

مکانیک مواد مرکب

مفاهیم و کاربردها

رضا جواهری

محمد اسدزاده



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

۳۴۵

مکانیک مواد مرکب: ماهییم و کاربردها

تألیف دکتر رضا جواهری، مهندس محمد اسدزاده

طراحی جلد: علی خورشیدپور

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چاپ اول: ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰۰

بها: ۵۸۰۰۰ تومان

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: آرمانسا

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-215-5

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۲۱۵-۵

تلفن: ۰۲۱-۶۶۱۶۴۰۷، ۰۲۱-۶۶۱۳۲۹-۶۶۰

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب - خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت) - ساختمان بهمن - پلاک ۸ - طبقه چهارم - واحد ۴۰۲

تلفن: ۰۲۱-۶۶۹۶۷۸۹۶، ۰۲۱-۶۶۴۰۵۱۳۳

فروش اینترنتی: book.sharif.ir

پست الکترونیکی: publishing@sharif.ir

موضوع: مواد چندسازه - خواص مکانیکی

Composited material - Mechanical properties

شناسه افزوده: اسدزاده، محمد، ۱۳۶۷

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی

Sharif University of Technology, Institute of Scientific Publications

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۷/ج۹/م۸/TA۴۱۸/۹

رده‌بندی دیویی: ۶۲۰/۱۱۸۳

شماره کتابشناسی ملی: ۵۴۸۶۵۰۸

سرشناسه: جواهری، رضا، ۱۳۴۸

عنوان و نام پدیدآور: مکانیک مواد مرکب: مفاهیم و کاربردها / تألیف رضا جواهری،

محمد اسدزاده

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۷

مشخصات ظاهری: ۶۲۰ ص. مصور، جدول

شابک: 978-964-208-215-5

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: واژه‌نامه

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

نه	دیباجه
۱	فصل اول: آشنایی با مواد مرکب
۳	۱-۱ مقدمه
۱۱	۲-۱ مروری بر خواص مهندسی
۱۹	۳-۱ دسته‌بندی مواد مرکب
۱۹	۱-۳-۱ مواد مرکب ذره‌ای
۲۱	۱-۳-۲ مواد مرکب پولکی
۲۱	۱-۳-۳ مواد مرکب رشته‌ای
۲۲	۱-۳-۴ مواد مرکب ریزساختار
۲۳	۴-۱ الیاف
۲۳	۱-۴-۱ قطر الیاف
۲۵	۱-۴-۲ ویژگی‌های الیاف
۲۷	۱-۴-۳ انواع الیاف
۴۱	۵-۱ ماتریس
۴۱	۱-۵-۱ مواد مرکب با ماتریس پلیمری
۴۲	۱-۵-۲ ماتریس‌های مورد استفاده در تولید مواد مرکب ماتریس پلیمری
۴۵	۱-۵-۳ روش‌های تولید مواد مرکب ماتریس پلیمری
۵۹	۱-۵-۴ مواد مرکب با ماتریس فلزی
۶۶	۱-۵-۵ مواد مرکب با ماتریس سرامیکی
۷۰	۱-۵-۶ مواد مرکب با ماتریس کربنی
۷۲	۶-۱ چندلایه هیبریدی

۷۳	۷-۱ مواد مرکب ساندویچی
۷۴	۸-۱ کاربرد مواد مرکب
۷۵	۹-۱ رفتار مکانیکی
۷۵	۱-۹-۱ اجسام همسانگرد
۷۶	۲-۹-۱ اجسام همگن
۷۶	۳-۹-۱ اجسام ناهمگن
۷۶	۴-۹-۱ اجسام ناهمسانگرد
۷۶	۵-۹-۱ اجسام چندسانگرد
۷۶	۱۰-۱ معادلات لایه و چندلایه
۷۹	۱۱-۱ رفتار مکانیکی مواد مرکب
۸۰	۱۲-۱ جمع‌بندی
۸۱	۱۳-۱ تمرین
۸۳	۱۴-۱ پژوهش
۸۵	۱۵-۱ مآخذ

فصل دوم: تحلیل ماکرومکانیک یک تک‌لایه

۹۳	۱-۲ مقدمه
۹۵	۲-۲ مفاهیم بنیادین
۹۹	۱-۲-۲ تنش
۱۰۲	۲-۲-۲ کرنش
۱۰۸	۳-۲-۲ مدول الاستیک
۱۱۰	۴-۲-۲ انرژی کرنش
۱۱۱	۳-۲ قانون هوک برای مواد گوناگون
۱۱۳	۱-۳-۲ مواد ناهمسانگرد
۱۱۴	۲-۳-۲ مواد مونوکلینیک (تک‌شیب)
۱۱۵	۳-۳-۲ مواد ارتوتروپیک (ناهمسانگرد عمود بر هم) و ارتوتروپیک خاص
۱۱۷	۴-۳-۲ ماده همسانگرد عرضی
۱۱۹	۵-۳-۲ مواد همسانگرد
۱۲۹	۴-۲ قانون هوک برای تک‌لایه تک‌جهته دوبعدی
۱۲۹	۱-۴-۲ فرض تنش صفحه‌ای
۱۲۹	۲-۴-۲ کاهش روابط قانون هوک از حالت سه‌بعدی به دوبعدی
۱۳۱	۳-۴-۲ رابطه ماتریس‌های سختی و نرمی بر حسب ثابت‌های الاستیک مهندسی یک تک‌لایه

۱۳۸	۵-۲ قانون هوک برای تک‌لایه زاویه‌دار دوبعدی
۱۴۷	۶-۲ ثابت‌های مهندسی برای تک‌لایه زاویه‌دار
۱۵۵	۷-۲ فرم نامعتبر ماتریس سفتی و ماتریس نرمی برای یک تک‌لایه زاویه‌ای
۱۵۹	۸-۲ نظریه‌های شکست برای یک تک‌لایه زاویه‌دار
۱۶۱	۱-۸-۲ نظریه شکست تنش بیشینه
۱۶۵	۲-۸-۲ نسبت استحکام
۱۶۷	۳-۸-۲ محدوده‌های شکست
۱۷۰	۴-۸-۲ نظریه شکست کرنش بیشینه
۱۷۳	۵-۸-۲ نظریه شکست تسای هیل
۱۷۷	۶-۸-۲ شکست تسای وو
۱۸۲	۷-۸-۲ معیار نتایج آزمایشگاهی با مقادیر حاصل از نظریه‌های شکست
۱۸۴	۹-۲ تنش‌ها و کرنش‌های نرمی در یک تک‌لایه
۱۸۴	۱-۹-۲ روابط تنش کرنش نرمی برای یک تک‌لایه تک‌جهته
۱۸۷	۲-۹-۲ روابط تنش - کرنش نرمی برای یک تک‌لایه زاویه‌دار
۱۹۰	۱۰-۲ جمع‌بندی
۱۹۰	۱۱-۲ تمرین
۱۹۶	۱۲-۲ پژوهش
۱۹۹	۱۳-۲ منابع
۲۰۳	فصل سوم: تحلیل میکرو مکانیک یک تک‌لایه
۲۰۵	۱-۳ مقدمه
۲۰۶	۲-۳ کسر حجمی، کسر جرمی، چگالی و میزان حفره
۲۰۶	۱-۲-۳ کسر حجمی
۲۰۶	۲-۲-۳ کسر جرمی
۲۰۷	۳-۲-۳ چگالی
۲۰۹	۴-۲-۳ میزان حفره
۲۱۳	۵-۲-۳ تعیین تجربی کسر حجمی الیاف
۲۱۴	۳-۳ محاسبه چهار مدول الاستیک
۲۱۴	۱-۳-۳ رهیافت مقاومت مصالح
۲۲۹	۲-۳-۳ مدل‌های نیمه تجربی
۲۳۴	۳-۳-۳ رهیافت الاستیسیته
۲۶۰	۴-۳-۳ مدول‌های الاستیک یک تک‌لایه با الیاف همسانگرد عرضی
۲۶۱	۴-۳-۳ استحکام نهایی یک تک‌لایه تک‌جهته

۲۶۲	۳-۴-۱ استحکام کششی طولی
۲۶۷	۳-۴-۲ استحکام فشاری طولی
۲۷۵	۳-۴-۳ استحکام کششی عرضی
۲۷۷	۳-۴-۴ استحکام فشاری عرضی
۲۸۰	۳-۴-۵ استحکام برشی صفحه‌ای
۲۸۴	۳-۵ ضرایب انبساط حرارتی
۲۸۵	۳-۵-۱ ضریب انبساط حرارتی طولی
۲۸۶	۳-۵-۲ ضریب انبساط حرارتی عرضی
۲۸۹	۳-۶ ضرایب انبساط رطوبتی
۲۹۲	۳-۷ جمع‌بندی
۲۹۲	۳-۸ تمرین
۲۹۸	۳-۹ پژوهش
۲۹۹	۳-۱۰ منابع

۳۰۱ فصل چهارم: تحلیل ماکرو مکانیک چندلایه‌ها

۳۰۳	۴-۱ مقدمه
۳۰۴	۴-۲ کد چندلایه
۳۰۶	۴-۳ روابط تنش - کرنش برای یک چندلایه
۳۰۶	۴-۳-۱ رابطه تنش - کرنش برای یک تیر همسانگرد یک لایه
۳۰۸	۴-۳-۲ معادلات کرنش - جابه‌جایی
۳۱۱	۴-۳-۳ تنش و کرنش در یک چندلایه
۳۱۲	۴-۳-۴ مؤلفه‌های تنش و ممان مرتبط به کرنش‌ها و انحنای دینامیکی
۳۲۵	۴-۴ مدل‌های درون‌صفحه‌ای و خمشی یک چندلایه
۳۲۶	۴-۴-۱ ثابت‌های مهندسی درون‌صفحه‌ای یک چندلایه
۳۲۸	۴-۴-۲ ثابت‌های مهندسی خمشی یک چندلایه
۳۳۲	۴-۵ آثار نم‌گرایی در یک چندلایه
۳۳۳	۴-۵-۱ تنش‌ها و کرنش‌های نم‌گرایی
۳۳۹	۴-۵-۲ ضرایب انبساط حرارتی و رطوبتی یک چندلایه
۳۴۲	۴-۵-۳ تابیدگی یک چندلایه
۳۴۴	۴-۶ جمع‌بندی
۳۴۴	۴-۷ تمرین
۳۴۹	۴-۸ مأخذ

فصل پنجم: شکست، تحلیل و طراحی چندلایه‌ها

۳۵۱	۱-۵ مقدمه
۳۵۲	۲-۵ نمونه‌های خاص
۳۵۳	۱-۲-۵ چندلایه‌های متقارن
۳۵۴	۲-۲-۵ چندلایه‌های متقاطع
۳۵۵	۳-۲-۵ چندلایه‌های زاویه‌ای
۳۵۶	۴-۲-۵ چندلایه‌های ضد متقارن
۳۵۶	۵-۲-۵ چندلایه‌های متوازن
۳۵۷	۶-۲-۵ چندلایه‌های به هم‌سانگرد
۳۶۳	۳-۵ معیار شکست برای یک چندلایه
۳۷۴	۴-۵ طراحی چندلایه‌ها
۳۹۵	۵-۵ مباحث دیگر در طراحی لایه‌ای
۳۹۵	۱-۵-۵ مواد مرکب ساندویچی
۳۹۷	۲-۵-۵ آثار بلندمدت محیطی
۳۹۷	۳-۵-۵ تنش‌های میان‌لایه‌ای
۴۰۰	۴-۵-۵ مقاومت در برابر ضربه
۴۰۰	۵-۵-۵ مقاومت شکست
۴۰۱	۶-۵-۵ استحکام خستگی
۴۰۳	۶-۵ جمع‌بندی
۴۰۴	۷-۵ تمرین
۴۰۷	۸-۵ مأخذ

فصل ششم: خمش تیرهای کامپوزیتی

۴۰۹	۱-۶ مقدمه
۴۱۱	۲-۶ تیرهای متقارن
۴۲۰	۳-۶ تیرهای نامتقارن
۴۲۹	۴-۶ جمع‌بندی
۴۲۹	۵-۶ تمرین
۴۳۱	۶-۶ مأخذ

فصل هفتم: مواد مرکب: چالش‌ها و کاربردها

۴۳۵	۱-۷ مقدمه
-----	-----------

۴۳۵	۲-۷ وضعیت کنونی صنعت مواد مرکب
۴۴۰	۱-۲-۷ صنعت مواد مرکب در ایالات متحده آمریکا
۴۴۲	۲-۲-۷ صنعت مواد مرکب در چین
۴۵۱	۳-۲-۷ صنعت مواد مرکب در هند
۴۵۲	۴-۲-۷ صنعت مواد مرکب در ژاپن
۴۵۳	۵-۲-۷ صنعت مواد مرکب در اروپا
۴۵۶	۶-۲-۷ صنعت مواد مرکب در ترکیه
۴۶۰	۷-۲-۷ صنعت مواد مرکب در روسیه
۴۶۰	۳-۷ حوزه های کاربرد مواد مرکب
۴۶۱	۳-۷ کاربرد مواد مرکب در هوانوردی و هوافضا
۴۸۰	۲-۳-۷ کاربرد مواد مرکب در صنعت خودرو
۵۱۰	۳-۳-۷ کاربرد مواد مرکب در حوزه انرژی و توربین های بادی
۵۱۳	۴-۳-۷ کاربرد مواد مرکب در صنعت ساختمان
۵۱۶	۵-۳-۷ کاربرد مواد مرکب در صنایع بایستی
۵۱۹	۶-۳-۷ کاربرد مواد مرکب در بهره وری و سلامت
۵۲۰	۴-۷ جمع بندی
۵۲۰	۵-۷ مآخذ
۵۲۷	پیوست الف: مروری بر جبر ماتریس ها
۵۶۳	پیوست ب: معادلات تبدیل تنش و کرنش
۵۷۱	پیوست ج: بسته نرم افزاری پرومال
۵۸۳	منابع
۶۰۱	واژه نامه فارسی - انگلیسی
۶۰۹	فهرست راهنما

دیباچه

امروزه دانش‌آموختگان رشته‌های فنی و مهندسی تنها با هدف طراحی و تحلیل موضوعات تخصصی به کار گرفته نمی‌شوند، بلکه دامنه کاری آنها بسیار فراتر از اینهاست. گزاف نخواهد بود چنانچه حوزه کاری، فعالیت حرفه‌ای و مسئولیت اجتماعی مهندسان امروز را مشتمل بر تحلیل مسائلی چون ترافیک‌های جدی برای حل مشکلات اقتصادی، معضلات اجتماعی، آلودگی‌های زیست‌محیطی، برنامه‌ریزی‌های کلان شهری، حمل‌ونقل، کشف منابع جدید انرژی و حفظ منابع طبیعی موجود بدانیم. در این راستا برای آنکه مهندسان جوان قادر به تحلیل و واکاوی این دسته از مسائل باشند و راه‌حل‌های مناسبی برای آنها بیابند، مهارت‌ها و توانمندی‌های بسیاری لازم است که یکی از آنها علم مواد و خواص و وابسته به آن، خصوصاً مواد نو و پرکاربرد و چون انواع کامپوزیت‌هاست. مکانیک مواد مرکب موضوعی است که دانشجویان رشته‌های فنی و مهندسی، به‌ویژه مهندسی مکانیک و هوافضا، در دوران تحصیل خود می‌توانند بیاموزند.

می‌دانیم که هر گروه و مجموعه علمی و پژوهشی برای نیل به اهداف خود، به گروهی از افراد در نقش حسگر و جمعی در نقش پردازشگر (مغز سفید یا تصمیم‌گیرنده) احتیاج دارد. اشراف کامل بر مباحث علمی و یافتن درکی شهودی از آن، نه تنها پایه تعلیمی دانشجویان را قوی‌تر می‌کند، که اگر چنین افرادی در آینده، در گروهی متشکل از متخصصان مهندسان فعالیت کنند، چه به‌عنوان حرفه خود و چه به‌عنوان فعالیت پژوهشی، خواهند توانست به سادگی به عضو دانای گروه مبدل شوند. گفتنی است فعالیت‌های مهندسی، اغلب در قالب گروه شکل می‌گیرند و به‌صورت جمعی اجرا می‌شوند و کمتر مهندسی را می‌توان یافت که در دنیای حرفه‌ای به‌تنهایی کار کند. هر فردی با قابلیت‌های معمول این توانایی را دارد که در چنین گروهی نقش پردازشگر و تصمیم‌گیرنده را ایفا کند. اما سرانجام این خود اوست که تصمیم می‌گیرد حسگر گروه باشد یا پردازشگر آن!

چنانچه بخواهیم در گروهی از مهندسان حرفه‌ای، به‌عنوان مغز متفکر فعالیت کنیم، باید درکی شهودی از مباحث فنی و تخصصی داشته باشیم. همچنین اگر بخواهیم در آینده صرفاً به‌عنوان عضوی عادی در گروه فعالیت کنیم و اصطلاحاً در نقش حسگر مجموعه به ایفای نقش پردازیم، باز هم باید با زبان فنی و اصطلاحاتی که دیگر اعضای گروه به کار می‌برند آشنا باشیم. در هر صورت، برای آنکه در آینده بتوانیم به‌عنوان مهندس حرفه‌ای فعالیت کنیم، باید مبانی و اصول مهندسی را بیاموزیم و درکی شهودی از مفاهیم داشته باشیم. در این مجموعه کوشیده‌ایم موضوع مکانیک مواد مرکب را با زبانی

ساده و قابل فهم بیان کنیم و این شاخه از دانش مکانیک را از دیدگاهی متفاوت بررسی نماییم. در طول نگارش این مجموعه همواره نکات ذیل مطمح نظر بوده است:

۱. این کتاب به شکلی ساده و در عین حال دقیق، مستقیماً با ذهن مهندسان آینده سخن می‌گوید
۲. متن کتاب به گونه‌ای نوشته شده است که خواننده را به تفکر خلاقانه وامی‌دارد و می‌کوشد درکی عمیق از مبحث مکانیک مواد مرکب در مخاطب ایجاد کند
۳. مخاطب این کتاب کسی است که انگیزه، علاقه و اشتیاق برای یادگیری دارد؛ نه دانشجویی که تنها در پی یافتن منبعی به‌عنوان راهنمای حل مسئله است

مطالب این کتاب به گونه‌ای ارائه شده است که هر دانشجویی می‌تواند به‌سادگی مباحث آن را دنبال کند. این کتاب با خواننده خود سخن می‌گوید و او را گام به گام در طول مسیر یادگیری همراهی می‌کند. به‌همین دلیل خواننده احساس نمی‌کند مطالب بر او تسلط یافته‌اند و او تنها به‌عنوان فردی منفعل در فرایند یادگیری نقش دارد؛ بلکه همواره احساس می‌کند مهمترین وظیفه و بیشترین سهم را در مطالعه و فراگیری برعهده دارد. کوشیده‌ایم مباحث این کتاب به شیوه خودآموز نوشته شود تا برای افرادی که خارج از محیط‌های آموزشی و دانشگاهی به یادگیری دانش مکانیک مواد مرکب و آشنایی با این دسته از مواد می‌پردازند نیز سودمند باشد. تا چه حد به این هدف نزدیک شده‌ایم، پرسشی است که خوانندگان پس از مطالعه کتاب بدان پاسخ خواهند گفت.

در فصل نخست به بررسی مفاهیم پایه‌ای مواد مرکب پرداخته‌ایم. برای این منظور تاریخچه مختصری از پیدایش کامپوزیت‌ها از حدود ۱۵۰۰ سال پیش از میلاد مطرح و شواهدی تاریخی از وجود فن تولید مواد مرکب در ادیان گذشته معرفی شده است. پس از بیان خواص مهندسی این دسته از مواد و بیان نقاط قوت و ضعف آنها در نگاهی کلان، به دسته‌بندی مواد مرکب براساس نوع الیاف به‌کار رفته پرداخته شده است. گام بعد، ویژگی‌ها و انواع الیاف مورد استفاده در تولید مواد مرکب تشریح شده است. در ادامه ماتریس‌ها و انواع کامپوزیت‌ها براساس نوع ماتریس مورد استفاده در آنها معرفی شده است. ویژگی بارز فصل نخست، معرفی انواع روش‌های تولید مواد مرکب به تفکیک نوع ماتریس مورد استفاده است. در فصل دوم اما، پس از مرور مفاهیم بدوی حوزه مکانیک مواد، روابط تنش - کرنش سه‌بعدی برای مواد مختلف بررسی شده است. همچنین مواد از محدوده همسانگرد تا ناهمسانگرد مورد بررسی قرار گرفته و مشاهده شده است که محدوده تعداد ثابت‌های مستقل از ۲۱ ثابت برای مواد ناهمسانگرد تا ۲ ثابت برای مواد همسانگرد متغیر است. در ادامه، با فرض تنش صفحه‌ای، مسائل سه‌بعدی به مسائل دوبعدی تبدیل می‌شود و روابط تنش - کرنش برای تک‌لایه تک‌جهته / دو جهته به‌دست می‌آید. سپس با استفاده از تبدیل تنش‌ها و کرنش‌ها، روابط تنش - کرنش برای تک‌لایه زاویه‌دار به‌دست

می‌آید. در پایان نظریه‌های شکست برای تک‌لایه زاویه‌دار برحسب استحکام تک‌لایه تک‌جهته معرفی می‌شود و در نهایت معادلات تنش- کرنش برای تک‌لایه زاویه‌دار تحت اثر بارهای نم‌گرایی به‌دست می‌آید. در فصل سوم، پس از تشریح مفاهیمی چون کسر حجمی و کسر وزنی الیاف، معادلاتی برای چگالی و میزان حفره‌ها به‌دست می‌آید. همچنین چهار ثابت الاستیک یک تک‌لایه تک‌جهته از سه روش مختلف محاسبه می‌شود: رهیافت مقاومت مصالح، معادلات هالفرین تسای و رهیافت الاستیسیته. در ادامه، مدل‌های نظری و تکنیک‌های تجربی برای محاسبه پنج پارامتر استحکام، دو ضریب انبساط حرارتی و دو ضریب انبساط رطوبتی یک نمونه تک‌لایه تک‌جهته ارائه و بررسی می‌شود. در فصل چهارم، کدهای چندلایه‌ها و تفسیر آنها برای نمایش ترتیب لایه‌چینی چندلایه‌ها معرفی می‌گردد. سپس پاسخ الاستیک چندلایه تحت تأثیر نیروهای مکانیکی همچون نیروهای درون‌صفه‌ای و ممان‌های خمشی، همچنین بارگذاری نم‌گرایی محاسبه می‌شود. این نظریه علاوه بر محاسبه تنش‌ها و تنش‌های محلی و کلی در تک‌لایه‌های لمینیت، امکان محاسبه مدول‌های مؤثر خمشی و درون‌صفه‌ای را برای هر چندلایه فراهم می‌آورد.

در فصل پنجم اما، با تبیین مفاهیمی درباره چندلایه‌های کامپوزیتی و تأثیر آنها بر ماتریس‌های سختی و نرمی و پاسخ آنها به بارگذاری‌های خارجی پرداخته می‌شود. در ادامه، نظریه‌های شکست مربوط به چندلایه‌ها با استفاده از نظریه شکست لایه‌به‌لایه معرفی و مثال‌هایی درباره نحوه طراحی سازه‌های کامپوزیتی از جمله طراحی ورق‌ها، مخازن جدارنازک و شاسی خودرو بررسی می‌شود. در پایان این فصل، درباره سایر عوامل مؤثر در طراحی چندلایه‌های مرکب همچون عوامل محیطی، تنش‌های میان‌لایه‌ای، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت در برابر شکست و مقاومت در برابر خستگی بحث می‌شود. در فصل ششم، خمش تیرهای همگن مرور شده و در ادامه، معلومات خواننده برای تحلیل تنش‌ها و خیز در تیرهای کامپوزیتی گسترش یافته است. تیرها می‌توانند متقارن و نامتقارن، یک‌باریک و پهن باشند. از اینرو، تفاوت میان تنش‌ها و خیزهای حاصل در دو حالت تیر پهن و یک‌باریک مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نهایتاً در فصل پایانی، مباحثی درباره کاربردهای انواع مواد مرکب در دنیای امروز بررسی و نهایتاً فرصت‌ها و تهدیدهای فراروی این دسته از مواد تبیین شده است.

کامپدیا؛ دانشنامه آنلاین مواد مرکب

امروزه با گسترش چشمگیر دانش و فناوری اطلاعات و ارتباطات، کارایی روش‌های بدوی و سنتی آموزش و یادگیری نیز تحت تأثیر قرار گرفته و فرایند طراحی و تولید محتوای آموزشی

قدری متحول شده است. برای همگام شدن با این محیط پویا و در حال تغییر باید در پی شیوه‌ها و روش‌های جدید انتقال دانش و افزایش سطح آگاهی بود. این فرایند با استفاده از بسترهای فناوری اطلاعات به‌خوبی میسر و به‌عنوان تکنیک کارآمد و موفق یادگیری در قرن جدید شناخته شده است. در این رهگذر ایجاد چندرسانه‌ای‌های آموزشی از جمله روش‌های مفید به‌منظور آموزش مفاهیم مقدماتی محسوب می‌شود.

با علم به این نکته و ضرورت تولید محتوای آموزشی کارآمد به‌منظور یادگیری اصول و مفاهیم بر آن شدیم تا وبگاهی تخصصی طراحی و راهاندازی کنیم. این وبگاه مجموعه‌ای است مشتمل بر مواد و محتوای روزآمد آموزشی و صنعتی در حوزه دانش و فناوری طراحی، ساخت و تولید مواد مرکب و کامپوزیت‌ها. این وبگاه شامل کتابخانه الکترونیک تخصصی در حوزه دانش مواد مرکب و کامپوزیت‌ها، آرشیو چندرسانه‌ای تخصصی مشتمل بر فیلم‌های آموزشی، تصاویر منتخب با موضوع مفاهیم تخصصی این حوزه، مجرعه تصاویر مندرج در این کتاب با کیفیتی مطلوب و مثال‌زدنی، کلاس درس استادان برجسته حوزه دانش مواد مرکب به‌صورت درس‌افزار باز، معرفی دانشمندان و صنعتگران برجسته فعال در زمینه طراحی و تولید مواد مرکب، معرفی صنایع و شرکت‌های فعال در حوزه طراحی و ساخت و تولید مواد مرکب و کامپوزیت‌ها، معرفی آثار منتخب فارسی در حوزه دانش مواد مرکب و نهایتاً معرفی محصولات و دستاوردهای جدید در حوزه دانش مواد مرکب می‌باشد. مرور محتوای مندرج در این وبگاه را به تمامی علاقمندان، پژوهشگران، صنعتگران و دانشجویان توصیه می‌کنیم.

در پایان بجاست از راهنمایی‌ها و روشنگری‌های چهره ماندگار مهندسی مکانیک کشور و عضو پیوسته فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، دکتر محمدرضا اسلامی، تقدیر نماییم. ایشان با وجود مشغله‌های فراوان اثر را با دقت بررسی نمودند و نکاتی یادآور شدند که در بلوغ هرچه بیشتر آن بسیار اثرگذار بود. از درگاه خداوند سبحان برای ایشان طول عمر با عزت مسئلت می‌نماییم.

امیدواریم اثر حاضر مورد پسند طبع بلند دانش‌پژوهان، دانش‌جویان و صنعتگران عزیز واقع گردد و به قول خواجه شیراز "مقبول طبع مردم صاحب‌نظر شود". ما را نقد ناقدان و نصیح ناصحان برترین پاداش و خجسته‌باشی است که صاحبان این قلم دریافت خواهند کرد. لذا از ارباب اندیشه و قلم صمیمانه می‌خواهیم تا ما را از این نعمت بزرگ متنعم فرمایند.

مؤلفان