



تحلیل تجربی انقباض در قالبگیری تزریقی دیسک نازک با جریان شعاعی

هادی زمانی^۱، امیر باقری^۲، کریم شلش نژاد^{۳*}

۱، ۲ - کارشناس ارشد، گروه ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

۳ - استادیار، گروه ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، shelesh-nezhad@tabrizu.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، اثر متغیرهای کنترلی فرایند قالبگیری بر انقباض دیسک نازک با مجرای تزریق مرکزی بطور تجربی مطالعه گردید. بدین منظور محفظه اینسرتی با شعاع ۱۶۶.۱۲ و ضخامت ۰.۸۷ میلیمتر برای قالب ساخته شد. برای انجام آزمایشات و تحلیل نتایج از طرح آزمایش L18 تاگوچی و آنالیز واریانس استفاده گردید. در طی آزمایشات، نیروی اعمال شده از مذاب به دو پین پیران در محفظه قالب بر حسب زمان اندازه گیری شد. در این تحقیق، انقباض محصول در دو جهت ضخامت و شعاع مورد مطالعه قرار گرفت. در تمام آزمایشات، در نواحی نزدیک به مجرای تزریق، نه تنها انقباض رخ نداد بلکه افزایش ضخامت مشاهده گردید. تحلیل نمودارهای نیرو - زمان نشان داد که فشار اعمالی از مواد به حسگر نیرو در درون محفظه و در نواحی نزدیک به مجرای تزریق تا لحظه باز شدن قالب ادامه می یابد. این میتواند به دلیل تراکم بیش از حد مواد در نواحی نزدیک به مجرای تزریق باشد. تحت این شرایط، پس از باز شدن قالب، بدلیل خاصیت ویسکوالاستیک مواد پلاستیک، ضخامت محصول افزایش یافت. نتایج آزمایشات همچنین مشخص نمود که پارامترهای سرعت تزریق، فشار نگهداری، دمای قالب، سرعت گردش مارپیچ و فشارپشت مارپیچ به ترتیب اولویت بر انقباض شعاعی تاثیر دارند.

واژه‌های کلیدی: انقباض - جریان تزریق شعاعی - فشار مذاب در قالب - طرح آزمایش تاگوچی

۱- مقدمه

قطعات تولید شده به روش فرایند تزریق پلاستیک در معرض انقباض پس از قالبگیری می باشند. انقباض در واقع همان کاهش حجم مواد پلاستیک پس از تزریق است که به دلیل خاصیت تغییر حجم در اثر تغییر دمای مواد و تراکم پذیری مکانیکی مواد است [1]. در زمینه انقباض در قطعات نازک با مجرای تزریق مرکزی تحقیقات قابل ملاحظه ای انجام نشده است. اگرچه امروزه سیستم های نرم افزاری مدلسازی منابع درخور توجه ای در اختیار صنعت قالبگیری تزریقی قرار می دهند ولی کاربرد آنها برای اینگونه قطعات نتایج دقیقی ندارد و هنوز بکارگیری روش سعی و خطا اجتناب ناپذیر است. ارزولوم لو با استفاده از روش تاگوچی، آنالیز واریانس و نسبت سیگنال به نویز (S/N)، شرایط فرایندی را برای قالبگیری تزریقی بهینه سازی کرد، بطوریکه اعوجاج و انقباض قطعات به حداقل کاهش یافت [2]. مین با استفاده از آنالیز رویه پاسخ و طرح مرکزی مختلط، یک فرمول رگرسیونی برای بهینه سازی شرایط فرایند تزریق پلاستیک بدست آورد و نشان داد که سرعت تزریق و فشار نگهداری بیشترین تاثیر را بر انقباض دارند [3]. گیسیون اثر متغیرهای فرایندی، ضخامت محصول و طول مسیر جریان بر چگونگی انقباض محصول در تزریق هم جهت را بطور تجربی آزمایش کرد. در آن تحقیق محصولاتی به شکل پلاک از جنس پلی پروپیلن با ابعاد ۶۶.۷×۶۶.۷ و ۳۰۵×۱۰۱ میلیمتر و ضخامت های ۲، ۲.۵، ۳ و ۳.۵ میلیمتر قالبگیری شد. فشار مذاب در درون قالب در آزمایشات مختلف اندازه گیری شد و ارتباط آن با میزان انقباض بدست آمد. در تحقیق مذکور نشان داده شد، افزایش ضخامت باعث افزایش انقباض، افزایش فشار درون قالب باعث کاهش انقباض می شود [4]. هدف از این تحقیق تعیین اثر متغیرهای فرایندی و فشار درون محفظه قالب بر انقباض قطعات با ضخامت نازک در قالب گیری تزریقی با جریان شعاعی است.



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- روش تحقیق

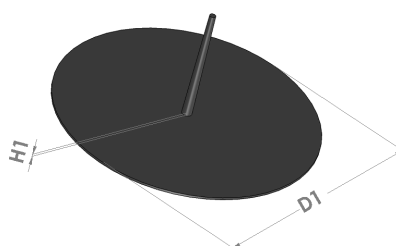
۲-۱- مواد اولیه و محصول

در این پژوهش از پلی پروپیلن همو پلیمر با نام تجاری ZH500M محصول شرکت زرشمی با مشخصات درج شده در جدول ۱ به عنوان مواد اولیه پلیمری استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات مواد اولیه پلیمری

MFR at 230 °C/2.16 kg (gr/10)	Flexural Modulus [MPa]	Notched Izod Impact 23°C [J/m]	Strength at Yield [MPa]	Elongation At Yield [%]	Vicat Point 10 N [°C]	HDT 0.46N/mm ² [°C]	Rockwell Hardness [R Scale]
9	1550	37	35	12	154	95	102

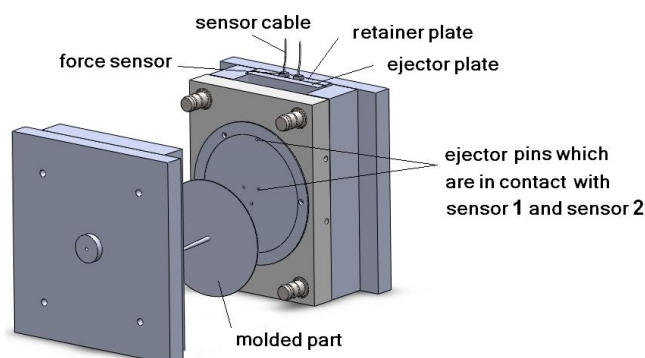
برای مطالعه انقباض، یک دیسک نازک مطابق شکل ۱ برای انجام آزمایشات انتخاب شد.



شکل ۱- نمایی از قطعه مورد آزمایش

۲-۲- تجهیزات

یک قالب برای تزریق نمونه های مورد نیاز ساخته شد. ابعاد محفظه دیسک ها شامل قطر و ضخامت به ترتیب ۱۶۶.۱۲ و ۰.۸۷ میلیمتر می باشند. شکل ۲، قالب و محل های نصب حسگر های فشار مذاب را نشان میدهد.



شکل ۲- قالب تزریق دیسک

در این تحقیق به منظور اندازه گیری و نمایش فشار مذاب پلاستیک در دو نقطه قالب از حسگر پیزو-الکتریک نوع



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

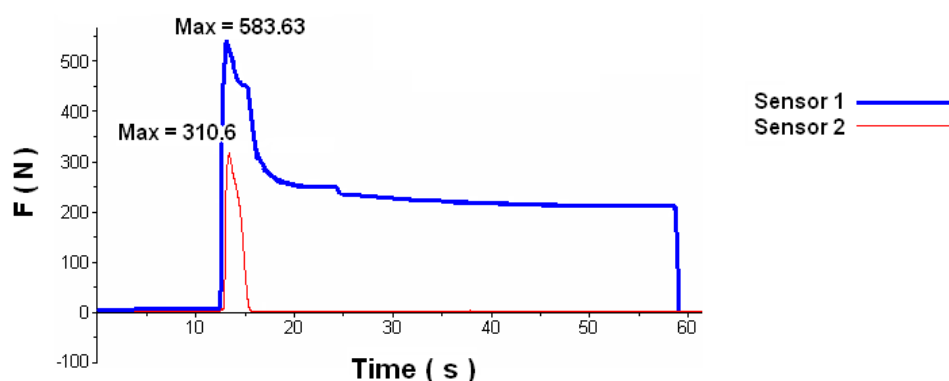
۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

از دستگاه signal conditioner نوع 2859A10 و از سیستم نرم افزاری Dataflow release 2.2، شرکت Kistler استفاده گردید. محل حسگر ها در قالب به نحوی طراحی شد که فشار مذاب پلاستیک از طریق پین پران به حسگر پیرو-الکترونیک منتقل شود. حسگر اول در مجاورت مجرای تزریق و حسگر دوم در نزدیکی انتهای مسیر جریان شعاعی مذاب قرار داده شدند. میزان نیروی اعمال شده به حسگر های موجود در قالب بر حسب زمان در یک سیکل قالبگیری در شکل ۳ نشان داده شده است. متغیرهای حداکثر نیرو، زمان رسیدن به حداکثر نیرو و سطح زیر منحنی نیرو- زمان مهمترین مشخصه های یک منحنی نیرو- زمان می باشند [5].



شکل ۳- نیروی اعمال شده به دو حسگر موجود در نقاط مختلف قالب بر حسب زمان در یک سیکل قالبگیری

از یک دستگاه پیشرفته تزریق پلاستیک مجهز به سیستم کنترل میکروپروسسوری مدل فولاد ۱۱۰/۳۸۰ با ظرفیت تزریق ۲۶۸ گرم و گیره ۱۱۰ تن به منظور قالبگیری نمونه های مورد نظر استفاده گردید. در این دستگاه قطر ماریچ ۴۵ میلیمتر، نسبت طول به قطر ماریچ ۲۰ و تعداد هیترا در امتداد سیلندر و نازل ۸ عدد می باشد. برای اندازه گیری انقباض قطعات از یک دستگاه اندازه گیری انیورسال 828 NE MAHR آلمان و کولیس دیجیتال بترتیب با دقت یک ده هزارم و یک صدم میلیمتر استفاده گردید. شکل ۴ روش اندازه گیری انقباض در نمونه ها را نشان میدهد. محل سنسورها روی قطعات قالبگیری شده به عنوان مبنای اندازه گیری انقباض در جهت ضخامت در نظر گرفته شد.



شکل ۴- اندازه گیری انقباض در جهت ضخامت با استفاده از دستگاه اندازه گیری انیورسال 828 NE MAHR



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲-۳ - طراحی آزمایشات

در این پژوهش برای تحلیل انقباض و تعیین اثر متغیر های قالبگیری بر انقباض، پنج پارامتر تنظیمی قالبگیری در دو و سه سطح مطابق جدول ۲ انتخاب شد و از طرح L18 تاگوچی مطابق جدول ۳ برای طراحی آزمایشات استفاده گردید.

جدول ۲- سطوح انتخاب شده برای پارامترهای تنظیمی

عوامل	واحد	سطح 1	سطح 2	سطح 3
A فشار پشت ماریچ	MPa	6.35	12.7	-
B دمای قالب	°C	35	42	50
C سرعت تزریق	mm/S	42.3	47	56.4
D فشارنگهداری	MPa	27.94	38.1	50.8
E سرعت گردش ماریچ	rpm	54	81	108

جدول ۳- طرح L18 تاگوچی

حالت	A	B	C	D	E
L1	1	1	1	1	1
L2	1	1	2	2	2
L3	1	1	3	3	3
L4	1	2	1	1	2
L5	1	2	2	2	3
L6	1	2	3	3	1
L7	1	3	1	2	1
L8	1	3	2	3	2
L9	1	3	3	1	3
L10	2	1	1	3	3
L11	2	1	2	1	1
L12	2	1	3	2	2
L13	2	2	1	2	3
L14	2	2	2	3	1
L15	2	2	3	1	2
L16	2	3	1	3	2
L17	2	3	2	1	3
L18	2	3	3	2	1

۳ - نتایج و بحث

۳-۱- نتایج اندازه گیری انقباض شعاعی

آزمایشات بر اساس جداول ۲ و ۳ انجام شد. در هر آزمایش تحت شرایط تنظیمی مشخص ۴ نمونه قالبگیری شد و انقباض شعاعی نمونه های قالبگیری شده پس از یک هفته اندازه گیری و در جدول ۴ درج گردید. با استفاده از داده های مندرج در جدول ۴، اثر سطوح هر پارامتر بر نسبت سیگنال به نویز (S / N) انقباض شعاعی تعیین و مطابق جدول ۵ و شکل ۴ ترسیم شد. از نسبت استاندارد کوچکتر - بهتر در این آزمایش طبق فرمول ۱ برای نسبت سیگنال به نویز استفاده گردید [6].

$$(S / N) = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

بطوریکه n تعداد نمونه، y_i مقادیر اندازه گیری شده می باشد.



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



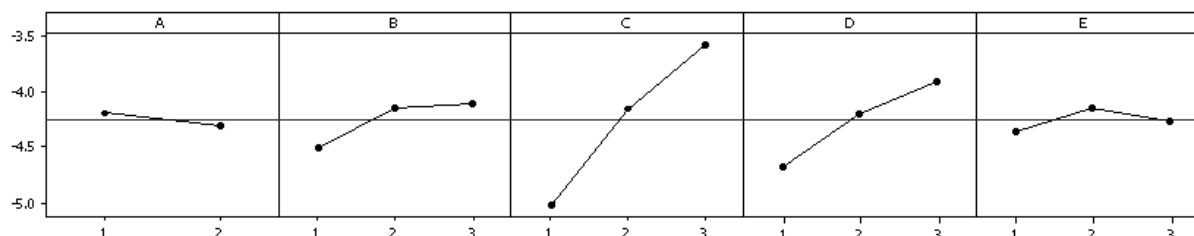
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

جدول ۴- نتایج آزمایشات انقباض شعاعی

حالت	قطعه 1		قطعه 2		قطعه 3		قطعه 4		میانگین		S/N	انحراف استاندارد
	ابعاد	درصد انقباض	ابعاد	درصد انقباض	ابعاد	درصد انقباض	ابعاد	درصد انقباض	ابعاد	درصد انقباض		
L1	81.5	1.878	81.47	1.914	81.48	1.902	81.49	1.89	81.49	1.896	-5.558	0.0155
L2	81.72	1.613	81.73	1.601	81.72	1.613	81.71	1.625	81.72	1.613	-4.154	0.0098
L3	81.86	1.445	81.85	1.457	81.84	1.469	81.87	1.433	81.86	1.451	-3.232	0.0155
L4	81.56	1.806	81.56	1.806	81.54	1.83	81.55	1.818	81.55	1.815	-5.177	0.0115
L5	81.71	1.625	81.72	1.613	81.72	1.613	81.7	1.637	81.71	1.622	-4.203	0.0115
L6	81.86	1.445	81.88	1.421	81.89	1.409	81.87	1.433	81.88	1.427	-3.087	0.0155
L7	81.59	1.770	81.58	1.782	81.57	1.794	81.58	1.782	81.58	1.782	-5.017	0.0098
L8	81.82	1.493	81.83	1.481	81.81	1.505	81.84	1.469	81.83	1.487	-3.446	0.0155
L9	81.76	1.565	81.75	1.577	81.78	1.541	81.77	1.553	81.77	1.559	-3.858	0.0155
L10	81.52	1.854	81.50	1.878	81.51	1.866	81.49	1.89	81.51	1.872	-5.447	0.0155
L11	81.57	1.794	81.56	1.806	81.58	1.782	81.55	1.818	81.57	1.800	-5.105	0.0155
L12	81.81	1.505	81.80	1.517	81.81	1.505	81.79	1.529	81.8	1.514	-3.603	0.0115
L13	81.67	1.673	81.66	1.686	81.65	1.698	81.64	1.710	81.66	1.692	-4.566	0.0155
L14	81.8	1.517	81.77	1.553	81.78	1.541	81.77	1.553	81.78	1.541	-3.757	0.0170
L15	81.73	1.601	81.72	1.613	81.73	1.601	81.74	1.589	81.73	1.601	-4.089	0.0098
L16	81.7	1.637	81.67	1.673	81.66	1.686	81.68	1.661	81.68	1.664	-4.426	0.0206
L17	81.69	1.649	81.71	1.625	81.72	1.613	81.7	1.637	81.71	1.631	-4.251	0.0155
L18	81.79	1.529	81.81	1.505	81.8	1.517	81.81	1.505	81.8	1.514	-3.603	0.0115

جدول ۵- میزان تاثیر سطوح هر پارامتر بر نسبت S/N انقباض شعاعی

سطح	A	B	C	D	E
1	-4.193	-4.517	-5.032	-4.673	-4.354
2	-4.316	-4.147	-4.153	-4.191	-4.149
3	---	-4.100	-3.579	-3.899	-4.260
اختلاف	0.124	0.416	1.453	0.774	0.205
رتبه	5	3	1	2	4



شکل ۴- نمودار اثر سطوح متغیرها بر میزان اعوجاج در قطعات قالبگیری شده



مطابق جدول ۵ و شکل ۴ بترتیب پارامترهای سرعت تزریق، فشار نگهداری، دمای قالب، سرعت گردش ماریپیچ و فشار پشت ماریپیچ بیشترین اثر را بر نسبت S/N انقباض شعاعی دارند. با افزایش سرعت تزریق، دمای قالب و فشار نگهداری نسبت S/N افزایش می یابد که این به معنی کاهش انقباض شعاعی می باشد. پارامتر سرعت گردش ماریپیچ اثر دو گانه ای بر انقباض شعاعی داشت بطوریکه افزایش سطح این پارامتر از یک به دو سبب افزایش نسبت S/N و از سطح دو به سه سبب کاهش نسبت S/N شده است. سطوح بهینه حاصل از آزمایش عبارتند از E2, D3, C3, B3, A1.

با استفاده از جدول واریانس ۶ و با توجه به درجه آزادی و درجه خطای پارامترها و مقادیر به دست آمده از آزمون F می توان بیان کرد که پارامترهای سرعت تزریق و فشار نگهداری هر دو در سطح اعتماد ۹۹٪ و دمای قالب در سطح اعتماد ۹۰٪ معنی دار هستند ($F_{0.01, 2, 8} = 8.63$ و $F_{0.1, 2, 8} = 3.11$) [7]. معنی دار بودن این پارامترها در جدول تحلیل واریانس بدان معنی است که پارامترهای فوق در حد بسیار بالایی بر نسبت S/N انقباض شعاعی تاثیر می گذارند. بیشترین درصد مشارکت مربوط به پارامتر سرعت تزریق و فشار نگهداری بترتیب با ۶۵.۸۲٪، ۱۸.۷۸٪ می باشد.

جدول ۶. آنالیز واریانس نسبت S/N انقباض شعاعی

پارامتر	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	نسبت F	درصد مشارکت
A	1	0.0689	0.0689	0.81	0.7
B	2	0.6249	0.3125	3.69	6.4
C	2	6.4302	3.2151	37.92	65.82
D	2	1.8337	0.9169	10.82	18.78
E	2	0.1266	0.0633	0.75	1.3
خطا	8	0.6782	0.0848	----	----
کل	17	9.7626	----	----	----
S = 0.291164		R-Sq = 93.05%		R-Sq(adj) = 85.24%	

۳-۲ - نتایج اندازه گیری انقباض در جهت ضخامت

برای مطالعه انقباض دیسک در امتداد ضخامت آن، اختلاف ابعادی قطعه با محفظه در دو نقطه از دیسک در امتداد شعاع و در فواصل نزدیک و دور از گیت اندازه گیری شد و در جدول ۷ درج گردید. نتایج اندازه گیری و مقایسه نمودار حداکثر نیرو، اطلاعات ارزشمند و غیر منتظره ای در اختیار ما قرار داد.

جدول ۷. نتایج آزمایشات انقباض در ضخامت

حالت	سنسور نزدیک به گیت		سنسور دور از گیت	
	-	+	-	+
L1	-	0.009	0.047	-
L2	-	0.024	0.012	-
L3	-	0.014	-	0.025
L4	-	0.038	0.035	-
L5	-	0.018	0.006	-
L6	-	0.069	-	0.03
L7	-	0.027	0.02	-
L8	-	0.052	-	0.017
L9	-	0.084	-	0.046
L10	-	0.049	0.051	-
L11	-	0.058	-	0.008
L12	-	0.076	-	0.041
L13	-	0.031	0.04	-
L14	-	0.072	-	0.001
L15	-	0.094	-	0.049
L16	-	0.042	0.026	-
L17	-	0.063	-	0.013
L18	-	0.09	-	0.034

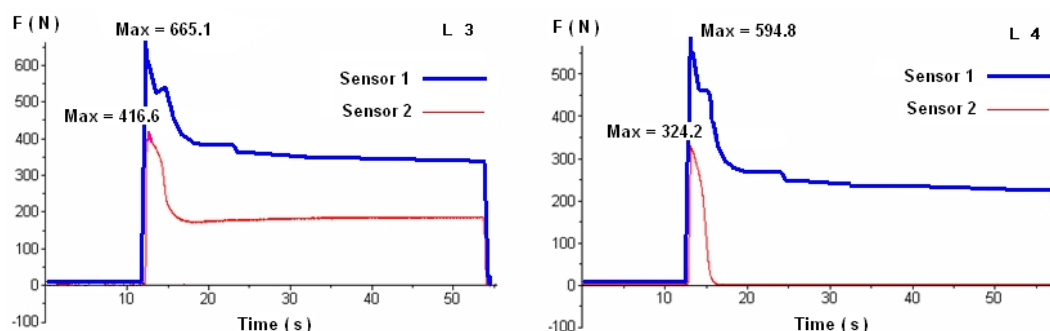


۳-۳ - ارتباط بین انقباض محصول و تغییرات فشار در دو نقطه از محفظه قالب

در این مرحله امکان ارتباط بین انقباض قطعه قالبگیری شده و اختلاف فشار مذاب در دو نقطه از قالب در امتداد شعاع دیسک مطالعه شد. در جدول ۸، نیروی اعمال شده تحت فشار مذاب به پین های پران در دو موقعیت متفاوت از محفظه قالب و اختلاف آن دو نیرو را برای ۱۸ آزمایش نشان داده شده است. شکل ۵ نمودارهای حداکثر نیرو - زمان را برای آزمایشات L3 و L4 را نشان می دهد. فشار اعمال شده بر حسگر نیرو تا لحظه باز شدن دو نیمه قالب مشاهده می شود. این پدیده بدلیل تراکم بیش از حد مواد (Over packing) می باشد. وجود خاصیت ویسکوالاستیک در مواد پلاستیک عاملی است که سبب می شود که بعد از خروج دیسک از قالب و برداشته شدن فشار، قطعه به جای انقباض، تحت تاثیر پدیده Over packing بوجود آمده دوچار تورم شود [8]. در سطح L14 از طرح آزمایشی تاگوچی مقدار تورم و انقباض از نظر کمی برابر شده اند و بنابراین ضخامت قطعه با عمق محفظه یکسان است. بیشترین افزایش ضخامت و انقباض به ترتیب مربوط به آزمایش L15 با ۰.۰۴۹ میلیمتر تورم و آزمایش L10 با ۰.۰۵۱ میلیمتر انقباض است. ابعاد محفظه در نقاط دور و نزدیک از مجرای تزریق به ترتیب برابر ۰.۸۷۱ و ۰.۸۷۳ میلیمتر می باشند.

جدول ۸. نیروی اعمال شده تحت فشار مذاب به پین های پران در دو موقعیت متفاوت از محفظه قالب

حالت	سنسور ۱				سنسور ۲				میانگین ۲	
	قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳	قطعه ۴	میانگین ۱	قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳		قطعه ۴
L1	555.2	554.4	553.3	563.1	556.50	226.2	225.2	208.2	209.1	217.17
L2	581.0	594.8	581.6	583.6	585.25	301.5	324.2	305.3	310.6	310.40
L3	659.9	665.1	653.9	659.8	659.67	410.1	416.6	406.3	411.0	411.00
L4	645.1	601.3	643.4	628.5	629.57	252.9	240.5	251.7	239.0	246.02
L5	588.4	576.0	575.4	584.4	581.05	329.9	314.3	315.6	324.1	320.97
L6	714.8	731.3	736.4	716.1	724.65	468.5	483.7	488.1	377.6	454.47
L7	611.6	606.2	607.7	650.5	619.00	297.9	293.8	305.8	304.3	300.45
L8	676.2	655.6	644.3	659.0	658.77	399.1	394.8	397.9	396.9	397.17
L9	748.4	746.3	748.5	741.0	746.05	510.5	508.8	507.1	499.3	506.42
L10	651.4	644.2	645.8	646.6	647.00	222.3	202.6	208.2	200.9	208.50
L11	667.6	681.8	675.4	644.7	667.37	350.1	329.1	335.4	352.0	341.65
L12	740.5	741.1	738.9	740.9	740.35	486.4	486.0	483.8	487.0	485.80
L13	621.9	639.2	638.5	593.6	623.30	202.9	231.6	237.9	222.1	223.62
L14	728.1	730.5	735.3	728.1	730.50	360.1	360.4	368.8	352.3	360.40
L15	758.9	757.9	752.6	752.1	755.37	508.8	511.4	507.1	504.5	507.95
L16	640.1	636.6	635.1	648.5	640.07	280.8	268.6	272.5	301.5	280.85
L17	714.9	731.8	705.4	723.0	718.77	368.7	390.3	363.1	385.9	377.00
L18	732.3	758.3	761.1	750.5	750.55	493.9	516.8	520.3	310.5	460.37



شکل ۵. نمودارهای حداکثر نیرو - زمان در آزمایشهای L3 و L4



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۴- نتیجه گیری

۱. پارامترهای سرعت تزریق، فشار نگهداری، دمای قالب، سرعت گردش مارپیچ و فشار پشت مارپیچ به ترتیب بیشترین اثر را بر انقباض شعاعی دارند. افزایش سرعت تزریق، دمای قالب و فشار نگهداری سبب کاهش انقباض شعاعی می گردد. سطوح بهینه حاصل از آزمایشات عبارتند از A1, B3, C3, D3, E2. پارامترهای سرعت تزریق و فشار نگهداری هر دو در سطح اعتماد ۹۹٪ و دمای قالب در سطح اعتماد ۹۰٪ معنی دار هستند.
۲. تحلیل نمودارهای نیرو - زمان نشان داد که فشار اعمالی از مواد به حسگر نیرو در درون محفظه و در نواحی نزدیک به مجرای تزریق تا لحظه باز شدن قالب ادامه می یابد. این میتواند به دلیل تراکم بیش از حد مواد در نواحی نزدیک به مجرای تزریق باشد. تحت این شرایط، پس از باز شدن قالب، بدلیل خاصیت ویسکوالاستیک مواد پلاستیک، ضخامت محصول به جای انقباض افزایش یافت.
۳. بیشترین افزایش ضخامت و انقباض به ترتیب مربوط به آزمایش L15 با ۰.۰۴۹ میلیمتر تورم و آزمایش L10 با ۰.۰۵۱ میلیمتر انقباض است.
۴. در سطح L14 از طرح آزمایشی تاگوچی مقدار تورم و انقباض از نظر کمی برابر شده اند و بنابراین ضخامت قطعه با عمق محفظه یکسان است.

مراجع

- 1- Zollner, O., 2001, The fundamentals of shrinkage of thermoplastics bayer.
- 2- Erzurumlu, T., Ozcelik, B., 2005, Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using taguchi optimization method, Materials processing technology, in press.
- 3-Min, B.H., 2003, A study on quality monitoring of injection-molded parts, materials processing technology., 136 : 1-6
- 4-Gipson P., Grelle P, Salamon B., Predicting shrinkage for polypropylene, Antec '99.1999.
- 5- Huang,M.S., 2007, Cavity pressure based grey prediction of the filling-to-packing swichover point for injection molding, Materials processing technology., 183: 419-424
- 6- Unal, R., Dean, E.D., 1991, Taguchi approach to design optimization for quality and cost, Conference of the international society of parametric analyats.
- 7- Rajit, K.Roy., 2001, Design of experiments using the taguchi approach, John Wiley & sons.
- 8-Crawford,R.J., 1998, Plastic engineering, Pergamon press.