



کنترل اعوجاج قطعات در فرایند قالب‌گیری تزریق پلاستیک به کمک بررسی شبیه‌سازی تفاوت دمای خنک کار در سنبه و ماتریس

محمد کوچکی¹، احسان سوری^{2*}

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک-ساخت و تولید، دانشگاه اراک، اراک

2- استادیار، مهندسی مکانیک-ساخت و تولید، دانشگاه اراک، اراک

* شهر، صندوق پستی 38156-879، e-soury@araku.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 14 دی 1397

پذیرش: 20 اسفند 1397

ارائه در سایت: مهر 1398

کلیدواژگان:

تزریق پلاستیک

انقباض

اعوجاج

خنک‌کاری

اعوجاج بوجود آمده در قطعات تولید شده به روش قالب‌گیری تزریقی همواره مسئله‌ای مشکل‌ساز بوده است تا جایی که ممکن است عملکرد قطعه را تحت تأثیر قرار داده و آن را بلا استفاده سازد. عوامل مؤثر بر اعوجاج قطعات پلاستیکی تزریقی شامل سرد شدن غیریکنواخت قسمت‌های مختلف قالب، انقباض غیریکنواخت قطعه، اثرات جهت‌گیری اجزای پلیمری، و اثرات گوشه‌ها می‌باشند، که بسته به نوع قطعه اثر هر کدام نسبت به دیگر عوامل بیشتر یا کمتر خواهد بود. یکی از عوامل اصلی انقباض غیریکنواخت در قطعات، اختلاف دمای دو نیمه مختلف قالب با یکدیگر است، که می‌توان این انقباض را با نزدیک کردن دمای این نیمه‌ها به یکدیگر به حداقل رساند. پس از بررسی و پی‌بردن به علت و متغیر اصلی دخیل در اعوجاج به کمک نرم‌افزار می‌توان اقدام به بهبودی و حداقل کردن اعوجاج بوجود آمده در قطعه بوسیله بهینه‌سازی این متغیر نمود. یکی از متغیرهایی که با حداقل هزینه قابل تغییر است، دمای سیال خنک‌کار است، بنابراین در این مقاله تلاش شده‌است تا، امکان کنترل اعوجاج صرفاً به کمک تغییر این متغیر به طور کامل برای یک قطعه نمونه کاربردی کاور موس بررسی شود. برای این کار یک طراحی آزمایش به منظور بررسی دماهای میانگین و اختلاف دماهای مختلف بین دو نیمه قالب، ترتیب داده شد. مشاهده شد که اختلاف دمای دو نیمه قالب تأثیر بیشتری نسبت به دمای میانگین این دو نیمه، بر روی میزان اعوجاج قطعات دارد. با نزدیک کردن دمای دو نیمه قالب به یکدیگر میزان اعوجاج قطعات کاهش یافت.

Controlling the warpage of plastic parts in injection molding process using the variation in coolant temperature of core and cavity

Mohammad Kouchaki, Ehsan Soury*

Department of Engineering, Arak University, Arak, Iran

* P.O.B. 38156-879 Arak, Iran, e-soury@araku.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 4 January 2018
Accepted 11 March 2019
Available September 2019

Keywords:

Injection Molding
Shrinkage
Warpage
Cooling

Abstract

The warpage which has been occurred in the injected molded parts has always been a problem, as it may affect the function of the part and make it unusable. The main factors which has some effects on warpage of parts are the differential cooling, differential shrinkage, orientation effects and corner effects. According to the part each one of these effects may has the most impact on the warpage of the part. The most important reason which creates shrinkage in the parts is the difference between the temperatures of two sides of the molds (core side and cavity side), it is possible to minimize this shrinkage by decreasing this differential temperature. After a couple of analysis in Moldflow software it's been shown that the differential cooling has the most influence on warpage of the part. It is possible to control the differential cooling with the coolant temperature which inters to the cooling channels of the mold. In order to find the optimized coolant temperature for both sides of the mold to decrease warpage of the part, a DOE analysis has been prepared. It's been shown that the difference between the temperatures of the sides of the mold has much more influence than the average temperature of these sides on the warpage of the parts.

1- مقدمه

مشخصه‌هایی مانند دمای مذاب، دمای قالب، فشار تزریق، هندسه قطعه و ضخامت قطعه که می‌توانند باعث کاهش یا افزایش عیوب در قطعات تولیدی از قبیل تولید ناقص قطعات، تله‌های هوایی، خطوط جوش، انقباض¹، اعوجاج²، عدم گردی در

روش‌های مختلفی برای شکل‌دهی پلاستیک‌ها وجود دارد که فرایند تزریق پلاستیک از معمول‌ترین این روش‌هاست. فرایند تزریق پلاستیک متأثر از مشخصه‌های زیادی است که این مشخصه‌ها کیفیت قطعات تولیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

¹ Shrinkage
² Warpage

Please cite this article using:

M. Kouchaki, E. Soury, Controlling the warpage of plastic parts in injection molding process using the variation in coolant temperature of core and cavity, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 6, No. 5, pp. 39-46, 2019 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

قطعات استوانه‌ای و غیره شوند.

اکتم و همکاران در سال 2007، کاربرد تکنیک بهینه‌سازی تاگوچی به‌منظور کاهش اعوجاج به وجود آمده بر اثر تغییرات انقباض را که متأثر از پارامترهای فرایند در حین تولید قطعات پلاستیکی دیواره نازک مربوط به قطعه آرتوز⁵ را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بدین منظور تعدادی آنالیز بر روی ترکیبی از پارامترهای فرایند بر اساس آنالیز سه سطحی L9 و L27 طراحی آزمایش تاگوچی توسط نرم‌افزار مولدفلو ترتیب دادند. از نسبت S/N و آنالیز واریانس برای پیدا کردن سطوح بهینه و نیز به دست آوردن تأثیرات پارامترهای فرایند بر روی اعوجاج و انقباض به وجود آمده در نمونه‌ها استفاده کردند. آن‌ها توانستند با این کار اعوجاج و انقباض را به ترتیب حدود 2/17 درصد و 0/7 درصد بهبود دهند. یک‌راستی آزمایشی نیز به‌منظور سنجیدن مؤثر بودن طراحی آزمایش تاگوچی بعد از به دست آوردن سطوح بهینه پارامترهای فرایند ترتیب دادند. آن‌ها به این نتایج دست یافتند که بر اساس نتایج آنالیز واریانس فشار نگهداری مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر روی اعوجاج و زمان نگهداری مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر روی انقباض به وجود آمده در قطعات است [2].

اوزچلیک و ارزوروملو در سال 2006، تأثیر موقعیت گیت، الگوی پر شدن و جریان را بر روی میزان اعوجاج به‌منظور حداقل کردن میزان اعوجاج توسط نرم‌افزار مولدفلو مورد بررسی قرار داده است. آن‌ها دمای قالب، دمای تزریق، فشار نگهداری، زمان نگهداری، زمان خنک‌کاری، نوع سیستم راهگاه و موقعیت گیت را به‌عنوان متغیرهای مدل در نظر گرفتند. همچنین تأثیرات پارامترهای فرایند را بر روی قطعه پلاستیکی دیواره نازک با استفاده از طراحی آزمایش به روش تاگوچی و آنالیز المان محدود داخل نرم‌افزار مولدفلو بررسی کردند. از روش آنالیز واریانس به‌منظور یافتن مؤثرترین پارامتر تأثیرگذار بر روی اعوجاج قطعات و از شبکه عصبی برای به دست آوردن مینیمم مقدار اعوجاج استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پارامترهای دمای قالب، دمای تزریق، زمان نگهداری، زمان خنک‌کاری، نوع سیستم راهگاه و موقعیت گیت به ترتیب به میزان 33/7، 21/6، 20/5، 16/1، 5/1، 1/5 و 1/3 درصد بر روی اعوجاج قطعات تأثیر دارند. یک مدل برای پیش‌بینی میزان اعوجاج برحسب مؤثرترین پارامتر فرایند را به‌وسیله شبکه عصبی به‌منظور کاهش دادن هزینه فرایند بهینه‌سازی به دست آوردند. اعوجاج قطعات به میزان 51 درصد کاهش یافت [3].

جعفریان و شاکری در سال 2005، تأثیر پارامترهای فرایند تزریق را بر روی میزان انقباض قطعات پلاستیکی (که بر روی

اعوجاج پدیده‌ای است که در حین سرد شدن مذاب پلیمر و شکل گرفتن قطعه اتفاق می‌افتد و اعوجاج و عدم‌گردی در قطعات استوانه‌ای نیز به دلیل اثرات حرارتی، عدم کنترل سیستم خنک‌کاری و وجود انقباض‌های غیرهمسان در قطعات، اتفاق می‌افتد. هنگامی که میزان انقباض ابعادی قطعات تولیدی یکنواخت نباشد، پدیده اعوجاج و عدم‌گردی اتفاق می‌افتد. مواد پلیمری مختلف با توجه به بلوری یا بی‌شکل بودن ساختارشان دارای میزان انقباض متفاوتی هستند و مواد پلیمری با ساختار بلوری¹ یا نیمه بلوری² دارای انقباض بیشتری نسبت به مواد با ساختار بی‌شکل³ هستند. علاوه بر ساختار مواد پلیمری، مشخصه‌های بسیاری روی میزان انقباض تأثیر دارند، که این مشخصه‌ها شامل شرایط تزریق، ابعاد قطعه و برخی دیگر از عوامل می‌باشند.

در صنایع مختلفی از جمله صنایع پزشکی، صنایع اتومبیل‌سازی، صنایع لوله‌کشی و آبرسانی و غیره قطعات استوانه‌ای از جنس پلی‌پروپیلن کاربرد فراوانی دارند و پدیده‌هایی مانند انقباض و اعوجاج در اینگونه قطعات می‌توانند کیفیت ابعادی و کاربرد آنها را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین بررسی تأثیر متغیرهای مختلف از جمله شرایط تزریق، دمای مذاب، دمای قالب، سرعت چرخش مارپیچ دستگاه تزریق پلاستیک، فشار تزریق، فشار فاز تراکم، زمان فاز تراکم و زمان باز شدن قالب، هندسه و ابعاد قالب و قطعه بر روی این پدیده‌ها از اهمیت زیادی در صنعت تزریق پلاستیک و قالب‌سازی برخوردار است. در این تحقیق به بررسی اثر دمای سیال خنک‌کاری بر روی اعوجاج، که که خود متأثر از انقباض غیر یکنواخت قطعات است، پرداخته شده است.

1-1- مرور ادبیات تحقیق

چیانگ و چانگ، در سال 2006 میزان انقباض و اعوجاج در یک قطعه تزریقی جدار نازک (پوسته گوشی تلفن همراه) از جنس اکریلونیتریل بوتادین استایرن-پلی‌کربنات⁴ را با روش تحلیل واریانس بررسی کرده‌اند و طبق این تحقیق، هنگامی که دمای قالب افزایش یابد، میزان انقباض افزایش می‌یابد و در دمای قالب بین 45 تا 55 درجه سلسیوس کمترین مقدار برای اعوجاج قطعه وجود دارد [1].

¹ Crystalline

² Semi-crystalline

³ Amorphous

⁴ ABS-PC

⁵ Orthose part

سیستم خنک‌کاری را بر میزان انقباض یک محصول از جنس پلی‌استایرن مدلسازی و بررسی کرده‌اند و این نتیجه به دست آمده است که میزان انقباض قسمت‌های خارجی محصول بیشتر از قسمت‌های داخلی آن است و همچنین موقعیت کانال‌های سیستم خنک‌کاری، تأثیر زیادی روی فرایند خنک‌کاری محصول پلاستیکی دارد [7].

2- بیان مسئله، نوآوری اهداف

اعوجاج بوجود آمده در قطعات تولید شده به روش قالب‌گیری تزریقی همواره مسئله‌ای مشکل‌ساز بوده است تا جایی که ممکن است عملکرد قطعه را تحت تأثیر قرار داده و قطعه را بلااستفاده سازد. پدیده اعوجاج در قطعات پلاستیکی تزریق شده از معایب مهم بوده که با بهینه‌سازی متغیرهای فرایند مانند درجه حرارت مذاب، فشار تزریق، زمان خنک‌کاری، دمای سیال خنک‌کاری و غیره، می‌تواند به حداقل مقدار ممکن برسد. در این تحقیق، به منظور بررسی تأثیر درجه حرارت سیال خنک‌کاری بر پدیده اعوجاج، و به حداقل رساندن آن با استفاده از نرم‌افزار مولدفلو¹، فرایند تزریق پلاستیک شبیه‌سازی و تحلیل می‌شود.

در عمل مشخص شده است که با توجه به تأثیر بسیار زیاد خنک‌کاری بر میزان انقباض و در نتیجه اعوجاج بوجود آمده در قطعات پلاستیکی، دمای سیال خنک‌کار جریان یافته در قالب تزریق پلاستیک، تأثیر بسیار زیادی بر میزان اعوجاج بوجود آمده دارد. بنابراین، به منظور کاهش اعوجاج در این قطعات تا حد مجاز طراحی و مونتاژ، توجه به سیستم خنک‌کاری مناسب امری حیاتی و ضروری است.

به نظر می‌رسد که مناسب‌ترین و کم هزینه‌ترین راه کاهش اعوجاج، بدست آوردن دمای سیال خنک‌کار و هندسه‌ی بهینه‌ی کانال‌های سیال خنک‌کار به کمک نرم‌افزار مولدفلو است. مهم‌ترین دلیلی که برای این فرضیه می‌توان مطرح کرد این است که طراحی و ساخت سیستم‌های خنک‌کاری مرسوم² که در شکل 1 نشان داده شده است ساده است که موجب کاهش ابعاد و هزینه‌های ساخت قالب در این نوع سیستم‌های خنک‌کاری می‌گردد. در حالی که در روش‌های طراحی و ساخت سیستم‌های خنک‌کاری نوین قالب تزریق پلاستیک نظیر سیستم خنک‌کاری کانفورمال³، هزینه‌ی ساخت بسیار بالاست؛ چراکه در آن کانال‌های خنک‌کاری شکل کلی سنبه و یا ماتریس قالب را به خوبی دنبال کرده و پوشش می‌دهند و این کار

اعوجاج قطعات تأثیرگذار است) موردبررسی قرار دادند. آن‌ها از یک مدل ساده سطحی استفاده کرده و یک کد آنالیزی را برای این کار ترتیب دادند. پس‌از آن از طریق این کد تأثیر پارامترهای مختلف را بررسی کردند. این کد را برای پلی‌کربنات بکار برده و به‌طور هم‌زمان یک طراحی آزمایش به‌منظور یافتن تأثیرات پارامترهای مختلف بر روی انقباض را صورت دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که فشار نگهداری بیشترین تأثیر را روی انقباض در راستای سطح و ضخامت قطعه داشته و درحالی‌که دمای تزریق اولیه تأثیر خیلی کمی دارد. دمای قالب تأثیر خیلی کمی بر روی انقباض در راستای سطح، و تأثیر زیادی بر روی انقباض در راستای ضخامت دارد. سرد شدن گیت در فشار نگهداری ثابت هر دو انقباض‌ها را افزایش می‌دهد [4].

اکتم در سال 2011 مدل کردن و آنالیز تأثیرات پارامترهای فرایند بر روی انقباض را با سنجیدن و اندازه‌گیری کیفیت قطعه کاور DVD-ROM از جنس ABS موردبررسی قرارداد. اکتم برای این کار، یک مدل رگرسیون به‌منظور تعریف یک رابطه ریاضی بین پارامترهای فرایند (دمای قالب، دمای مذاب، فشار تزریق، زمان تزریق و زمان خنک‌کاری) و انقباض حجمی با استفاده از آنالیز داده‌ها، به دست آورد. ایشان آنالیزهای المان محدود با کمک آرایه (L27) تاگوچی را در نرم‌افزار مولدفلو اجرا کردند. از یک آنالیز واریانس برای بررسی کفایت مدل رگرسیون و نیز برای به دست آوردن اثرات هر یک از پارامترها بر روی انقباض استفاده کردند. مدل‌های سطح 1 و سطح 2 آنالیز واریانسی که ترتیب دادند به ترتیب درصد خطایی برابر با 3/895 درصد و 3/994 درصد را نشان داد. آزمایش‌هایی شامل چهار عدد قطعه قالب‌گیری شده کاور به‌منظور کنترل دقت مدل رگرسیون، و نیز کنترل مقادیر انقباض با مقادیر به‌دست‌آمده از آنالیزهای المان محدود در نرم‌افزار مولدفلو صورت دادند. نتایجی که به دست آوردند نشان‌دهنده تطابق خیلی خوب مدل رگرسیون با آنالیز المان محدود و آزمایش‌ها صورت گرفته بود [5].

در تحقیق دیگری اچ. اکتم در سال 2011 شرایط تزریق را برای ارزیابی مشکلات انقباض در فرایند تزریق پلاستیک یک کاور از جنس اکریلونیتریل‌بوتادین‌استایرن، مدلسازی و تحلیل کرده‌است و دیده می‌شود که برای بررسی میزان انقباض روش اجزاء محدود و تحلیل واریانس روش‌های مناسبی است و دیگر اینکه انقباض با افزایش زمان خنک‌کاری، کاهش و با افزایش فشار تزریق، افزایش می‌یابد [6].

حسن و همکاران در سال 2010 در تحقیق دیگری، تأثیر

¹ Autodesk Moldflow Insight Ultimate 2017.3 V35.0.6.0

² Conventional cooling systems

³ Conformal cooling

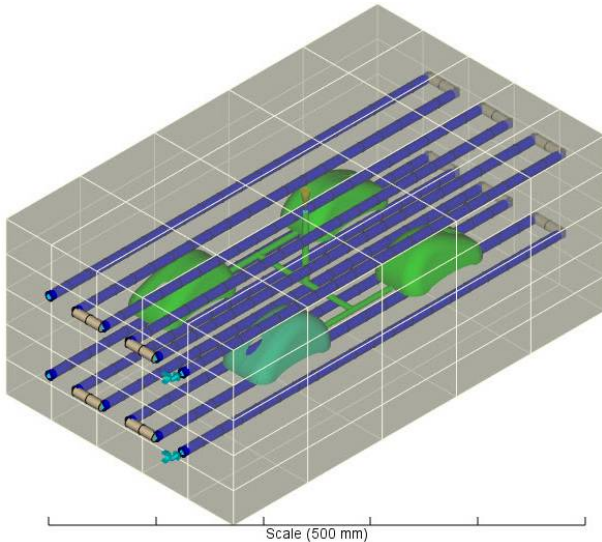


Fig. 2 Mouse cover parts, runner system, cooling channels and mold block that has been created

شکل 2 قطعات کاور موس به همراه سیستم راهگاه و کانال های راه آب و بلوک قالب

4- ارائه نتایج و بحث

در این پژوهش، از نتایج تغییر شکل به منظور بدست آوردن علل اعوجاج استفاده شده است. چهار آنالیز اعوجاج با چهار متغیر مختلف تأثیر گذار بر انقباض، نظیر، سرد شدن غیریکنواخت، انتقباض غیر یکنواخت، اثرات جهت گیری اجزای پلیمری، اثرات گوشه ها به منظور یافتن علل اعوجاج صورت گرفته است.

آنالیز اعوجاج، نمودارهای تغییر شکل برای همه ی اثرات سهیم در این تغییر شکل و نیز چهار متغیر ذکر شده را فراهم می کند. این نمودارها امکان بررسی تأثیر هر یک از متغیرهای مختلف بر روی اعوجاج و نیز مقایسه تأثیر هر یک از این متغیرها با یکدیگر و در نهایت بدست آوردن علت اعوجاج را فراهم می کنند.

شکل های 3 و 4، اثرات سرد شدن غیریکنواخت بر تغییر شکل قطعات (شکل 3- الف)، اثرات انقباض بر تغییر شکل قطعات (شکل 3- ب)، اثرات گوشه ها بر تغییر شکل قطعات (شکل 4- ج)، و اثرات جهت گیری اجزاء پلیمری بر تغییر شکل قطعات (شکل 4- د) را نشان می دهد.

همان طور که از شکل 3- الف مشخص است، و با توجه به تغییر شکل واضح صورت گرفته در قسمت دکمه های کاور موس و نواحی اطراف آن، متغیری که بیشترین تغییر شکل را در این ناحیه موجب شده است، به وضوح علت اصلی اعوجاج می باشد. که در این مورد به خصوص این متغیر سرد شدن غیریکنواخت قطعه است.

مستلزم بکارگیری دستگاه های پرینتر سه بعدی اس ال ام¹ است که هزینه های ساخت را بالا می برد.

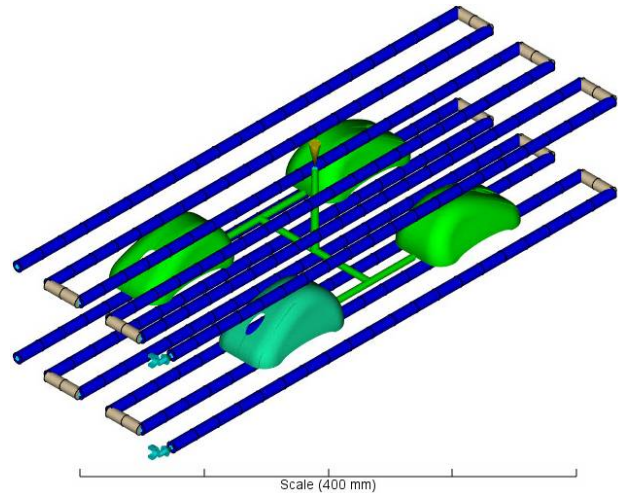


Fig. 1 Mouse cover parts, runner system and cooling channels that has been created

شکل 1 قطعات کاور موس مدل سازی شده به همراه سیستم راهگاه و کانال های راه آب قالب

3- روش تحقیق

کار با مدل سازی کاور موس و وارد کردن آن به نرم افزار مولدفلو آغاز می شود. پس از مش زنی قطعه، همان طور که در شکل 2 نشان داده شده است، با توجه به تعداد حفره های قالب که در اینجا چهار حفره است قطعه چیده شده و سپس سیستم راهگاهی² طراحی شده و مش زنی انجام می گردد (با تعداد 62890 المان مش برای هر قطعه). پس از آن سیستم راه آب قالب طراحی و برای این سیستم ورودی و خروجی تعریف می شود. ماده اولیه ای بی اس از نوع HG-173 مربوط به پتروشیمی ال جی کمیکالز³ است که در کتابخانه نرم افزار نیز مشخصات آن وجود دارد. همان طور که در شکل 2 مشخص است، با در نظر گرفتن ابعاد بلوک قالب، آن را در نرم افزار با استفاده از ابزارهای مخصوص مدل کرده و سپس در دو مرحله مش زنی انجام می شود. پس از آن متغیرهای فرایند بدین صورت تنظیم شدند: دمای مذاب 250 درجه سلسیوس، زمان باز بودن قالب 5 ثانیه، زمان بسته شدن قالب قبل از تزریق 0 ثانیه، تنظیم زمان تزریق + اتوکشی + خنک کاری 10 ثانیه. همچنین گزینه دمای قالب بر روی (Averaged within cycle) و آهنگ کنترل جریان بر روی 52.4 cm^3/s قرار گرفت.

¹ SLM (Selective Laser Melting) Technology

² Runner system

³ LG Chemicals

محورهای x و y یعنی اعوجاج در صفحه (xy) مورد نظر می باشد. با توجه به نتایج حاصله از چندین آنالیز مختلف این نتیجه حاصل شده است که نیمه سنبه قطعه خیلی گرم تر از نیمه ماتریس قطعه می باشد. این موضوع از شکل 5، که توزیع دمای میانگین قالب در نمای برش خورده را نشان می دهد، مشخص است.

بطور عملی راه حلی که برای برطرف کردن این مشکل پیشنهاد می شود این است که تا حد امکان اختلاف دمای بین قسمت سنبه و ماتریس¹ قطعه کاهش یابد، بدین صورت که یا دمای قسمت ماتریس افزایش یافته و یا از دمای قسمت سنبه کاسته شود. بدین منظور طبق جدول 1، دو آنالیز مختلف با دماهای مختلف در دو قسمت سنبه و ماتریس صورت گرفت. در این جدول، چند دمای مختلف بر اساس راه حل پیشنهادی و نیز چند آنالیز ساده تر، برای سیال خنک کار در نیمه سنبه و نیمه ماتریس در نظر گرفته می شود و دو آنالیز پیش رو طبق آنها صورت می گیرد.

در آنالیز شماره 1 دمای سیال خنک کار نیمه سنبه به مقدار 20 درجه سلسیوس کاهش یافت تا این نیمه که نسبت به نیمه ماتریس خیلی گرم تر است خنک تر شود. نتیجه حاصل از آنالیز به صورت شکل 6 نمایش داده شده است.

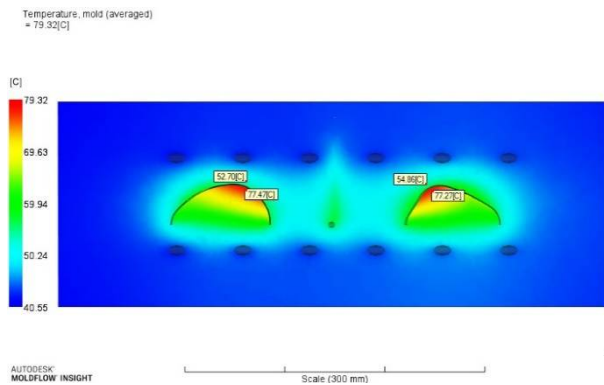


Fig. 5 Average temperature distribution in a section of the mold with the same coolant temperature in the core and cavity

شکل 5 توزیع دمای میانگین قالب در نمای برش خورده با دمای یکسان سیال خنک کاری سنبه و ماتریس

جدول 1 دمای سیال خنک کار در هر آنالیز و تأثیر آن بر روی اعوجاج

Table 1 Cooling fluid temperature in each analysis and its effect on warpage

حداکثر اعوجاج (%)	دمای ماتریس (C)	دمای سنبه (C)	
0/99	40	40	متغیر پیش فرض
0/71	40	20	آنالیز شماره 1
0/36	60	20	آنالیز شماره 2

¹ Core and cavity side

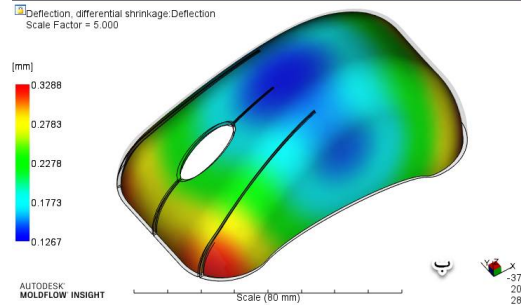
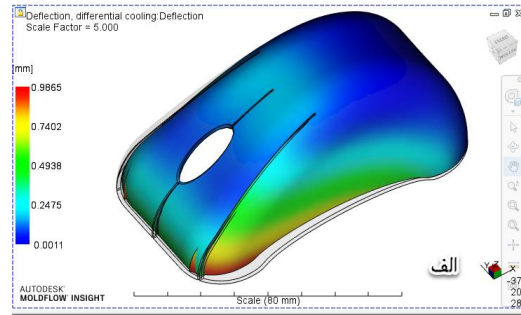


Fig. 3 Effects of differential cooling and differential shrinkage on the warpage of the parts

شکل 3 مقایسه تأثیر دو پدیده مختلف سرد شدت غیر یکنواخت و انقباض غیر یکنواخت بر روی میزان اعوجاج بوجود آمده در قطعات به کمک مدلسازی المان محدود

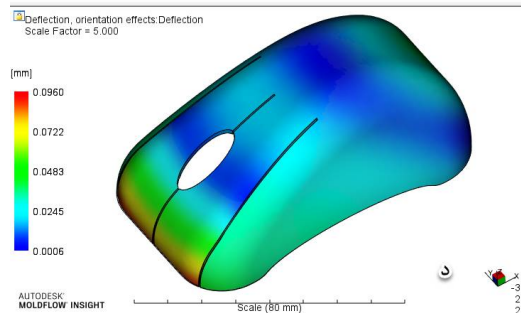
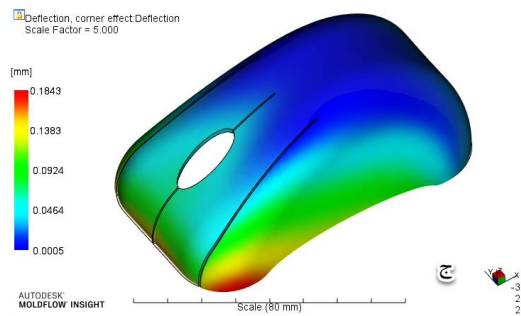


Fig. 4 Effects of corner effects and orientation effects on the warpage of the parts

شکل 4 مقایسه تأثیر دو پدیده مختلف اثرات گوشه ها و اثرات جهت گیری بر روی میزان اعوجاج بوجود آمده در قطعات به کمک مدلسازی المان محدود

علت اصلی اعوجاج در این قطعه سرد شدن غیر یکنواخت قطعه است، بدین شکل که یک طرف قطعه زودتر از طرف دیگر سرد می شود و در نتیجه باعث بوجود آمدن تغییر شکل و اعوجاج در قطعه می شود. در این قطعه اعوجاج بوجود آمده در راستای

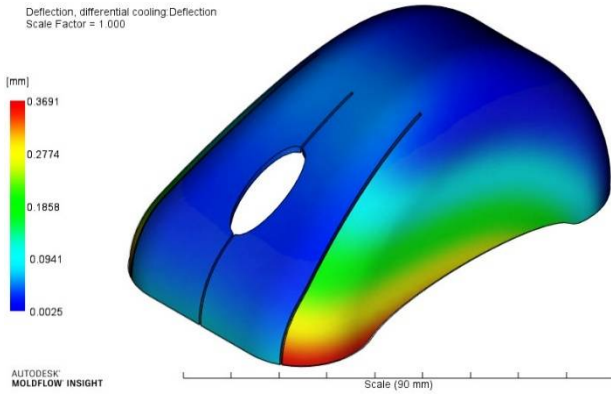


Fig. 7 The amount of warpage in the part which caused by differential cooling in analysis

شکل 7 میزان اعوجاج بوجود آمده در اثر خنک کاری غیریکنواخت در آنالیز 1

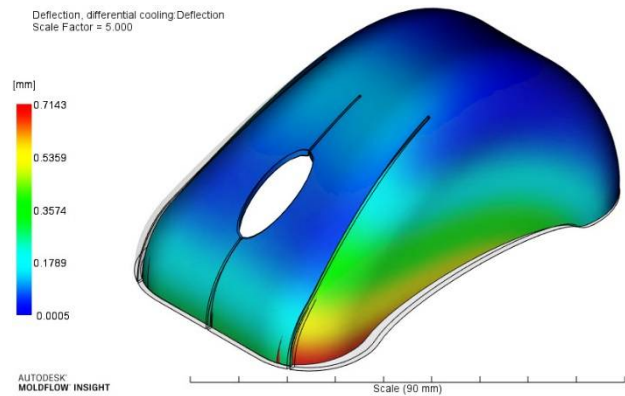


Fig. 6 The amount of warpage in the part which caused by differential cooling in analysis

شکل 6 میزان اعوجاج بوجود آمده در اثر خنک کاری غیریکنواخت در آنالیز 1

جدول 2 آزمایش های طراحی شده و نتایج حاصل از آنالیز

Table 2 Designed tests and results of analysis

شماره آزمایش	دمای میانگین (c)	محدوده دمایی (c)	حداکثر اعوجاج (%)
1	50	30	0/1233
2	40	20	0/3690
3	50	10	0/6720
4	60	10	0/5894
5	60	30	0/1121
6	60	20	0/3216
7	50	20	0/3667
8	40	30	0/1268
9	40	10	0/6708

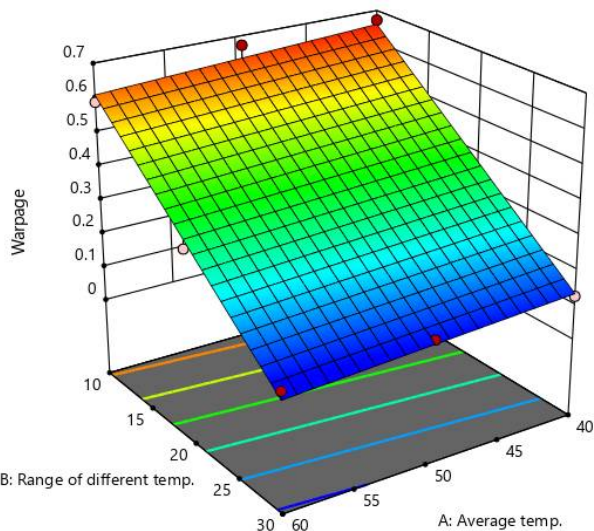


Fig. 8 Differential warpages in compare with average temperatures and range of different temperatures

شکل 8 نمودار تغییرات اعوجاج نسبت به متغیرهای دمای میانگین سیال خنک کار و اختلاف دمای بین سیال ورودی به کانال های خنک کار

با توجه به شکل 5 مشخص است که میزان اعوجاج کاهش یافته است. این روند ادامه داده می شود و برای نزدیک کردن دمای بین نیمه سنبه و نیمه ماتریس، دمای نیمه ماتریس 20 درجه افزایش داده می شود. نتیجه حاصل از این آنالیز در شکل 7 نمایش داده شده است. همان طور که در این شکل نشان داده شده است، مقدار اعوجاج به شکل قابل ملاحظه ای کاهش پیدا کرده است. پس می توان نتیجه گرفت که احتمالاً راه حل پیشنهادی صحیح و قابل پیاده سازی است.

به منظور بدست آوردن دمای بهینه سیال ورودی به کانال ها و محدوده دمای بین سیال ورودی به کانال های نیمه سنبه و نیمه ماتریس قالب، طراحی آزمایش به روش فاکتوریل کامل¹ صورت پذیرفت. در این طراحی آزمایش دو متغیر دمای میانگین سیال ورودی و اختلاف دمای بین سیال ورودی دو کانال به عنوان دو متغیر مختلف در نظر گرفته شدند. که هر کدام از این متغیرها خود دارای سه مقدار مختلف است که به عنوان سطوح آن متغیرها تعریف می شوند. بدین صورت 9 آزمایش به صورت جدول 2 برای بدست آوردن حالت بهینه تنظیم شد. هر یک از این حالات در نرم افزار مولدفلو شبیه سازی شده و پس از آنالیز، نتایج حاصل در همین جدول وارد شدند.

شکل 8 نتایج حاصل از بهینه سازی داده های ورودی به کمک نرم افزار دیزاین اکسپرت² را نشان می دهد. همان طور که از این نمودار مشخص است، بهینه ترین حالت ممکن زمانی اتفاق می افتد که دمای میانگین سیال ورودی 60 درجه و محدوده دمای سیال بین دو کانال 30 درجه سلسیوس باشند.

¹ Full factorial
² Design Expert

همچنین با توجه به توزیع دمای دو نیمه قالب در شکل های 9 و 5، اختلاف دمای بین نیمه سنبه قالب و نیمه ماتریس قالب تقریباً از 25 درجه به 6 درجه سلسیوس کاهش یافته است.

5- نتیجه گیری

اعوجاج¹ پدید آمده در قطعات تولید شده به روش تزریقی را می توان به کمک نرم افزار بررسی کرده و به علت و متغیر اصلی دخیل در آن پی برد و پس از آن اقدام به بهبود، بهینه سازی و حداقل کردن اعوجاج بوجود آمده در این قطعات نمود. در این تحقیق متغیر اصلی بررسی شده برای کاهش اعوجاج در قطعه، خنک کاری غیریکنواخت قطعه است.

با توجه به اختلاف دمای زیاد بین نیمه سنبه² و نیمه ماتریس³ قالب، با تغییر دمای سیال خنک کار این دو نیمه سعی شد که دمای این دو نیمه به یکدیگر نزدیک تر شوند. برای بدست آوردن دمای بهینه سیال ورودی به کانال ها یک طراحی آزمایش به روش فاکتوریل کامل، صورت پذیرفت. دمای سیال خنک کار نیمه سنبه 20 درجه و دمای سیال خنک کار نیمه ماتریس قالب 80 درجه سلسیوس بدست آمد. این تغییر دما در سیال خنک کاری باعث به حداقل رسیدن میزان اعوجاج به میزان قابل قبولی شد. نزدیک کردن دمای سیال دو نیمه سنبه و ماتریس به یکدیگر می تواند باعث کاهش اختلاف دمای دو نیمه قطعه و در نتیجه کاهش میزان انقباض غیریکنواخت⁴ قطعه شد. باید توجه داشت که این انقباض غیریکنواخت در قطعات است که باعث بوجود آمدن اعوجاج در قطعه می شود.

از نتایج این مطالعه مشخص شد که تأثیر اختلاف دمای سیال ورودی بر میزان اعوجاج بوجود آمده در قطعات خیلی بیشتر از تأثیر دمای میانگین سیال بر روی این اعوجاج است. بطوری که صرف نظر از اینکه دمای میانگین سیال خنک کار چقدر باشد، محدوده دمای بین سیال خنک کار ورودی به کانال ها تعیین کننده میزان اعوجاج بوجود آمده در قطعات است.

6- مراجع

- [1] Chiang, K.-T. and F.-P.J.T.I.J.o.A.M.T. Chang, Analysis of shrinkage and warpage in an injection-molded part with a thin shell feature using the response surface methodology, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,

همان طور که از شکل 8 مشخص است، با افزایش دمای میانگین سیال و نیز با افزایش محدوده دمایی سیال ورودی به کانال ها، نمودار به حداقل مقدار خود یعنی حداقل مقدار اعوجاج ممکن که با رنگ آبی نشان داده شده است، می رسد. هرچه محدوده دمای سیال ورودی به کانال ها افزایش یابد نمودار با شیب بیشتری کاهش می یابد، می توان نتیجه گرفت که این متغیر روی میزان اعوجاج تأثیر زیادی دارد. هرچقدر دمای میانگین سیال ورودی به کانال ها افزایش یابد، نمودار با شیب خیلی کمی کاهش می یابد، یعنی دمای میانگین سیال ورودی به کانال ها تأثیر خیلی کمی بر روی میزان اعوجاج دارد.

به علت تأثیر کم دمای میانگین سیال بر میزان اعوجاج و تلاش برای عدم نیاز به سیال های دیگری همچون روغن و تجهیزات مجزای مربوط به آن که هزینه تولید را بالا می برند، دمای میانگین سیال 50 درجه و محدوده دمایی سیال ورودی به کانال ها 30 درجه سلسیوس انتخاب می شود. یعنی برای به حداقل رساندن میزان اعوجاج، بایستی دمای سیال ورودی به کانال نیمه سنبه قالب بر روی 20 درجه و دمای سیال ورودی به کانال نیمه ماتریس قالب بر روی 80 درجه تنظیم شوند. در نتیجه میزان حداکثر اعوجاج 0/1233 میلی متر می شود. این مقدار حداقل مقدار اعوجاج بوجود آمده در قطعات است.

همان طور که در شکل 9 نشان داده شده است، اختلاف دمای بین نیمه سنبه و نیمه ماتریس قالب نسبت به حالتی که دمای سیال خنک کاری این دو نیمه یکسان بود (شکل 5)، کاهش یافته است. توزیع دمای میانگین نیمه سنبه قالب از 79 درجه به 72 درجه سلسیوس کاهش یافته و توزیع دمای نیمه ماتریس قالب از 54 درجه به 63 درجه سلسیوس افزایش یافته است.

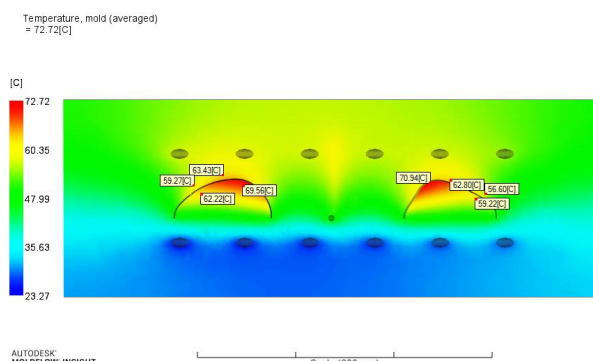


Fig. 9 Average temperature distribution in a section of the mold with the optimized coolant temperature in the core and cavity

شکل 9 توزیع دمای میانگین قالب در نمای برش خورده با دمای سیال خنک کاری بهینه سنبه و ماتریس

¹ Warpage

² Core side

³ Cavity side

⁴ Differential shrinkage

- [5] Öktem, H.J.T.I.J.o.A.M.T., Optimum process conditions on shrinkage of an injected-molded part of DVD-ROM cover using Taguchi robust method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 61, No. 5-8, pp. 519-528, 2012.
- [6] Öktem, H.J.J.o.m.e. and performance, Modeling and analysis of process parameters for evaluating shrinkage problems during plastic injection molding of a DVD-ROM cover, *Journal of Materials Engineering Performance*, Vol. 21, No. 1, pp. 25-32, 2012.
- [7] Hassan, H., et al., Modeling the effect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection molding, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, No. 13, pp. 1547-1557, 2010.
- Vol. 35, No. 5-6, pp. 468-479, 2007.
- [2] Oktem, H., T. Erzurumlu, and I. Uzman, Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part, *Materials & Design*, Vol. 28, No. 4, pp. 1271-1278, 2007.
- [3] Ozcelik, B. and T. Erzurumlu, Comparison of the warpage optimization in the plastic injection molding using ANOVA, neural network model and genetic algorithm, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 171, No. 3, pp. 437-445, 2006.
- [4] Jafarian, A. and M.J.A.J.o.A.S. Shakeri, Investigating the Influence of Different Process Parameters on Shrinkage of Injection-Molded Parts, Vol. 2, No. 3, pp. 688-700, 2005.