دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان پایان‌نامه

بررسی اثر پارامترهای فرآیند قالب گیری تزریقی بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی فوم چوب-پلاستیک

نام دانشجو:

سید یاسر دریاباری

استاد راهنما:

امیر حسین بهروش

استاد مشاور:

محمد گلزار

بهار ۹۰

چکیده

در تحقیق حاضر به بررسی اثر پارامترهای فرآیند قالب گیری تزریقی بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی فوم چوب-پلاستیک پرداخته شده است. پارامترهای متغیر مورد مطالعه در این تحقیق عبارتند از: درصدهای وزنی مختلف چوب (۲۰،۳۰،۴۰ ،۵۰٪ و ۶۰٪)، حجم تزریق (۸۵ ،۹۰ ،۹۵ و ۱۰۰٪ حجم قالب)، عامل جفت کننده مالئیک آنیدرید پلی اتیلن (MAPE) در دوحالت عدم استفاده و استفاده (۳درصدوزنی)، و نوع عامل فوم زا (فیزیکی و شیمیایی). علاوه بر این متغیر ها، به بررسی اثر ضخامت قالب (۳/۲، ۵، ۷ و ۹ میلیمتر) بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی فوم چوب-پلاستیک پرداخته شده است. برای طراحی آزمایش از روش رویه سطح پاسخ Central Composite Design (CCD) استفاده شده است. برای بیان ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته بصورت مدل ریاضی از نرم‌افزار Design-Expert 8.0.1 استفاده شده است. نمونه های مناسب تولید شده تحت آزمون‌های مکانیکی خمش، کشش، ضربه و آزمون‌های فیزیکی چگالی و رئولوژی قرار گرفتند. همچنین از میکروسکوپ الکترونی (SEM) برای بررسی دقیق ساختار میکروسکوپی نمونه های فوم چوب-پلاستیک تولیدی استفاده شد. برای تحلیل تغییرات متغیرهای وابسته از روش ANOVA استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که با افزایش درصد وزنی ۲۰٪ تا ۴۰٪چوب، ضخامت پوسته فوم نشده، کاهش و چگالی سلولی افزایش می یابد. برای نمونه های فوم چوب-پلاستیک با ۵۰ درصد وزنی چوب افت شدیدی در ساختار ریزسلولی ایجاد می گردد اما ضخامت پوسته فوم‌نشده مطابق نمونه های قبل کماکان روند نزولی دارد. از طرفی ساختار ریز سلولی محصولات کامپوزیت فوم چوب-پلاستیک (WPCF) به شدت متاثر از حجم تزریق می باشد، بدین نحو که برای نمونه های فوم تولید شده، بیشترین میزان چگالی سلولی را در بین همه حجم های تزریق، نمونه های با حجم تزریق ۹۰ درصد دارا می باشند. این نمونه ها کمترین میزان ضخامت پوسته فوم نشده را به خود

اختصاص داده اند. نتایج محاسبه چگالی نمونه ها حاکی از آن است که با افزایش درصد وزنی چوب و همچنین حجم تزریق، چگالی نمونه ها نیز افزایش می یابد، استحکام کششی همواره برای نمونه های فوم نشده بیشتر از نمونه های فوم شده می باشد لیکن نکته قابل توجه این که با افزایش درصد وزنی چوب از ۲۰ به ۴۰ میزان افت استحکام نمونه فوم شده نسبت به نمونه فوم نشده کمتر است. استفاده از عامل جفت کننده(MAPE) موجب افزایش استحکام کششی فوم های تولیدی گردید درحالیکه با افزایش درصد چوب اثر آن بیشتر شد. استحکام‌خمشی قطعات فوم شده کمتر از قطعات فوم‌نشده می‌باشد و با افزایش درصد چوب کاهش یافت. کمترین میزان استحکام خمشی را نمونه های با حجم تزریق ۹۰٪ دارا بودند. استحکام کششی و خمشی نمونه های فوم فیزیکی در همه موارد بیشتر از استحکام نمونه های فوم شیمیایی می باشد. مقاومت به ضربه قطعات فوم‌شده در اکثر موارد بیشتر از قطعات فوم‌نشده بوده‌است.

واژگان کلیدی: کامپوزیت چوب پلاستیک – فوم ریزسلولی- فرآیند قالبگیری تزریقی – خواص فیزیکی و مکانیکی

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه
فصل ۱ ..... ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تاریخچه کامپوزیتهای چوب پلاستیک ۳
۱-۳- اهمیت کامپوزیتهای چوب- پلاستیک ۴
۱-۴- مزایا و معایب کامپوزیتهای چوب پلاستیک ۶
۱-۴-۱- مشخصات فیزیکی ۶
۱-۴-۲- مشخصات مکانیکی ۶
۱-۵- کاربردهای کامپوزیت چوب پلاستیک ۸
1-5-1- کاربرد حمل و نقل ۸
1-5-2- کاربردهای صنعتی ۹
1-5-3- کاربردهای ساختمانی ۹
۱-۶- بازار کامپوزیت چوب-پلاستیک [۱۴]: ۱۳
۱-۷- فرآیند های تولید کامپوزیت چوب-پلاستیک ۱۴
۱-۷-۱- فرایند اکستروژن[۱۴]: ۱۴
1-7-2- فرآیند قالبگیری تزریقی[۱۶] ۱۶
۱-۷-۳- قالبگیری فشاری[۲۰] ۱۷
۱-۸- پیشینه پژوهش ۱۹
۱-۸-۲- پیشینه فوم میکروسلولی ۲۰
۱-۹- اهداف و انگیزه های تحقیق ۲۴
۱-۱۰- مرور کلی بر فصول و بخش های پایان نامه ۲۵
فصل ۲ ..... ۲۶
۲-۱- مقدمه ۲۷
۲-۲- مروری بر تاریخچه فومهای پلیمری ۳۰
۲-۳- عامل فوم زا: ۳۱
۲-۳-۱- عامل فوم زای فیزیکی ۳۲
۲-۳-۲- عامل فومزای شیمیایی ۳۲
۲-۴- انواع فومهای ترموپلاستیکی ۳۵
۲-۵- روشهای تولید فوم ریزسلولی ۳۶
۲-۶- مزایای استفاده از فومهای ریزسلولی ۳۹

۲-۷- فوم کامپوزیت چوب-پلاستیک ۴۰
۲-۷-۲- مزایای کامپوزیت های چوب-پلاستیک فوم شده : ۴۰
فصل ۳ ..... ۴۲
3-1- مقدمه ۴۳
۳-۲- مواد اولیه مورد استفاده ۴۳
۳-۲-۱- ذرات چوب ۴۳
۳-۲-۲- پلاستیک ۴۳
۳-۲-۳- عوامل فوم زا ۴۴
۳-۲-۴- عامل جفت کننده ۴۶
۳-۳- تجهیزات مورداستفاده ۴۷
۳-۳-۱- تجهیزات مربوط به مرحله گرانولگیری: ۴۷
۳-۳-۱-۲- دستگاه اکسترودر ۴۸
۳-۳-۲- تولید گرانول با درصدهای مختلف چوب به کمک دستگاه اکسترودر دوماردونه: ۴۸
۳-۳-۳- دستگاه خرد کن ۵۰
۳-۴- تجهیزات مربوط به مرحله نهایی تولید محصول کامپوزیت فوم چوب-پلاستیک در فرآیند قالبگیری تزریقی: ۵۰
۳-۴-۱- طراحی و نصب تجهیزات لازم برروی دستگاه تزریق و تولید فوم ریز سلولی کامپوزیت چوب-پلاستیک: ۵۱
الف- شرح‌کلی و نقشه قطعات سیستم ورود عامل پف‌دهنده به درون سیلندر ۵۱
ج- شرح کلی، نقشه قطعات و دستورالعمل نصب نازل: ۵۵
۳-۴-۲- قالب تزریق و تجهیزات کنترل دمای قالب ۶۰
۳-۵- پارامترهای ثابت و متغیر فرآیند ، تولید قطعات و جدول طراحی آزمایش ۶۳
۳-۵-۱- پارامترهای ثابت ۶۳
۳-۵-۲- متغیرهای مستقل ۶۴
۳-۶- طراحی آزمایش ۶۵
۳-۶-۱- تعیین راهبرد طراحی ۶۶
۳-۷- روش انجام آزمایش ها ۷۰
۳-۸- نحوه تعیین چگالی و بررسی ساختار قطعات ۷۱
۳-۹- نحوه انجام آزمایشهای مکانیکی و فیزیکی ۷۴
۳-۱۰- بررسی رفتار رئولوژیکی کامپوزیت چوب پلاستیک ۷۸
فصل ۴ ..... ۷۹
۴-۱- مقدمه ۸۰

۴-۲- بررسی اثر نوع عامل فوم زا و درصد چوب بر ساختار ریزسلولی محصولات کامپوزیت فوم چوب-پلاستیک در فرآیند قالبگیری تزریقی ۸۲
۴-۳- بررسی اثر درصد چوب و حجم تزریق برچگالی‌وزنی محصولات WPCF: ۹۰
۴-۴- بررسی اثر درصد چوب و حجم تزریق بر استحکام کششی ۱۰۳
۴-۵- بررسی اثر عامل جفت کننده بر استحکام کششی ۱۰۶
۴-۶- بررسی اثر درصد چوب و حجم تزریق بر استحکام خمشی ۱۰۸
۴-۷- بررسی اثر عامل جفت کننده بر استحکام خمشی ۱۱۱
۴-۸- بررسی اثر درصد چوب و حجم تزریق بر استحکام به ضربه ۱۱۴
۴-۹- بررسی اثر نوع عامل فوم زا بر خواص مکانیکی ۱۱۶
۴-۱۰- بررسی اثر درصد چوب و حجم تزریق بر استحکام ویژه نسبی محصولات WPCF:.... ۱۱۷
۴-۱۱- بررسی اثر درصد چوب بر مدول الاستیسیته خمشی محصولات WPC ۱۱۹
۴-۱۲- بررسی اثر ضخامت قطعه(قالب) بر خواص فیزیکی و مکانیکی : ۱۲۰
۴-۱۳- بررسی اثر درصد وزنی چوب بر خواص رئولوژیکی محصولات کامپوزیت چوب-پلاستیک ۱۲۵
فصل ۵ ..... ۱۲۷
نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۷
۵-۱- نتیجه گیری ۱۲۸
۵-۲- پیشنهادها برای ادامه کار ۱۳۱

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه
شکل ۱-۱ : نمونه‌ای از کامپوزیت چوب و پلی‌اتیلن ۳
شکل ۱-۲ :کامپوزیت چوب پلاستیک تولید شده در رنگهای مختلف ۷
شکل ۱-۳ : نمونه ای از کاربرد کامپوزیت چوب پلاستیک در صنعت خودرو ۸
شکل ۱-۴ : نمونه هایی از پالت های ساخته شده ازکامپوزیت چوب پلاستیک ۹
شکل ۱-۵ : نمونه هایی از ابزار کشاورزی ساخته شده با استفاده از کامپوزیت چوب پلاستیک..... ۹
شکل ۱-۶ : استفاده از کامپوزیت چوب پلاستیک برای کفپوش خارجی ۱۰
شکل ۱-۷ :نمونه‌ای از کفپوش داخلی ساختمان تولید شده با استفاده از کامپوزیت چوب پلاستیک ۱۰
شکل ۱-۸ : نمونه‌ای از کاربرد کامپوزیت چوب پلاستیک در دکوراسیون داخلی ساختمان ۱۱
شکل ۱-۹ : نمونه ای از در و چارچوب ساخته شده از کامپوزیت چوب پلاستیک ۱۱
شکل ۱-۱۰ : نمونه ای از کاربرد این کامپوزیت در ساخت حصار و نرده ۱۲
شکل ۱-۱۱ : نمونه ای از صندلیهای تولید شده از کامپوزیت چوب پلاستیک ۱۲
شکل ۱-۱۲ :کاربرد کامپوزیت چوب پلاستیک در اروپا سال ۲۰۰۴ (غیر از خودرو)..... ۱۴
شکل ۱-۱۳ :اکسترودر به همراه پروفیل تولیدی ۱۵
شکل ۱-۱۴ :برخی پروفیل های چوب-پلاستیک ۱۵
شکل ۱-۱۵ : تصویر شماتیکی از دستگاه اکستروژن ۱۶
شکل ۱-۱۶ :دستگاه تزریق هنگام قالب گیری ۱۷
شکل ۱-۱۷ : قالبگیری فشاری ۱۸
شکل ۱-۱۸ : استفاده از فرآیند قالبگیری فشاری در صنایع خودرو ۱۸
شکل ۱-۱۹ : تاثیر نوع عامل فومزای شیمیایی و دمای قالب بر چگالی WPCF..... ۲۰
شکل ۲-۱ : منحنی تقریبی تجزیه شدن عامل فوم زای شیمیایی بر حسب زمان ۳۳
شکل ۲-۲ نحوه تغییرات فشار، درجه‌حرارت و حجم (P-T-V) در تولید فوم ترموپلاستیکی الف- تغییرات حجم در روند تولید فوم ترموپلاستیکی ب- تغییرات P-T-V در فرآیند تولید فوم ترموپلاستیکی (اکستروژن). ۳۴
شکل ۲-۳ : الف) فوم سنتی پلی استایرن، ب) فوم میکروسلولی پلی استایرن (تولید توده ای). دو تصویر دارای بزرگنمایی ۱۰۰ برابر می‌باشند. ۳۶
شکل ۲-۴ : الف) تعداد جوانه زیاد و نرخ رشد جوانه کم، ب) تعدا جوانه کم و نرخ رشد جوانه بالا، ج) تعداد جوانه زیاد و نرخ رشد جوانه بالا. ۳۷
شکل ۲-۵ : نمودار حلالیت – دما – فشار گاز در پلیمر. ۳۸

شکل ۲-۶ : مراحل تولید فوم میکروسلولی. ۳۸
شکل ۲-۷ : سیلندر و نازل دستگاه تزریق فوم میکروسلولی. ۳۸
شکل ۲-۸ : نازل تزریق مورد استفاده در تولید فوم میکروسلولی. ۳۹
شکل ۲-۹ :مراحل تولید کامپوزیت فوم چوب-پلاستیک ریزسلولی ۴۰
شکل ۳-۱ : نتایج DTA انجام شده بر Azodicarbonamide با نام تجاری AC-K به همراه فعالساز اکسید روی به مقدار ۵۰٪ وزنی عامل فومزا، در محیط آرگون با نرخ 10°c/min ۴۴
شکل ۳-۲ : سازگار کننده الیاف چوب و پلیمر PE و PP ۴۶
شکل ۳-۳ : ترازوی دیجیتال مورد استفاده ۴۸
شکل ۳-۴ : تصویر شماتیک اکسترودر استفاده شده ۴۸
شکل ۳-۵ : تصویری از دستگاه اکسترودر دو ماردونه مورد استفاده برای تولید گرانول کامپوزیت چوب پلاستیک ۴۹
شکل ۳-۶ : قالب رشته ای نصب شده بر روی دستگاه اکسترودر برای تهیه گرانول کامپوزیت چوب پلاستیک ۴۹
شکل ۳-۷ : دستگاه آسیاب برای خرد کردن رشته های کامپوزیت چوب پلاستیک ۵۰
شکل ۳-۸ : شمای دستگاه تزریق معمولی که با نصب تجهیزات لازم، توانایی تولید قطعات فوم میکروسلولی دارد. ۵۲
شکل ۳-۹ : ورود گاز که در اثر عبور از فیلتر برنجی به چند جریان تقسیم شده است. ۵۳
شکل ۳-۱۰ : قسمتهای مختلف ماردون مورداستفاده. دو نوع مخلوط کننده خطی و مارپیچی شیاردار در انتهای ماردون اضافه شده‌است. ۵۴
شکل ۳-۱۱ : شمایی از نحوه کشیده شدن سلولها در جهت جریان. ۵۸
شکل ۳-۱۲ :الف) مدل انفجاری نازل طراحی‌شده، ب) مدل برش خورده و ج) نمونه ساخته و نصب شده روی دستگاه تزریق ۵۹
شکل ۳-۱۳ : نمای برش خورده طولی نازل و نحوه جریان یافتن محلول تکفاز از مرحله خروج از سیلندر تا مرحله خروج از نازل با افت فشار زیاد. ۶۰
شکل ۳-۱۴ : مدل قالب طراحی شده. ۶۱
شکل ۳-۱۵ : الف) قالب بسته شده برروی میز، ب) نیمه ثابت قالب بسته شده روی دستگاه و ج) نیمه متحرک قالب به همراه صفحه اینسرتی با ضخامت متغیر روی دستگاه. ۶۲
شکل ۳-۱۶ : الف) دستگاه گرم‌کن روغن که روغن داغ را توسط شیلنگهای رابط در دو نیمه قالب به گردش در می‌آورد و ب) نشان دهنده‌های دمای دو نیمه قالب ۶۳
شکل ۳-۱۷ : چند نمونه از محصولات کامپوزیت فوم چوب-پلاستیک تولیدی ۶۵
شکل ۳-۱۸ : فلوچارت روش های طراحی آزمایش ۶۷
شکل ۳-۱۹ : مراحل تولید محصول فوم چوب-پلاستیک ریز سلولی ۷۰

شکل ۳-۲۰ : الف) قطعه اولیه، ب) قطعه درحال برش واتر جت و ج) برش نمونه‌های لازم برای آزمایش کشش ۷۱
شکل ۳-۲۱ : مجموعه تست چگالی محصولات فوم چوب-پلاستیک: الف) مکانیزم چگالی ب)نمای شماتیک ۷۱
شکل ۳-۲۲ : چهار نمونه از تصاویر SEM نمونه‌ها ۷۳
شکل ۳-۲۳ : دو نمونه از تصاویری که نشان دهنده ضخامت پوسته می باشند. ۷۳
شکل ۳-۲۴ : یک نمونه تصویر SEM. خطوط رسم‌شده برروی سلولها تعیین‌کننده تعداد و اندازه سلولها می‌باشند. خط شاخص 200µm است. ۷۴
شکل ۳-۲۵ : محلهای درنظر گرفته‌شده برای آزمایشهای استحکام‌خمشی ،کششی و ضربه. ۷۵
شکل ۳-۲۶ : قطعات بریده‌شده و آماده انجام آزمایش خمش. ۷۵
شکل ۳-۲۷ : الف) قطعه قرار داده‌شده بر روی تکیه‌گاهها و در حال خمش و ب) قسمت اعمال نیرو و بدنه دستگاه اندازه‌گیری استحکام‌خمشی. ۷۶
شکل ۳-۲۸ : نمونه لازم برای انجام الف) آزمایش استحکام‌کششی و ب) مقاومت به ضربه. ۷۶
شکل ۳-۲۹ : یک نمونه از نمودارهای حاصل‌شده از آزمایش تعیین استحکام‌کششی. ۷۷
شکل ۳-۳۰ : دستگاه تعیین مقاومت به ضربه. ۷۷
شکل ۳-۳۱ : قطعات آماده تصویربرداری توسط میکروسکوپ‌الکترونی (SEM). ۷۸
شکل ۳-۳۲ : تصویری از دستگاه رئومتری مورد استفاده برای انجام آزمایش های رئولوژی ۷۸
شکل ۴-۱ : تشکیل پوسته فوم‌نشده با ضخامتهای متفاوت در قطعات تولیدی. الف۲۰٪ وزنی چوب، ب) ۳۰٪ وزنی چوب ، ج) ۴۰٪ وزنی چوب و د) ۵۰٪ وزنی چوب ۸۰
شکل ۴-۲ : ساختارهای مختلف حاصل‌شده از تولید قطعات با حجم تزریق های مختلف. الف) حجم تزریق ۸۵٪، ب) حجم تزریق ۹۰٪، ، ج) حجم تزریق ۹۵٪، و د) حجم تزریق ۱۰۰٪ (فوم نشده). ۸۱
شکل ۴-۳ : تصویر میکروسکوب الکترونی از محصول کامپوزیت فوم چوب-پلاستیک نولیدی با فوم زای شیمیایی و افزودن آن در مرحله نهایی(فرآیند تزریق) ۸۳
شکل ۴-۴ : اثر نوع عامل فوم زا بر ساختار میکروسلولی محصولات فوم چوب-پلاستیک ۸۴
شکل ۴-۵ : چگالی سلولی نمونه های WPCFریزسلولی با الف)عامل فوم زای شیمیایی و ب) فیزیکی ۸۶
شکل ۴-۶ : ضخامت پوسته نمونه های WPCFریزسلولی ۸۷
شکل ۴-۷ : بررسی اثر درصد چوب بر توزیع اندازه سلول ها در محصولات فوم چوب پلاستیک۸۷ (ب) ۸۸
شکل ۴-۸ :توزیع اندازه سلولی فوم چوب-پلاستیک با ۴۰٪ وزنی چوب الف) فوم فیزیکی ب) فوم شیمیایی ۸۸

شکل ۴-۹ : حضور ذرات چوب به عنوان محل تشکیل و رشد حباب ۸۹
شکل ۴-۱۰ : تغییرات چگالی فوم چوب پلاستیک با عامل فوم زای شیمیایی بدون عامل جفت کننده ۹۱
شکل ۴-۱۱ : اثر درصد چوب بر کاهش چگالی محصولات ۹۲
شکل ۴-۱۲ : نمودار دو بعدی و سه بعدی چگالیWPCF با عامل فوم زای شیمیایی به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، حجم تزریق و بدون عامل جفت کننده ۹۳
شکل ۴-۱۳ : تغییرات چگالی فوم چوب پلاستیک با عامل فوم زای شیمیایی با حضور عامل جفت کننده ۹۴
شکل ۴-۱۴ : نمودار دو بعدی و سه بعدی چگالیWPCF با عامل فوم زای شیمیایی به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، حجم تزریق و درحضور عامل جفت کننده ۹۵
شکل ۴-۱۵ : درصد کاهش چگالی فوم چوب پلاستیک با عامل فوم زای فیزیکی بدون عامل جفت کننده ۹۷
شکل ۴-۱۶ : نمودار دو بعدی و سه بعدی چگالیWPCF با عامل فوم زای فیزیکی به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، حجم تزریق و بدون عامل جفت کننده ۹۸
شکل ۴-۱۷ : درصد کاهش چگالی فوم چوب پلاستیک با عامل فوم زای فیزیکی در حضور عامل جفت کننده ۹۹
شکل ۴-۱۸ : مقایسه و بررسی روند تغییرات چگالی برای فوم شیمیایی و فیزیکی ۱۰۰
شکل ۴-۱۹ : چگالی نظری WPCF با توجه به چگالی متغیر پلیمر فوم شده و تغییرات درصد وزنی چوب ۱۰۱
شکل ۴-۲۰ : بررسی تغییرات چگالی پلیمر فوم شده برای WPCF با تغییرات درصد وزنی چوب و حجم تزریق ۱۰۲
شکل ۴-۲۱ : اثر درصد چوب بر استحکام کششی فوم شیمیایی WPCF ریزسلولی بدون حضور جفت کننده ۱۰۳
شکل ۴-۲۲ : نمودار دو و سه بعدی استحکام کششی WPCF با عامل فوم زای شیمیایی و بدون عامل جفت کننده به ازای تغییرات درصد وزنی چوب و حجم تزریق ۱۰۵
شکل ۴-۲۳ : اثر عامل جفت کننده بر استحکام کششی محصولات کامپوزیت فوم چوب-پلاستیک ۱۰۶
شکل ۴-۲۴ : نمودار دو و سه بعدی استحکام کششی WPCF با عامل فوم زای شیمیایی در حضور عامل جفت کننده به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، حجم تزریق ۱۰۷
شکل ۴-۲۵ :بررسی اثر درصد چوب و حجم تزریق براستحکام خمشی کامپوزیت چوب-پلاستیک فوم شده ریز سلولی با عامل فوم زای شیمیایی ۱۰۹

شکل ۴-۲۶ : نمودار دو و سه بعدی استحکام خمشیWPCF با عامل فوم زای شیمیایی و بدون عامل جفت کننده به ازای تغییرات درصد وزنی چوب، حجم تزریق ۱۱۰
شکل ۴-۲۷ : اثر عامل جفت کننده بر استحکام خمشی محصولات WPCF با عامل فوم زای شیمیایی ۱۱۲
شکل ۴-۲۸ : اثر جفت کننده براستحکام خمشی WPCF ازای درصد چوب و حجم تزریق.... ۱۱۳
شکل ۴-۲۹ : اثر درصد چوب و MAPE بر مقاومت به ضربه نمونه های WPCF..... ۱۱۵
شکل ۴-۳۰ : اثر نوع عامل فوم زا بر استحکام کششی WPCF..... ۱۱۶
شکل ۴-۳۱ : اثر نوع عامل فوم زا بر استحکام خمشی WPCF..... ۱۱۷
شکل ۴-۳۲ : تغییرات استحکام کششی ویژه نسبی به ازای تغییرات درصد وزنی چوب و حجم تزریق ۱۱۸
شکل ۴-۳۳ :تغییرات استحکام خمشی ویژه نسبی به ازای تغییرات درصد وزنی چوب و حجم تزریق ۱۱۹
شکل ۴-۳۴ : بررسی اثر درصد چوب بر مدول الاستیسیته خمشی در محصولات فوم چوب-پلاستیک..... ۱۲۰

شکل ۴-۳۵ : اثر ضخامت قطعه بر چگالی محصولات WPCF ۱۲۰
شکل ۴-۳۶ : اثر ضخامت قطعه بر ساختار میکروسکوبی محصولاتWPCF : الف) ضخامت ۳/۲mm ب) ۵ mm ج) ۷ mm و د) ۹ mm ۱۲۱
شکل ۴-۳۷ : اثر ضخامت قطعه بر چگالی سلولی و ضخامت پوسته نمونه WPCFریزسلولی .. ۱۲۲
شکل ۴-۳۸ : نسبت ضخامت قطعه به ضخامت کل ۱۲۳
شکل ۴-۳۹ : اثر ضخامت قطعه بر استحکام کششی فوم چوب-پلاستیک ریزسلولی با عامل فوم زای شیمیایی ۱۲۳
شکل ۴-۴۰ : اثر ضخامت قطعه بر استحکام کششی فوم چوب-پلاستیک ریزسلولی با عامل فوم زای شیمیایی ۱۲۴
شکل ۴-۴۱ : منحنی تغییرات ویسکوزیته نمونه های فوم چوب-پلاستیک بر اساس فرکانس. ۱۲۵
شکل ۴-۴۲ : بررسی اثر درصد چوب بر توزیع سلول ها در محصولات فوم چوب-پلاستیک.... ۱۲۶

فهرست جدول‌ها

عنوان ..... صفحه
جدول ۱-۱ : مشخصات مکانیکی کامپوزیتهای چوب-پلی پروپیلن ۷
جدول ۲-۱ : انواع ترکیبات گاز – مایع و گاز – جامد. ۲۷
جدول ۲-۲ : مواد دارای ساختار فوم موجود به طور طبیعی و مصنوعی. ۲۸
جدول ۲-۳ : تاریخچه معرفی فرآیندهای مهم در صنعت فوم ۳۰
جدول ۳-۱ : مشخصات فیزیکی- مکانیکی پلاستیک مورد استفاده در آزمایشات ۴۳
جدول ۳-۲ : عامل فومزای شیمیایی تهیه شده (اطلاعات این جدول از کاتالوگ سازنده می باشد.) ۴۵
جدول ۳-۳ : محدوده دمایی بارل و دای رشته‌ای دستگاه اکسترودر ۶۳
جدول ۳-۴ : متغیر های مستقل فرآیند تولیدWPCF ۶۴
جدول ۳-۵ : جدول طراحی آزمایش پارامترهای متغیر تولید محصولات کامپوزیت فوم چوب-پلاستیک ۶۷
جدول ۴-۱ : چگالی سلولی و ضخامت پوسته نمونه WPCFریزسلولی با عامل فوم زای شیمیایی(آزودیکربونامید) ۸۵
درصد وزنی چوب (wt%) ۸۵
جدول ۴-۲ چگالی سلولی و ضخامت پوسته نمونه های WPCFریزسلولی با عامل فوم زای فیزیکی(N_2) ۸۵
جدول ۴-۳ : اثر ضخامت قطعه بر چگالی سلولی و ضخامت پوسته نمونه WPCFریزسلولی با حجم تزریق ۹۰٪ ۱۲۲

نمادها

کامپوزیت چوب-پلاستیک	WPC
فوم کامپوزیت چوب-پلاستیک	WPCF
مالئیک آنیدرید پلی اتیلن (جفت کننده)	MAPE
آزمایش آنالیز حرارتی	DSC
عامل فوم زای شیمیایی	CBA
عامل فوم زای فیزیکی	PBA
تحلیل آماری داده ها	ANOVA
روش رویه (سطح)پاسخ در طراحی آزمایش	RS
طراحی آزمایش سنترال کامپوزیت	CCD
استحکام ویژه نسبی	RSS

فصل ۱

مقدمه

۱-۱ -مقدمه

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک نسل جدیدی از مواد هستند که از ترکیب چوب (هر نوع و شکلی از آن) با ترموپلاستیک‌ها یا ترموست‌ها بدست می‌آید. چوب ماده‌ای است آب دوست[۱] و غیر همسان[۲] که تشکیل شده است از: سلولز[۳] (٪۴۵-۴۴)، همی سلولوز[۴] (٪ ۲۵-۲۰)، لیگنین[۵] (٪ ۳۰-۲۰) و مابقی اجزا. در کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک، ماتریس پلیمری می‌تواند محدوده وسیعی از پلی‌اولفین‌ها[۶] تا پی وی سی[۷] ، و چوب می‌تواند از خاک اره (آرد چوب)[۸] تا محصولات کشاورزی مانند کنف، کتان، پوسته برنج و نیشکر را شامل شود. یک کامپوزیت چوب-پلاستیک معمولاً با توجه به روش تولید و نوع کاربرد محصول نهایی, شامل ۲۰ الی۷۰ درصد وزنی چوب می‌باشد. اندازه ذرات آرد چوب مش ۱۰ الی ۸۰ (۱۰۰ میکرون الی ۱ میلیمتر) می‌باشد. نسبت منظر[۹] این ذرات از ۱:۱تا ۴:۱می‌باشد[۱]. نگاه کارخانه‌های تولیدی قطعات چوبی به پلاستیک استفاده از خواص منحصر به فرد پلاستیک‌ها مانند مقاومت به جذب رطوبت و حشرات برای تولید مواد ساختاری می‌باشد. از طرفی نگاه سازنده‌های محصولات پلاستیکی به چوب بعنوان ماده پرکننده‌ای است که به آسانی در دسترس و نسبتاً ارزان می‌باشد و باعث پایین آوردن هزینه‌های ناشی از رزین، افزایش سفتی و نرخ اکستروژن پروفیل (به دلیل اینکه چوب سریعتر از پلاستیک خنک می‌شود) خواهد گردید

اولین نسل از کامپوزیت چوب پلاستیک، ترکیبی از پودر چوب و مواد پلیمری بود که خواص بالایی از نظر فیزیکی و مکانیکی دارا نبود. در حال حاضر با افزودن مواد مختلف، از قبیل انواع مواد

1 - hydrophilic
2 - anisotropic
3- Cellulose
4 -Hemi cellulose
5 Lignin
6- Polyolefin
7- PVC
8- Wood flour
9- Aspect ratio

روان‌کننده[1] و سازگارکننده[2]، خواص مکانیکی بسیار خوبی برای این کامپوزیت بدست آمده است. اکثر محصولات تولید شده از این کامپوزیت، با مخلوط کردن پودر چوب و مواد پلیمری بدست می‌آیند. فرآیندهای صورت‌گرفته بر روی این کامپوزیت برای تولید محصولات مختلف مانند فرآیندهای متداول برای مواد پلیمری است[۲]. نمونه‌ای از گرانول تولید شده این کامپوزیت از پودر چوب و پلی‌اتیلن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

شکل ۱ ۱: نمونه‌ای از کامپوزیت چوب و پلی‌اتیلن [۳]

بیشتر محصولات چوب پلاستیکی، مانند مواد پلاستیکی از اکسترودر به دست آمده و در این شرایط تولید، دیگر به فرآیندهای پرهزینه‌ای که به طور مثال برای شکل‌دهی چوب استفاده می‌شود، نیازی نیست. البته برای بهبود کیفیت ظاهر قطعه می‌توان از اکستروژن همزمان[3] و یا روکش کردن[4] محصولات نیز استفاده نمود[۴].

۱ ۲ -تاریخچه کامپوزیت‌های چوب پلاستیک

استفاده از کامپوزیتهای بر پایه چوب به اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی بر می‌گردد. اولین کامپوزیت ترموست-چوب تحت نام تجاری بیکلایت[5] از ترکیب فنول-فرمالدهید[6] با آرد چوب بدست آمده است که از آن در سر دنده اتومبیل برای کارخانه رولز رویز در سال ۱۹۱۶ استفاده می‌شد. کامپوزیت‌های

1 . Lubricant
2 . Coupling Agent
3 . Co-extrusion
4 . Veneering
5 - Bakelite
6- phenol-formaldehyde

ترموپلاستیک-چوب[1] در چند دهه اخیر پیشرفت بسیار زیادی نموده‌اند. با اینحال در اروپا تولید این کامپوزیت‌ها قدمت بیشتری داشته است. در سال ۱۹۸۳ شرکت آمریکایی وود استوک[2] تولیدات خود را در زمینه لایه‌های داخلی اتومبیل با کمک تکنولوژی ایتالیایی شروع کرد. پلی پروپیلن با تقریباً ۵۰ درصد آرد چوب بصورت یک صفحه تخت اکسترود می‌شد و سپس بصورت پانل‌های مختلف موجود در اتومبیل فرم داده می‌شد. این یکی از اولین کاربردهای مهم WPC در ایالات متحده آمریکا بود. در سال ۱۹۹۰ میلادی دو شرکت که بعدها به یکدیگر پیوستند (شرکت ترکس[3]) کامپوزیت‌های پلی اتیلن و ۵۰ درصد چوب را تولید کرده‌اند که از آنها در کف پوشها و دیوار پوشها استفاده می‌شد. بعضی از اینها برای تبدیل به پروفیلهای در و پنجره ماشینکاری می‌شدند. در اوایل ۱۹۹۰ شرکت استرندکس[4] تکنولوژی را برای اکستروژن کامپوزیت‌های با درصد چوب بالا در انحصار گرفت که مستقیماً محصولات را بدون نیاز به ماشینکاری و فرم‌دهی به شکل نهایی تبدیل می‌کند. در سال ۱۹۹۶ چندین شرکت آمریکایی مواد خام گرانول شده از ترکیب چوب یا دیگر مواد طبیعی با پلاستیک را شروع کردند. محصول این کارخانجات برای تولید کننده‌هایی بود که مایل به مخلوط کردن ترکیبات نبودند. از اواسط دهه ۹۰ بر تعداد و رشد شرکت‌های تولید کننده این محصول افزوده شد.

۱ ۳ -اهمیت کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک

هشدار جهانی امروزه مشکلات زیست محیطی می‌باشد. یکی از مهمترین دلایل آن استفاده از پلاستیکهای مصنوعی می‌باشد. یک روش برای کم کردن این مشکل اضافه کردن مواد طبیعی مانند آرد چوب و الیاف‌های طبیعی به آنهاست. گذشته از مسائل زیست محیطی، هزینه و وزن پایین از دیگر مزایای آن می‌باشد. همچنین در هنگام فرآیند سایشی که در مورد پر کننده‌های دیگر که مانند الیاف شیشه در ماشین آلات رخ می‌دهد، بوجود نمی‌آید. کاهش در انقباض پس از پایان تزریق نیز از دیگر مزایای استفاده از آن است. قابلیت بازیابی نیز از دیگر خواص کامپوزیت‌های تولید شده با این الیاف

۷- به کامپوزیت‌های ترموپلاستیک-چوب در اصطلاح کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک نامیده می‌شود.

2 - American Woodstock

3- Trex

4 - Strandex Corporation

می‌باشد. هر ساله در اروپا حدود ۸ تا ۹ میلیون تن ضایعات از وسایل نقلیه به دلیل به پایان رسیدن عمر مفید آنها تولید می‌شوند. اتحادیه اروپا در سال ۱۹۹۷ قانونی را تصویب نمود که در آن تا سال ۲۰۰۶ حدود ۸۵ درصد و تا سال ۲۰۱۵ حدود ۹۵ درصد از وزن وسایل نقلیه از مواد قابل بازیافتی تهیه شود. بنابراین در اروپا استفاده از فایبرهای طبیعی نسبت به آمریکای شمالی بیشتر به چشم می-خورد.

فایبرهای طبیعی استحکام الیاف شیشه‌ای را ندارند. استحکام کششی و خمشی و مقاومت به ضربه آنها حدود نصف الیاف شیشه می‌باشد. اما مدول کششی آنها تقریباً برابر الیاف شیشه می‌باشد و مدول مخصوص[1] (نسبت مدول بر حجم مخصوص) بالاتر از الیاف شیشه می‌باشد. قیمت فایبرهای شیشه‌ای هر کیلو ۱/۷ دلار و چگالی آن حدود $2/5\ g/cm^3$ دارد. در حالیکه قیمت فایبرهای طبیعی حدود ۰/۲۲ تا ۰/۴۴ دلار به ازای هر کیلو با چگالی $1/5\ g/cm^3$ می‌باشد. بنابراین از لحاظ حجمی استفاده از فایبرهای طبیعی حدود ۸ الی ۱۶ برابر صرفه اقتصادی خواهد داشت.

قطعات ساخته شده با فایبر طبیعی نسبت به کامپوزیت‌های با الیاف شیشه‌ای استحکام کمتری خواهد داشت، اما در بعضی موارد استحکام بیش از حد مورد نیاز خواهد بوددر مقابل می توان قطعه پر شده با فایبرهای را طبیعی را کمی ضخیم تر ساخته تا بدینوسیله استحکام از دست رفته را جبران نمود. این در حالی است که ملاحظات هزینه و وزن نیز در نظر گرفته شود. خصوصیات کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر وابسته به فاکتورهای زیادی مانند چسبندگی بین فایبر-ماتریس، درصد حجمی فایبر، نسبت طول به عرض فایبر و قابلیت انتقال تنش از فصل مشترک بستگی دارد. کامپوزیت‌های تولید شده بر پایه ترموستها خواص بهتری دارند. آنها مشخصات حرارتی بهتری مانند مقاومت خزشی بالاتر، استحکام دمایی بالاتر در کشش و خمش، سفتی و سختی بالاتری دارند.

1 - Specific modulus

۱ ۴ -مزایا و معایب کامپوزیت‌های چوب پلاستیک

می‌توان مزایا و معایب این کامپوزیت‌های را نسبت به چوب و پلاستیک‌ها به ۲ دسته مشخصات فیزیکی و مکانیکی تقسیم نمود:

۱ ۴ ۱ -مشخصات فیزیکی

۱) مقاومت به جذب رطوبت و پایداری ابعادی بالاتر نسبت به چوب هنگامی که تحت تاثیر رطوبت قرار گرفته‌اند. چوب ماده‌ای است قطبی با خاصیت آب دوستی در صورتیکه پلیمرها (مخصوصًا پلی اولفین‌ها) غیر قطبی و کمتر جاذب رطوبت هستند.

۲) مقاومت به حشرات و پوسیدگی بالاتر نسبت به چوب در حالیکه پلیمرها در برابر پوسیدگی بسیار مقاومتر از چوب می‌باشند.

۳) عمر بالاتر و نگهداری پایین‌تر؛

۴) در برابر آتش مقاومت بیشتری نسبت به چوب دارد. همچنین می‌توان تاخیر اندازی شعله را با افزودنی‌هایی به آن افزایش داد.

۵) انبساط حرارتی بالاتری نسبت به چوب و کمتر از پلاستیک‌ها دارد.

۶) چوب پلاستیک‌ها معمولاً دارای چگالی بالاتری نسبت به پلاستیک‌ها و چوب می‌باشند.

۷) در بعضی موارد سطح ظاهری خوبی نخواهد داشت.

۱ ۴ ۲ -مشخصات مکانیکی

۱) استحکام نهایی، سفتی و مقاومت به خزشی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک بیشتر از پلاستیک-های پر نشده و کمتر از چوب می‌باشد.