

تاثیر وجود خط جوش بر استحکام کششی قطعات قالبگیری تزریقی تولیدشده از کامپوزیت پلی پروپیلن / باگاس نیشکر و بررسی اثر دمای مذاب و ترکیب مواد

حسن شانه‌چی^۱، سیدعبدالمحمد رضاوند^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک - ساخت و تولید، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی

^۲ عضو هیات علمی، گروه مهندسی مکانیک - ساخت و تولید، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی

دریافت: پاییز ۹۶ پذیرش: تابستان ۹۷

چکیده

هدف این تحقیق، بررسی استحکام کششی قطعات قالبگیری تزریقی تولیدشده دارای خط جوش از ترکیب باگاس نیشکر و پلی پروپیلن می‌باشد. باگاس نیشکر پس از اصلاح قلیایی با نسبت‌های متفاوت با پلی پروپیلن ترکیب شد. مواد توسط دستگاه قالبگیری تزریقی پیش مخلوط گردیده و سپس از مواد مخلوط شده حاصل و در دماهای مذاب مختلف، نمونه‌های لازم تولید گردیدند. آزمون تعیین خواص کششی بر روی نمونه‌ها انجام گردید. نتایج نشان داد که استحکام کششی در قطعات دارای خط جوش از نمونه‌های بدون خط جوش کمتر بوده همچنین افزایش میزان باگاس در هر دو حالت با و بدون خط جوش منجر به کاهش استحکام کششی می‌شود. با افزایش دمای مذاب به طور کلی استحکام کششی کاهش پیدا می‌کند.

* عهده‌دار مکاتبات: rezavand@iaud.ac.ir

کلمات کلیدی: باگاس نیشکر، پلی پروپیلن، قالبگیری تزریقی، دمای مذاب، خط جوش، استحکام کششی

۱- مقدمه

باگاس، تفاله نیشکر بوده که پس از عصاره‌گیری از نیشکر به صورت پسماند فیبری خشک و فشرده شده و به صورت قطعات ریز تراشه بدست می‌آید. باگاس دارای کاربردهای متنوعی می‌باشد. زیرا علاوه بر سلولز، مقادیر زیادی مواد پروتئینی و قندی در آن وجود داشته که برای تولید انواع محصولات صنعتی مفید می‌باشد. مهمترین محصولات فرعی باگاس عبارت از تولید ورق های فشرده، تولید نئوپان، تولید کامپوزیت های چوب پلاستیک، تولید اتانول، تولید خمیر کاغذ (صنعت کاغذ سازی)، تولید خمیر مایه، تولید انواع خوراک دام، تولید پوشال برای مرغدارها، تولید فورفورال (ماده‌ای است که در روغن های صنعتی به کار می‌رود)، تولید انرژی (به عنوان سوخت کوره) می باشد. علت اصلی تمایل به مصرف باگاس، ارزانی و فراوانی آن می‌باشد. رشد و مصرف کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک با توسعه ماشین‌آلات و تولید دانش فنی در این زمینه رو به گسترش است. [۱]

تولید به روش قالب‌گیری تزریقی با توجه به نرخ بالای تولید، زمان سیکل کوتاه و میزان کم ضایعات یکی از فرآیندهای تولید بوده که استفاده از آن در تولید کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در حال افزایش است. با این حال، تولید قطعات پیچیده که قالب آنها دارای راه‌گاه‌های متعدد و

حفره‌های دارای ماهیچه می‌باشد، ممکن است مشکلاتی را بوجود آورد. یکی از نقایص مشاهده شده در این روش خط جوش می‌باشد. خط جوش هنگامی شکل گرفته که دو یا چند جبهه مذاب ماده به منظور پر کردن حفره قالب از جهات مختلف حرکت کرده و در یک منطقه به یکدیگر برسند، چنانچه دمای جبهه مذاب برای آمیختن پایین باشد، منجر به تشکیل خط جوش ضعیف در ناحیه پیوستن دو جبهه به یکدیگر می‌شود. با استفاده از روشهایی مانند افزایش دمای قالب، افزایش فشار نگهدارنده قالب و همچنین مدت آن، تخلیه صحیح و کامل هوای داخل قالب و تغییر موقعیت تغذیه مواد ورودی به قالب می‌توان خطوط جوش را رفع کرده یا از شدت غیریکنواختی آن جلوگیری کرد. استحکام مکانیکی ناحیه جوش می‌تواند به مقدار قابل توجهی کمتر از استحکام نقاط دیگر قطعه به خصوص در مواد غیرخالص (دارای الیاف یا مواد دیگر غیرپلاستیکی مانند پودرچوب) باشد. به طور کلی در کامپوزیت‌های پلاستیکی، با افزایش میزان پرکننده و قرار گیری الیاف در بین ماتریس اصلی و جهت‌گیری آنها هم در حضور خط جوش و بدون خط جوش استحکام کششی و تنش تسلیم کاهش پیدا می‌کند. [۲] در قطعات دارای خط جوش تولید شده از مواد دارای الیاف شیشه، الیاف به موازات خط جوش در ناحیه به اندازه چند میلی متری در دو طرف خط جوش جهت‌گیری می‌شوند. با توجه به خواص مکانیکی بدست آمده، خط جوش ماده تقویت نشده در مقایسه با دیگر نقاط قطعه در زمینه مستعد بودن

۲- مواد، روشها و تجهیزات

ابتدا به منظور ایجاد پیوند بهتر بین ماتریس و الیاف، باگاس نیشکر اصلاح قلیایی گردید. باگاس اصلاح شده مالٹیک انیدرید و پلی پروپیلن مخلوط گردیده، سپس توسط سیلندر دستگاه قالبگیری تزریقی مخلوط و گرانول گیری انجام شد. در نهایت از گرانول های تهیه شده، توسط قالب و دستگاه قالبگیری تزریقی، قطعات مورد نظر تولید شده و استحکام خط جوش قطعات تعیین گردید.

ترموپلاستیک مورد استفاده، پلی پروپیلن خالص گرید Z30G از شرکت پتروشیمی مارون، مالٹیک انیدرید پلی پروپیلن و ذرات باگاس (تفاله نیشکر) مورد استفاده نیز محصول جانبی کارخانه کشت و صنعت هفت تپه بوده است.

به منظور حذف ترکیبات مزاحمی مانند لیگنین و مواد استخراجی از باگاس و افزایش درصد ترکیبات سلولزی، اصلاح قلیایی باگاس صورت می گیرد. باگاس ها برای از بین بردن آلودگیهای محیطی چندین بار توسط آب معمولی شسته شدند. سپس محلول هیدروکسید سدیم با غلظت ۳ درصد وزنی ساخته شد. سپس باگاس ها در محلول هیدروکسید سدیم به مدت زمان ۲ ساعت قرار داده شدند. پس از خارج کردن الیاف باگاس از محلول، جهت از بین بردن هیدروکسید سدیم باقی مانده، الیاف چندین بار توسط آب معمولی شسته شدند. سپس جهت خنثی سازی هیدروکسید سدیم باقی مانده و اثر آن، الیاف درون محلول اسیداستیک یک درصد به مدت یک ساعت قرار داده شدند. در نهایت الیاف باگاس توسط آب شسته شدند. الیاف باگاس اصلاح شده به مدت ۷۲ ساعت در هوای آزاد بطور کامل و در ادامه در خشک کن با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت سه ساعت رطوبت زدایی شده و توسط آسیا خرد و از الک مش ۴۰ عبور داده شدند. شکل ۱ الیاف باگاس قبل از اصلاح و آسیا و الک شدن و بعد از آن را نشان می دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۱: الف) باگاس قبل از اصلاح و آسیا، ب) آرد باگاس الک شده

برای گلولی شدن متفاوت است. با این حال الیاف تقویت کننده منجر به افزایش استحکام خط جوش به نسبت حالت بدون تقویت کننده شدند. [۳] با افزایش دمای مذاب و افزایش فشار نگهداری، ضخامت ناحیه هسته قطعه (ناحیه مرکزی در جریان مذاب) کاهش یافته و ضخامت پوسته ها (نواحی کناری جریان مذاب نزدیک به بدنه قالب) افزایش می یابد. این پدیده موجب افزایش تنش و کرنش تسلیم می گردد. [۴] استحکام تسلیم و مقاومت به ضربه نمونه های تقویت شده با تالک دارای خط جوش از نمونه های بدون خط جوش پایین تر هستند. استحکام تسلیم برای نمونه های بدون خط جوش تمایل به افزایش را با افزایش فشار تزریق از خود نشان داد در حالیکه برای نمونه های دارای خط جوش این رفتار دیده نشد. [۵] برای قطعات تولید شده از پلی پروپیلن دارای الیاف شیشه، در لایه های تشکیل شده نزدیک دیواره قالب، به عنوان لایه پوسته، جهت گیری الیاف عمدتاً با جهت جریان موازی است. این اتفاق ناشی از رشد نیروهای طولی در جلوی جبهه جریان و نیروهای برشی پس از آن می باشد. در مقابل، جهت گیری الیاف در لایه هسته به دلیل سرعت خنک شدن کمتر و تنش برشی کمتر در مرکز به صورت تصادفی مشاهده شد. کاهش استحکام نمونه های دارای خط جوش به لایه هسته ضمیمه تر که شامل حفره هایی نیز در سطح جوش و شکاف های وی شکل در سطوح خط جوش می باشد، مربوط است. به همین دلیل استحکام کششی نمونه های دارای خط جوش به طور قابل توجهی از مقادیر بدست آمده برای نمونه های بدون خط جوش کمتر بود. [۶] تقویت پلی پروپیلن با الیاف منجر به افزایش سفتی و تنش تسلیم در قالب گیری تزریقی می شود. اما باعث تولید کامپوزیت هایی با ناهمسانگردی بالا خواهد شد. اثرات منفی این ناهمسانگردی هنگامی که خط جوش در قطعه ایجاد شده بیشتر خود را نشان می دهد. ترکیب سازی الیاف شیشه با تالک بر استحکام خط جوش کامپوزیت موثر بوده به طوریکه اثر بهبودی قابل توجهی با بهینه سازی میزان ذرات در ترکیب سازی الیاف تقویت کننده قابل حصول و دستیابی است. [۷] دما و فشار نگهداری فرآیند قالب گیری تزریقی، بر خواص ضربه ای و تسلیم اثری نمی گذارند. ولی اندازه الیاف فیبر شیشه و تالک تأثیر زیادی بر خواص مکانیکی این کامپوزیت ها می گذارند. با افزایش میزان الیاف، تنش تسلیم تا یک میزان بیشینه افزایش و سپس کاهش می یابد. مقایسه نمونه های دارای خط جوش و بدون آن نشان دادند که خط جوش به میزان قابل توجهی تنش تسلیم و خواص ضربه ای نمونه ها را کاهش داده که دلیل آن جهت گیری نامساعد الیاف در پشت خط جوش می باشد. [۸] استحکام کششی پلی پروپیلن و تالک تحت تأثیر میزان تالک و شرایط فرآیندی (دما و سرعت تزریق) قرار داشته که بر جهت گیری اثر می گذارد. استحکام کشش خط جوش به دما و سرعت تزریق بستگی داشته که اثر سرعت تزریق در دمای مذاب پایین تر، محسوس تر است. عامل اصلی اثرگذار بر استحکام کشش، میزان ذرات تالک در صفحه خط جوش می باشد. [۹] هر دو استحکام تسلیم و خستگی در جهت جریان بیشتر بوده و حضور خط جوش باعث کاهش این دو استحکام می شود. برای نمونه های در جهت جریان مذاب، با افزایش فشار نگهداری، استحکام تسلیم افزایش می یابند. [۱۰]

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر میزان ماده پرکننده باگاس، دمای مذاب و وجود خط جوش بر استحکام کششی قطعات تولیدی می باشد.

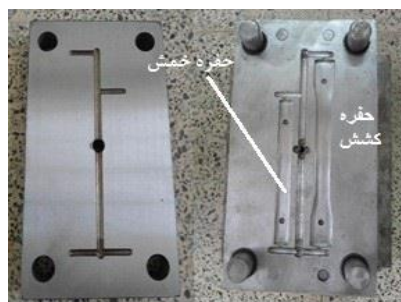


شکل ۳: دستگاه قالبگیری تزریقی

در شکل (۴) و شکل (۵) قالب تزریق مورد استفاده مشاهده می‌شود. جهت تولید نمونه‌های با خط جوش نیازی به ایجاد تغییرات در ساختار راهگاه‌های قالب نبوده و مذاب پس از ورود به مجرای قالب از دو جهت بالا و پایین وارد حفره شده و با برخورد دو جبهه مذاب به یکدیگر، نمونه با خط جوش تشکیل می‌شود. برای تولید نمونه بدون خط جوش، لازم است که یکی از مسیرهای حرکت مذاب به داخل حفره کشش قالب تزریق مسدود گردد. تصویر نمونه‌ی تولید شده در شکل ۶ نشان داده شده‌است.



شکل ۴: قالب تزریق



شکل ۵: حفره کشش

باتوجه به اهمیت میزان وجود باگاس و همچنین اثر دمای مذاب، بر خواص خط جوش ایجادشده، این دو عامل متغیرهای تحقیق حاضر بوده‌اند. همچنین با توجه به طراحی قالب، امکان تولید قطعات دارای خط جوش و بدون خط جوش وجود دارد. پارامترهای متغیر جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱: پارامترهای متغیر

ردیف	پارامتر	مقدار	واحد
۱	الیاف پرکننده (باگاس)	۱۰-۲۰-۳۰	درصد وزنی
۲	دمای مذاب	۱۸۰-۱۹۵-۲۱۰	سانتیگراد
۳	خط جوش	وجود یا عدم وجود	-

جهت تبدیل الیاف باگاس به آرد باگاس، الیاف را یکبار توسط خردکن برقی به ذرات ریز تبدیل کرده (شکل ۲) و سپس جهت آرد کردن ذرات باگاس از آسیاب سنگی برنج‌کوبی استفاده گردید. جهت مش‌بندی باگاس آرد شده از الک با اندازه مش ۴۰ استفاده گردید و ذرات عبور داده شده جهت گرانول‌گیری استفاده شدند.

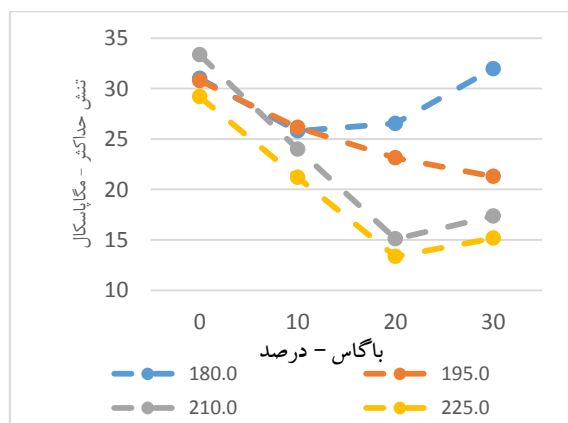


شکل ۲: آسیاب برقی

جهت تولید رشته‌های خمیری از سیلندر دستگاه قالبگیری تزریقی (شکل ۳)، در حالت بدون قالب استفاده گردید. مواد بعد از اختلاط در سیلندر توسط ماردون، به صورت رشته‌ای از نازل خارج گردیده و پس از سرد شدن، توسط آسیا (شکل ۲) به قطعات ریز مناسب برای ورود مجدد به دستگاه قالبگیری تزریقی استفاده گردیدند. دستگاه قالبگیری تزریقی مورد استفاده (شکل ۳)، ساخت شرکت HAIXING چین با ظرفیت گیره‌بندی ۸۸ تن و نام تجاری HX-88 بوده‌است.

جدول ۲: میانگین تنش کششی حداکثر (MPa)

دمای مذاب	وضعیت خط جوش	میزان باگاس (درصد)			
		۰	۱۰	۲۰	۳۰
۱۸۰	با خط جوش	۳۱	۲۵.۸	۲۶.۶	۳۲.۰
	بدون خط جوش	۳۲.۷	۳۰.۳	۲۹.۹	۳۳.۰
۱۹۵	با خط جوش	۳۰.۸	۲۶.۲	۲۳.۱	۲۱.۳
	بدون خط جوش	۳۲.۴	۳۰.۴	۲۹.۲	۲۹.۲
۲۱۰	با خط جوش	۳۳.۴	۲۴	۱۵.۱	۱۷.۴
	بدون خط جوش	۳۲.۳	۲۹.۱	۲۹	۳۰.۸
۲۲۵	با خط جوش	۲۹.۲	۲۱.۲	۱۳.۴	۱۵.۲
	بدون خط جوش	۳۲.۶	۲۹	۲۶.۶	۳۰.۰



شکل ۸: تنش کششی حداکثر بر حسب درصد باگاس در نمونه‌های با خط جوش



شکل ۶: نمونه تولید شده از ترکیب باگاس و پلی پروپیلن

آزمون کشش بر اساس استاندارد ASTM D638 انجام گرفته و از دستگاه مدل SANTAM STM-150 (شکل ۷) استفاده گردید.



شکل ۷: نمونه تحت آزمون کشش

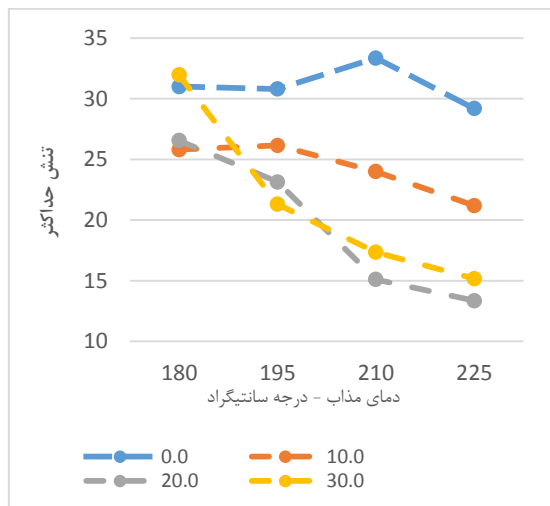
برای هرکدام از شرایط تولید نمونه‌های دارای خط جوش و بدون خط جوش، سه نمونه تکرار در نظر گرفته شده و در نهایت برای تعیین هر خاصیت میانگینی از این ۳ تکرار بدست آمد.

۳- نتایج و بحث

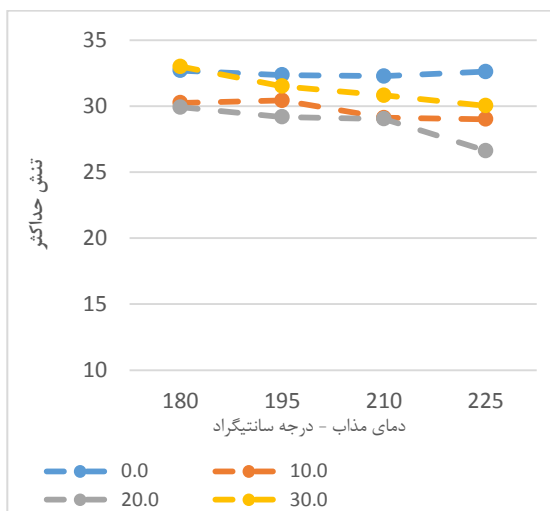
جدول ۲ تنش کششی حداکثر برای نمونه‌های دارای خط جوش و بدون خط جوش را نشان می‌دهد. در شکل‌های (۸) و (۹) نیز روند تغییرات تنش حداکثر بر حسب میزان باگاس موجود در نمونه‌ها در دماهای مذاب مختلف برای نمونه‌های با و بدون خط جوش مشاهده می‌شود.

شده روند کلی کاهشی را از خود نشان می دهد. از طرفی مشاهده می شود که در درصدهای پایین باگاس دمای مذاب تقریباً در استحکام کششی قطعه بی تاثیر بوده است لذا بهتر است تولید قطعات ترکیبی در دمای پایین انجام شود.

در شکل های (۱۱) و (۱۲) نمودارهای تنش کششی حداکثر بر حسب دمای مذاب به ازای مقادیر مختلف ترکیب باگاس در دو حالت با و بدون خط جوش آورده شده است.

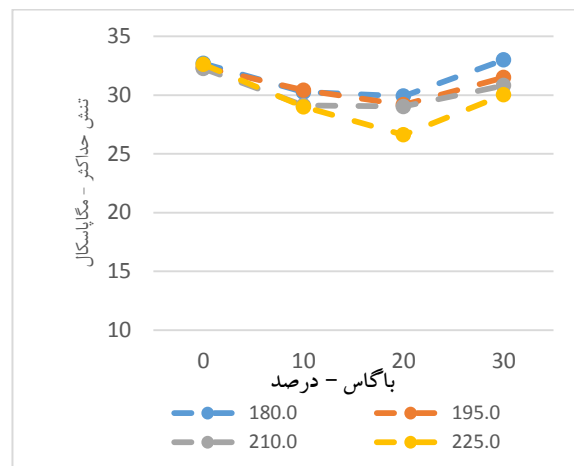


شکل ۱۱: تغییرات تنش کششی حداکثر بر حسب دمای مذاب در نمونه های با خط جوش



شکل ۱۲: تغییرات تنش کششی حداکثر بر حسب دمای مذاب در نمونه های بدون خط جوش

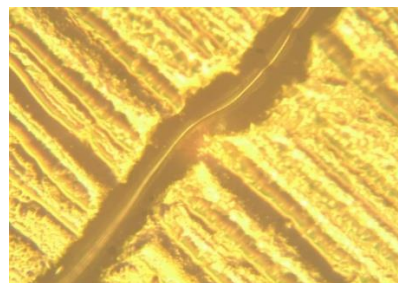
نمونه های پلی پروپیلن خالص در حالت بدون خط جوش تنش کششی نسبت به دمای مذاب حساسیتی نشان نداده و با تغییرات دمای مذاب تقریباً ثابت مانده است. اما در حالت با خط جوش با افزایش دمای مذاب به طور کلی تنش کششی ثابت بوده که دلیل آن اختلاط بهتر مواد در اثر کاهش گرانی و پیوند بهتر ماتریس ترموپلاستیکی در دو جبهه مذاب می باشد. این مشاهدات بر خلاف پژوهش هایی همچون پژوهش ژاو



شکل ۹: تنش کششی حداکثر بر حسب درصد باگاس در نمونه های بدون خط جوش

همانطور که مشاهده می شود، به طور کلی میزان تنش کششی در نمونه های دارای خط جوش مقدار کمتری در مقایسه با نمونه های بدون خط جوش داشته که نشان دهنده این موضوع بوده که خط جوش منجر به کاهش استحکام قطعه می شود. دلیل آن نیز عدم پیوند ماتریس و الیاف دو جبهه مذاب و جهت گیری نامناسب الیاف در ناحیه خط جوش می باشد. مواد از دو جبهه مخالف وارد حفره شده و با یکدیگر برخورد می نمایند. علی رغم وجود سرعت و فشار در زمان برخورد دو جبهه، اختلاط این دو به طور کامل اتفاق نیفتاده و از دست رفتن حرارت مذاب در فاصله زمانی خروج از نازل تا برخورد دو جبهه نیز بر کاهش میزان اختلاط پذیری تاثیرگذار می باشد. در تولید کامپوزیت های مورد استفاده در این تحقیق از الیاف کوتاه و پودر مانند باگاس استفاده شده که منجر به کاهش خواص مکانیکی ماده در حالت کلی شده و بیشتر نقش پرکنندگی آن مدنظر بوده است.

شکل (۱۰) تصویر تهیه شده از محل خط جوش قطعات توسط میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر را نشان می دهد. عدم یکنواختی در محل خط جوش قابل مشاهده می باشد.



شکل ۱۰: تصویر میکروسکوپی نوری با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر در جهت عرض مقطع خط جوش

همچنین مشاهده می شود که با افزایش درصد باگاس، تنش کششی در هر دو مورد با و بدون خط جوش در تمامی دماهای مذاب اندازه گیری

- افزایش میزان باگاس به طور کلی کاهش میزان تنش حداکثر را در هر دو حالت نمونه‌های دارای خط جوش و بدون خط جوش به دنبال دارد.

- در طراحی قطعات دارای پودر چوب، تا حد امکان باید طراحی قالب، قطعه، راهگاه و دریچه به گونه‌ای انجام شود که خط جوش تشکیل نگردد. در صورت اجبار به دلیل هندسه قطعه، از دمای مذاب بیشتر استفاده شود.

- باتوجه به هزینه پایین استفاده از پودر چوب و مزایای زیست محیطی، استفاده از این مواد با در نظر گرفتن خواص مکانیکی حاصل شده امکان‌پذیر بوده و پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

[۱] خواجه پور، محمدرضا، تولید نباتات صنعتی، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۰

[2] S.Fellahi, A.Meddad, B. Fisa, B.D. Favis, Weldlines in injection-molded parts—a review, Adv. Polym. Technol. 14 (1995) 169–195.

[3] J. Kalus and J. K. J. , "Measuring deformation and mechanical properties of weld lines in short fiber reinforced thermoplastics using digital image correlation," Polymer Testing, pp. 44-53, 2014 .

[4] Y. Zhou and P. K. M "Effect of Melt Temperature and Hold Pressure on the Weld-Line Strength of an Injection Molded Talc-Filled Polypropylene," Journal of Composites, 2014 .

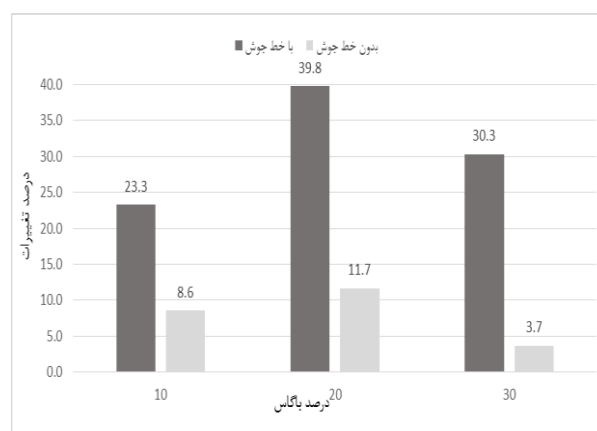
[5] B. Ozcelik, E. K. and M. M. T. , "Investigation the effects of obstacle geometries and injection molding parameters on weld line strength using experimental and finite element methods in plastic injection molding," International Communications in Heat and Mass Transfer, pp. 275-281, 2012 .

[6] P. Jariyatammanukul, N. P. P. P. and S. P. "Effect of Thickness on Weld Line Strength of Injection Molded Thermoplastic Composites," Kasetsart J. (Nat. Sci.), pp. 418-428, 2009 .

[7] C. L. Morelli, A. S. P. and J. ´. A. S, "Influence of Hybridization of Glass Fiber and Talc on the Mechanical Performance of Polypropylene Composites," Journal of Applied Polymer Science, pp. 3592-3601, 2009 .

[8] B. SOLYMOSSY and J. G. K. "The examination of weld line properties in injection molded PP

و مالیک [۴] بوده که در آن برای پلی‌پروپیلن پرنشده و بدون خط جوش میزان تنش کششی حداکثر با افزایش دمای مذاب کاهش می‌یابد. البته همانطور که انتظار می‌رود در نمونه‌های دارای خط جوش مقدار تنش کمتر می‌باشد. برای حالات دارای باگاس و با خط جوش با افزایش دمای مذاب نمونه‌های صفر و ۱۰ درصد باگاس بدلیل غلبه اثر اختلاط بهتر نسبت به تخریب حرارتی باگاس با افزایش دما، تنش کششی تقریباً روند افزایشی را نشان می‌دهد. این درحالیست که برای نمونه‌های دارای ۲۰ و ۳۰ درصد باگاس تخریب حرارتی بر اثر افزایش دمای مذاب بر روند اختلاط بهتر غلبه کرده و کاهش تنش کششی را در پی داشته است. ژاو و مالیک [۱۲] در پژوهش خود بیان کردند که با افزایش دمای مذاب تنش تسلیم افزایش یافته که به علت کاهش ضخامت هسته حاوی الیاف با جهت‌گیری نامناسب و افزایش ضخامت پوسته شامل الیاف موازی جریان می‌باشد. همچنین بیشترین میزان تنش کششی حاصله در اندازه‌گیری‌ها مربوط به حالت پلی‌پروپیلن خالص و بدون خط جوش با میزان میانگین ۳۲.۵ مگاپاسکال بوده است. میزان تنش کششی متوسط نمونه‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد باگاس در حالت دارای خط جوش نیز به ترتیب ۱۹.۱ درصد، ۳۵ درصد و ۲۶.۲ درصد کمتر نسبت به نمونه‌های بدون خط جوش متناظر خود بوده است. درصد تغییرات تنش متوسط نمونه‌های دارای باگاس نسبت به نمونه خالص در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳: درصد کاهش تنش متوسط نمونه‌های کامپوزیت نسبت به نمونه خالص

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده، موارد زیر قابل نتیجه‌گیری هستند:

- وجود خط جوش در قطعه بدلیل عدم شکل‌گیری پیوند مناسب بین ماتریس و الیاف و همچنین جهت‌گیری نامساعد الیاف در ناحیه خط جوش منجر به کاهش تنش قابل تحمل قطعات تولیدی می‌گردد.

composites," Materials Science, Testing and Informatics, pp. 263-267, 2008.

[9] C. L. Morelli, J. A. d. S. and A. n. S. P. "Assessment of Weld Line Performance of PP/Talc Moldings Produced in Hot Runner Injection Molds," JOURNAL OF VINYL & ADDITIVE TECHNOLOGY, 2007 .

[10] Y. Zhou and P. M. "Effects of Melt Temperature and Hold Pressure on the Tensile and Fatigue Properties of an Injection Molded Talc-Filled Polypropylene," POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, 2005 .

[11] B. FISA and M. RAHMANI, "Weld line Strength in Injection Molded Glass Fiber-Reinforced Polypropylene," POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, 1991.

[12]Y. ZHOU and K. MALLICK, "Effects of Temperature and Strain Rate on the Tensile Behavior of Unfilled and Talc-Filled Polypropylene," POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, 2002 .