

تحلیل تیر FGM در اثر ضربه با سرعت کم به روش FEM با آباکوس

مهدی قهیه ئی*

گروه عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

سید علیرضا مهاجرانی

گروه مکانیک، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

سعید جعفری مهر آبادی

گروه مکانیک، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

بهناز قهیه ئی

دکتری برنامه ریزی شهری، علوم انسانی، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران

mghohye@gmail.com

تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۲۲

چکیده

آسیب ضربه با سرعت کم از مهمترین مسائلی است که در مواد کامپوزیتی صنایع نظامی و عمران بکار گرفته می‌شود. کامپوزیت‌های فیبری ورق‌های محکمی هستند که در معرض تنش‌های ناشی از بار ضربه استفاده می‌شوند تا آسیب ضربه را با استفاده از رزین‌های سخت و مقاوم کاهش دهند. در این مقاله برخورد گلوله با سرعت کم به ۶ تیر با لایه‌بندی FGM که مدول الاستیسیته در ضخامت تیر از سرامیک تا فلز متغیر است و پاسخ تیر در برابر ضربه با سرعت کم به روش اجزای محدود به کمک نرم‌افزار آباکوس بررسی شده است. تنش‌ها و خیز و کرنش تیر در دو حالت لایه آخر فلز و سرامیک - فلز تحلیل شده است، نمودارهایی از تنش، خیز و کرنش در طول تیر برای شش تیر بدست آمده و مشاهده گردید در حالتی که درجه خواص فلز نسبت به سرامیک بیشتر باشد، میزان خیز و تنش بالاتر است و کرنش در تیر با افزایش درجه خواص سرامیک نسبت به فلز کاهش می‌یابد.

کلید واژگان: ماده تابعی مدرج، تیر، آباکوس، ضربه با سرعت کم.

۱- مقدمه

مواد تابعی مدرج موادی کامپوزیتی با ریز ساختار ناهمگن می‌باشند که خواص مکانیکی آنها ملایم و پیوسته از یک سطح به سطح دیگر تغییر می‌کند. این خاصیت ویژه به وسیله‌ی تغییر یکنواخت در نسبت حجمی مواد تشکیل‌دهنده آنها بدست می‌آید. به دلیل خاصیت تغییر پیوسته‌ی مواد در فضای با مقیاس ماکروسکوپی استفاده از مواد تابعی مدرج از نظر رفتار مکانیکی نسبت به مواد با ساختار فیبری ترجیح داده شده است.

قبل از ساخت ماده تابعی مدرج باید مشخص شود که عناصر تشکیل‌دهنده‌ی آن (فلز و سرامیک) به چه صورتی توزیع می‌شوند در بعضی از تحقیقات هدف یافتن یک پروفیل با توجه به بهینه‌سازی یک کمیت دیگر است، در مواقع دیگر پروفیل توزیع فلز و سرامیک انتخاب می‌شود و هدف بهینه نمودن پارامتر دیگری از ویژگی‌های سیستم مواد است.

مواد تابعی مدرج پله‌ای، یکی از روش‌های معمول برای تولید این مواد است و ساخت آن به این صورت که ابتدا یک بستر (لایه) سرامیکی ایجاد کرده (لایه اول و لایه تحتانی) سپس لایه‌های دیگر به صورت طبقه - طبقه به طوری که نسبت حجمی مواد به طول ملایم و پیوسته در آن تغییر نماید ایجاد نموده و در نهایت قرار دادن یک لایه فوقانی از جنس فلز بر روی لایه میانی است، این مواد از ترکیب حداقل دو ماده به عنوان مواد اصلی ساخته شده‌اند.

با تغییر پیوسته کسر حجمی مواد اصلی خواص هر یک از مواد مخلوط شده می‌تواند به آرامی در راستای ضخامت تغییر کند، که این خاصیت به طور موثری از تمرکز تنش حرارتی که در کامپوزیت‌های لایه‌ای معمولی دیده می‌شود جلوگیری می‌کند. فایده اولیه مواد تابعی مدرج مثلاً سرامیک - فلز این است که ماده سرامیکی دارای مقاومت گرمای بالا است در حالیکه ماده فلزی در مقابل شکست مقاوم است [۱]. مواد تابعی مدرج FGM برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ در ژاپن ساخته شد و در ابتدا به عنوان مواد مقاوم بر حرارت برای پوشش شاتل‌های فضایی و راکتورهای هسته‌ای که در معرض درجه حرارت بالا هستند، مورد استفاده قرار گرفتند و تحلیل‌های ترموالاستیک آنها به طور گسترده‌ای انجام شده است [۲].

یالامانچینی و سنکار در ضربه با سرعت کم از پایین به تیر ماده تابعی مدرج پژوهشی را انجام داده‌اند که در آن مدول یانگ تیر از ۲۰ تا ۲۰۰ گیگا پاسکال تغییر می‌کند و در سه نقطه انتخابی که مدول یانگ

برابر ۲۰ و ۶۰ و ۲۰۰ گیگا پاسکال می‌باشد، میزان تنش و کرنش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است [۳].

سنکار و همکاران تحقیقاتی را روی تیرهای ساندویچ پانل ساخته شده از مواد تابعی مدرج تحت تاثیر ضربه با سرعت کم را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و بار مورد نظر از هسته گلوله برخوردی به تیر مذکور به صورت روابط سینوسی مورد تحلیل قرار گرفته است [۴].

در دهه اخیر با افزایش چشمگیر تقاضا برای سازه‌های با مقاومت بالا در برابر حرارت بالا، جذب انرژی و وزن سبک، مطالعات زیادی روی رفتار کم‌انرژی پیوسته‌های استوانه‌ای تابعی مدرج صورت گرفته است. رفتار کم‌انرژی اعضای سازه‌ای ساخته شده از مواد همگن که در معرض بارهای مکانیکی هستند توسط آل‌مروت و براش بیان شده است [۵].

عاصمی و جداری سالمی کاری را بر روی صفحات مستطیل شکل مواد تابعی مدرج با برخورد ضربه با سرعت پایین بصورت مدلسازی روش اجزای محدود انجام دادند [۶].

تحقیقاتی توسط سودیپ دی و کارماکار بر روی پیوسته‌های مخروطی شکل تحت تاثیر ضربه و پاسخ واکنش‌های ناشی از آن صورت گرفته است [۷].

تجزیه و تحلیل دینامیکی و استاتیکی صورت گرفته بر روی صفحات الاستیک مورب ساخته شده از مواد تابعی مدرج که بوسیله مدلسازی سه بعدی صورت پذیرفته است توسط عاصمی و جداری سالمی و صالحی صورت گرفته است [۸].

ظفرمند و صالحی و آسمی نیز تجزیه و تحلیل‌هایی را روی ارتعاش گذرا و سه بعدی تحت بارگذاری هارمونیک ضربه در پانل‌های ساخته شده از مواد تابعی مدرج در دو جهت راستای ضخامت انجام داده‌اند [۹].

بررسی تجزیه و تحلیل رفتارهای دینامیکی روی مواد تابعی مدرج ساخته شده از فلز و سرامیک تحت شرایط اثر ضربه با سرعت بالا با استفاده از روش CSPM توسط اقتصاد و شفیعی و محزون صورت گرفته است [۱۰].

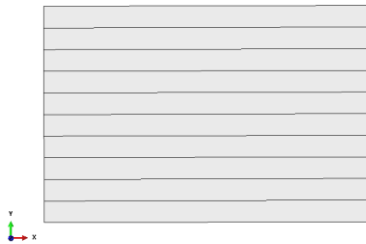
شیه کار و لویو با مدلسازی نرم‌افزار ABAQUS UMAT با استفاده از قانون نیروی وارده بر صفحات خمیده ساخته شده از مواد تابعی مدرج تحقیقاتی را انجام داده‌اند [۱۱].

۲- آسیب ضربه با سرعت کم

در این پژوهش ابتدا ماده تابعی مدرج مدلسازی شده و سپس بار ناشی از ضربه گلوله به آن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. آسیب ضربه خارجی با سرعت کم یکی از مهمترین مسائلی است که در مواد کامپوزیتی مورد استفاده در صنایع نظامی و عمران بکار گرفته

ضریب پواسون $\nu = 0.3$ در تمامی لایه‌های تیر مذکور در نظر گرفته شده است و مدول یانگ عددی بین ۷۰ تا ۳۸۰ گیگا پاسکال با توجه به لایه مورد نظر و معادله حاکم بر ماده FGM بدست می‌آید و در هر لایه تغییر می‌کند.

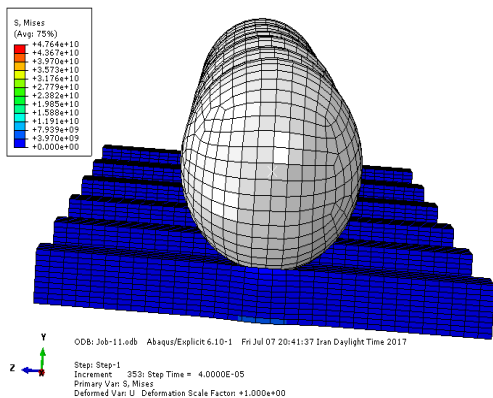
ضخامت جسم هدف ۱۰ میلی‌متر است و چگالی آن ۷۸۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب می‌باشد.



شکل ۱- نمای از سطح مقطع تیر مذکور

منبع: نرم افزار آباکوس

ضربه وارده بر تیر مذکور توسط پرتابه‌ای به شکل کره صورت می‌گیرد، کره صلب می‌باشد و شعاع آن برابر $R = 20\text{mm}$ می‌باشد. به علت تقارن جسم هدف، تنها نصف آن مدل شده است. در این مثال شرایط مرزی تقارن بر سطح تقارن جسم هدف اعمال شده است و جابجایی پرتابه در راستای محور دوم صورت می‌گیرد و نیز کلیه دوران‌های آن مقید شده است. با توجه به اینکه به n شش مقدار داده شده است شش تیر آنالیز شده و به ما نتایجی می‌دهد همانند شکل ۲.



شکل ۲- نمای از شش تیر تحت بار ضربه توسط گلوله و المان‌بندی شده

منبع: نرم افزار آباکوس

می‌شود، کامپوزیت‌های فیبری لمینیتی ورق‌های محکم و قوی فیبری هستند، بنابراین تلاش می‌شود تا از آنها در معرض تنش‌های ناشی از بارهای ضربه استفاده گردد تا بتوان تحمل آسیب ضربه را با استفاده از رزین‌های سخت و مقاوم افزایش داد [۱۲].

در این مطالعه برخورد گلوله با سرعت کم به سطح یک تیر ماده تابعی مدرج بررسی شده است سختی تماس به عنوان یک تابع خطی بر اساس مدل ردی فرض شده است. تجزیه و تحلیل سه بعدی در ضربه به تیر با هسته مواد تابعی مدرج صورت گرفته است و چون تجزیه و تحلیل المان محدود سه بعدی است مسئله تماس را می‌توان مستقیماً بدون استفاده از قوانین تماس مدل‌سازی کرد [۱۳].

۳- مدل استفاده شده در مسئله

در این مطالعه از مدل ردی استفاده شده است و معمولاً خواص مواد تابعی مدرج را به صورت توابع چند جمله‌ای در نظر گرفته شده است و هر یک از خواص ماده را در جهت ناهمگنی از چند جمله‌ای درجه n زیر محاسبه می‌نماید و خواص هر لایه جداگانه از رابطه‌ی ذیل محاسبه می‌گردد [۱۴]:

$$p(y) = (p_c - p_m) \left(\frac{y}{h} - \frac{1}{2}\right)^n + p_m \quad (1)$$

که y مشخصات نقطه مورد نظر است و p_m خواص فلز بوده و p_c خواص سرامیک می‌باشد و h نیز ضخامت تیر می‌باشد.

اگر n صفر باشد خواص مدل در تمام ضخامت تیر از نوع فلز می‌باشد و در صورتی که مقدار n خیلی بزرگتر از یک شود این خواص بیشتر به سمت سرامیک در طول ضخامت تیر میل می‌کند.

در این مطالعه برای n مقادیر ۲ و ۴ و ۶ و ۸ و ۱۰ و ۲۰ در نظر گرفته شده است که مقادیر کوچکتر خواص فلز بیشتری داشته و مقادیر بزرگتر خواص سرامیکی بیشتری دارند.

۴- مشخصات مدل

در این مدل، شبیه‌سازی نفوذی پرتابه کروی صلب در جسم هدف (تیر) صورت می‌پذیرد. در ابتدا یک گلوله (پرتابه) طراحی می‌کنیم و سپس یک تیر طراحی می‌کنیم که پرتابه با سرعت اولیه ۱۳۰ متر بر ثانیه به هدف (تیر) برخورد می‌کند. شکل ۱ نمایی از مجموعه‌ی مورد پژوهش است.

سطح مقطع تیر مورد نظر مستطیل شکل است و ابعاد سطح مقطع تیر، 10×15 میلی‌متر ($b = 15\text{mm}$, $h = 10\text{mm}$) است و طول تیر $L = 100$ میلی‌متر می‌باشد. حال می‌توانیم در راستای ارتفاع تیر مورد نظر آن را به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم کنیم.

در این تیر لایه اول و دوم سرامیک و لایه‌های بعدی سرامیک - فلز می‌باشد و لایه آخر فلز است.

جدول ۲- مدول الاستیسیته ۱۰ لایه از بالا لایه اول سرامیک و لایه آخر فلز

n=20		
شماره لایه	مدول الاستیسیته	آسانتیمتر
۱	۷۰ GPa	۰/۴
۲	۷۰ GPa	۰/۳
۳	۷۰/۰۰۰۰۰۰۰۱۱ GP	۰/۲
۴	۷۰/۰۰۰۰۰۰۰۳۰۳ GP	۰/۱
۵	۷۰/۰۰۰۰۲۹۵۶۴ GPa	تار وسط
۶	۷۰/۰۱۱۳۳۴۱ GPa	-۰/۱
۷	۷۰/۲۴۷۳۵۷ GPa	-۰/۲
۸	۷۳/۵۷۴۰۵۶۷ GPa	-۰/۳
۹	۱۰۷/۶۸۸۷۶۳ GPa	-۰/۴
۱۰	۳۸۰ GPa	-۰/۵

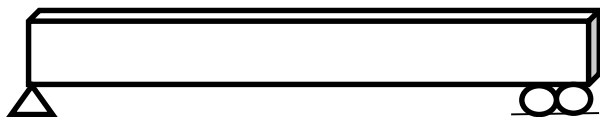
X فاصله بالاترین تار سطح تیر تا عمق مورد نظر به سمت تکیه‌گاه می‌باشد.

همانطور که از جدول شماره ۱ و ۲ مشاهده می‌شود خواص مواد لایه آخر در n=20 به چشم می‌خورد و تغییر مدول الاستیسیته تیرها از ۳۸۰ GPa به ۱۰۷ GPa مشاهده می‌گردد.

تمامی اعداد مدول یانگ جدول ۱ و ۲ از فرمول ردی که در رابطه ۱ این مقاله ذکر شده، به صورت دستی محاسبه شده است.

۶- شرایط مرزی

شرایط مرزی در نظر گرفته شده در این پژوهش همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید به صورت یک سر مفصل ساده و یک سر غلتک می‌باشد.



شکل ۳- شرایط مرزی اعمال شده در تیر مذکور

محل اصابت ضربه توسط گلوله همانطور که از شکل ۲ مشاهده می‌گردد از سمت بالا به مرکز تیر اتفاق می‌افتد.

۵- حذف لایه آخر فلز و تبدیل خواص لایه آخر از فلز به

سرامیک - فلز

در این پژوهش برای بررسی اثرات لایه آخر فلزی و مقایسه آن با لایه سرامیک - فلز خواص مواد تابعی مدرج به دو حالت تحلیل شده است:

حالت اول:

تغییر خواص مواد از سرامیک به فلز در ده لایه که لایه اول سرامیک بوده و لایه آخر فلز می‌باشد و از سرامیک به فلز می‌رسد.

حالت دوم:

تغییر خواص مواد از سرامیک به سرامیک - فلز در ده لایه که لایه اول سرامیک بوده و لایه آخر سرامیک - فلز می‌باشد.

در جدول شماره ۱ مدول الاستیسیته در سه لایه اول ۷۰ GPa بوده و از لایه چهارم به بعد مدول الاستیسیته افزایش محسوس داشته تا لایه آخر که مدول الاستیسیته به عدد تقریبی ۱۰۷ GPa رسیده است.

در این تیر لایه اول و دوم و سوم سرامیک بوده و لایه‌های بعدی حتی لایه آخر سرامیک - فلز می‌باشد.

جدول ۱- مدول یانگ ۱۰ لایه از بالا لایه اول سرامیک و لایه آخر سرامیک

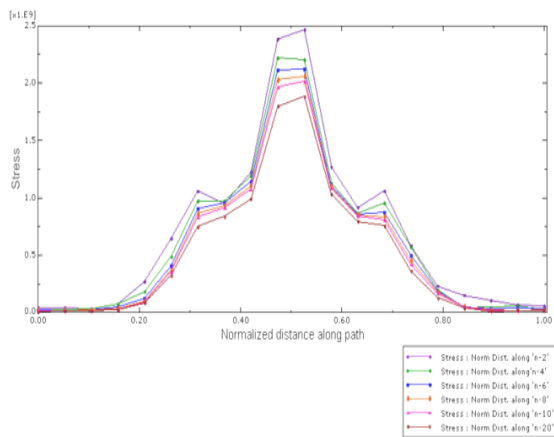
فلز

n=20		
شماره لایه	مدول الاستیسیته	آسانتیمتر
۱	۷۰ GPa	۰/۴
۲	۷۰ GPa	۰/۳
۳	۷۰ GPa	۰/۲
۴	۷۰/۰۰۰۰۰۰۰۱۱ GP	۰/۱
۵	۷۰/۰۰۰۰۰۰۰۳۰۳ GP	تار وسط
۶	۷۰/۰۰۰۰۲۹۵۶۴ GPa	-۰/۱
۷	۷۰/۰۱۱۳۳۴۱ GPa	-۰/۲
۸	۷۰/۲۴۷۳۵۷ GPa	-۰/۳
۹	۷۳/۵۷۴۰۵۶۷ GPa	-۰/۴
۱۰	۱۰۷/۶۸۸۷۶۳ GPa	-۰/۵

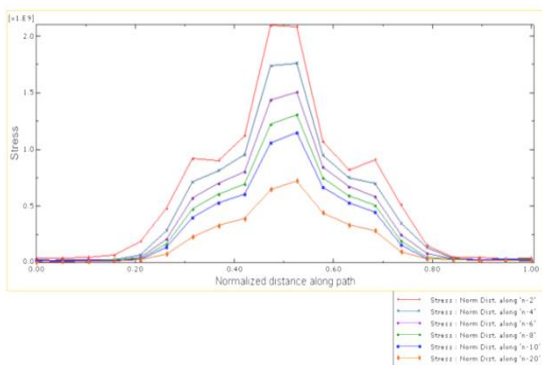
X فاصله بالاترین تار سطح تیر تا عمق مورد نظر به سمت تکیه‌گاه می‌باشد.

در جدول شماره ۲ مدول الاستیسیته در دو لایه اول ۷۰ GPa بوده و از لایه سوم مدول الاستیسیته افزایش محسوس داشته تا لایه آخر که مدول الاستیسیته به عدد ۳۸۰ GPa رسیده است.

۱۰ نقطه از یک سر تیر تا انتهای تیر به صورت خطی در طول تیر به صورت یک path انتخاب شده است که نقاط مرکزی این path محل اصابت گلوله به تیر می‌باشد، نمودار ۳ و ۴ مقدار تنش و جابجایی را در path انتخاب شده نشان می‌دهد. رنگهای نشان داده شده در نمودار می‌رساند که وقتی n برابر ۲۰ است پایین‌ترین مقدار تنش تحت اثر گلوله نشان داده شده است و در فرمول n برابر ۲ تنش بیشترین مقدار را در نمودار تنش - جابجایی دارد.



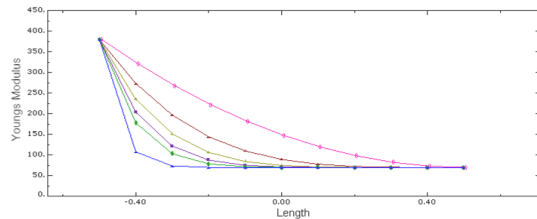
نمودار ۳- تنش بر حسب N/m^2 و طول تیر بر حسب Cm مقدار تنش بوجود آمده در طول تیر، مقایسه ۶ تیر، حالت لایه اول سرامیک و لایه آخر فلز منبع: نرم افزار آباکوس



نمودار ۴- تنش بر حسب N/m^2 و طول تیر بر حسب Cm مقدار تنش بوجود آمده در طول تیر، مقایسه ۶ تیر، حالت لایه اول سرامیک و لایه آخر سرامیک فلز منبع: نرم افزار آباکوس

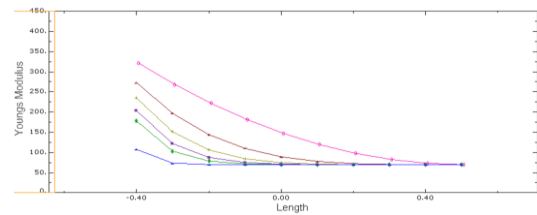
۷- تفاوت نمودار خواص مواد تیر (وقتی لایه آخر فلز باشد) با زمانی که سرامیک فلز باشد

نمودارهای مدول یانگ وقتی که لایه آخر فلز باشد به صورت نمودار ۱ در آباکوس ترسیم شده است مدول یانگ با استفاده از رابطه ردی بدست آمده است، در منحنی‌های نمودار ذیل از بالا به پایین مقدار n به ترتیب ۲ و ۴ و ۶ و ۱۰ و ۲۰ ترسیم شده است.



نمودار ۱- مدول یانگ ۶ تیر بر حسب GPa و طول h بر حسب Cm وقتی لایه آخر فلز باشد و لایه اول سرامیک فلز منبع: نرم افزار آباکوس

همانطور که مشاهده می‌کنید نمودارها در انتها در لایه ۳۸۰ GPa به هم رسیده‌اند یعنی تمامی لایه‌ها به فلز ختم می‌شوند و حال نمودارهای مدول یانگ وقتی که لایه آخر سرامیک - فلز باشد به صورت نمودار ۲ در آباکوس ترسیم شده است را مشاهده می‌کنیم.



نمودار ۲- مدول یانگ ۶ تیر بر حسب GPa و طول h بر حسب Cm وقتی لایه آخر سرامیک فلز باشد و لایه اول سرامیک فلز منبع: نرم افزار آباکوس

همانطور که مشاهده می‌کنید نمودارها در لایه آخر از هم فاصله گرفته‌اند و مقدار مدول یانگ سرامیک فلز در هر یک از تیرها در لایه آخر متغیر است و برای $n=20$ مقدار مدول یانگ سرامیک به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است و مقدار مدول یانگ فلز به شدت کاهش پیدا کرده است.

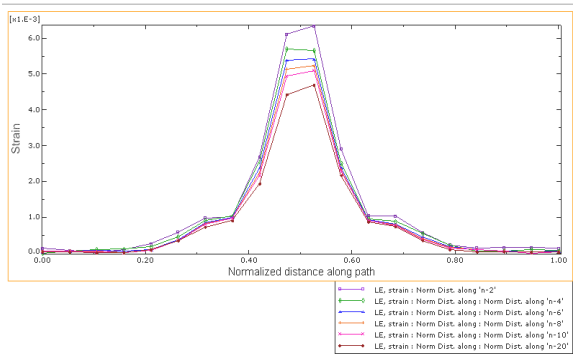
۸- بررسی تنش‌ها در دو حالت فلز و سرامیک فلز

نمودارهای تنش تیر به دو حالت بدست آمده است:

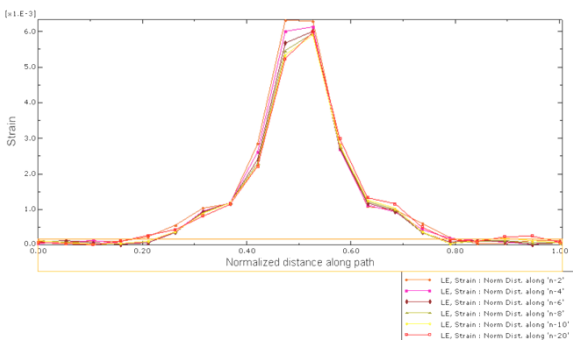
حالت اول: لایه اول سرامیک، لایه آخر فلز (نمودار ۳)

حالت دوم: لایه اول سرامیک، لایه آخر حذف فلز (لایه آخر سرامیک فلز) (نمودار ۴)

نمودار ۷ و ۸ مقدار کرنش را در فرم نمودار کرنش - جابجایی بصورت path انتخاب شده‌ی نقاط مخصوصی از تیر در مرکز ضربه گلوله و نقاط همجوار آن در طول تیر از یک سر تیر تا انتهای تیر می‌باشد را نشان می‌دهد رنگ‌های نشان داده شده در نمودار حاکی از این است که وقتی n برابر ۲۰ است پایین‌ترین مقدار کرنش تحت اثر گلوله نشان داده شده است و در فرمول n برابر ۲ کرنش بیشترین مقدار را در نمودار دارد.



نمودار ۷ - طول تیر بر حسب C_m ، مقدار کرنش بوجود آمده در طول تیر، مقایسه ۶ تیر، حالت لایه اول سرامیک و لایه آخر فلز منبع: نرم افزار آباکوس



نمودار ۸ - طول تیر بر حسب C_m ، مقدار کرنش بوجود آمده در طول تیر، مقایسه ۶ تیر، حالت لایه اول سرامیک و لایه آخر سرامیک فلز منبع: نرم افزار آباکوس

۱۱- راستی آزمایشی مدلسازی

یالانچی و سانکار در مقاله "Indentation of functionally graded beams and its application to low - velocity impact response" سه تیر ساندویچ پانل با هسته مواد تابعی مدرج به ابعاد طول ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰ میلی‌متر که در اثر برخورد ضربه با سرعت کم از گلوله به شعاع ۲۰ میلی‌متر را به روش مدل اردوگان - دلالة مورد تحلیل قرار داده‌اند، که با انجام محاسبات مدل اردوگان دلالة کرنش نرمال در طول x-z و در جهت عرض Y مدلسازی صورت گرفته است و نتایج بدست آمده از این مقاله به بسیار به نتایج ما نزدیک می‌باشد.

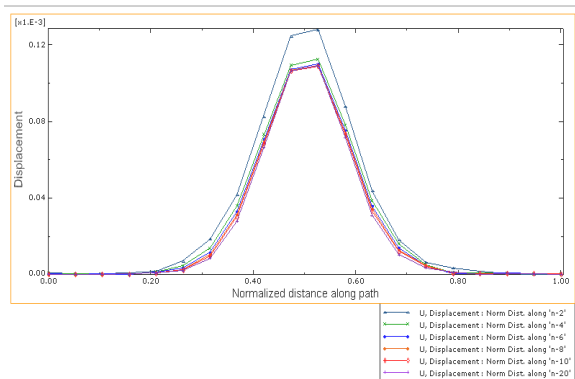
۹- بررسی خیزها در دو حالت فلز و سرامیک فلز

نمودارهای خیز تیر به دو حالت بدست آمده است:

حالت اول: لایه اول سرامیک، لایه آخر فلز (نمودار ۵)

حالت دوم: لایه اول سرامیک، لایه آخر حذف فلز (لایه آخر سرامیک فلز) (نمودار ۶)

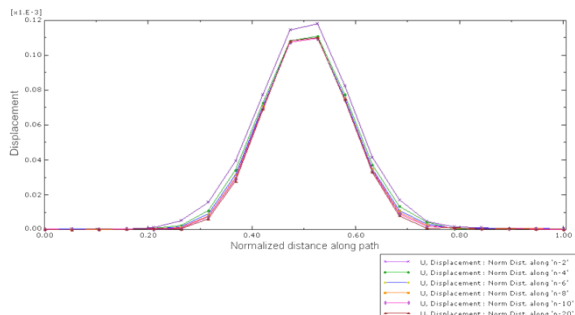
نمودار ۵ و ۶ مقدار تنش و جابجایی از path انتخاب شده از طول تیر را نشان می‌دهد رنگ‌های نشان داده شده در نمودار می‌رساند که وقتی n برابر ۲۰ است پایین‌ترین تنش تحت اثر گلوله رخ داده است و در فرمول n برابر ۲، تنش بیشترین مقدار را در نمودار تنش جابجایی دارد.



نمودار ۵ - جابجایی بر حسب C_m و طول تیر بر حسب C_m

مقدار خیز بوجود آمده در طول تیر، مقایسه ۶ تیر، حالت لایه اول سرامیک و

لایه آخر فلز منبع: نرم افزار آباکوس



نمودار ۶ - جابجایی بر حسب C_m و طول تیر بر حسب C_m

مقدار خیز بوجود آمده در طول تیر، مقایسه ۶ تیر، حالت لایه اول سرامیک و

لایه آخر سرامیک فلز منبع: نرم افزار آباکوس

۱۰- بررسی کرنش‌ها در دو حالت فلز و سرامیک فلز

نمودارهای کرنش تیر به دو حالت بدست آمده است:

حالت اول: لایه اول سرامیک، لایه آخر فلز (نمودار ۷)

حالت دوم: لایه اول سرامیک، لایه آخر حذف فلز (لایه آخر سرامیک فلز) (نمودار ۸)

خیز تیر در حالت اول خیلی بالاتر است حتی در $n = 2$ از مقدار $0/12 \times 10^{-3}$ متر، هم فراتر رفته است، خیز تیر در حالت دوم نسبت به حالت اول دارای تغییر مکان کمتری می‌باشد، یعنی وسعت خیز تیر نسبت به حالت اول کمتر است و نمودار جمع و جورتری را دارد.

در حالت اول فاصله‌ی نمودار $n = 2$ نسبت به بقیه نمودارها خیز بالاتری را دارد و این بیانگر وضعیت نامطلوبی است، در حالیکه در بقیه n ها وضعیت مطلوب‌تر است.

نمودارهای تنش در حالت اول بسیار جمع‌ترند و به هم نزدیک‌ترند ولی در حالت دوم تنش بسیار کمی نسبت به حالت اول اتفاق افتاده است، حتی در حالت $n = 2$ میزان تنش حتی از مقدار 10^9 نیوتن بر مترمربع هم کمتر است.

در حالت اول در $n = 2$ مقدار تنش حتی به $2/5 \times 10^9$ نیوتن بر مترمربع هم رسیده است و مقدار تنش نسبتاً بسیار بالایی را نسبت به حالت دوم دارد.

۱۳- نتیجه‌گیری

در اعمال بار ضربه با سرعت کم سرامیک خیز کمتری را نسبت به فلز دارد پس می‌توان از رابطه‌ی n ردی را انتخاب نمود که ماده تابعی مدرج را بیشتر به سمت سرامیک می‌برد و یا به جای اعمال لایه آخر فلز از ماده سرامیک فلز استفاده نمود.

در سازه‌هایی که نیاز به کرنش مناسب و کم می‌باشد حالت سرامیکی مناسب نمی‌باشد پس می‌توان از رابطه‌ی n ردی را انتخاب نمود که ماده تابعی مدرج را بیشتر به سوی فلز می‌برد و بهتر است لایه آخر فلز قرار داشته باشد.

۱۴- پیشنهادات

در این مقاله یک تیر به ۱۰ لایه تقسیم‌بندی شده است و کرنش و جابجایی و تنش با نرم‌افزار آباکوس بدست آمده است که می‌توان این تعداد لایه‌ها را افزایش داده و مدل آن را با لایه‌های بیشتری تحلیل کرد. نتایج بدست آمده از تحلیل‌های گوناگون را می‌توان با یکدیگر مقایسه نمود و از نتیجه‌گیری‌های آن فهمید که در چه کارهایی از تیرهای دارای سرامیک بیشتر و فلز کمتر می‌توان استفاده کرد و در چه کارهایی از تیرهای با سرامیک کمتر و فلز بیشتر می‌توان استفاده کرد.

می‌توان مقیاس استفاده از ابعاد گلوله را افزایش و کاهش داد و فهمید اگر در تیری برای نشستن وزنی معادل وزن یک هلی کوپتر استفاده می‌شود چه واکنش‌هایی را در پی خواهد داشت.

می‌توان از تیرهای مختلفی در کنار هم واکنش در برابر ضربه را پیدا کرد و آن‌ها را باهم مقایسه نمود یا ابعاد تیر را تغییر داد و واکنش حاصل از آن را بدست آورد.

در این مدلسازی تیر اول با مدول الاستیسیته $61/1$ گیگا پاسکال در تمام ارتفاع تیر یکسان می‌باشد. در تیر دوم با مدول الاستیسیته متغیر در ارتفاع تیر از 20 گیگا پاسکال تا 200 گیگا پاسکال متفاوت است. در تیر سوم مدول الاستیسیته در ارتفاع تیر از 200 گیگا پاسکال تا 20 گیگا پاسکال متفاوت است.

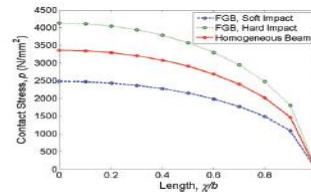


Fig. 4. Contact stress distribution in the three beams for $b = 2.5 \text{ mm}$ ($b/R = 0.125$ or $h/b = 0.25$).

نمودار ۹- طول تیر برحسب C_m ، مقدار تنش در ۳ تیر منبع: [۳].

با توجه به تحلیل بدست آمده به روش مدل اردوگان - دلالة از مقاله یالامانچی و سانکار، تنش سه تیر فوق در نیمه‌ی تیر مذکور مقادیر 2500 و 3300 و 4100 نیوتن بر میلی متر مربع می‌باشد، که با نتایج بدست آمده از مدلسازی این مقاله و اعداد $1/9$ تا $2/5$ نیوتن بر مترمربع (1900 تا 2500 میلی‌متر مربع) به روش ردی بسیار نزدیک می‌باشد و این نتیجه راستی آزمایی در مدلسازی ما را مثبت نشان می‌دهد.

۱۲- مقایسه نتایج

۶ تیر با درجه متفاوتی از مواد تابعی مدرج تحت بار ضربه تحلیل شده است لایه آخر ماده تابعی مدرج برداشته شده است و نتایج از تحلیل دوم بدست آمده است و باز هم هر کدام از این تیرها تحت شرایط مرزی متفاوتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که این نتایج با هم مقایسه شده است و نتیجه کلی زیر بدست آمده است.

حالت اول را در شرایطی که لایه اول سرامیک و لایه آخر فلز می‌باشد در نظر گرفته و حالت دوم را نیز شرایطی که لایه اول سرامیک باشد ولی لایه آخر فلز را برداریم در نظر گرفته‌ایم.

در حالت اول در دو شرایط مرزی یک سر گیردار و دو سر مفصل نسبت به هم تفاوت زیادی به چشم نمی‌خورد و نمودارهای تنش و کرنش و خیز تیر بسیار مشابه هستند در حالت دوم نیز به همین شکل است و این نشان می‌دهد که در ضربه با سرعت کم شرایط مرزی زیاد تاثیری ندارد.

در نمودار کرنش‌ها هر چه مقدار n بیشتر می‌شود کرنش پایین‌تر می‌آید مثلاً در مدل $n = 20$ کرنش در پایین‌ترین سطح خود قرار دارد یعنی هر چه میزان سرامیک افزایش پیدا می‌کند، کرنش نیز کمتر می‌شود.

۱۵- منابع و مآخذ

Structure" ISSN 2250-3234 Volume 4, Number 3 (2014), pp. 299-306.

۱۳- معیری. ح، فروزش. ف، زمانی ثانی. م، امامی. آ، کتاب تحلیل اجزاء محدود مسائل مهندسی به کمک ABAQUS شامل حل گام به گام ۲۵ مسئله منتخب صنعتی و پژوهشی، انتشارات دانش بنیاد، ناشر فدک ایستیس، چاپ دوم، ۱۳۹۳.

۱۴- نجفی زاده، م. م، المامرد، م، شریفی، آ، تحلیل کماتش حرارتی ورق دایره‌ای مدرج تابعی با لایه‌های محرک - محرک پیزو الکترونیک بر اساس روش صفحه خنثی، ۲، ۱، ۱۳۸۸، ۱۵.

[1] Reddy, J. N., "Mechanics Of Laminated Composite Plates And Shells; Theory And Analysis", 2nd ed, CRC Press, (2004).

[2] Hirai, T., "Functional Gradient Materials", Processing of Ceramics. Part2, 17B, (1996).

[3] V.K. Yalamanchili, B.V. Sankar "Indentation of functionally graded beams and its application to low-velocity impact response" Composites Science and Technology 72 (2012) 1989-1994.

[4] N.A. Apetre, B.V. Sankar, D.R. Ambur "Low-velocity impact response of sandwich beams with functionally graded core" International Journal of Solids and Structures 43 (2006) 2479-2496.

[5] Brush D.O., Almoth B.O., Buckling of bars, plates and shells, McGraw - Hill, New York, 1975.

[6] Kamran Asemi And Sattar Jedari Salami "A Study On Low Velocity Impact Response Of FGM Rectangular Plates With 3D Elasticity Based Graded Finite Element Modeling" Journal Of Theoretical And Applied Mechanic 53, 4, pp. 859-872, Warsaw (2015) DOI: 10.15632/jtam-pl.53.4.859.

[7] Sudip Dey And Sondipon Adhikari And Amit Karmakar " Impact Response of Functionally Graded Conical Shells " Latin American Journal of Solids and Structures 12 (2015) 133-152.

[8] Kamran Asemi , Sattar Jedari Salami , Manouchehr Salehi , Mojtaba Sadighi " Dynamic and Static analysis of FGM Skew plates with 3D Elasticity based Graded Finite element Modeling" Latin American Journal of Solids and Structures 11 (2014) 504 – 533.

[9] Hassan Zafarmand Manouchehr Salehi Kamran Asemi "Three dimensional Free Vibration and Transient Analysis of Two Directional Functionally Graded Thick Cylindrical Panels Under Impact Loading" Latin American Journal of Solids and Structures 12 (2015) 205-225.

[10] A. Eghtesad , A.R. Shafiei, M. Mahzoon "Study of dynamic behavior of ceramic-metal FGM under high velocity impact conditions using CSPM method" Applied Mathematical Modelling 36 (2012) 2724-2738.

[11] S.M. Shiyekar, Prashant Lavate "Flexure of power law governed functionally graded plates using ABAQUS UMAT " Department of Civil Engineering, Rajarambapu Institute of Technology, Sakharale, Sangli – 415 414, Maharashtra, India.

[12] Pankaj K. Chauhan and I.A. Khan "Review on Analysis of Functionally Graded Material Beam Type

Analysis of FGM Beam by FEM Method Applying Abacus Software

Mehdi Ghohyeei

Master of Science (MSc), Civil Engineering, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Seyed alireza Mohajerani

Associate Professor, Faculty of Engineering, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Saeed Jafari Mehrabadi

Associate Professor of Energy Mechanics Department, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Behnaz Ghohyeei

Ph.D. of Urban Planning, Malayer Azad University, Malayer, Iran
mghohye@gmail.com

Abstract

Low-velocity foreign object impact damage is one of the most important issues in composite materials used in military and civil structures. Fiber composites are strong sheets, which are subjected to impact loads, to reduce the damage of the impact using hard resins. In this research, low-speed bullet impact to six beams with FGM layering whose modulus of elasticity in the beam thickness varies from ceramic to metal and the response of the beams to low velocity impact has been investigated by finite element method using Abacus software. The strain, displacement and tension of the beam have been analyzed in two modes of the last layer of the metal and ceramic – metal. A comparison of displacement, tension and strain diagrams along the length of the beam for the six beams has been made. It was observed that the higher the properties of the metal than the ceramic, the higher the amount of displacement and tension and the strain in the beam decreased with increasing degree of ceramic properties compared to the metal.

Key words: Functionally Graded Material, Beam, Abacus, Low-velocity Impact.