی همگن نمی باشند، به منظور تکمیل و دست یابی به اطلاعات جامعتر در خصوص روش های طراحی، مدلسازی، فرایند سازی و ساخت این مواد، در سال ۱۹۸۷ یک برنامه پژوهشی ۵ ساله با عنوان:

Fundamental Studies on the Relaxation of Thermal Stress by Tailoring Graded Structures.

در ژاپن آغاز گردید. توجه عمده برنامه مذکور برای به کارگیری این مواد در دمای بالا برای فضاپیماهای مافوق صوت بود. در این زمینه، یگ گروه دولتی در ژاپن پیش بینی کردند که در گیری شدید ژاپن در تحقیقات فضایی و رشد روز افزون این تحقیقات، باعث می گردد که پیشرفت ژاپن در این زمینه، شدیداً به تولید این مواد جدید وابسته باشد. سه تن از دانشمندان به نامهای Niino و Koizumi و Hirai تحقیقات خود را روی پروژه هواپیمای فضائی آغاز کردند. تحقیقات این سه تن نشان