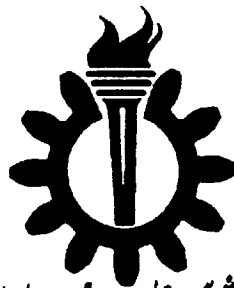
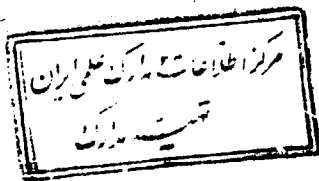


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۳۲۱۱۳



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

استحکام باقیمانده صفحات کامپوزیتی تحت بار ضربه ای با سرعت کم

۹۶۵۲

مسعود مظفری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی

مکانیک

استاد راهنما: دکتر محمود مهرداد شکریه

تابستان ۱۳۷۹

۳۲۱۱۳

به یاد پدرم

تقدیم به مادرم ، برادرانم .

چکیده :

مواد کامپوزیت در برابر مزیت هایشان نظیر سبکی و استحکام بالامشکلاتی نیز دارند که یکی از آنها حساسیت این مواد به ضربه است؛ بنحویکه بر اثر ضربه، در این ساختارها تخریب ایجاد می شود. اولین تأثیر زود هنگام این تخریب، کاهش استحکام عمومی ساختار (خصوصاً استحکام فشاری) می باشد. از این رو بررسی این تأثیرات از اهمیت زیادی برخوردار است. در همین راستا این تحقیق به دو بخش: ۱- تحلیلهای تئوریک ۲- آزمایشهای تجربی، تقسیم می شود. در بخش تئوریک با استفاده از روش ریتز^۱ که روشی نیمه تحلیلی است و همچنین با استفاده از تئوری هرتز^۲، نیروی ضربه و زمان اعمال ضربه در یک صفحه مربعی شکل، محاسبه شده است. سپس با استفاده از تحلیل اجزاء محدود مقادیر تنش و سطح تخریب در ناحیه ضربه خورده، برای هر لایه محاسبه گردیده است. تحلیل با دو روش متفاوت یعنی: گذرا و استاتیکی انجام گرفته است. نتایج بدست آمده نشانگر مشابهت تقریبی نتایج تنش این دو تحلیل با یکدیگر می باشد. عبارت دیگر در ضربه های کم سرعت نیروی اینرسی صفحه در برابر نیروی ضربه اعمال شده چندان قابل توجه نیست.

در ادامه، اثر تخریب بر کاهش استحکام و عبارتی ایجاد تمرکز تنش در نقطه ضربه خورده بررسی شده است. بدین منظور مقادیر مدول در نقطه ضربه خورده بر اساس فرضیاتی، کاهش داده شده و سپس مدلی از نمونه تحت بار فشاری قرار گرفته و مقادیر تمرکز تنش در نقطه تخریب بررسی گردیده است.

در ادامه این تحقیق، جهت بررسی جامع تر مودهای تخریب و اثرات اندازه نمونه ها بر مقدار تخریب و بدنبال آن تأثیر سطح تخریب بر کاهش استحکام فشاری، یک سری آزمایشهای ضربه و بدنبال آن آزمایشهای استحکام فشاری انجام گرفته است. نتایج آزمایشهای ضربه، نشانگر تأثیر مهم ابعاد نمونه ها بر مقدار سطح تخریب می باشد، بطوریکه با این نتایج میتوان ابعاد قطعه آزمایشی را که شرایط واقعی صفحه را شبیه سازی کند، بدست آورد. در این صورت نتایج استحکام باقیمانده در این نمونه ها نیز به شرایط واقعی نزدیک خواهد بود. در آزمایشهای فشاری نیز اثر تخریب و مودهای مؤثر در کاهش استحکام بررسی شده است، بطوریکه در بعضی نمونه ها که تخریب چندان مشخصی هم ندارند، کاهش استحکامی تا حدود ۳۳ درصد (انرژی ضربه ۱۷ ژول) و در تخریبهای شدیدتر که با چشم هم دیده می شوند (انرژی ضربه ۳۰ ژول) این کاهش استحکام تا ۵۲ درصد هم می رسد. مجموعاً با آنچه که از سطح تخریب در این نمونه ها مشاهده شد، می توان گفت که در شرایطی واقعی، هیچ جای نگرانی نسبت به ضربه هایی تا انرژی ۲۰ ژول وجود ندارد.

تقدیر و تشکر :

لازمه می دانم که از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمودشکریه به جهت راهنمایی و کمکهای یی در انجام این پروژه کمال تشکر را بنمایم.

بدین وسیله مراتب تشکر و امتنان خود را از مجتمع صنعت هوایی و مواد ترکیبی فجر، که پشتیبانی مالی این تحقیق را بعهده داشته است، اعلام می دارم .

همچنین از کارکنان این مجتمع ، بویژه در بخشهای سازه: آقایان مهندس مقصودی ، مهندس ذبیح پور . بخش فلزی ؛ مهندس بادله، فهیم پور . بخش غیر فلزی: مهندس آقامرادی ، بجهت همکاریشان ، تشکر می نمایم .

فصل اول : مقدمه

مقدمه ۱

فصل دوم : بیان مسئله

۲-۱- مقدمه ۴

۲-۲- دسته بندی کلی انواع صفحات ۵

۲-۲-۱- صفحات سفت ۵

۲-۲-۲- صفحات غشایی ۶

۲-۲-۳- صفحات انعطاف پذیر ۶

۲-۲-۴- صفحات ضخیم ۷

۲-۳- معادلات دیفرانسیل حاکم بر صفحات در دستگاه مختصات کارتزین ۷

۲-۳-۱- معادلات تعادل در یک المان صفحه ای ۸

۲-۳-۲- روابط کرنش - انحناء ۸

۲-۳-۳- روابط کرنش بر حسب گشتاور در ساختارهای کامپوزیت ۹

۲-۴- روشهای ممکن برای حل معادله دیفرانسیل حاکم بر صفحات مستطیلی ۱۱

۲-۴-۱- روشهای تحلیل برای حل معادلات دیفرانسیل در صفحات مستطیلی ۱۲

۲-۴-۱-۱- حل ناویر ۱۲

۲-۴-۱-۲- حل لوی ۱۲

۲-۴-۲- روشهای نیمه تحلیلی برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر صفحات ۱۳

۲-۴-۲-۱- روش انرژی کرنشی ۱۳

فصل سوم : محاسبه نیروی ضربه

۳-۱- مقدمه ۱۶

۳-۲- تئوری هرتز ۱۶

۱۹	۳-۳- رابطه تعادل انرژی برای محاسبه نیروی ضربه
۱۹	۳-۴- نمودار نیروی ضربه بر حسب زمان
۲۰	۳-۵- محاسبه سطح ضربه خورده
۲۰	۳-۶- محاسبه زمان ضربه
۲۱	۳-۷- محاسبه فرکانسهای طبیعی
۲۲	۳-۸- فلوجارت برنامه کامپیوتری جهت محاسبه نیروی ضربه

فصل چهارم : مکانیزمهای تخریب در صفحات کامپوزیتی

۲۳	۴-۱- مقدمه
۲۳	۴-۲- مروری بر شایعترین مکانیزمهای تخریب در صفحات کامپوزیتی
۲۷	۴-۳- اثرات ترتیب لایه چینی بر مقدار سطح تخریب
۲۹	۴-۳-۱- لایه چینی (0_{15})
۳۰	۴-۳-۲- لایه چینی $(0_s / 90_s / 0_s)$
۳۲	۴-۳-۳- لایه چینی $(0^\circ / \pm 45^\circ / 90^\circ)$
۳۳	۴-۴- مروری بر تحلیلهای اجزاء محدود در ضربه
۳۳	۴-۵- بررسی اثرات تمرکز تنش در کاهش استحکام صفحات کامپوزیت
۳۴	۴-۵-۱- اثرات هندسه سوراخ بر مقدار تمرکز تنش
۳۴	۴-۵-۲- اثرات تورق لبه های سوراخ بر مقدار تمرکز تنش
۳۵	۴-۵-۳- اثر نسبت پهنای نمونه به قطر سوراخ
۳۶	۴-۵-۴- اثر نسبت قطر سوراخ به ضخامت نمونه
۳۷	۴-۶- مقررات صنایع هوایی برای تحمل ضربه در ساختارهای کامپوزیت

فصل پنجم : تحلیل اجزاء محدود صفحات تحت ضربه

۳۹	۵-۱- مقدمه
۳۹	۵-۲- نوع تحلیل بکار رفته
۳۹	۵-۳- تحلیل مستقیم گذرا
۴۰	۵-۳-۱- محاسبه تنشهای برشی بین صفحه ای
۴۰	۵-۳-۲- نوع بارگذاری
۴۱	۵-۴- تحلیل استاتیکی صفحه
۴۱	۵-۴-۱- نوع بارگذاری در تحلیل استاتیکی
۴۲	۵-۵- روش تحلیل گذرای مستقیم
۴۳	۵-۶- نتایج انجام تحلیل گذرا و استاتیکی بر یک صفحه مربعی شکل
۴۳	۵-۶-۱- مشخصات فیزیکی و مکانیکی مدل
۴۳	۵-۶-۱-۱- خواص مکانیکی و ابعاد صفحه تحلیل شده
۴۴	۵-۶-۱-۲- رابطه خیز - زمان
۴۴	۵-۶-۲- مقادیر خروجی برنامه کامپیوتری
۴۵	۵-۶-۳- ورودیهای مورد نیاز برای تحلیل استاتیکی
۴۵	۵-۶-۴- خروجیهای تحلیل استاتیکی و گذرا
۴۵	۵-۶-۵- مقایسه نتایج تنش در تحلیل استاتیکی و گذرا
۴۸	۵-۶-۶- بررسی شکل تورق در تحلیل گذرا و استاتیکی صفحه مربعی شکل
۴۸	۵-۶-۶-۱- سطح تخریب در تحلیل گذرا
۴۹	۵-۶-۶-۲- سطح تخریب در تحلیل استاتیکی
۵۲	۵-۷- تحلیل اثر تخریب تورق بر کاهش استحکام فشاری صفحات کامپوزیتی
۵۶	۵-۷-۱- تحلیل نتایج

فصل ششم : آزمایشات ضربه بر یک ساختار شبه ایزوتروپیک و ارزیابی

مدل

۵۸	۶-۱- مقدمه.....
۵۸	۶-۲- مشخصات نمونه های آزمایشی.....
۵۹	۶-۳- مشخصات دستگاه ضربه.....
۵۹	۶-۴- شرایط مرزی صفحه.....
۶۰	۶-۵- نتایج آزمایش ضربه.....
۶۰	۶-۵-۱- بررسی سطح تخریب.....
۶۰	۶-۵-۱-۱- نتایج سطح تخریب در نمونه های سری A.....
۶۱	۶-۵-۱-۲- نتایج سطح تخریب در نمونه های سری B.....
۶۱	۶-۵-۱-۳- نتایج سطح تخریب در نمونه های سری C.....
۶۱	۶-۵-۲- بررسی مود تخریب در سطح تخریبهای گوناگون.....
۶۱	۶-۵-۲-۱- تخریبهایی که در یک لایه اتفاق می افتند.....
۶۲	۶-۵-۲-۲- تخریبهایی که در بین لایه ها اتفاق می افتند.....
۶۳	۶-۶- تحلیل نتایج آزمایش ضربه.....
۶۳	۶-۶-۱- تأثیر ابعاد نمونه ها بر مقدار سطح تخریب آنها.....
۶۵	۶-۶-۲- شکل و مود تخریب در نمونه ها.....
۶۸	۶-۷- اثر ضربه در نمونه هایی با هندسه پیچیده.....
۶۹	۶-۷-۱- بررسی سطح تخریب در یک نمونه واقعی.....
۷۱	۶-۸- آزمایشهای استاتیکی جهت تعیین استحکام باقیمانده فشاری.....
۷۱	۶-۸-۱- اثر تخریب در استحکام باقیمانده صفحات.....
۷۲	۶-۸-۲- الگوهای تخریب طی بارگذاری فشاری.....
۷۲	۶-۸-۳- روند انجام آزمایشهای فشاری.....
۷۴	۶-۸-۴- نتایج آزمایشهای سری A.....

۷۷	.....	۵-۸-۶- نتایج آزمایشهای سری B
۷۹	.....	۶-۸-۶- نتایج آزمایشهای سری C
۸۱	.....	۷-۸-۶- نتایج آزمایشهای تکمیلی
۸۲	.....	۸-۸-۶- بحث درباره نتایج بدست آمده
۸۵	.....	۹-۶- ارزیابی مدل با مقایسه نتایج اجزاء محدود و آزمایشات
۸۵	.....	۱-۹-۶- مشخصات فیزیکی و مکانیکی مدل
۸۵	.....	۲-۹-۶- محاسبه نیروی ضربه
۸۶	.....	۳-۹-۶- ورودیهای مورد نیاز برای تحلیل استاتیکی
۸۶	.....	۴-۹-۶- معیار محاسبه سطح تورق
۸۶	.....	۵-۹-۶- نتایج تحلیل
۸۸	.....	۱۰-۶- پیش بینی استحکام باقیمانده و شروع تخریب در نمونه مدل سازی شده

فصل هفتم : پیشنهادات

۹۱	.....	۱-۷- مقدمه
۹۲	.....	۲-۷- پیشنهاداتی برای ادامه کار در تحقیقات بعدی
۹۳	.....	ضمیمه
۹۷	.....	مراجع

فهرست تصاویر

صفحه	عنوان	شکل
فصل اول :		
۳	روند کاهش استحکام فشاری در انرژیهای ضربه متفاوت	۱-۱
فصل دوم :		
۵	گشتاورها و نیروهای برشی اعمال شده به المان صفحه سفت	۲-۱
۶	گشتاورها و نیروهای اعمال شده به یک المان غشایی	۲-۲
۶	گشتاورها و نیروهای اعمال شده به یک المان صفحه انعطاف پذیر	۲-۳
۷	نیروهای اعمال شده به یک المان صفحه ضخیم	۲-۴
۸	نمایش المانی از صفحه سفت تحت بار جانبی	۲-۵
۹	نمایش جابجاییهای صفحه ای و خیز در یک صفحه سفت	۲-۶
فصل سوم :		
۱۶	خیز موضعی و خیز عمومی در یک صفحه انعطاف پذیر	۳-۱
۱۹	نمودار نیروی ضربه بر حسب زمان در ای-گلاس / اپوکسی	۳-۲
۲۲	فلوجارت برنامه کامپیوتری جهت محاسبه نیروی ضربه	۳-۳
فصل چهارم :		
۲۴	الگوی تورق در ساختار $[90_s / 0_s / 90_s]$	۴-۱
۲۴	الگوی تورق در ساختار $[90_3 / 0_3 / 90_3 / 0_3 / 90_3]$	۴-۲
۲۵	مکانیزم ایجاد تورق در یک صفحه (0/90)	۴-۳.a
۲۵	مکانیزم ایجاد تورق در یک صفحه (0/90)	۴-۳.b
۲۶	الگوی تورق در یک صفحه (0/90)	۴-۴
۲۸	اثر لایه های (± 45) بر افزایش استحکام باقیمانده	۴-۵
۲۸	استحکام باقیمانده در درصدهای مختلفی از لایه های (± 45)	۴-۶

فهرست تصاویر

شکل	عنوان	صفحه
۴-۷	اثر افزایش درصد لایه های (45±) بر انرژی حد آستانه تخریب	۲۹
۴-۸	نمودار تنش- کرنش در ساختار $[0_{15}^{\circ}]$ تحت ضربه با پرتابه نوک کرومی	۳۰
۴-۹	نمودار تنش- کرنش در ساختار $[0_{15}^{\circ}]$ تحت ضربه با پرتابه سرتخت	۳۰
۴-۱۰	نمودار تنش-کرنش در ساختار $[0_s^{\circ} / 90_s^{\circ} / 0_s^{\circ}]$ تحت ضربه پرتابه کرومی	۳۱
۴-۱۱	نمودار تنش-کرنش در ساختار $[0_s^{\circ} / 90_s^{\circ} / 0_s^{\circ}]$ تحت ضربه پرتابه تخت	۳۱
۴-۱۲	نمودار تنش-کرنش در ساختار $[0^{\circ} / \pm 45^{\circ} / 0^{\circ}]$ تحت ضربه پرتابه تخت	۳۲
۴-۱۳	نمودار تنش-کرنش در ساختار $[0^{\circ} / \pm 45^{\circ} / 0^{\circ}]$ تحت ضربه پرتابه کرومی	۳۲
۴-۱۴	نمودار $\frac{D}{W}$ نسبت به ضریب تمرکز تنش برای چند تحلیل مختلف	۳۶
۴-۱۵	نمودار $\frac{D}{t}$ نسبت به استحکام صفحه	۳۷

فصل پنجم :

۵-۱	تنش σ_{xx} در لایه اول و در سطح مقطع ۹۰ درجه نسبت به محور X	۴۶
۵-۲	تنش σ_{yy} در لایه اول و در سطح مقطع صفر درجه نسبت به محور X	۴۶
۵-۳	تنش σ_{xx} در لایه دوم و در سطح مقطع ۴۵- درجه نسبت به محور X	۴۶
۵-۴	تنش σ_{yy} در لایه دوم و در سطح مقطع ۴۵ درجه نسبت به محور X	۴۶
۵-۵	تنش σ_{xx} در لایه سوم و در سطح مقطعی با زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور X	۴۶
۵-۶	تنش σ_{yy} در لایه سوم و در سطح مقطعی با زاویه ۴۵- درجه نسبت به محور X	۴۶
۵-۷	تنش σ_{xx} در لایه چهارم و در سطح مقطعی با زاویه صفر درجه نسبت به محور X	۴۷
۵-۸	تنش σ_{yy} در لایه چهارم و در سطح مقطعی با زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور X	۴۷
۵-۹	تنش σ_{xy} در لایه اول و در سطح مقطعی با زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور X	۴۷
۵-۱۰	تنش σ_{xy} در لایه دوم و در سطح مقطعی با زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور X	۴۷
۵-۱۱	تنش σ_{xy} در لایه سوم و در سطح مقطعی با زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور X	۴۷
۵-۱۲	تنش σ_{xy} در لایه چهارم و در سطح مقطعی با زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور X	۴۷
۵-۱۳	تخریب تحلیل گذرادر سطح مشترک لایه اول و دوم، دوم و سوم، سوم و چهارم	۴۹

فهرست تصاویر

شکل	عنوان	صفحه
۵-۱۴	نمای از بالای شکل تخریب همه لایه ها در تحلیل گذرا	۵۰
۵-۱۵	شکل تخریب تحلیل استاتیکی در سطح مشترک لایه اول و دوم	۵۰
۵-۱۶	شکل تخریب تحلیل استاتیکی در سطح مشترک لایه دوم و سوم	۵۱
۵-۱۷	شکل تخریب تحلیل استاتیکی در سطح مشترک لایه سوم و چهارم	۵۱
۵-۱۸	تنش σ_{xx} در لایه اول و زاویه صفر درجه نسبت به محور X	۵۴
۵-۱۹	تنش σ_{yy} در لایه اول و زاویه صفر درجه نسبت به محور X	۵۴
۵-۲۰	تنش σ_{xx} در لایه دوم و زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور X	۵۴
۵-۲۱	تنش σ_{yy} در لایه دوم و زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور X	۵۵
۵-۲۲	تنش σ_{xx} در لایه سوم و زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور X	۵۵
۵-۲۳	تنش σ_{yy} در لایه سوم و زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور X	۵۵
۵-۲۴	تنش σ_{xx} در لایه چهارم و زاویه صفر درجه نسبت به محور X	۵۶
۵-۲۵	تنش σ_{yy} در لایه چهارم و زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور X	۵۶

فصل ششم :

۶-۱	نمایی از دستگاه ضربه	۶۰
۶-۲	جدایش بین الیاف و ماتریس، بیرون زدگی الیاف، گسیختگی الیاف	۶۲
۶-۳	ترکهای ماتریسی در سطح ضربه خورده	۶۲
۶-۴	تأثیر ترکهای ماتریسی در شروع تخریب تورق	۶۳
۶-۵	تخریب در سطح زیرین نقطه ضربه خورده نمونه A100-3	۶۴
۶-۶	تخریب در سطح زیرین نقطه ضربه خورده نمونه B100-3	۶۴
۶-۷	تخریب در سطح زیرین نقطه ضربه خورده نمونه C100-3	۶۴
۶-۸	نمودار سطح تخریب- انرژی ضربه برای نمونه های سری A ، B ، C	۶۵
۶-۹	ترکهای ماتریسی برشی (45°)	۶۶

فهرست تصاویر

شکل	عنوان	صفحه
۶-۱۰	ترکهای ماتریسی خمشی	۶۶
۶-۱۱	تأثیر ترک در توزیع تنش در یک المان کامپوزیتی	۶۷
۶-۱۲	تخریب در چهار نقطه مختلف از ریب	۶۹
۶-۱۳	اثر تخریب بر کاهش استحکام فشاری	۷۱
۶-۱۴	نمایی کلی از قید آزمایش استحکام باقیمانده فشاری	۷۳
۶-۱۵	نمایی از طرز قرار گرفتن نمونه و تپا در قید	۷۳
۶-۱۶	استحکام باقیمانده فشاری A 25	۷۶
۶-۱۷	استحکام باقیمانده فشاری A 50	۷۶
۶-۱۸	استحکام باقیمانده فشاری A 75	۷۶
۶-۱۹	استحکام باقیمانده فشاری A 100	۷۶
۶-۲۰	استحکام فشاری نمونه ضربه نخورده AV	۷۷
۶-۲۱	استحکام باقیمانده فشاری B 50	۷۸
۶-۲۲	استحکام باقیمانده فشاری B 75	۷۸
۶-۲۳	استحکام باقیمانده فشاری B 100	۷۹
۶-۲۴	استحکام فشاری نمونه ضربه نخورده BV	۷۹
۶-۲۵	استحکام باقیمانده فشاری C 75	۸۰
۶-۲۶	استحکام باقیمانده فشاری C 100	۸۰
۶-۲۷	استحکام باقیمانده فشاری نمونه ضربه نخورده CV	۸۰
۶-۲۸	استحکام باقیمانده فشاری B 90	۸۲
۶-۲۹	استحکام باقیمانده فشاری C 90	۸۲
۶-۳۰	کاهش استحکام فشاری در نمونه های سری A ، B و C	۸۲
۶-۳۱	نمودار بار فشاری- خیز در نمونه A25-1	۸۳
۶-۳۲	نمودار بار فشاری- خیز در نمونه A25-3	۸۴
۶-۳۳	تخریب ناشی از بارگذاری فشاری در نمونه های ضربه خورده	۸۴
۶-۳۴	سطح تخریب تورق در سطح مشترک لایه اول و دوم	۸۷

فهرست تصاویر

شکل	عنوان	صفحه
۶-۳۵	سطح تخریب تورق در سطح مشترک لایه دوم و سوم.....	۸۷
۶-۳۶	سطح تخریب تورق در سطح مشترک لایه سوم و چهارم.....	۸۷
۶-۳۷	گسترش سطح تخریب در بارگذاری (KN) 18.....	۸۹
۶-۳۸	گسترش سطح تخریب در بارگذاری (KN) 22.5.....	۸۹
۶-۳۹	گسترش سطح تخریب در بارگذاری (KN) 27.....	۹۰
۶-۴۰	نمایش نقطه مبدا (0,0) در صفحه تحت بارگذاری فشاری.....	۹۰

فصل هفتم:

۷-۱	پاسخ خیز نسبت به زمان.....	۹۱
۷-۲	پاسخ سرعت پرتابه نسبت به زمان.....	۹۲