Archive of SID

مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، بهمن و اسفند 1397، دوره 5، شماره 4، ص‌ص. 37-43

دو ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

بهینه‌سازی رفتار خمشی چندلایه‌های کامپوزیتی گرمانرم پلی‌کربنات/شیشه با روش تاگوچی

مهران قلمی چوبر[1]، غلامحسین لیاقت[2*]، مجتبی صدیقی[3]، حامد احمدی[4]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، تربیت مدرس، تهران

2- استاد، مهندسی مکانیک، تربیت مدرس، تهران

3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

4- استادیار، مهندسی مکانیک، تربیت مدرس، تهران

* تهران، صندوق پستی 14115- 141، ghlia530@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 11 تیر 1397

پذیرش: 18 شهریور 1397

ارائه در سایت: دی 1397

کلیدواژگان:

زمینه گرمانرم

پرس گرم

روش تاگوچی

رفتار خمشی

بهینه‌سازی

چکیده

کامپوزیت‌های گرمانرم تقویت شده با الیاف به دلیل داشتن چقرمگی بالا نسبت به گرماسخت‌ها با اقبال مواجه شده‌اند. در این میان پلی‌کربنات به دلیل داشتن چگالی پایین، مقاومت گرمایی و ضربه‌ای بالا مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. در این مقاله، اثر پارامترهای ساخت مانند دما و فشار و همچنین زمان بر خصوصیات مکانیکی چندلایه پلی‌کربنات/شیشه با استفاده از روش تاگوچی بررسی می‌شود. برای بررسی اثر پارامترهای مختلف، طراحی آزمایشی با آرایه‌ی متعامد L9 و سه سطح از زمان و فشار و دما به کمک نرم افزار مینی‌تب انجام شد. برای این منظور، تیرهای کامپوزیتی با آرایش $[0]_8$ با روش انباشت لایه‌ها و در دستگاه پرس گرم تولید شدند. آزمایش‌های خمش سه‌نقطه‌ای بر اساس استاندارد مربوطه برای ارزیابی مدول الاستیک و استحکام خمشی انجام شد. مقایسه مدول خمشی و استحکام خمشی برای نمونه‌های مختلف بررسی و تحلیل شد. نتایج نشان داد دمای 215 درجه سانتی‌گراد، به دلیل جلوگیری از تخریب زمینه و همچنین کفایت ویسکوزیته، نسبت به دماهای دیگر باعث خصوصیات مکانیکی بالاتری می‌شود. علاوه بر این بر اساس نتایج، دمای قالب اثر مهم‌تری نسبت به فشار و زمان بر کیفیت ساخت قطعات دارد. مقادیر بهینه فاکتورها شامل دما، فشار و زمان برای بدست آوردن بیشترین مدول خمشی و استحکام خمشی بر اساس تحلیل نسبت سیگنال به نویز تعیین شد.

Optimization of manufacturing process of Glass\Polycarbonate thermoplastic laminates using Taguchi method

Mehran Ghalami-Choobar[1], Gholamhossein Liaghat[1*], Mojtaba Sadighi[2], Hamed Ahmadi[1]

1- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Mechanical Engineering Faculty, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

* P.O.B. 141-14115 Tehran, Iran, ghlia530@modares.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received 02 July 2018

Accepted 09 September 2018

Available Online January 2019

Keywords:

Thermoplastic Matrix

Hot-Pressing

Taguchi Method

Flexural Behavior

Optimization

Abstract

Fiber-reinforced thermoplastic composites have drawn much attention due to higher toughness in comparison with thermosets. Polycarbonate is of particular concern because of low weight, high thermal and impact resistance. In this paper, effect of manufacturing parameters such as temperature, pressure and time on mechanical properties of Polycarbonate/Glass laminate is investigated using Taguchi method. In order to evaluate effects of various parameters, an experimental design planned using L9 orthogonal array with three level of time, pressure and temperature with the help of Minitab software. For this, composite beams having arrangement $[0]_8$ were produced in film staking procedure in a hot-pressing apparatus. The 3 points bending tests were carried out to assess manufacturing quality. Comparison of flexural modulus and flexural strength of various specimens were made and the results are commented upon and discussed. Results show that the temperature of 215 Celsius degrees results higher mechanical properties than other temperatures because of preventing resin degradation and adequate viscosity. Furthermore, results indicated that the time factor was more significant, than time and pressure, on curing quality. Optimum values of factors such as time, pressure and temperature to achieve higher flexural modulus and flexural strength are determined using analysis of Signal to Noise Ratio (SNR).

1- مقدمه

کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف از جمله شیشه روز به روز با اقبال بیشتری در صنعت هوافضا، خودروسازی، دریایی و پزشکی روبرو می‌شوند[1،2]. این کاربردهای روزافزون به دلیل سفتی و استحکام ویژه بالا، مقاومت خوردگی خوب و ویژگی‌های خستگی منحصر به فرد این مواد می‌باشد. در این میان کامپوزیت‌های

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

M. Ghalami-Choobar, Gh. Liaghat, M. Sadighi, H. Ahmadi, Optimization of manufacture process of Glass\Polycarbonate thermoplastic laminates using Taguchi method, *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*, Vol. 5, No. 4, pp. 37-43, 2019 (in Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

دارای زمینه‌ی گرما نرم[1] ویژگی مفیدتری از قبیل طول عمر طولانی، زمان تولید کم و بازیافت‌پذیری در مقایسه با مواد گرماسخت[2] ارایه می‌کنند[1].

گرچه استحکام برشی و فشاری مواد گرمانرم کمتر است ولی بالا بودن چقرمگی باعث مورد توجه قرار گرفتن مواد گرما نرم شده است. برای مثال، اوکمان و همکاران خصوصیات مکانیکی کامپوزیت گرمانرم تقویت شده با الیاف طبیعی مختلف را مورد بررسی قرار دادند[3]. نتایج نشان داد که الیاف طبیعی فلکس[3] بهترین عملکرد را در مقایسه با دیگر الیاف طبیعی دارد.

از جمله مواد گرمانرم می‌توان به پلی‌کربنات اشاره کرد که پلیمر (یا بسپار[4])ی گرمانرم با دمای انتقال شیشه‌ای 145درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ویژگی‌های منحصر به فرد آن از جمله چقرمگی بالا، خصوصیات گرمایی خوب، پایداری ابعادی عالی و ویژگی‌های نوری مناسبِ آن، این ماده گرمانرم را درمیان پلاستیک‌های مهندسی پرکاربرد قرار داده است[4]. از دیگر ویژگی جالب پلی‌کربناب می‌توان به عدم نیاز ماده‌ی افزودنی برای افزایش چسبندگی و حتی اثر منفی عامل افلنیک برای افزایش چسبندگی الیافهای شیشه اشاره نمود. برخی تحقیقات نشان می‌دهند پلی‌کربنات اصلاح نشده خصوصیات ضربه‌ای بهتری دارد و لزومی به استفاده از این عامل وجود ندارد[5].

در ادامه به برخی از مهمترین تحقیقات انجام شده پیرامون کامپوزیت‌های گرمانرم پرداخته می‌شود. زال و همکاران به بررسی اثر دمای فرایند بر خواص الاستیک و ویسکوالاستیک کامپوزیت‌های شیشه/پی‌وی‌سی پرداختند. آنان با بررسی خواص حاصله از آزمون خمش سه نقطه در سه دما شرایط دمایی بهینه برای ساخت را تخمین زدند[6]. افتاده و گلزار اثر ابعاد کامپوزیت و همچنین دمای قالب را بر ویژگی دوپایداری [5] کامپوزیت‌های شیشه/پی‌وی‌سی بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که ابعاد کامپوزیت اثر غالب را دارد و دمای قالب چندان مؤثر نیست[7]. اوزکان و همکاران اثر عامل اندازه[6] بر خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت‌های پلی‌کربناتی تقویت شده با الیاف کوتاه کربن را مورد بررسی قرار دادند. آنان مشاهده کردند که گرچه عامل‌دار کردن باعث افزایش خواص کششی کامپوزیت مذکور می‌گردد ولی خواص ضربه‌ای تقریبا بدون تغییر می‌ماند[8]. رِیس و شارما رفتار ضربه‌ای کم‌سرعت کامپوزیت‌های ساخته شده از پارچه بافته‌ی‌شیشه و زمینه‌ی پلی‌پروپیلن را مطالعه کردند. مقاومت پساضربه‌ای را با انجام آزمون خمش چهارنقطه‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد سفتی و استحکام خمشی پساضربه‌ای با افزایش انرژی ضربه کاهش می‌یابد[1]. تانیموتو و همکاران ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌کربنات/شیشه را برای مصارف ارتودنسی مورد بررسی قرار دادند. رفتار این کامپوزیت با سیم‌های فلزی ارتودنسی متداول مقایسه شد و نتایج نشان داد این کامپوزیت ویژگی‌های مشابهی داشته و قابلیت جایگزینی دارند[9]. رانگنتان و همکاران رفتار ویسکو الاستیک و ضربه‌ای کامپوزیت‌های هیبریدی کنف/پلی‌پروپیلن مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش الیاف ویسکوز[7] برای بهبود خواص ضربه ای اضافه گردید. نتایج حاکی از آن بود که افزایش الیاف ویسکوز باعث افزایش چقرمگی شکست می‌شود[10]. سورنتینو و همکاران خواص خمشی و ضربه‌ای کامپوزیت گرمانرم بر پایه‌ی نوعی پلی‌اتیلن را در دمای بالا بررسی کردند. نتایج نشان داد به دلیل عملکرد مناسب این پلی‌اتیلن در دمای بالا می‌تواند به عنوان جایگزین رزین‌های گرماسخت درنظر گرفته شود[11]. وانگ و همکاران رفتار خمشی و فشاری کامپوزیت‌های کربن-پی‌پی‌اس[8] در دمای بالا بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که رفتار مکانیکی کامپوزیت در دما بالا نتیجه خواص پی‌پی‌اس می‌باشد[12].

از جمله مشکلات موجود در بررسی رفتار این گونه مواد، وجود پارامترهای گوناگون در مسئله می‌باشد. در این گونه موارد، برای کاهش هزینه و همچنین زمان انجام آزمایش‌ها می‌توان با استفاده از روش‌های طراحی آزمایش، تعداد آزمایش‌ها را هدفمند نمود و با تعداد کمتری به نتایج مطلوب دست پیدا کرد. یکی از این روش‌ها روش تاگوچی می‌باشد که در سال 1990 معرفی شد و در بهینه‌سازی فرایندهای تولید صنعتی باعث انقلابی گردید. بعدها با توجه به مشخص گردیدن مزیت‌های آن در تحقیقات علمی نیز استفاده شد.

در این پژوهش سعی می‌شود با استفاده از روش تاگوچی طراحی آزمایشی برای بهینه‌سازی تولید چندلایه‌های کامپوزیتی به روش پرس گرم انجام شود و خصوصیات خمشی از قبیل مدول و استحکام خمشی به عنوان تابع هدف مورد استفاده قرار گیرد. در انتها شرایط فرایندی مناسب برای تولید بهینه چندلایه‌های کامپوزیتی شیشه/پلی‌کربنات بدست می‌آید.

[1] Thermoplastics
[2] Thermosets
[3] Flax
[4] Polymer
[5] Bi-stable
[6] Sizing agent
[7] Viscous fibers
[8] Polyphenylenesulfide (PPS)

www.SID.ir

Archive of SID

2- روش تجربی

2-1- روش تولید نمونه‌های کامپوزیتی

برای تولید ورق‌های چندلایه‌های کامپوزیتی مورد نظر، از الیاف شیشه تک‌سو با چگالی 200 گرم بر متر مربع به عنوان فاز تقویت کننده استفاده شد. همچنین برای فاز زمینه از ورق‌های گرمانرم پلی‌کربنات تولیدی شرکت «پلیمر طلایی یزد» به ضخامت 1 میلی متر و دمای انتقال شیشه‌ای 145 درجه سانتی‌گراد استفاده گردید.

تولید نمونه‌ها از طریق فرایند انباشت لایه‌ها[1] به همراه پرس گرم انجام شد. 8 لایه شیشه‌ی تک سو همراه دو لایه پلی کربنات با آرایش[0/pc/0/0/pc/0] در داخل قالبی با ابعاد 120×120 میلیمتر قرار گرفته و در طی زمانی معین تحت فشار و دمای همزمان قرار گرفته‌اند. در نتیجه‌ی گرم شدن لایه‌ها تا بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای، پلی‌کربنات نرم شده و به داخل لایه‌های شیشه نفوذ می‌کند و کامپوزیت مورد نظر ایجاد می‌شود.

دستگاه اعمال فشار مورد استفاده و همچنین فرایند کار در شکل 1 نشان داده شده است. از نرخ بارگذاری 0/05 kN/s برای همه‌ی نمونه‌ها استفاده شد. نرخ بارگذاری بیشتر منجر به بیرون زدن مواد و خراب شدن نمونه می‌شد. در این روش فشار اعمالی در حین سرد شدن تا کمی پایین‌تر از دمای انتقال شیشه‌ای حفظ شده و سپس فشار برداشته می‌شود. پروفیل زمانی فشار و دمای اعمالی در شکل 2 به تصویر کشیده شده است. لازم به ذکر است کلیه فرایندها در در دمای اتاق و فشار جو انجام شده است مگر اینکه خلاف آن ذکر شود. همچنین نسبت حجمی الیاف به زمینه نمونه‌های تولیدی در حدود 0/3 بود.

2-2- نحوه‌ی انجام آزمایش

برای بررسی خصوصیات مکانیکی و کیفیت اتصال الیاف به زمینه و همچنین آغشته‌سازی می‌توان از آزمون خمش سه نقطه‌ای بر اساس استاندارد ASTM D790-07 استفاده کرد[5]. بدین منظور نمونه‌های تولید شده در ابعاد 12×2,5×25 میلی‌متر طبق استاندارد بریده شد و با دستگاه کشش 2 تنی آزمایشگاه کامپوزیت دانشکده مکانیک دانشگاه تربیت مدرس مورد آزمایش قرار گرفت. یکی از نمونه‌ها مورد آزمایش در شکل 3 قابل مشاهده است.

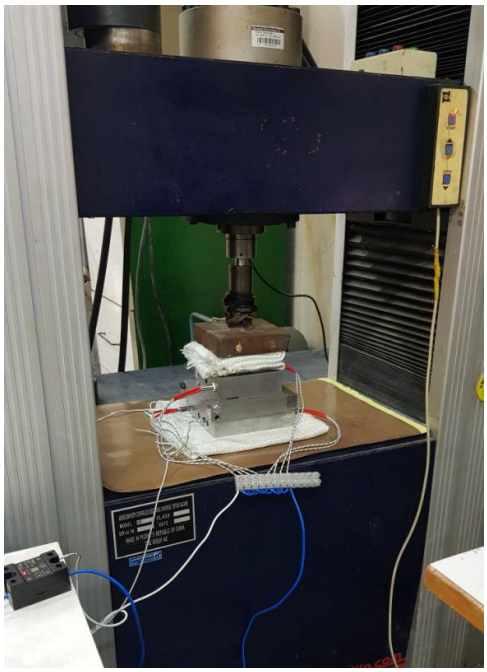

Fig. 1 The used die and temperature controlling circuit

شکل 1 قالب استفاده شده و مدار کنترلی دمایی

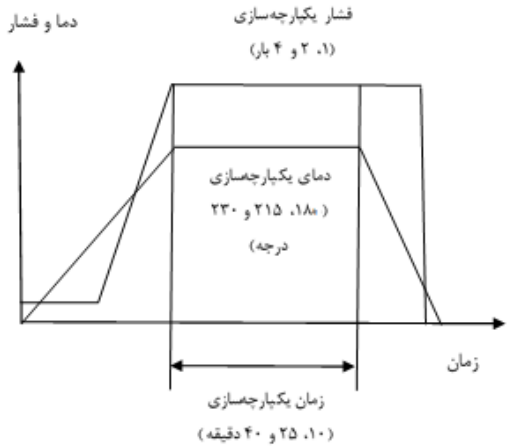

Fig. 2 Time variations of temperature and applied pressure on die

شکل 2 تغییرات زمانی دما و فشار اعمالی به قالب

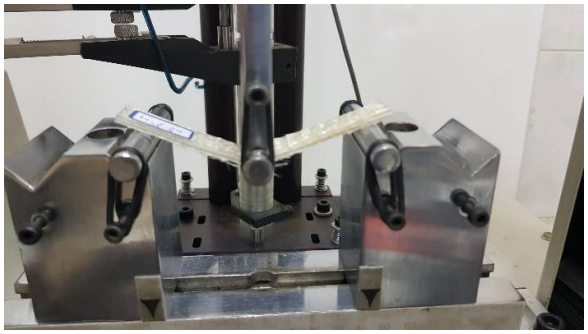

Fig. 3 3-points bending and used fixture

شکل 3 دستگاه آزمون خمش سه نقطه با قید و بست مربوطه

[1] Film stacking

www.SID.ir

Archive of SID

2-3- روش تاگوچی: طراحی آزمایش

روش‌های سنتی انجام آزمایش پیچیده بوده و انجام آنها سخت و طولانی می‌باشد. چون در روش سنتی جایگشت‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود و زمانی که تعداد متغیرهای مسئله زیاد باشد تعداد آزمایش‌های لازم بسیار زیاد می‌شود. در این حالت می‌توان با استفاده از روش‌های نوین طرحی آزمایش در منابع صرفه‌جویی کرد. یکی از این روش‌ها روش تاگوچی است که با ترکیب روش فاکتوریل جزیی و آرایه‌های متعامد به طراحی آزمایشی بهینه، کم‌هزینه و مکفی منجر می‌شود.در این روش متغیرهای مسئله به دو دسته‌ی فاکتور کنترلی و فاکتور نویز تقسیم می‌شود. که دسته‌ی اول اثرات قابل توجهی بر مسئله دارند و از اثرات دسته‌ی دوم صرفنظر می‌شود.

در پژوهش حاضر از نرم افزار مینی‌تب برای طراحی آزمایش بر مبنای روش تاگوچی استفاده می‌شود. با توجه به پژوهش‌های پیشین، دما و فشار اعمالی و همچنین زمان اعمال آنها عوامل مهم در تعیین خوصیات مکانیکی کامپوزیت‌های تولیدی می‌باشد[7،6]. در نتیجه با توجه به دمای انتقال شیشه‌ای پلی‌کربنات و همچنین فشارهای گزارش شده در مراجع دیگر، سطوح زیر برای طراحی آزمایش انتخاب شدند. دماهای بالاتر از 230 درجه باعث تخریب زمینه‌ی پلیمری می‌شدند بنابراین در بازه‌ی دمایی مورد بررسی قرار نگرفت. فاکتورهای انتخابی و همچنین مقادیر سطوح مختلف این فاکتورها در جدول 1 آورده شده است.

گام‌های اساسی در طراحی آزمایش تاگوچی عبارتند از

- انتخاب تابع هدف
- تعیین فاکتورهای کنترلی و سطوح آنها
- انتخاب آرایه‌ی متعامد مناسب
- انجام آزمایش‌ها
- تحلیل و تطبیق نتایج

در این روش با توجه به سه فاکتور انتخابی و همچنین سه سطح موجود به پیشنهاد نرم‌افزار از آرایه متعامد L9 استفاده می‌گردد (جدول 2).

جدول 1 فاکتورهای ورودی فرایند و مقادیر سطوح مختلف

Table 1 Input factors and various levels values

فاکتور	سطح 1	سطح 2	سطح 3	واحد
دمای فرایند	180	215	230	°C
فشار فرایند	1	2	4	بار
زمان	10	25	40	دقیقه

جدول 2 طراحی آزمایش با استفاده از L9

Table 2 Experiment design using L9

شماره نمونه	زمان (دقیقه)	فشار (بار)	دما (°C)	شیب نمودار نیرو-جابجایی	نیروی بیشینه
S1	10	1	180	8/57	132/9
S2	10	2	215	35/38	304/6
S3	25	4	230	9/17	150/6
S4	25	1	215	16/31	185/9
S5	25	2	230	18/58	238/4
S6	25	4	180	16/56	123/1
S7	40	1	230	28/96	296/8
S8	40	2	180	25/81	258/0
S9	40	4	215	8/74	131/0

در خمش سه‌نقطه‌ای، مدول خمشی و استحکام خمشی طبق فرمول‌های (1) و (2) محاسبه می‌گردد.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2wt^2} \quad (1)$$

$$E_b = \frac{mL^3}{4wt^3} \quad (2)$$

که F، L، w، t و m به ترتیب بیشینه نیرو وارده، طول دهانه آزمون، پهنای نمونه، ضخامت نمونه و شیب نمودار نیرو جابجایی می‌باشد.

3- نتایج و بحث

شکل 4 نمودار نیرو-جابجایی تعدادی از آزمون‌های خمش سه‌نقطه‌ای را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل نیز مشخص است باتوجه به مقادیر فشار، دما و زمان استفاده شده در طی فرایند یکپارچه‌سازی[1] رفتارهای متفاوتی از نمونه‌های ساخته شده مشاهده می‌شود. برای مثال نمونه S1، 10دقیقه تحت دمای 180 درجه و فشار 1 بار قرار داشته است(شکل 5- الف و پ). به دلیل دمای کم قالب، ویسکوزیته مذاب همچنان بالا بوده و آغشتگی مناسبی ایجاد نشده و قسمت ماتریس و فایبر جداگانه عمل می‌کنند. در نتیجه تحت بار، لغزش بین زمینه و الیاف اتفاق می‌افتد و کل بار را زمینه‌ی پلی‌کربنات تحمل می‌کند و نمونه سفتی کمی از خود نشان می‌دهد(جدول 2).

نمونه‌ی S3 با دمای 230 درجه و فشار 4 بار و زمان 25 دقیقه آماده شده و نمونه S4 نیز تحت شرایط دمای 215 درجه و فشار 1 بار و زمان 25 دقیقه قرار داشته است. این نمونه‌ها رفتار نسبتاً تردی داشتند که نشان از آغشتگی مناسب و درگیر شدن الیاف شیشه دارد (جدول 2). بررسی دقیق ناحیه شکست در

[1] Consolidation

www.SID.ir

Archive of SID

وسط تیر نشانگر ترک‌های عرضی و لایه‌لایه‌شدگی در طول تیر می‌باشد (شکل 5- ب). نمودار مربوط به S3 (دمای 230) کاهش دوباره‌ای را در سفتی و استحکام نمونه نشان می‌دهد. این کاهش می‌تواند به دلیل تخریب پلیمر باشد اثرات تغییر رنگ زمینه‌ی پلیمری در شکل 5 قابل مشاهده است.

در این میان نمودار S4 پاسخ نسبتاً مناسبی، با توجه به شیب نمودار و همچنین نیروی بیشینه، ارائه کرده است و جواب بهینه احتمالا باید در حوالی پیکره‌بندی فرایندی این نمونه باشد که در ادامه به تحلیل آن پرداخته خواهد شد.

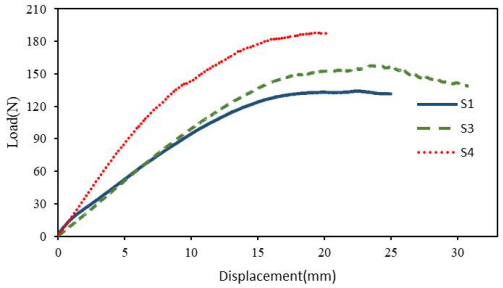

Fig4. Force-displacement curve for some specimen

شکل 4 نمودار نیرو جابجایی برای چند قطعه

(الف)

(ب)

(پ)

Fig5. Specimens S1, S3 and S4 after 3-point bending test

شکل 5 نمونه‌های S1، S3 و S4 بعد از آزمون خمش سه نقطه

شکل‌های 6 و 7 نمودار میله‌ای مدول و استحکام خمشی را برای حالت‌های مختلف آزمون‌ها به نمایش گذارده است. نتایج حاکی از آن است که نمونه‌های S2 و S9 دارای بیشترین مدول خمشی می‌باشد. رجوع به جدول 2 نشان می‌دهد که دمای بهینه 215 درجه می‌باشد ولی زمان و فشار بهینه قابل دستیابی نیست. همچنین نمونه‌های S3 و S9 بیشترین استحکام خمشی را نتیجه می‌دهند. در ادامه برای بررسی دقیق‌تر و یافتن حالت بهینه‌ی شرایط فرایندی از نرم‌افزار مینی‌تب کمک گرفته می‌شود. شکل‌های 8 و 9 تغییرات سیگنال به نویز را برای سطوح مختلف فاکتورهای دما و زمان و فشار اعمالی برای مدول خمشی و استحکام خمشی، به ترتیب، نشان می‌دهند.

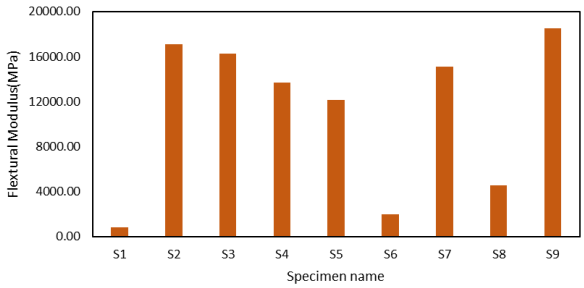

Fig. 6 Bar plot of flexural elastic modulus for various specimens

شکل 6 نمودار میله‌ای مدول خمشی را برای نمونه‌های مختلف

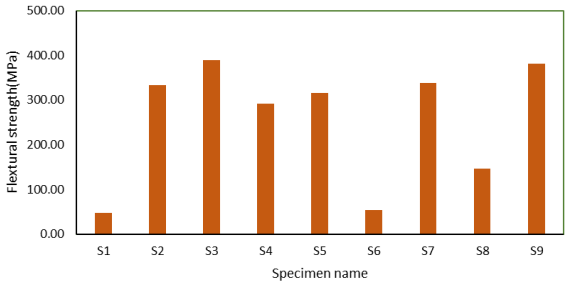

Fig.7 Bar plot of flexural strength for various specimens

شکل 7 نمودار میله‌ای استحکام خمشی را برای نمونه‌های مختلف

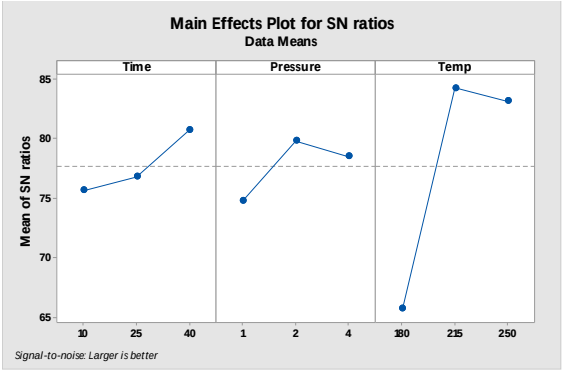

Fig. 8 Variation of signal to noise ratio for factors of temperature, time and pressure for flexural elastic modulus

شکل 8 تغییرات سیگنال به نویز را برای فاکتورهای دما و زمان و فشار مختلف برای مدول خمشی

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به ماهیت مسئله که استحکام و سفتی خمشی بیشتر مطلوب می‌باشد، هر چه مقدار سیگنال به نویز بیشتر باشد توابع هدف ما(یعنی مدول و استحکام ذکر شده) بیشتر خواهند بود. بیشترین مقدار سیگنال به نویز در دمای 215 درجه و فشار 2 بار و زمان 40 دقیقه رخ می‌دهد. در نتیجه دمای 215 درجه و فشار 2 بار و زمان 40 دقیقه باعث وقوع حالت بهینه شده و بیشترین مقادیر استحکام و سفتی خمشی در نمونه‌های تولیدی مشاهده خواهد شد.

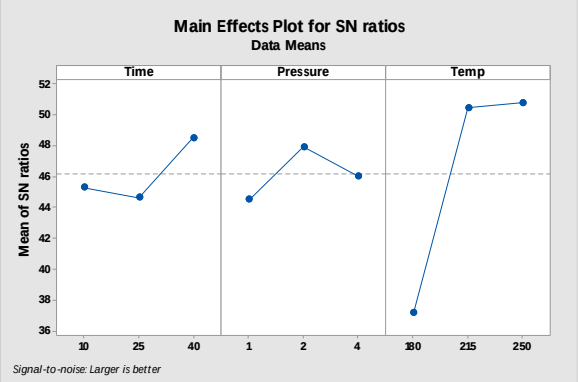

Fig. 9 Variation of signal to noise ratio for factors of temperature, time and pressure for flexural strength

شکل 9 تغییرات سیگنال به نویز را برای فاکتورهای دما و زمان و فشار مختلف برای استحکام خمشی

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر پارامترهای ساخت مانند دما و فشار و همچنین زمان بر خصوصیات خمشی چندلایه پلی‌کربنات/شیشه با استفاده از روش تاگوچی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی اثر پارامترهای مختلف، طراحی آزمایشی با آرایه‌ی متعامد L9 و در سه سطح از زمان و فشار و دما به کمک نرم‌افزار مینی‌تب انجام شد. آزمایش‌های خمش سه‌نقطه‌ای برای ارزیابی کیفیت فرایند تولید انجام گرفت. مقایسه مدول خمشی و استحکام خمشی برای نمونه‌های مختلف بررسی و تحلیل شد. از جمله‌ی مهمترین نتایج می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- دمای 215 ،به دلیل جلوگیری از تخریب زمینه و همچنین کفایت ویسکوزیته، باعث خصوصیات مکانیکی بالا می‌شود.
- دمای قالب اثر مهم‌تری نسبت به فشار و زمان بر کیفیت ساخت نمونه‌ها دارد.
- مقادیر بهینه فاکتورها برای بدست آوردن بیشترین مدول خمشی و استحکام خمشی بر اساس تحلیل نسبت سیگنال به نویز تعیین شد.

5- مراجع

[1] G. Reyes, U. Sharma, Modeling and damage repair of woven thermoplastic composites subjected to low velocity impact, *Composite Structures*, Vol. 92, No.2, pp. 523-531, 2010

[2] Y. Tan, X. Wang, D. Wu, Preparation, microstructures, and properties of long-glass-fiber-reinforced thermoplastic composites based on polycarbonate/poly(butylene terephthalate) alloys, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, pp. 1-17

[3] K. Oksman, A.P. Mathew, R. Långström, B. Nyström, The influence of fibre microstructure on fibre breakage and mechanical properties of natural fibre reinforced polypropylene, *Composites Science and Technology*, Vol. 69, No. 11, pp. 1847-1853, 2009

[4] Y.J. Phua, Z.A. Mohd-Ishak, Injection molded short glass and carbon fibers reinforced polycarbonate hybrid composites: Effects of fiber loading, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 29, No. 17, pp. 2592-2603, 2015

[5] R.R. Gallucci, Glass reinforced polycarbonate-polyester composition, US Patent 6,060,538, 2000

[6] V. Zal, H. Moslemi Naeini , A. R. Bahraminia, H. Abdollahi, A. H. Behravesh, Investigation of the effect of processing temperature on the elastic and viscoelastic properties of PVC/fiberglass composite laminates, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 11, pp. 9-16, 2015 (In Persian)

[7] Y. Oftadeh, M. Golzar, The investigation of the effects of Dimension's and Mold's Temperature on Bistability of PVC/Glass Fiber composites, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 4, pp. 161-167, 2017 (in Persian)

[8] C. Ozkan, N.G. Karsli, A. Aytac, V. Deniz, Short carbon fiber reinforced polycarbonate composites: Effects of different sizing materials, *Composites Part B: Engineering*, Vol.62 , No.1 , pp. 230-235, 2014

[9] Y. Tanimoto, T. Inami, M. Yamaguchi, N. Nishiyama, K, Kasai, Preparation, mechanical, and in vitro properties of glass fiber-reinforced polycarbonate composites for orthodontic application, *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, Vol. 103, No. 4, pp. 743-750, 2014

[10] N. Ranganathan, K. Oksman, S. K. Nayak, M. Sain, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 133, No. 7, pp. 42981-42992, 2016.

[11] L. Sorrentino, D. S. Vasconcellos, M. D'Auria, J. Tirillò, F. Sarasini, Flexural and low velocity impact characterization of thermoplastic composites based on PEN and high performance woven fabrics,

www.SID.ir

Archive of SID

Polymer Composites, Vol. 111, N0. 1. pp. 100-105, 2017

[12] S.Wang,, J. Zhang, Z. Zhou, G. Fang, Y. Wang, Compressive and flexural behavior of carbon fiber-reinforced PPS composites at elevated temperature, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, Vo1. 100, No. 1, pp. 1-9

www.SID.ir