بهینه سازی فرایند ساخت کامپوزیت های ترموپلاستیک تقویت شده با الیاف طبیعی کوتاه به منظور کمینه سازی تابیدگی میزان تابیدگی

محمود مهرداد شکریه[۱]، سامان صفری دیناچالی[۲]
Shokrieh@iust.ac.ir

چکیده

در این تحقیق پارامترهای تاثیرگذار بر میزان تابیدگی مواد کامپوزیتی ترموپلاستیک تقویت شده با الیاف کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است. نخست پارامترهای تاثیر گذار بر فرآیند شناسایی شده و سپس مطالعات طراحی آزمایشات برای کاهش تعداد آزمایشات و آرایش آنها انجام شده است. به کمک تئوری میکرومکانیک و مدل‌های ضرایب انبساط حرارتی در کامپوزیت های تقویت شده با الیاف کوتاه، آزمایشات به کمک کد شبیه ساز انجام شده است. در نهایت اثر پارامترها مطالعه شده و مهمترین پارامتر تاثیرگذار بر میزان تابیدگی در این مواد شناسایی شده است. سپس به کمک روش بهینه سازی تاگوچی، میزان تابیدگی کمینه شده است.

کلیدواژه:

کامپوزیت های الیاف کوتاه- روش تاگوچی- تابیدگی- بهینه سازی

۱- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت
۲- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت

Archive of SID
www.SID.ir

۱-مقدمه

استفاده از کامپوزیت‌های ترموپلاستیک به شدت در حال گسترش است. درمقایسه با کامپوزیت‌های ترموست، این دسته از کامپوزیت‌ها دارای مزایای زیادی هستند. مواد کامپوزیتی ترموپلاستیکی را می توان چند بار ذوب و دوباره قالب گیری کرد. در حالی که این امکان برای کامپوزیت های ترموست وجود ندارد. چرخه تولید این کامپوزیت‌ها کوتاه بوده، چقرمگی بالا [۱]، و قابلیت جوشکاری از دیگر مزایای این مواد است [۲]. یکی از مزایای بسیار مهم که خود یکی از دلایل اصلی تمایل به سوی این مواد است، قابلیت بازیافت این دسته ازکامپوزیت است [۱]. باوجود همه این مزیت های ذکر شده، مقاومت در مقابل محیط های شیمیایی، از دیگر خواص قابل توجه این مواد است [۳]. در این میان آن دسته از کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف طبیعی جایگاه خاصی پیدا کرده‌اند و تقاضا برای این مواد به شدت در حال افزایش است. علت اصلی این امر را می توان به خواص اکولوژیکی و اقتصادی این مواد در مقایسه با دیگر کامپوزیت‌ها دانست [۴-۶]. خواص مکانیکی قابل قبول، صرفه اقتصادی، چگالی کم، کاهش سایش اعمالی بر دستگاها، کاهش مشکلات تنفسی و سوزش‌های پوستی ناشی از سایر الیاف از دیگر مزایایی این مواد است [۷و۸]. اما هنگامی که ضخامت دیواره قطعات تولیدی از این مواد کاهش می یابد، یکی از مشکلات ایجاد شده در آنها تابیدگی این قطعات است. این عیب سبب تاثیر مشهودی بر تلرانس‌های ابعادی می شود. برای بررسی میزان تابیدگی و بررسی اثرات پارامترها مطالعاتی انجام شده است [۹-۱۰]. اما مطالعات بسیار اندکی به بررسی پارامترهای تاثیر گذار بر میزان تابیدگی در ترموپلاستیک‌های تقویت شده با الیاف طبیعی انجام شده است.

در این تحقیق پارامترهای تاثیرگذار بر فرایند ساخت این دسته از کامپوزیت‌ها بررسی شده و مهمترین پارامتر تاثیرگذار بر میزان تابیدگی در این قطعات شناسایی شده است. سپس با استفاده از روش بهینه سازی تاگوچی سطوح هر کدام از پارامترها به گونه‌ای شناسایی شده است که میزان تا بیدگی حاصله با اعمال مقادیر آنها در دستگاه تزریق، کمینه شود. در نهایت نتایج بدست آمده از این روش با مقادیر تجربی به کمک نرم افزار شبیه ساز تولید این مواد آزمایش شده و نتایج مورد مقایسه قرار گرفته اند.

۲-روش تاگوچی

مهندسان همواره به دنبال کیفیت بهتر هستند و یکی از روش‌های بهبود کیفیت روش تاگوچی است. تاگوچی از طرح عامل‌های جزئی یا آرایه های متعامد که سبب کاهش تعداد آزمایشات می شوند، استفاده می کند. مهمترین بخش تکنیک تاگوچی طراحی پارامترهاست که در آن پارامترهای تاثیرگذار بر یک پدیده شناسایی شده و بهینه سازی به کمک تنظیم مقادیر آن پارامترها انجام می شود. این تکنیک را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. ابتدا هدف مشخص می شود. مثلاً هدف می تواند کمینه کردن میزان تابیدگی یک قطعه کامپوزیتی باشد.
۲. تعداد پارامترهای تاثیرگذار بر هدف تعیین شده در قسمت قبل شناسایی می شوند. برای هر پارامتر سطوح مناسبی تعیین می شود. در این تحقیق سطح تمام پارامترها سه در نظر گرفته شده است.
۳. در مرحله بعد با توجه به تئوری ها و جداول موجود این روش، آرایه متعامد مناسب انتخاب می شود. در این مسیر با توجه به درجه ازادی هرکدام از پارامترها و در نظر داشتن تعداد پارامترهایی که اثر متقابل بر یکدیگر و بر نتیجه موجود دارند، آرایش مربوطه انتخاب می شود. جدول (۱) آرایش مربوط به این تحقیق را نشان می دهد. سپس به انجام ازمایشات طراحی شده خواهیم پرداخت. باید توجه شود که آزمایشات تا حد امکان به صورت تصادفی انجام شود.

در آخر برای پردازش نتایج بدست آمده از یکی از فورمول های تاگوچی که متناسب با هدف نهایی ماست، استفاده می شود. چون در این تحقیق هر چه میزان تابیدگی کمتر باشد، بهینه ترین حالت از نظر ماست، پس از رابطه‌ی" کوچکترین مناسب تر است" استفاده می شود. برای این منظور یک شاخص کیفیت تعیین می شود که همان نسبت سیگنال به نویز می باشد.

$$SN = -10 \log(MSD) \quad (۱)$$

$$MSD = 1/n\ \Sigma(y^2)\ 1,2,3,\ldots n \quad (۲)$$

در رابطه فوق متوسط انحراف مربعات است. بهینه ترین حالتی از سطوح پارامترها حالتی است که بیشترین مقدار SN را داشته باشد.

۳-روش ساخت

برای ساخت کامپوزیت های ترموپلاستیک تقویت شده با الیاف طبیعی عموماً از روش تزریق استفاده می شود. در فرآیند ساخت پارامترهای زیادی دخالت دارند. دمای قالب، دمای مذاب، فشار نگهداری و مدت زمان اعمال آن، زمان تزریق، اندازه گلویی تزریق، جنس و درصد الیاف تقویت کننده از جمله این پارامترها می باشند [11]. در این تحقیق پارامترهای اندازه گلویی تزریق و درصد

Archive of SID

www.SID.ir

تقویت کننده ثابت فرض شده است و مطالعات برای یک نمونه تقویت شده با الیاف طبیعی که با ٪۵۰ وزنی تقویت شده است، انجام شده است. علت انتخاب ۵ پارامتر فوق به این دلیل بوده است که این پارامترها براحتی روی دستگاه تزریق قابل تنظیم می باشند. با توجه به تئوری های موجود سطوح هر کدام از پارامترها اندازه گیری شد و در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول(۱): پارامترهای مطالعه شده و سطوح آنها

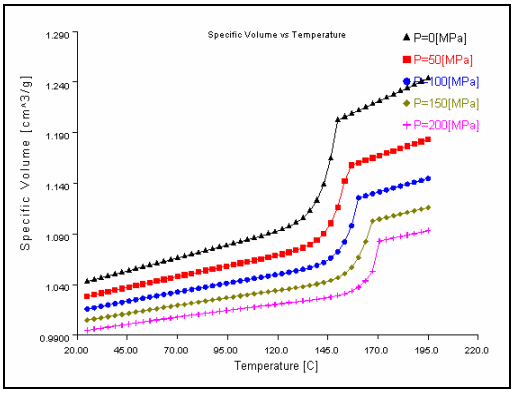
پارامترها	سطوح		
	1	2	3
دمای قالب (C°)	40	60	80
دمای مذاب	175	185	195
فشار نگهداری	60	75	90
زمان تزریق	0.1	0.55	1
زمان اعمال فشار	0.5	0.9	1.3
درصد الیاف	وزنی 50%		

۴- ماده ترموپلاستیک

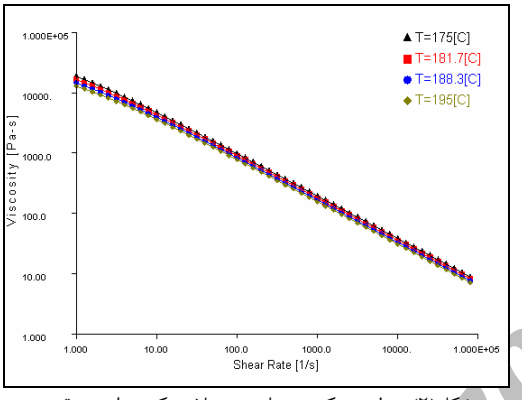
در این مطالعه از یک ماده ترموپلاستیک از خانواده پلی پروپیلن که قابلیت فرآوری در دماهای پایین را داراست، استفاده شده و در جدول (۳) خواص آن آمده است. نمودار فشار– حجم- حرارت (PVT) و مدل ویسکوزیته این ماده در شکل‌های (۱ و ۲) آمده است. بدلیل اینکه ماده ایزوتروپ می باشد E1=E2 خواهد شد.

جدول(۲): خواص رزین ترموپلاستیک در این تحقیق [11]

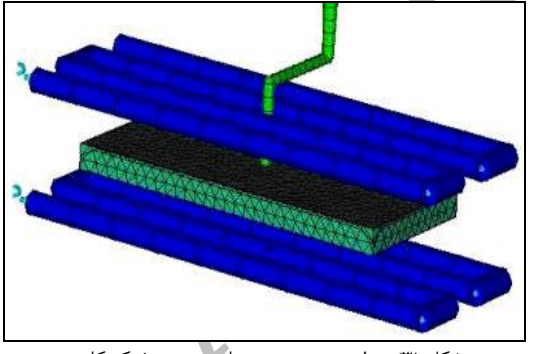
خواص فیزیکی	تنش برشی	0.26 MPa
	چگالی مذاب	0.80996 g/cm^3
	چگالی جامد	0.95873 g/cm^3
	هدایت حرارتی	0.2095 W/m °C
خواص مکانیکی	مدول الاستیسیته	1978 MPa
	ضریب پواسان	0.3738
	مدول برشی	720 MPa
ضریب انبساط حرارتی	Alpha	6.818e-5 (1/°C)
چروکیدگی	در جهت موازی	1.076
	در جهت عمود	1.216
دمای گذار شیشه ای		119 °C



شکل۱(۱): نمودار ماده ترموپلاستیک در این تحقیق



شکل(۲): مدل ویسکوزیته ماده ترموپلاستیک در این تحقیق



شکل (۳): مدل هندسی و چیدمان سیستم خنک کاری

۴-۱- الیاف تقویت کننده

در این تحقیق از نوعی الیاف طبیعی استفاده شده است که به ٪۵۰ وزنی یک نمونه کامپوزیتی می باشد. پس از تهیه این گونه الیاف از طبیعت، الیاف خرد شده و پس از انجام یک سری عملیات آماده استفاده خواهد شد. در جدول (۳) خواص این الیاف نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۳): خواص الیاف پرکننده بکار رفته در این تحقیق [۱۱]

خواص فیزیکی	چگالی - گرم بر سانتی مترمکعب	2
	ظرفیت گرمایی ویژه J/kg C	1000
	رسانایی حرارتی- W/m ^{o}C	1
خواص مکانیکی	مدول الاستیسیته - مگاپاسگال	10000
	ضریب پواسان	0.3
	مدول برشی - مگاپاسگال	3846
ضریب انبساط حرارتی	1/^{o}C	1e-5
استحکام کششی	در جهت موازی با طول الیاف- مگاپاسگال	10000
	در جهت عمود بر طول الیاف- مگاپاسگال	10000
نسبت اندازه	(L/D)	50

۴-۲- هندسه مدل

در این تحقیق یک کاور مستطیلی که طول، عرض، ضخامت دیواره و ارتفاع آن به ترتیب ۱۲۰، ۵۰، ۱ و ۸ میلیمتر می باشد مدل شده است. گلویی تزریق آن یک سوزنی است کانال های خنک کاری در آن متقارن به قطر ۸ میلیمتر و از آب به عنوان مایع خنک کاری استفاده شده است. در شکل(۳) هندسه مدل با جزئیات بیشتری مشاهده می شود.

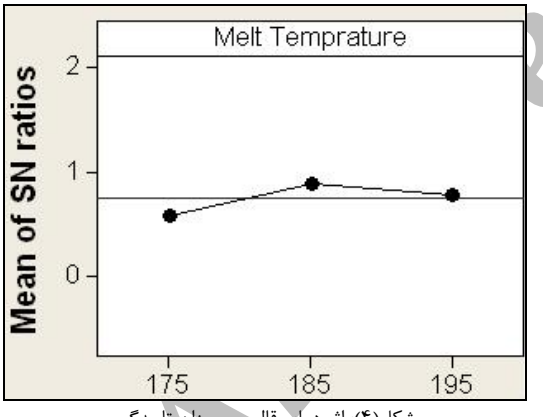
۵-تئوری مایکرومکانیک

برای محاسبه خواص الاستیکی کامپوزیت های ترموپلاستیک تقویت شده با الیاف کوتاه با استفاده از خواص الیاف و ماتریس امکانپذیر است. تئوری هایی زیادی تاکنون برای این هدف توسعه پیدا کرده‌اند. در این تحقیق برای پیشگویی این خواص از تئوری Tandon-Weng [۱۲] استفاده شده است. در زیر به توضیح مختصری از تئوری بکاربرده شده اشاره می شود[11].

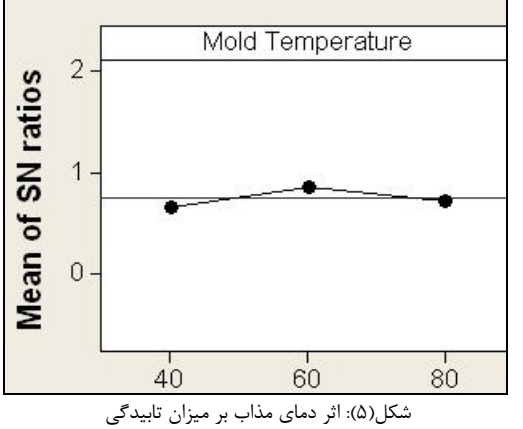
جهت گیری الیاف یکی از پارامترهای مهمی است که روی خواص مکانیکی قطعه کامپوزیتی تاثیر می گذارد. محاسبه خواص مکانیکی کامپوزیت های تقویت شده با الیاف کوتاه از دو مرحله تشکیل شده است نخست خواص کامپوزیت تک جهته محاسبه می شود. سپس با توجه به جهت گیری الیاف در راستای ضخامت قطعه کامپوزیتی، یک مقدار متوسط از این خاصیت ارائه می شود [11].

۶- نتایج و تحلیل آنها

با توجه به تئوری های طراحی آزمایش و مطالب ارائه شده در فوق، شبیه سازی به منظور تعیین میزان تابیدگی حاصله از شرایط حاکم بر مسئله انجام گرفت. نتایج حاصله نشان از تاثیر غیر قابل چشم پوشی پارامتر ها بر میزان تابیدگی می دهد. در زیر به بررسی تاثیر هرکدام از پارامترها به طور خلاصه می پردازیم. همانطوری که در شکل (۴) آمده است. اثر دمای قالب بر میزان تابیدگی در ترموپلاستیک‌های تقویت شده با الیاف کوتاه آنقدر شدید نبوده، ولی تاثیرگذار می باشد. از آنجایی که دمای فرآوری کامپوزیت در این تحقیق به جهت وجود الیاف طبیعی و مقاومت ضعیف این مواد در مقابل دمای بالا، کم بوده و بدین ترتیب تاثیر دمای مذاب بر میزان تابیدگی کم است (شکل ۵). اما تاثیر این دما در ترموپلاستیک های تقویت نشده نسبت به تقویت شده بالاست، این پدیده به دلیل مقاومت ضعیف الیاف طبیعی به دمای بالا می باشد.



شکل(۴): اثر دمای قالب بر میزان تابیدگی

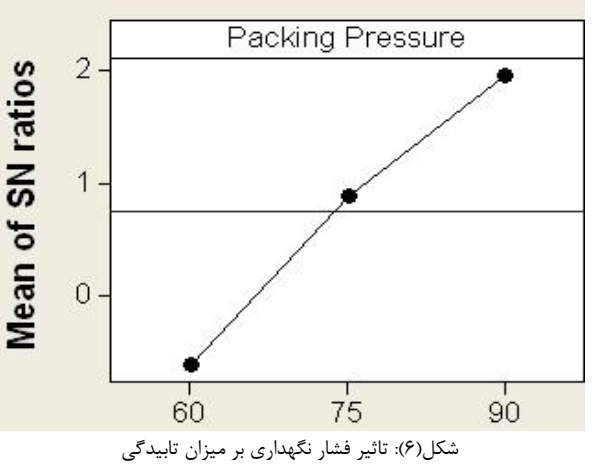


شکل(۵): اثر دمای مذاب بر میزان تابیدگی

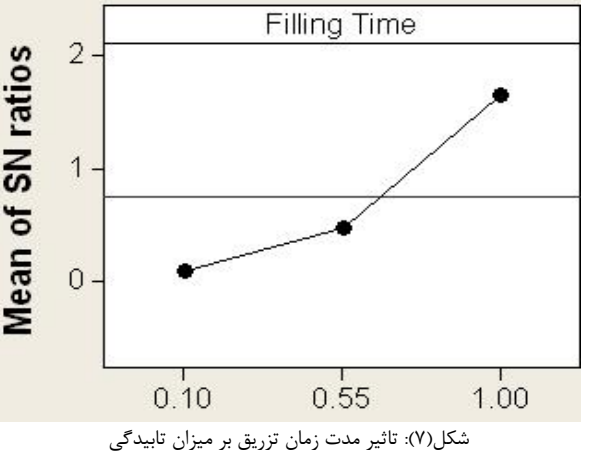
Archive of SID

www.SID.ir

همان طوری که در شکل(۶) ملاحظه می شود، نمودار تاثیر فشار نگهداری بر میزان تابیدگی نسبت به افق شیب تندی دارد. این بدان معناست که این پارامتر دارای تاثیر بسیار زیادی بر میزان تابیدگی نهایی دارد. با نگاهی به سایر پارامترها و بررسی تاثیر آنها ملاحظه می شود که میزان فشار نگهداری دارای بیشترین تاثیر بر تابیدگی است. مطابق شکل(۷)، مدت زمان تزریق بر میزان تابیدگی تاثیر گذاشته و این تاثیر در کامپوزیت ها کاملا مشهود است. چراکه با افزایش مدت زمان تزریق، نرخ تزریق کاهش می یابد و این تغییر سبب تاثیرگذاری بر میزان تابیدگی نهایی خواهد شد.

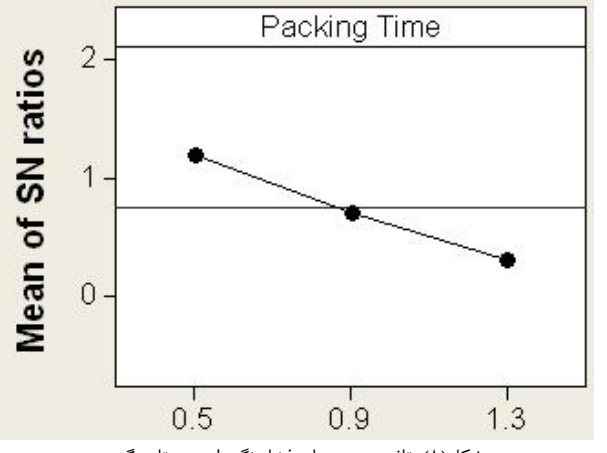


شکل(۶): تاثیر فشار نگهداری بر میزان تابیدگی

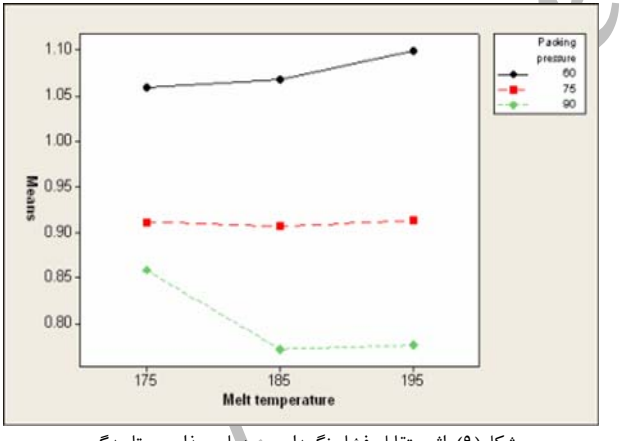


شکل(۷): تاثیر مدت زمان تزریق بر میزان تابیدگی

هر چه مدت زمان اعمال فشار نگهداری افزایش یابد، فرصت کافی برای تزریق مذاب بیشتر در قالب فراهم است و این عمل سبب جبران کسری موجود در فاز پرشدن قالب خواهد شد. بدیهی است که این رفتار بر میزان تابیدگی قطعه اثر خواهد داشت و شکل(۸) این موضوع را نشان می دهد. همانطوری که قبلاً اشاره شده احتمال وجود اثر متقابل بین پارامترهای دمای مذاب، دمای قالب و فشار نگهداری وجود دارد. نتایج حاصل از این تحقیق در مورد اثر متقابل بین دمای مذاب و فشار نگهداری در شکل (۹) آمده است. ملاحظه می شود که خطوط به رنگ مشکی و قرمز با یکدیگر تقریباً موازی بوده و این موضوع بیانگر آن است که در فشارهای نگهداری پایین اثر متقابل تقریباً وجود ندارد. اما در همین نمودار رنگ سبز بیانگر آن است که با افزایش میزان فشار نگهداری، اثر متقابل خود را نشان می دهد.



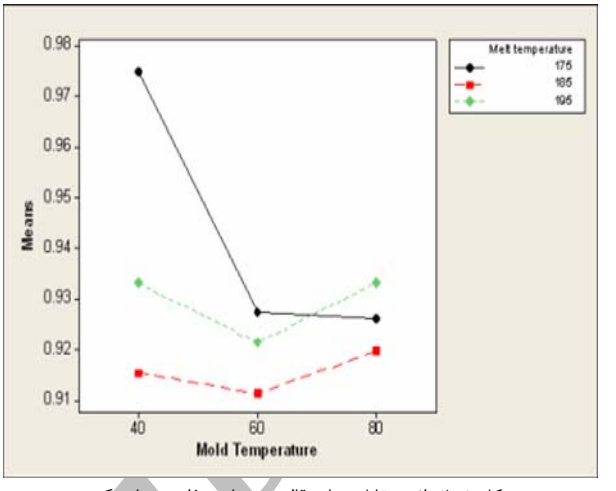
شکل(۸): تاثیر مدت زمان فشار نگهداری بر تابیدگی



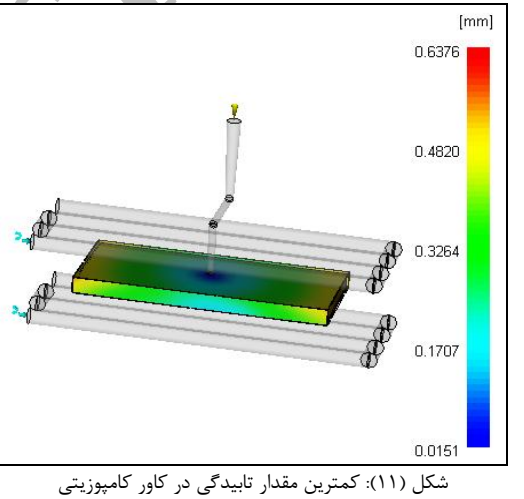
شکل(۹): اثر متقابل فشار نگهداری و دمای مذاب بر تابیدگی

در این قسمت ملاحظه می شود که در دماهای ۱۸۵ و ۱۹۵ درجه سلسیوس اثر متقابل بین دمای مذاب و دمای قالب تقریباً وجود ندارد. حال آنکه در دمای مذاب ۱۷۵ درجه سلسیوس این اثر خود را نشان می دهد. لازم به اشاره است که در مواد ترموپلاستیک های تقویت نشده به دلایل دماهای فرآوری بالا و عدم وجود الیاف تقویت کننده، تاثیر این اثر متقابل بالاست و حال آنکه در ترموپلاستیک های تقویت شده با الیاف کوتاه تاثیر این اثر متقابل بالا نیست (شکل ۱۰).

www.SID.ir



شکل (۱۰): اثر متقابل دمای قالب و دمای مذاب بر تابیدگی



شکل (۱۱): کمترین مقدار تابیدگی در کاور کامپوزیتی

با استفاده از نرم افزار مطالعات آماری MINITAB نتایج بدست آمده مورد پردازش قرار گرفت و در مسیر شناسایی ترتیب تاثیرگذاری پارامترهای مورد مطالعه بر میزان تابیدگی حاصله نتیجه جدول (۴) حاصل شد. با استفاده از روش تاگوچی برای دست یابی به میزان تابیدگی کمینه، از جدول (۴) بایستی کمک گرفت. بدین صورت که اگر برای هرکدام از پارامترها آن سطحی که کمترین مقدار در جدول فوق را داراست، در نظر گرفته شود و این مقادیر برای تنظیمات دستگاه به کار رود، آنگاه میزان تابیدگی کمترین را خواهد داشت. با اعمال سطوح بهینه هر کدام از پارامترهای تاثیرگذار در کد بهینه سازی تهیه شده از روش تاگوچی در این تحقیق، میزان تابیدگی ۰/۶۲۷۲۳ میلیمتر بدست آمد. این میزان از تمام مقادیر تابیدگی بدست آمده در شبیه سازی های انجام گرفته کمترین است (شکل۱۱).

۷- نتیجه گیری

با توجه به مطالب ارائه شده در فوق، نتایج زیر را می توان گرفت:

- دمای قالب که یکی از پارامترهای تاثیرگذار در فرایند ساخت ترموپلاستیک ها می باشد، به تناسب تاثیر کمی روی تابیدگی در کامپوزیت های ترموپلاستیک تقویت شده با الیاف ظبیعی دارد.
- به دلیل شرایط خاصی که الیاف طبیعی در فرایند ساخت از نظر محدوده‌ی دمایی ایجاد کرده است، اثر دمای مذاب بر تابیدگی نیز کمتر شده است.
- اثر پارامتر فشار نگهداری بر میزان تابیدگی ایجاد شده مواد کامپوزیت غیر قابل انکار است و این پارامتر را می توان مهمترین پارامتر در ایجاد پدیده تابیدگی دانست. در فرایند تولید توصیه می شود که بیشترین دقت بر روی این پارامتر معطوف شود.
- با توجه به نتایج بدست آمده، مدت زمانی که فشار نگهداری بایستی در فاز نگهداری برای جبران مذاب اعمال شود بر روی تابیدگی این مواد نقش دارد. ولی نقش این پارامتر همتراز با نقش فشار نگهداری نیست.
- مدت زمانی که باید صرف عمل تزریق شود یکی دیگر از پارامترهای تاثیرگذار بر میزان تابیدگی نهایی قطعه است.
- نتایج بدست آمده نشان از تاثیر بسیار ناچیز اثر متقابل دمای قالب و دمای مذاب بر میزان تابیدگی دارد. حال آنکه تاثیر اثر متقابل دمای مذاب و فشار نگهداری بر میزان تابیدگی بیشتر از اثر قبلی است.
- با توجه به مطالب گفته شده، به منظور کمینه کردن میزان تابیدگی در این مواد، توجه به پارامتر فشار نگهداری بسیار ضروری است. چراکه بیشترین بخش تابیدگی ناشی از این پارامتر می باشد.
- تکنیک تاگوچی به منظور کمینه سازی میزان تابیدگی در این مواد روشی ساده و قابل قبول می باشد.

۸- مراجع

[1] K. Van Rijswijk and H. E. N. Bersee, "Reactive processing of textile fibre-Reinforced thermoplastic composites-an overview", Composite: part A, Vol.38, pp. 666-681, 2006.

[2] D. Stavrov and H. E. N. Bersee, "Resistance welding of thermoplastic composites-an overview", Composite: part A, 36, pp. 39-54, 2004.

[3] http://www.matweb.com

Archive of SID

www.SID.ir

[4] R. T. Woodhams, G. Thomas and D. K. Rodgers, "Wood fibres as reinforcing fillers for polyolefins", Polym Eng Sci; 24(15):1166,1984.

[5] M. M. Sain, J. Balatinecz and S. Law, "Creep fatigue in engineered wood fibres and plastic compositions", J Appl Polym Sci; 77: 260, 2000.

[6] M. Sain, S. Law, F. Suhara and A. Boullinox, "Stiffness correlation of natural fibre filled polypropylene composite", Proceedings of International Symposium on wood fibre plastic composites, France, 2003.

[7] H. N. Dhakal, Z. Y. Zhang, and M. O. W. Richardson, "Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites", Composites Science and Technology 67, pp. 1674–1683, 2007.

[8] D. D. Bedworth, M. R. Henderson and P. M. Wolfe, "Computer integrated design and manufacturing", McGraw-Hill, New York, International edition, 1991.

[9] H. N. Y. Seong, S. Kim, I. U. Hwang and D. G. Lee, "Application of natural fiber reinforced composites to trenchless rehabilitation of underground pipes", Composite Structures, Vol. 86, Issues 1-3, pp. 285-290, 2008.

[10] N. Sgriccia, M. C. Hawley and M. Misra, "Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 39, Issue 10, pp. 1632-1637, 2008.

[11] http://www.moldflow.com

[12] G. P. Tandon and G. J. Weng, "The effect of aspect ratio of inclusions on the elastic properties of unidirectional aligned composites", Polym. Compos. 5 (4), pp. 327-333, 1984.

Archive of SID

www.SID.ir