

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بیشینه‌سازی بسامد صفحه‌های چند لایه

تهیه و تنظیم:

سید محمد صالح وزیری کنگ علیا

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر شهبان

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر رضایی پزند

زمستان ۱۳۹۰

به نام خدا

گواهی

گواهی می شود که تاکنون، این پایان نامه برای احراز یک درجه علمی ارایه نشده است و تمامی مطالب بجز در مواردی که نام منبع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجوی می باشد .

سید محمد صالح وزیری کنگ علیا- دانشجو

تاریخ

دکتر فرزاد شهبان - استاد راهنما

تاریخ

این پایان نامه که بوسیله آقای سید محمد صالح وزیری کنگ علیا تدوین و به هیات داوران زیر ارایه گردیده است، بعنوان بخش پژوهشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته سازه، مورد تأیید شورای تحصیلات تکمیلی گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می باشد .

دکتر فرزاد شهبان- استاد راهنما

دکتر محمد رضایی پزند- استاد مشاور

دکتر هاشم شریعتمدار - استاد مدعو

دکتر سید محمود حسینی- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی

قدردانی

در آغاز، بایستی از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر فرزاد شهبان، که کمک‌های ارزنده‌ای جهت انتخاب موضوع، گردآوری و تنظیم مطالب نمودند، و همواره پاسخگوی پرسش‌های اینجانب بودند، صمیمانه تشکر نمایم. همچنین، از تمام استادانی که در طول دوران تحصیل راهنمایم بوده‌اند، قدردانی می‌نمایم. در انتها، این پایان‌نامه را به دستان پرمهر مادر و پدر عزیزم تقدیم می‌کنم.

بیشینه‌سازی بسامد صفحه‌های چندلایه

چکیده: مواد مرکب با ویژگی‌های منحصر به فرد خود دارای سختی و مقاومت مناسب می‌باشند. صفحه‌های چند لایه ساخته شده از این مواد، کاربرد وسیعی در طراحی و ساخت سازه‌های نو دارند. از این رو، بررسی هر چه بیشتر رفتار دینامیکی این گونه صفحه‌ها ضروری می‌باشد. در این پایان‌نامه با استفاده از فن اجزاء محدود، بسامدهای صفحه‌های چند لایه به دست آمده است. برای این کار، با انجام محاسبه‌های گسترده، اثر عامل‌های مهم بر مقدار بسامد این گونه صفحه‌ها مشخص گردیده است. در ادامه، با تغییر زاویه قرارگیری تارها در لایه‌های مختلف، بسامد بیشینه صفحه‌های چندلایه برای شرط‌های تکیه‌گاهی گوناگون محاسبه شده است. در پایان، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، نحوه چیدمان مناسب لایه‌ها برای دستیابی به بیشینه بسامد تعیین گردیده است.

واژه‌های کلیدی: صفحه‌های چند لایه، اجزاء محدود، الگوریتم ژنتیک، بسامد بیشینه.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول- مقدمه
۱	۱-۱- پیشگفتار
۱	۲-۱- مواد مرکب
۲	۳-۱- طبقه بندی و ویژگی های مواد مرکب
۲	۱-۳-۱- مواد مرکب الیافی
۳	۱-۳-۲- مواد مرکب چندلایه
۳	۱-۳-۳- مواد مرکب ذره ای
۳	۱-۳-۴- ترکیب های مختلف از مواد مرکب
۳	۱-۴- رفتار مکانیکی مواد مرکب
۵	۱-۴-۱- میکرو مکانیک تک لایه
۶	۱-۴-۲- ماکرو مکانیک تک لایه
۶	۱-۴-۲-۱- رابطه های تنش- کرنش
۸	۱-۴-۲-۲- رابطه های تنش- کرنش در حالت تنش مسطح
۹	۱-۴-۲-۳- رابطه های تنش- کرنش در دستگاه مختصه های کلی
۱۱	۱-۵- نگره سنتی چندلایه ها
۱۲	۱-۵-۱- انواع تنش و کرنش در یک چندلایه
۱۴	۱-۵-۲- نیروها و لنگرهای داخلی
۱۷	۱-۶- انواع چندلایه
۱۷	۱-۶-۱- چندلایه های متقارن
۱۸	۱-۶-۲- چندلایه های نامتقارن
۱۸	۱-۶-۳- چندلایه های چند زاویه ای
۱۸	۱-۷- تاریخچه
۱۹	۱-۸- ساماندهی پایان نامه

۲۱	فصل دوم- تعیین بسامدهای صفحه‌ها
۲۱	۱-۲- پیشگفتار
۲۱	۲-۲- نوسان آزاد صفحه‌های همسانگرد
۲۳	۳-۲- نوسان آزاد صفحه‌های ناهمسانگرد
۴۳	۴-۲- تعیین بسامد صفحه‌ها با استفاده از نرم افزار ANSYS
۴۸	فصل سوم- تعیین بسامدهای صفحه‌های چندلایه به روش اجزاء محدود
۴۸	۱-۳- پیشگفتار
۴۹	۲-۳- رابطه‌سازی اجزاء محدود برای صفحه‌های چندلایه
۵۲	۳-۲-۱- ماتریس سختی
۵۴	۳-۳- راستی آزمایی
۵۵	۳-۴- حل چند مثال
۵۶	۳-۴-۱- صفحه چندلایه مربع شکل
۵۶	۳-۴-۲- مطالعه همگرایی و اثر ضریب کشسانی
۵۹	۳-۴-۳- اثر نسبت دهانه به ضخامت
۵۹	۳-۴-۴- اثر چینش لایه‌ها و زاویه‌های تار
۶۱	۳-۴-۵- اثر شرط‌های تکیه‌گاهی و دهانه به ضخامت مختلف
۶۲	۳-۴-۲- صفحه‌های مستطیلی
۶۵	۳-۴-۱- اثر شرط‌های تکیه‌گاهی و دهانه به ضخامت مختلف
۷۲	فصل چهارم- بیشینه‌سازی بسامد صفحه‌های چندلایه به کمک الگوریتم ژنتیک
۷۲	۱-۴- پیشگفتار
۷۲	۲-۴- الگوریتم ژنتیک
۷۳	۴-۲-۱- تفاوت روش‌های سنتی بهینه‌سازی و روش الگوریتم ژنتیک
۷۵	۴-۲-۲- تاریخچه الگوریتم ژنتیک
۷۵	۴-۲-۳- نگره تکامل
۷۶	۴-۲-۴- نحوه عملکرد الگوریتم ژنتیک
۷۹	۴-۲-۵- اجزاء الگوریتم ژنتیک
۷۹	۴-۲-۵-۱- متغیرهای طراحی

۸۰	۴-۲-۵-۲- تابع هدف
۸۱	۴-۲-۵-۳- تابع هدف نامقید
۸۲	۴-۲-۵-۴- تابع برازندگی
۸۲	۴-۲-۵-۵- عملگر انتخاب
۸۵	۴-۲-۵-۶- عملگر ادغام
۸۹	۴-۲-۵-۷- عملگر جهش
۹۰	۴-۲-۵-۸- مفهوم برگزیده
۹۰	۴-۲-۵-۹- همگرایی الگوریتم ژنتیک
۹۲	۴-۳- برنامه الگوریتم ژنتیک نوشته شده برای بهینه‌سازی
۹۲	۴-۳-۱- بررسی دقت روش
۹۶	۴-۳-۲- نتیجه‌های تحلیل GA

۱۰۰ فصل پنجم - نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱۰۰	۵-۱- پیشگفتار
۱۰۱	۵-۲- نتیجه‌گیری
۱۰۲	۵-۳- پیشنهاد برای ادامه پژوهش

۱۰۳ مراجع

۱۰۶ نامنامه

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۷	جدول (۱-۱) - نشانه‌های توافقی تانسوری برای تنش و کرنش
۲۸	جدول (۱-۲) - مشخصه‌های هندسی و مواد صفحه مورد تحلیل
۲۸	جدول (۲-۲) - بسامدها بر حسب (hz) برای صفحه C-C-F-C
۲۹	جدول (۳-۲) - بسامدها بر حسب (hz) برای صفحه C-F-F-F
۳۳	جدول (۴-۲) - تابع‌ها و معادله‌های ویژه
۳۳	جدول (۵-۲) - مشخصه‌های مواد صفحه مورد تحلیل
۳۴	جدول (۶-۲) - عامل $\gamma = a^4 \sqrt{\omega^2 \rho h / D_1}$ برای صفحه‌های $a \times b = 1m \times 1.2m$ با جنس M1
۳۴	جدول (۷-۲) - عامل $\gamma = a^4 \sqrt{\omega^2 \rho h / D_1}$ برای صفحه cccc با طول b متغیر با جنس M2
۳۷	جدول (۸-۲) - مشخصه‌های مواد صفحه مورد تحلیل
۳۷	جدول (۹-۲) - عامل $\Omega = \lambda / \pi^2 \sqrt{D_{22} / E_{22} h^3}$ صفحه سه‌لایه با لبه‌های ناراست برابر با جنس M3
۳۸	جدول (۱۰-۲) - عامل $\Omega = \lambda / \pi^2 \sqrt{D_{22} / E_{22} h^3}$ صفحه سه‌لایه با لبه‌های ناراست برابر با جنس M4
۴۲	جدول (۱۱-۲) - بسامدهای صفحه‌های چندلایه (hz) با شبکه‌بندی متفاوت
۴۳	جدول (۱۲-۲) - بسامدهای صفحه‌های چندلایه (hz) با روش‌های مختلف
۴۵	جدول (۱۳-۲) - مشخصه‌های هندسی و مواد صفحه مورد تحلیل
۴۷	جدول (۱۴-۲) - ده بسامد ابتدایی (hz) برای صفحه مربع شکل دوازده لایه با تکیه‌گاه‌های ساده
۵۴	جدول (۱-۳) - مشخصه‌های مکانیکی صفحه سه لایه مربع شکل با تکیه‌گاه ساده
۵۵	جدول (۲-۳) - عامل $\omega^* = (\omega b^2 / \pi^2) \sqrt{\rho h / D_0}$ برای صفحه سه لایه مربع شکل با تکیه‌گاه ساده
۵۷	جدول (۳-۳) - همگرایی عامل بسامد ابتدایی و مقایسه آن با پاسخ‌های دیگر برای یک صفحه مربع شکل با زاویه تار [0,90,90,0] و $(\omega^* = (\omega a^2 / h) \sqrt{\rho / E_2}, a/h=5)$.

- ۵۹ جدول (۳-۴) - همگرایی عامل بسامد ابتدایی برای نسبت‌های مختلف a/h برای یک صفحه مربعی با زاویه تار $[0,90,90,0]$ و $(\omega^* = (\omega a^2 / h)\sqrt{\rho/E_2}, E_1/E_2=40)$.
- ۶۱ جدول (۳-۵) - عامل بسامد ابتدایی برای یک صفحه مربع شکل با شرط‌های تکیه‌گاهی مختلف با زاویه تار $[0,90,0]$ و $(\omega^* = (\omega a^2 / h)\sqrt{\rho/E_2}, E_1/E_2=40)$.
- ۶۱ جدول (۳-۶) - پنج بسامد ابتدایی برای یک صفحه مربع شکل با زاویه تار $[0,90,0]$ و $(\omega^* = (\omega a^2 / h)\sqrt{\rho/E_2})$.
- ۶۲ جدول (۳-۷) - پنج بسامد ابتدایی برای یک صفحه با زاویه تار $[0,90,0]$ و $(\omega^* = (\omega b^2 / \pi^2)\sqrt{\rho h / D_0}, E_1/E_2=40)$.
- ۶۳ جدول (۳-۸) - پنج بسامد ابتدایی برای یک صفحه با زاویه تار $[0,90,0]$ و $(\omega^* = (\omega b^2 / \pi^2)\sqrt{\rho h / D_0}, E_1/E_2=40)$.
- ۶۴ جدول (۳-۹) - پنج بسامد ابتدایی برای یک صفحه با زاویه تار $[0,90,0,90,0]$ و $(\omega^* = (\omega b^2 / \pi^2)\sqrt{\rho h / D_0})$.
- ۶۵ جدول (۳-۱۰) - پنج بسامد ابتدایی برای یک صفحه با زاویه تار $[0,90,0,90,0]$ و $(\omega^* = (\omega b^2 / \pi^2)\sqrt{\rho h / D_0})$.
- ۶۶ جدول (۳-۱۱) - اثر زاویه‌های مختلف تار بر پنج بسامد ابتدایی یک صفحه مستطیلی با زاویه تار $[0,0,0,\theta]_s$ و $(\omega^* = (\omega b^2 / \pi^2)\sqrt{\rho h / D_0})$.
- ۶۷ جدول (۳-۱۲) - اثر زاویه‌های مختلف تار بر پنج بسامد ابتدایی یک صفحه مستطیلی با زاویه تار $[0,0,0,\theta]_s$ و $(\omega^* = (\omega b^2 / \pi^2)\sqrt{\rho h / D_0})$.
- ۶۹ جدول (۳-۱۳) - اثر نسبت‌های مختلف ضریب کشسانی بر بسامد ابتدایی یک صفحه مستطیلی چند زاویه‌ای و $(\omega^* = (\omega b^2 / \pi^2)\sqrt{\rho h / D_0})$.
- ۹۲ جدول (۴-۱) - مشخصه‌های مواد صفحه مورد تحلیل
- ۹۳ جدول (۴-۲) - مشخصه‌های زاویه‌های انتخابی و رمزگذاری آن‌ها برای صفحه هشت لایه
- ۹۵ جدول (۴-۳) - بسامد بیشینه به دست آمده برای صفحه مربعی هشت لایه
- ۹۶ جدول (۴-۴) - بسامد بیشینه برای صفحه چهارلایه متقارن با نسبت ابعاد (a/b) و شرط‌های تکیه‌گاهی متفاوت
- ۹۷ جدول (۴-۵) - بسامد بیشینه برای صفحه هشت لایه متقارن با نسبت ابعاد (a/b) و شرط‌های

تکیه‌گاهی متفاوت

جدول (۶-۴) - بسامد بیشینه برای صفحه دوازده لایه متقارن با نسبت ابعاد (a/b) و شرط‌های
تکیه‌گاهی متفاوت

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۴	شکل (۱-۱) - چندلایه ساخته شده از چند تک لایه
۸	شکل (۲-۱) - محورهای اصلی یک تک لایه
۱۰	شکل (۳-۱) - نمایش دستگاه مختصه های محلی و کلی یک تک لایه
۱۱	شکل (۴-۱) - هندسه تغییر شکل یافته یک لایه
۱۵	شکل (۵-۱) - نمایش یک چندلایه N لایه ای
۲۳	شکل (۱-۲) - مدهای نوسانی برای سه حالت مختلف صفحه
۲۶	شکل (۲-۲) - صفحه مستطیلی با تکیه گاه های فنری
۲۹	شکل (۳-۲) - مقایسه بسامدهای صفحه C-C-F-C از روش های مختلف
۳۰	شکل (۴-۲) - مقایسه بسامدهای صفحه C-F-F-F از روش های مختلف
۳۲	شکل (۵-۲) - شرط های مرزی صفحه
۳۵	شکل (۶-۲) - صفحه با لبه های ناراست و دستگاه مختصه های بی بعد آن
۴۰	شکل (۷-۲) - جزء هشت گرهی مستطیلی به همراه مختصه های محلی
۴۴	شکل (۸-۲) - جزء پوسته ای Shell99
۴۴	شکل (۹-۲) - نمونه ای از تکیه گاه ساده
۴۶	شکل (۱۰-۲) - چهار مد ابتدایی برای صفحه چندلایه با تکیه گاه های ساده
۴۹	شکل (۱-۳) - صفحه مرکب چندلایه و دستگاه مختصه های آن
۵۶	شکل (۲-۳) - هندسه و شبکه بندی یک صفحه مربع شکل چندلایه
۵۸	شکل (۳-۳) - همگرایی روش تحلیل اجزاء محدود برای نسبت های مختلف ضریب کشسانی
۵۸	شکل (۴-۳) - اثر نسبت های مختلف ضریب کشسانی بردقت بسامدهای ابتدایی
۶۰	شکل (۵-۳) - اثر چینش لایه ها و زاویه های تار بر روی بسامد ابتدایی صفحه با تکیه گاه ساده
۶۰	شکل (۶-۳) - اثر چینش لایه ها و زاویه های تار بر روی بسامد ابتدایی صفحه با تکیه گاه گیردار
۶۸	شکل (۷-۳) - مقایسه تغییر های بسامد ابتدایی برای شرط های تکیه گاهی و زاویه تار متفاوت
۷۰	شکل (۸-۳) - تغییر های بسامد ابتدایی برای صفحه با تکیه گاه ساده و نسبت های متفاوت ضریب کشسانی

- شکل (۳-۹) - تغییرهای بسامد ابتدایی برای صفحه با تکیه‌گاه گیردار و نسبت‌های متفاوت
 ۷۰ ضریب کشسانی
- شکل (۴-۱) - روند حل مساله‌های بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک
 ۷۸
- شکل (۴-۲) - چرخ رولت
 ۸۳
- شکل (۴-۳) - نمونه‌ای از ادغام تک نقطه‌ای
 ۸۶
- شکل (۴-۴) - نمونه‌ای از ادغام دو نقطه‌ای
 ۸۷
- شکل (۴-۵) - نمونه‌ای از ادغام یکنواخت
 ۸۸
- شکل (۴-۶) - نمونه‌ای از عمل جهش
 ۹۰
- شکل (۴-۷) - تغییرهای بسامد بیشینه صفحه هشت‌لایه نمونه برای نرخ‌های ادغام مختلف
 ۹۴
- شکل (۴-۸) - تغییرهای بسامد بیشینه صفحه هشت‌لایه نمونه برای نرخ‌های جهش مختلف
 ۹۴
- شکل (۴-۹) - روند همگرایی نسل‌های الگوریتم ژنتیک به بسامد بیشینه برای صفحه هشت‌لایه
 ۹۵
- شکل (۴-۱۰) - تغییرهای بسامد بیشینه برای صفحه دوازده‌لایه متقارن با نسبت ابعاد (a/b) و
 ۹۹ شرط‌های تکیه‌گاهی متفاوت

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

مواد مرکب به سبب دارا بودن ویژگی‌های مکانیکی مناسب در مقایسه با مواد ساده کاربرد وسیعی در طراحی سازه‌ها دارند. این مواد با وزن کم خود، دارای سختی و مقاومت مناسب بوده و قابلیت برآورده کردن نیازهای مختلف سازه‌ها را دارند. امروزه از مواد مرکب در مقاوم سازی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها، بدنه و بال هواپیماها و کاربردهای گوناگون صنعتی استفاده می‌شود [۱].

به دلیل کاربرد فراوان این مواد در صنعت، نیاز به شناخت هر چه بیشتر رفتار دینامیکی سازه‌های ساخته شده با این مواد وجود دارد. از این رو در این پایان‌نامه، تعیین بسامدهای صفحه‌های مرکب چندلایه ناهمسانگرد با شرط‌های مرزی مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین طرح بهینه به منظور بیشینه ساختن بسامد صفحه‌های چندلایه ارائه می‌شود.

۱-۲- مواد مرکب

مواد مرکب موادی هستند که از دو یا چند جزء تشکیل شده‌اند که به منظور ایجاد ماده‌ای با ویژگی‌ها متفاوت نسبت به هریک از اجزای سازنده، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. از ویژگی‌های بارز این مواد می‌توان به مقاومت و سختی در برابر بار، مقاومت در برابر خوردگی، وزن سبک و عایق حرارتی بودن اشاره

کرد. مواد مرکب در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای در ساخت سازه‌های مختلف، مقاوم سازی سازه‌ها و صنعت هوا - فضا به کار گرفته شده‌اند.

۱-۳- طبقه بندی و ویژگی‌های مواد مرکب

مواد مرکب به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- مواد مرکب الیافی که متشکل از تارهایی بوده که درون پود قرار دارند.
 - ۲- مواد مرکب چندلایه که از لایه‌های ساخته شده از مواد مختلف تشکیل شده است.
 - ۳- مواد مرکب ذره‌ای که از ترکیب اجزا یک یا چند ماده در پود ماده‌ای دیگر به وجود می‌آید.
 - ۴- ترکیبی از تمام یا برخی از موارد سه گانه بالا.
- در ادامه هریک از موارد فوق شرح داده می‌شود.

۱-۳-۱- مواد مرکب الیافی

در این گونه مواد، تارها به عنوان جزء اصلی تحمل کننده بار به حساب می‌آید. این تارها که می‌توانند دارای طول و شکل‌های متفاوتی باشند، دارای مقاومت و سختی بالاتری نسبت به همان ماده در حالت توده‌ای می‌باشند. البته هندسه و آرایش فیزیکی تارها بر مقاومت آن تاثیر مهمی دارد و باید در کاربردهای سازه‌ای در نظر گرفته شود. برای به کار گرفته شدن تارها در سازه باید آن‌ها را درون پود قرار داد. وظیفه پود حفاظت از تارها و همچنین پخش بار بین آنها می‌باشد. از موادی که در پودها به کار برده می‌شوند می‌توان به رزین، سرامیک و کربن اشاره کرد. از موادی مانند شیشه، کربن و مواد آلی می‌توان در ساخت تارها استفاده کرد.

۱-۳-۲- مواد مرکب چندلایه

مواد مرکب چندلایه از حداقل دو لایه با ویژگی‌های متفاوت که توسط ماده پیوند دهنده به هم متصل شده‌اند، تشکیل می‌شود. این فرآیند به منظور ترکیب مواد تشکیل دهنده لایه‌ها و مواد پیوند دهنده برای رسیدن به ماده بهتر به کار می‌رود. مقاومت، سختی، وزن سبک، مقاومت در برابر خوردگی، زیبایی و جذابیت از عوامل مورد توجه در این فرآیند است.

۱-۳-۳- مواد مرکب ذره‌ای

این نوع مواد از ترکیب ذره‌های یک یا چند ماده که در داخل یک پود ساخته شده از ماده دیگر قرار می‌گیرند، به وجود می‌آید.

۱-۳-۴- ترکیب‌های مختلف از مواد مرکب

مواد مرکب می‌توانند همزمان به صورت ترکیبی از انواع مختلف الیافی، لایه‌ای و ذره‌ای باشند. برای مثال، ماده بتن آرمه ترکیبی از حالت الیافی و ذره‌ای می‌باشد. دلیل آن هم این است که از یک سو، بتن به خاطر آن که متشکل از مخلوط شن و سیمان می‌باشد، از نوع ذره‌ای محسوب می‌گردد و از سوی دیگر به دلیل وجود آرماتورهای تقویتی از نوع الیافی محسوب می‌شود.

۱-۴- رفتار مکانیکی مواد مرکب

اکثر مواد مهندسی همگن و همسانگرد هستند. ماده همگن به موادی گویند که ویژگی‌ها ماده در سرتاسر جسم ثابت و مستقل از مکان است. مواد همسانگرد به موادی اطلاق می‌شود که ویژگی‌ها ماده در جهت‌های گوناگون در یک نقطه از جسم تفاوتی نکند.

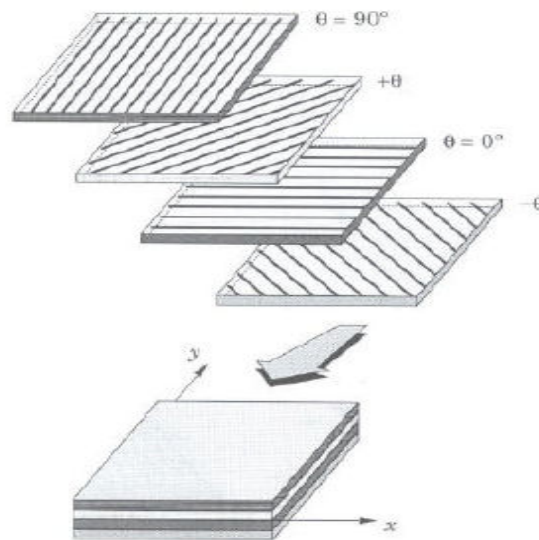
مواد مرکب اغلب ناهمگن و ناهمسانگرد هستند. مواد ناهمگن به موادی گفته می‌شود که ویژگی‌های آن در سرتاسر جسم ممکن است تغییر کند. مواد ناهمسانگرد به موادی گویند که ویژگی‌های ماده در سه جهت متعامد در یک نقطه ممکن است تفاوت کند.

مواد مرکب از دو جنبه میکرومکانیک و ماکرومکانیک مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۱- میکرومکانیک به مطالعه اثر اجزای سازنده بر رفتار مواد مرکب در مقیاس میکروسکوپی می‌پردازد.

۲- ماکرومکانیک به مطالعه و شناسایی متوسط ویژگی‌های مواد مرکب در مقیاس ماکروسکوپی

می‌پردازد.



شکل (۱-۱) - چندلایه ساخته شده از چند تک‌لایه [۱]

به یک لایه از مواد مرکب تک‌لایه گویند. یک تک‌لایه شامل تارهای با جهت یکسان بوده که در داخل پود قرار دارد. تارها، اصلی‌ترین عنصر باربر و تقویت‌کننده موجود در تک‌لایه بوده که معمولاً سخت و مقاوم هستند. یک چندلایه (شکل (۱-۱)) از اتصال تعدادی تک‌لایه تشکیل می‌شود که با هم صفحه‌ای چندلایه با ویژگی‌ها و ضخامت مطلوب را به وجود می‌آورند. لایه‌ها بر اساس یک طرح از پیش تعیین شده برای ایجاد یک مقاومت مورد نظر، روی هم قرار می‌گیرند. بنابراین دانستن ویژگی‌های مکانیکی ماکرومکانیک تک‌لایه برای درک رفتار سازه‌های تشکیل شده از صفحه‌های چندلایه ضروری می‌باشد.

۱-۴-۱- میکرومکانیک تک‌لایه

میکرومکانیک تک‌لایه، علم مطالعه و شناخت خواص مکانیکی تک‌لایه‌ها بر پایه ویژگی‌های اجزا سازنده-اش می‌باشد. اگر چه تک‌لایه در واقع یک ماده ناهمگن است، ولی در علم میکرومکانیک به خاطر سادگی، تک‌لایه‌ها به عنوان یک ماده همگن همسانگرد فرض می‌شود. با آگاهی از ویژگی‌های مکانیکی اجزا یک تک‌لایه، می‌توان با استفاده از میکرومکانیک، ویژگی‌های آن را پیش‌بینی نمود. در این بخش، زیرنویس‌های f و m به ترتیب بیانگر تار و پود می‌باشند.

در نظریه میکرومکانیک، دانستن میزان مشارکت اجزاء تک‌لایه ضروری است. میزان تار موجود در یک تک‌لایه توسط رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$V_f = \frac{(V_f)_L}{V_L} \quad (1-1)$$

در این رابطه $(V_f)_L$ ، حجم تار در تک‌لایه و V_L ، حجم کل تک‌لایه می‌باشد.

به دلیل این که فقط دو جزء تار و پود در لایه وجود دارند، بنابراین درصد حجم پود به علاوه درصد حجم تار باید برابر یک شود (اگر از وجود حفره‌ها صرف نظر شود)، بنابراین:

$$V_m = 1 - V_f \quad (2-1)$$

دیگرخواص مکانیکی یک تک‌لایه شامل ضریب کشسانی در جهت تارها (E_1)، ضریب کشسانی عمود بر جهت تارها (E_2)، ضریب پواسون (ν) و مدول برشی (G)، به صورت زیر قابل دست‌یابی است [۲].

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (3-1)$$

$$E_2 = \frac{E_f E_m}{V_m E_f + V_f E_m} \quad (4-1)$$

$$\nu_{12} = V_f \nu_f + V_m \nu_m \quad (5-1)$$

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{V_m G_f + V_f G_m} \quad (6-1)$$

$$G_{23} = G_m \times \frac{V_f + \eta_{23}(1 - V_f)}{\eta_{23}(1 - V_f) + V_f G_m / G_f} \quad (7-1)$$

$$\eta_{23} = \frac{3 - 4\nu_m + G_m / G_f}{4(1 - \nu_m)} \quad (8-1)$$

۱-۴-۲- ماکرومکانیک تک‌لایه

با استفاده از علم ماکرومکانیک تک‌لایه می‌توان ویژگی‌های سازه‌های ساخته شده از مواد مرکب را پیش‌بینی و کنترل نمود. این قابلیت، یکی از وجوه متمایز مواد مرکب از مواد معمولی می‌باشد.

۱-۴-۲-۱- رابطه‌های تنش - کرنش

بر اساس قانون عمومی هوک، ارتباط بین تنش و کرنش به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sigma_i = [C_{ij}] \varepsilon_j \quad (9-1)$$

که در آن σ_i مولفه تنش، C_{ij} ماتریس سختی و ε_j مولفه کرنش می‌باشند.

ماتریس سختی دارای ۳۶ ثابت می‌باشد. می‌توان نشان داد که این ماتریس متقارن می‌باشد ($C_{ij} = C_{ji}$) و ۲۱ ثابت مستقل دارد. رابطه (۹-۱) بیان‌کننده یک ماده غیر همسانگرد است که هیچ سطح تقارنی ندارد. برای یک تک‌لایه، که یک ماده ناهمسانگرد فرض می‌شود، ماتریس ضرایب فقط دارای ۹ مقدار ثابت مستقل است. همچنین برای مواد همسانگرد که مقدارهای بی‌شماری سطح تقارن دارند ماتریس سختی فقط دو ثابت مستقل دارد. در جدول (۱-۱) نشانه‌های قراردادی در حالت کرنش و تنش‌های سه بعدی در مقایسه با نشانه‌های تانسوری معمولی آورده شده است.

جدول (۱-۱) - نشانه‌های توافقی تانسوری برای تنش و کرنش [۱]

تنش		کرنش	
نشانه‌های تانسوری	نشانه‌های قراردادی	نشانه‌های تانسوری	نشانه‌های قراردادی
$\sigma_{11}(\sigma_1)$	σ_1	$\varepsilon_{11}(\varepsilon_1)$	ε_1