

بررسی تأثیر پارامترهای تزریق، موقعیت و شکل دریچه تزریق بر دقت ابعادی قطعه پلاستیکی تزریقی

پیمان شاهی^۱، امیر حسین بهروش^۲، بهروز آرزو^۳ و مهدی محمودی^۴
peyman_shahi@modares.ac.ir

چکیده

فرآیند تزریق پلاستیک به طور گسترده ای برای تولید قطعات پلاستیکی استفاده می شود و امکان پیش بینی و کاهش اعوجاج در این فرآیند قبل از تولید مهم می باشد. در این مقاله از نرم افزار Moldflow برای بهینه سازی فرآیند تزریق و با هدف کاستن میزان اعوجاج در یک قطعه حساس و دقیق استفاده شده است. پارامترهای دمایی قالب، دمایی مذاب، زمان تزریق، فشار و زمان نگهداری به عنوان پارامترهای فرآیند متغیر و پارامترهای موقعیت و شکل دریچه تزریق به عنوان پارامترهای طراحی در نظر گرفته شده اند. نتایج نشان دهنده لزوم بهینه سازی پارامترهای فرآیند برای کاستن میزان اعوجاج و همچنین تأثیر قابل توجه شکل دریچه تزریق و بخصوص موقعیت آن بر اعوجاج می باشد. علاوه بر این، نتایج شبیه سازی نشان دهنده این است که این نرم افزار با وجود توانمندی در پیش بینی دقیق اعوجاج، رفتار ویسکوالاستیک ماده پلاستیکی را در فرآیند در نظر نمی گیرد.

کلیدواژه:

فرآیند تزریق پلاستیک - اعوجاج - شبیه سازی عددی - نرم افزار Moldflow - دریچه تزریق - بهینه سازی پارامترهای فرآیند

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار ساخت و تولید دانشگاه صنعتی شریف

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

۱- مقدمه

با این وجود در برخی قطعات با توجه به کاربرد و به منظور کاهش اعوجاج، موقعیت گیت دیگری در نظر گرفته می شود که حتی المقدور اصول فوق را نیز ارضا کند.

در این بین نقش شبیه سازی عددی و تحلیل نرم افزاری به عنوان ابزاری در کاهش هزینه ها و همچنین کاهش عملیات سعی و خطا که امری رایج در صنعت تولید قطعات پلاستیکی می باشد، حائز اهمیت است [۱] و [۳].

۲- تاریخچه

اعوجاج در فرآیند تزریق پلاستیک که به طور گسترده برای تولید قطعات پلاستیکی استفاده می شود، از مهم ترین عیوب تولیدی به ویژه در قطعات با ضخامت کم می باشد و امکان پیش بینی و کنترل آن قبل از ساخت و صرف هزینه، همواره از موضوعات مورد توجه بوده است. تحقیقات گسترده ای در این زمینه صورت گرفته است. Matsouka اعوجاج را برای یک قطعه مربعی از روی اختلاف دمایی بین سطوح بالایی و پایینی، تنش برشی ناشی از جریان، انقباض و خواص غیر یکنواخت ماده ناشی از جهت گیری الیاف پیش بینی کرد. نتایج شبیه سازی تطابق خوبی با نتایج عملی برای یک قطعه مربعی داشت [۷]. Stokes و Bushko به بررسی اثر دمای قالب و مذاب، فشار نگهداری و ضخامت دیواره بر روی انقباض و تنش های پسماند پرداختند. فشار نگهداری به عنوان مهم ترین پارامتر تأثیر گذار بر روی انقباض تعیین شده است که افزایش آن موجب کاهش انقباض در دو راستای صفحه ای و نیز راستای ضخامت می گردد. میزان تأثیر پارامترهای دمای قالب و مذاب نیز کمتر بیان شده است [۸].

Leo و Cuveliez اثر پارامترهای زمان و فشار نگهداری و هندسه دریچه تزریق را بر روی ابعاد نهایی به روش تجربی بررسی کرد. نتایج حاکی از انقباض کمتر قطعات با دریچه تزریق باریک تر در شرایط فرآیندی ثابت دیگر بود. وی بیان کرد که انقباض متقارن در تولید قطعه با دریچه ضخیم دست نیافتنی است [۹]. Jansen و Titomanlio با در نظر گرفتن یک مدل الاستیک ساده به بررسی میزان انقباض در قطعه نهایی و توزیع تنش های پسماند پرداختند و از این طریق تحلیلی نشان دادند که مدت زمان نگهداری فشار بیشتر، منجر به انقباض کمتر می شود [۱۰]. Tsaur و Chang شبیه سازی تئوری و نتایج تجربی خود را در انقباض، اعوجاج و مکش در قطعات تزریقی نیمه کریستالی بیان کردند. نتایج آن ها شامل بررسی بر روی سیستم خنک کاری قالب، مراحل فرآیند تزریق، خصوصیات ویسکو الاستیک، میزان کریستاله شدن و PVT ماده بود. نتایج حاکی از تطابق کمی و کیفی بین نتایج تجربی و تحلیلی

موقعیت محل تزریق از پارامترهای مهم و موثر در کیفیت نهایی قطعه است. در انتخاب محل دریچه بایستی اصولی را در نظر گرفت تا اینکه در حد امکان فرآیند تزریق بهینه و قطعه تزریقی عاری از عیوب داشته باشیم.

از جمله مهمترین مواردی که حتی المقدور در انتخاب و طراحی محل و دریچه تزریق بایستی در نظر گرفت عبارتست از:

- در نظر گرفتن تغییرات ضخامتی قطعه به گونه ای که گیت به دور از بخش های با ضخامت کم قرار داده شود تا عمل فشردن قسمت های ضخیم با مشکل مواجه نشود و موجب تشدید عیوب انقباض، اعوجاج، مکش و تخلخل نشود.
- در نظر گرفتن اثر موقعیت دریچه تزریق بر شکل گیری و موقعیت خط جوش که جنبه استحکامی و ظاهری دارد.
- اثر گذاری محل گیت بر الگوی جریان چرا که جهت گیری مواد ناشی از جریان یکی از مسائل مهم تأثیر گذار بر انقباض نامتقارن، ایجاد تنش های پسماند و اعوجاج قطعه می باشد.
- در نظر گرفتن طول جریان عبوری از رانر ها و حفره قطعه چرا که طول جریان فشار لازم برای پر کردن قالب را تعیین می کند و متأثر از محل گیت، قطر راهگاه ها و ضخامت قطعه می باشد.
- اثر گذاری بر روی نیروی گیره بندی به گونه ای که افزایش طول جریان و قرار دادن دریچه تزریق در نواحی با سطح تصویر شده بزرگ و یا قرار دادن گیت در نواحی که منجر به نامتوازن بودن جریان مواد در حفره قالب شود، نیروی گیره بندی را افزایش می دهد.
- اثر گذاری بر Venting قالب چرا که الگوی جریان مناطق مورد نیاز برای Venting را مشخص می کند.
- اثر گذاری بر وقوع یا عدم وقوع Jetting حین تزریق ماده به حفره قالب
- در نظر گرفتن تأثیر محل گیت بر استحکام و ظاهر محل دریچه تزریق با توجه به مشکلات ظاهری و تنش های پسماند بالایی که در محل دریچه تزریق ممکن است وجود داشته باشد.
- در نظر گرفتن محدودیت های سیستم راهگاهی، نوع قالب، موقعیت گیت و ماده [۱] و [۲] و [۴].

نیز پیچیدگی فرآیند امری مشکل است و پیش بینی اعوجاج نیز به تبع آن امری پیچیده خواهد بود [۵ و ۲].
لذا در این بین تحلیل نرم افزاری در این بین جهت ممکن ساختن و یا تسریع پیش بینی اعوجاج اهمیت دو چندان می یابد.

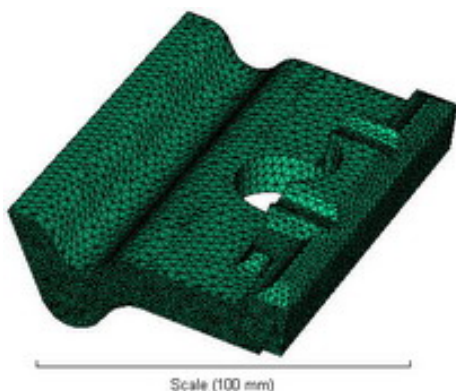
۴- مدل سازی و مش بندی قطعه

قطعه واقعی به همراه قسمت مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین شکل ۲ مدل مش بندی شده در نرم افزار MOLDFLOW را نشان می دهد. لازم به ذکر است که مش قطعه مورد بررسی جهت افزایش دقت تحلیل از نوع 3D با المان های ۴ وجهی در نظر گرفته شد که مناسب برای قطعات ضخیم و پیچیده است [۲۹]. با ریز کردن و تغییر تراکم مش، نتایج بدست آمده بررسی گردید و عدم وابستگی این نتایج به مش های مختلف تأیید گردید. تعداد المان های ۴ وجهی ۱۱۷۴۶۶ در مدل می باشد.



لبه مورد بررسی

شکل (۱): قطعه واقعی به همراه لبه مورد بررسی



شکل (۲): مدل مش زده شده در نرم افزار MoldFlow

بود [۱۱]. تحقیقات گسترده ای دیگری نیز برای بهینه کردن و کاهش اعوجاج در قطعات با دیواره نازک انجام گرفته است [۱۲، ۱۹]. Sahu با به کارگیری همزمان روش تحلیلی و DOE، اعوجاج را کاهش داد. [۲۰]. روش های مذکور هزینه بر و وقت گیر بودند. در مقایسه با این ها، برای آنالیز پارامترهای مؤثر تحقیقاتی با استفاده از روش تاگوچی که ساده تر بود، صورت گرفت [۲۱]. کارهای گسترده ای نیز با استفاده از سایر روش ها همچون شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک، DOE و MOLDFLOW به منظور بهینه سازی صورت گرفته است [۲۲، ۲۸].

در این تحقیق علاوه بر بررسی و بهینه سازی پارامتر های تزریق چون فشار و زمان نگهداری، زمان تزریق، دمای قالب و مذاب به بررسی اثر محل و شکل دریچه تزریق بر اعوجاج نیز پرداخته شده است که در کارهای قبل این دو پارامتر کمتر مورد بحث و بررسی قرار گرفته شده اند و اثر آن ها بر اعوجاج ضعیف ذکر شده است، حال آن که با توجه به اهمیت تولید قطعات با ابعاد دقیق، بررسی و کنترل این دو پارامتر در قطعات دقیق در خور توجه خواهد بود. ضخامت قطعه صنعتی در نظر گرفته شده نیز نسبت به کارهای قبل، زیاد و متغیر می باشد که کنترل پدیده اعوجاج را با دشواری بیشتری روبرو می کند. در تحلیل المان محدود این قطعه نیز از امکان جدید نرم افزار MOLDFLOW و المان های سه بعدی هرمی به منظور افزایش دقت نتایج استفاده شده است. بررسی قابلیت نرم افزار شبیه سازی در تعیین رفتار ویسکو الاستیک ماده از دیگر موارد مورد بحث در این تحقیق است.

۳- اعوجاج در قطعات تزریق پلاستیک

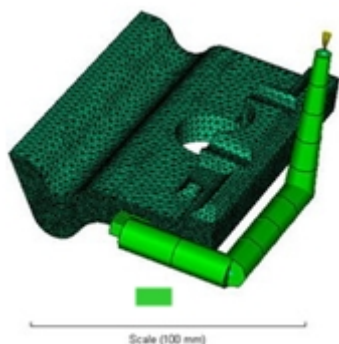
اعوجاج عبارت است از تفاوت شکل هندسی قطعه تولید شده با شکل هندسی مورد نظر. که به واسطه وجود تنشهای پسماند در قطعه پدید می آید [۲]. این تنش ها به نوبه خود معمولاً ناشی از انقباض غیر یکنواخت در سه جهت می باشند. غیر یکنواخت بودن انقباض ناشی از عوامل زیر است:

- عدم یکنواختی فشار و دما در نقاط مختلف (پارامتر های فرآیندی)
 - عدم یکنواختی ماده در جهات مختلف (پارامتر های موادی)
 - عدم یکنواختی ویژگی های قطعه (پارامتر های طراحی)
- مقدار انقباض هر چه کوچکتر باشد، اختلاف انقباض ها در سه جهت کمتر شده و به تبع آن میزان اعوجاج کمتر می شود. پیش بینی پدیده انقباض به طور دقیق به دلیل پارامتر های زیاد تأثیر گذار، وابسته بودن این پارامتر ها به همدیگر و اثر متقابل آن ها بر هم و

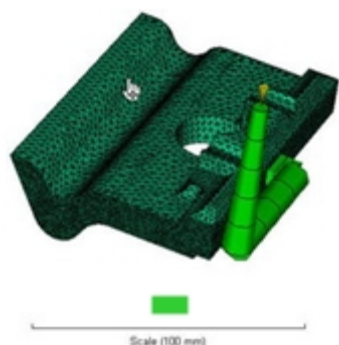
۵- مدل سازی سیستم راهگاهی و خنک کاری

به منظور بررسی محل و شکل دریچه تزریق مناسب برای به حداقل رساندن میزان اعوجاج در لبه، ۵ مدل برای سیستم تغذیه بر اساس معیار های متداول ذکر شده مطابق شکل ۳-ب تا ۳-و در نرم افزار MOLDFLOW مدل شده است. ابعاد دریچه تزریق نیم دایره ای و مستطیلی در نظر گرفته شده به گونه ای انتخاب گردیده است که دریچه های تزریق مورد نظر مقدار قطر هیدرولیکی معادل یکسان داشته باشند. با این توضیح که قطر هیدرولیکی معادل نشان دهنده میزان مقاومت در مقابل جریان است و نسبت معکوس با مقاومت دارد. قطر هیدرولیکی به صورت $4A/p$ تعریف می شود که p محیط و A مساحت دریچه می باشد [۴]. در نتیجه ابعاد گیت مستطیلی 6×12 میلی متر و قطر گیت نیم دایره ای $12/8$ میلی متر در نظر گرفته شده است.

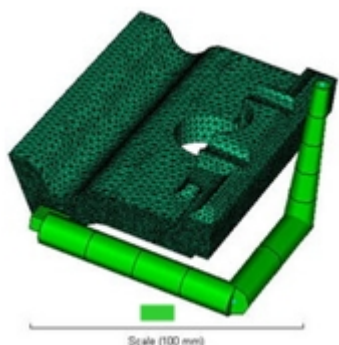
مدل سیستم خنک کاری نیز برای هر ۵ حالت مختلف دریچه تزریق، ثابت و مطابق شکل (۳-الف) در نظر گرفته شده است.



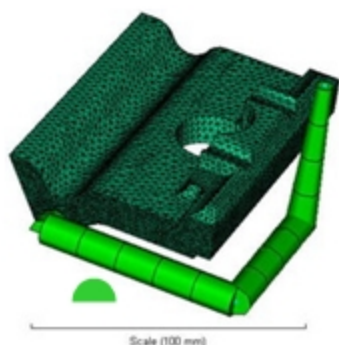
ج - گیت مستطیلی در موقعیت A



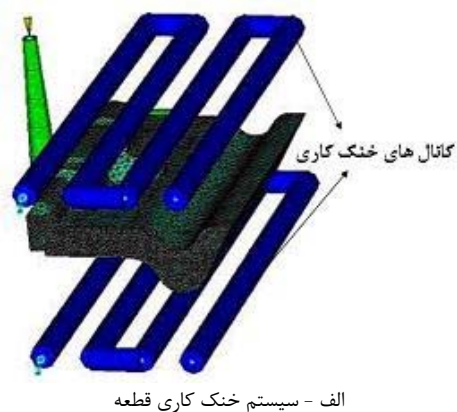
و- گیت مستطیلی در موقعیت وسط



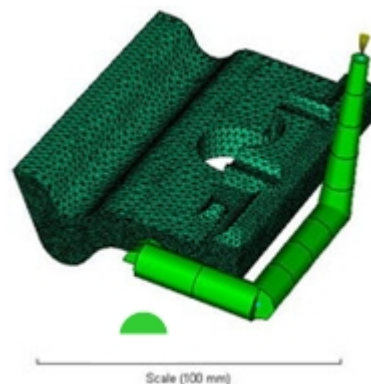
ه - گیت مستطیلی در موقعیت B



د- گیت نیم دایره ای در موقعیت B



الف - سیستم خنک کاری قطعه

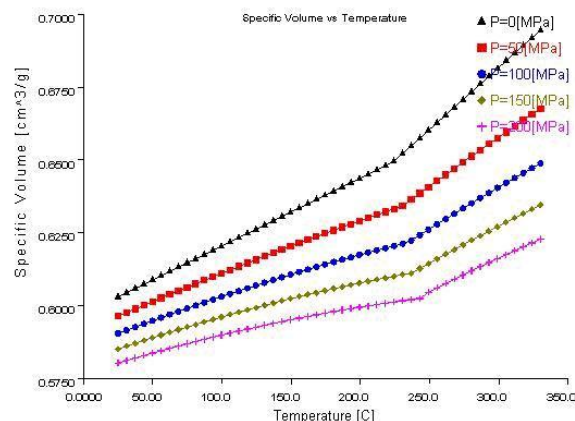


ب - گیت نیم دایره ای در موقعیت A

شکل ۳-الف) مدل سیستم خنک کاری - (ب-ج-د-ه-و) گیت های مختلف در نظر گرفته شده

۶- مشخصات ماده

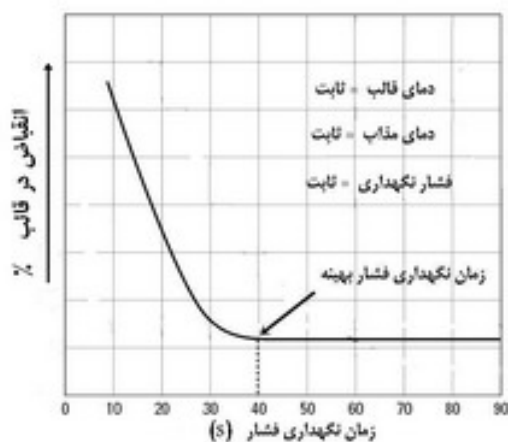
ماده تزریقی مورد استفاده پلی آمید با گرید DuPont و دارای ۳۰ درصد الیاف شیشه می باشد که نمودار PVT آن نشان در شکل (۴) نشان داده شده است.



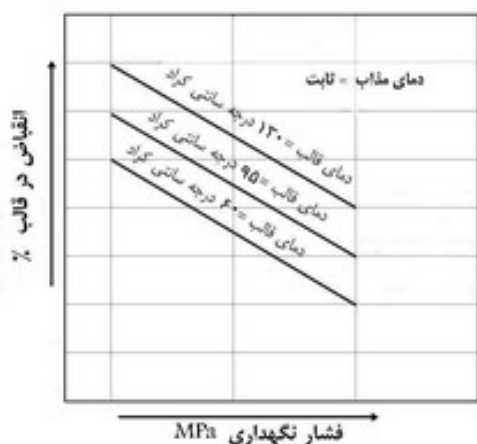
شکل (۴): نمودار PVT ماده انتخابی [۲۹]

خواهد شد. لذا یک نقطه وسط بهینه برای حصول حداقل انقباض وجود خواهد داشت.

- زمان تزریق: افزایش زمان تزریق ضمن کاهش بیشتر دمای مذاب حین پر کردن قالب، با کاهش فاصله زمانی بین انجماد دریاچه و پرشدن قالب موجب کاهش عمل Pack شده و لذا انقباض بیشتر خواهیم داشت. از طرف دیگر زمان تزریق کم موجب افزایش افت فشار در دریاچه تزریق، فشار مورد نیاز برای پرکردن قالب و افزایش دمای مذاب ناشی از وقوع اصطکاک در دریاچه و درمسیر جریان بین مذاب و دیواره پلاستیکی منجمد شده و در نهایت افزایش انقباض خواهد شد. زمان تزریق بهینه مطابق با کمترین فشار مورد نیاز برای تزریق می باشد [۳،۶].



شکل (۵): اثر زمان نگهداری بر انقباض

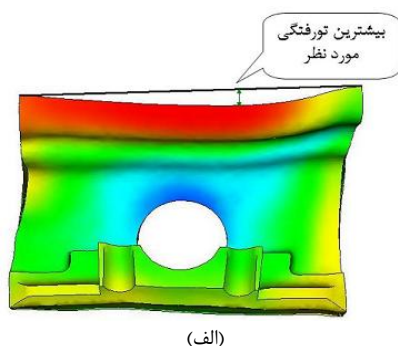


شکل (۶): اثر فشار نگهداری و دمای قالب بر انقباض

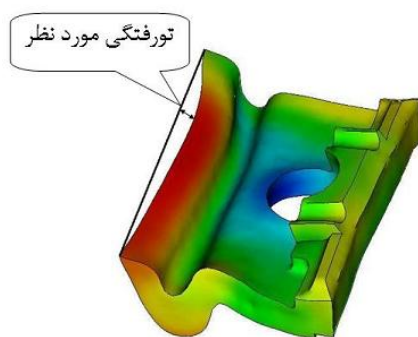
۷ - پارامترهای فرآیند

پارامترهای فرایند تأثیر گذار در انقباض شامل زمان و فشار نگهداری، دمای قالب و مذاب و زمان تزریق می باشند که در تعیین آن ها به منظور کاهش انقباض قطعه اصول زیر در نظر گرفته می شود:

- فشار و زمان نگهداری: فشار و زمان نگهداری تا قبل از زمان انجماد دریاچه تزریق بیشترین تأثیر را در کاهش انقباض و اعوجاج نشان می دهند.
- دمای قالب: در مواد نیمه کریستالی مثل ماده تزریقی مورد استفاده با افزایش دمای قالب نرخ سرد شدن کاهش یافته و موجب افزایش درصد کریستالیزاسیون و انقباض در قالب می شود.
- دمای مذاب: دمای پایین مذاب موجب دشواری در پرشدن حفره قالب و افزایش گرادیان فشار از دریاچه تا انتهای مسیر جریان می گردد. از جهتی بدلیل دیر پر شدن قالب و انجماد گیت فرصت کافی برای فشردن ماده نخواهد بود، لذا فشار در نقاط انتهایی جریان کم و انقباض بیشتر خواهد بود. در دماهای بالا، گیت به دلیل ضخامت کمش زودتر منجمد شده در حالی که هسته قطعه همچنان گرم است و هنوز فشرده نشده است که موجب افزایش انقباض



(الف)



(ب)

شکل (۹): بیشترین تورفتگی مورد بررسی در لبه

جدول (۲): مقادیر بیشترین تورفتگی گره های لبه قطعه با تغییر موقعیت و شکل دریچه در شرایط بهینه تزریق

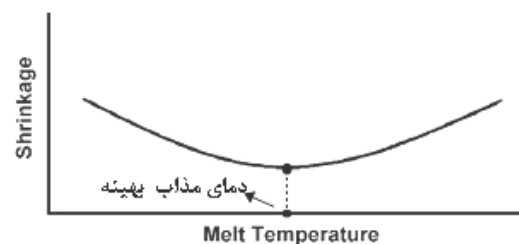
بیشترین تورفتگی	شکل و موقعیت دریچه تزریق
۰/۱۶ mm	دریچه نیم دایره ای موقعیت A
۰/۳۲ mm	دریچه مستطیلی موقعیت A
۰/۱۸ mm	دریچه نیم دایره ای موقعیت B
۰/۱۱ mm	دریچه مستطیلی موقعیت B
۰/۱۷ mm	دریچه مستطیلی موقعیت وسط

لذا دریچه مستطیلی در موقعیت B دارای کمترین میزان تورفتگی ۰/۱۱ می باشد.

تغییر فرم لبه در راستای Z در شکل های ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ نشان داده شده است. شکل شفاف بیان گر وضعیت اولیه قطعه قبل از تغییر شکل و شکل رنگی بیان گر وضعیت قطعه و لبه آن بعد از تغییر شکل می باشد. دامنه تغییرات در راستای Z لبه در شکل های ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۷ و ۱۹ قابل مشاهده است. محور X نشان دهنده شماره یکی از ۳۸ گرهی است که بر روی لبه در نظر گرفته شده است و محور Y نشان دهنده تغییر در راستای Z آن گره نسبت به حالت قبل اعوجاج است.



شکل (۷): اثر سرعت تزریق (زمان تزریق) بر انقباض



شکل (۸): اثر دمای مذاب بر انقباض

پارامترهای فرآیند با بهینه سازی صورت گرفته توسط نرم افزار، طی آنالیز Molding Window در نرم افزار MoldFlow به صورت زیر می باشند:

جدول (۱): پارامتر های تزریق در حالت بهینه

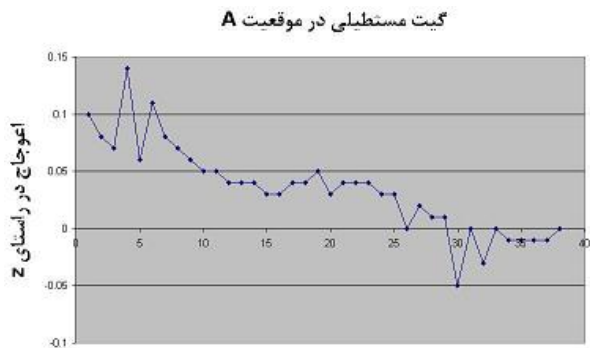
زمان تزریق	۱/۳ ثانیه
دمای قالب	۶۰ درجه سانتی گراد
دمای مذاب	۳۲۵ درجه سانتی گراد
فشار نگهداری	۸۰ مگا پاسکال
مدت زمان نگهداری فشار	۴۰ ثانیه

۸- بررسی نتایج آنالیز اعوجاج در لبه

لبه مورد بررسی در قطعه در شکل (۹) مشخص گردیده است. هدف دقیق بودن لبه با توجه به کاربرد آن می باشد، به این معنا که دارای کمترین برآمدگی در راستای Z و بخصوص دارای کمترین تورفتگی نسبت به خط متصل کننده دو سر لبه باشد.

برای بدست آوردن مقدار تورفتگی لبه نسبت به خط متصل کننده دو گوشه، تمامی گره های واقع بر لبه در نظر گرفته شد و مختصات هر گره بعد از تغییر شکل و اعوجاج از نرم افزار MOLDFLOW بدست آمد. با داشتن فاصله هر گره از گره اول و گره اول از گره آخر و استفاده از روابط ضرب داخلی، در نهایت فاصله هر گره بعد از اعوجاج، از خط متصل کننده دو گره بدست آمد و بیشترین این مقادیر در جدول (۲) ذکر شده است.

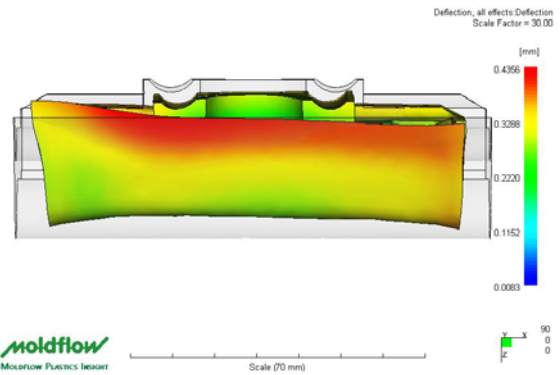
لازم به ذکر است که در تمامی شکل های ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸، تغییر شکل ها ۳۰ برابر بزرگتر نشان داده شده است.



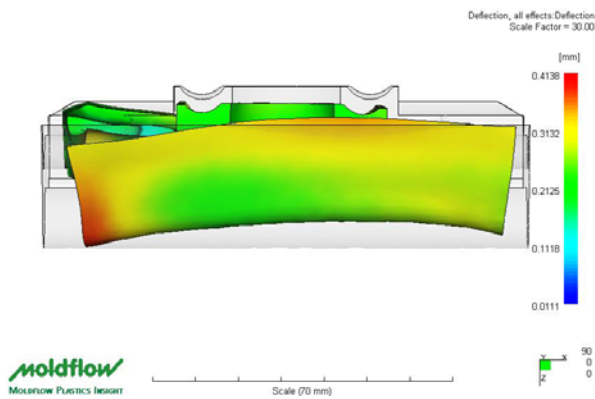
گیت مستطیلی در موقعیت A

گره های لبه

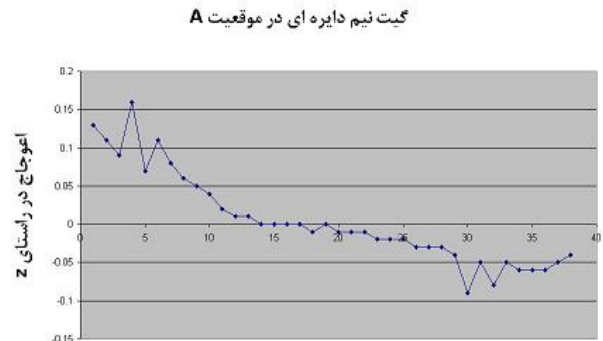
شکل (۱۳): تغییرات در راستای Z لبه برای دریچه مستطیلی در موقعیت A



شکل (۱۰): تغییر فرم حالت لبه برای دریچه نیم دایره ای در موقعیت A



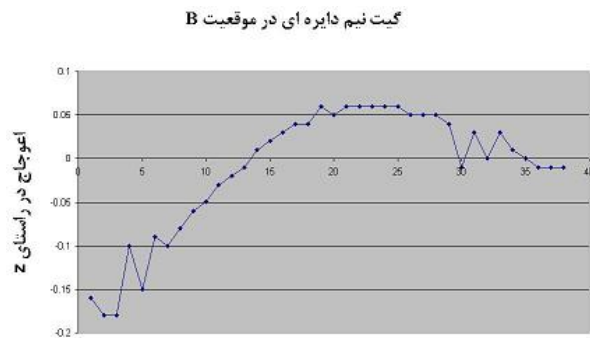
شکل (۱۴): تغییر فرم لبه برای دریچه نیم دایره ای موقعیت B



گیت نیم دایره ای در موقعیت A

گره های لبه

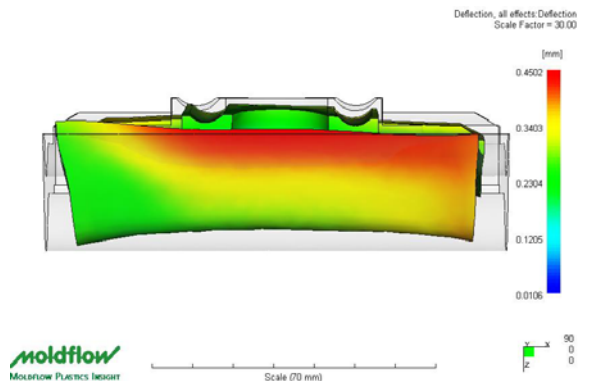
شکل (۱۱): تغییرات در راستای Z لبه برای دریچه نیم دایره ای در موقعیت A



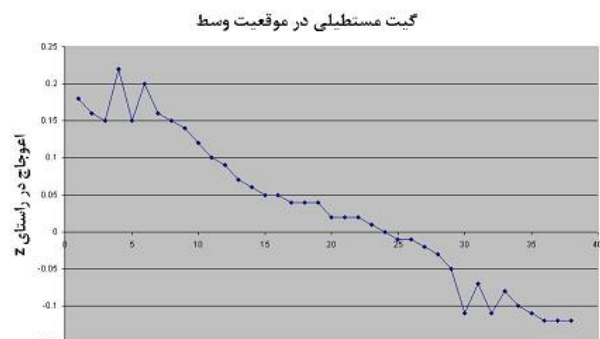
گیت نیم دایره ای در موقعیت B

گره های لبه

شکل (۱۵): تغییرات در راستای Z لبه برای دریچه نیم دایره ای موقعیت B

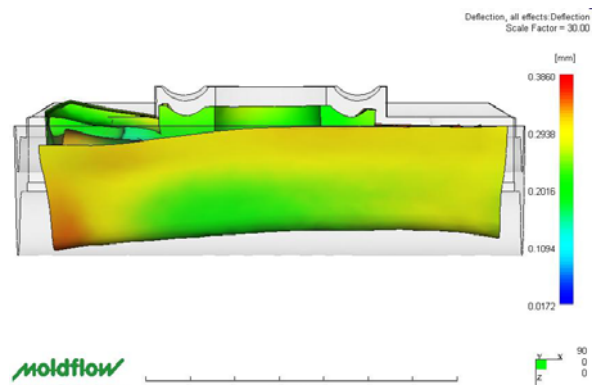


شکل (۱۲): تغییر فرم لبه برای دریچه مستطیلی در موقعیت A



گره های لبه

شکل (۱۹): تغییرات در راستای Z لبه برای گیت مستطیلی موقعیت وسط

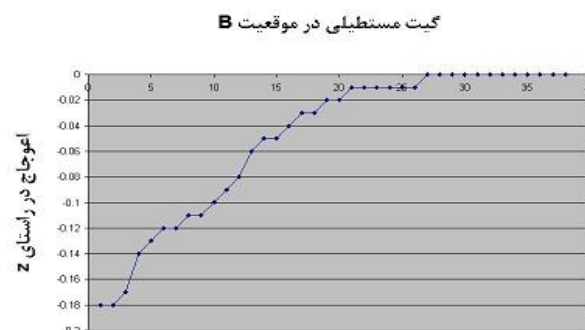


شکل (۱۶): تغییر فرم لبه برای گیت مستطیلی موقعیت B

تمامی این ۵ تحلیل در شرایط فرآیندی بهینه انجام شده است و در صورتی که پارامترهای تزریق چون زمان تزریق، دمای قالب و مذاب، فشار و زمان نگهداری فشار بهینه نباشند، مقادیر اعوجاج بیشتر و متناسب با آن اختلاف بین اعوجاج در قطعات با گیت های مختلف فاحش تر خواهد بود.

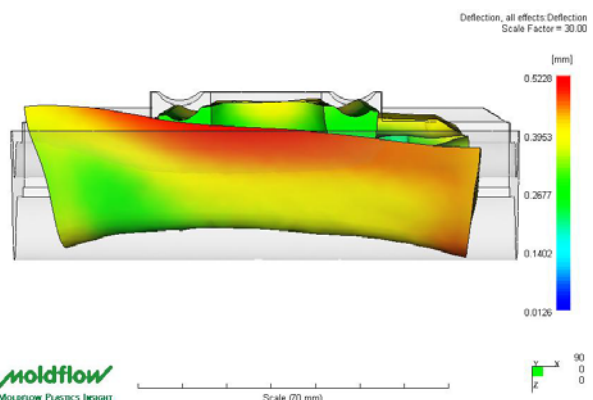
همان طور که در شکل های ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ نشان داده شده است، شکل و اعوجاج لبه در راستای Z نیز با تغییر محل گیت دچار تغییر حالت کلی شده و با تغییر شکل گیت (مستطیلی یا نیم دایره ای)، با حفظ حالت لبه فقط دچار تغییر در مقدار می شود به گونه ای که در حالتی که گیت در موقعیت A قرار داشته باشد، یک شیب ملایم مثبت یا منفی از یک رأس لبه به رأس دیگر بوجود می آید. در حالی که با تغییر موقعیت گیت از A به B، برآمدگی ای در موقعیت میانی لبه ایجاد می شود. شکل های ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۷ و ۱۹ به طور واضح گواه بر این مطلب بوده و روند تغییرات در راستای Z لبه را به خوبی نشان می دهند.

در هر یک از موقعیت های A و B، گیت نیم دایره ای نسبت به گیت مستطیلی دامنه تغییرات در میزان اعوجاج در راستای Z بزرگتری برای لبه ایجاد می کند. بیشترین تغییرات اعوجاج لبه در راستای Z در گیت موقعیت وسط دیده می شود. لذا این گیت هرچند از لحاظ معیار های متداول تعیین موقعیت گیت و نیز تحلیل نرم افزاری Best Gate Location در نرم افزار MOLDFLOW، به نظر می رسد که موقعیت بهتری برای تزریق باشد ولی با قرار دادن گیت در این موقعیت مقدار اعوجاج بیشتری حاصل می شود. گیت مستطیلی در موقعیت B از این نظر کمترین محدوده تغییرات (۰/۱۸ mm) را از خود نشان می دهد.



گره های لبه

شکل (۱۷): تغییرات در راستای Z لبه برای گیت مستطیلی موقعیت B



شکل (۱۸): تغییر فرم لبه برای گیت مستطیلی موقعیت وسط

افزایش یابد. در حالی چنین روندی در نتایج شبیه سازی دیده نشد. لذا این نتیجه گرفته می شود که MOLDFLOW اثر زمان خنک کاری را بر انقباض قسمت هایی از قطعه که تحت قید خنک می شوند، در نظر نمی گیرد.

۱۰- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی اثر موقعیت و شکل دریچه تزریق و پارامتر های تزریق بر اعوجاج قطعه پلاستیکی تزریقی پرداخته شده است. نتایج نشان دهنده این بود که:

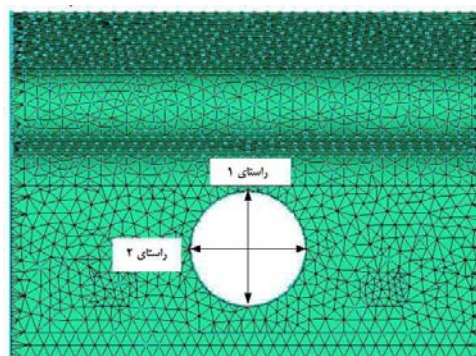
- موقعیت گیت جدا از شکل گیت موجب ایجاد حالت خاصی در شکل لبه مورد نظر در قطعه می گردد و شکل گیت با حفظ حالت فقط بر میزان این تغییرات در راستای Z تأثیر دارد و هر دو، پارامتر هایی تأثیر گذار بر اعوجاج می باشند.
- با در نظر گرفتن معیار تورفتگی لبه (شکل ۹) و اعوجاج لبه در راستای Z، گیت مستطیلی در موقعیت B از هر دو نظر بهترین نتیجه را حاصل می دهد و موقعیت مناسبی برای دریچه تزریق در این قطعه دقیق می باشد.
- همواره قرار دادن گیت در موقعیتی که از نظر اصول طراحی متداول تعیین موقعیت گیت و آنالیز بهترین موقعیت تزریق در نرم افزار MOLDFLOW، بهترین موقعیت توصیه می شود، بسته به هدف مطلوب نبوده هر چند که تا حد امکان جهت جلوگیری از پیش آمدن عیوب دیگر بایستی رعایت گردد.
- نرم افزار MOLDFLOW ابزاری توانمند در بررسی و رفع عیب تغییر شکل و اعوجاج در قطعات پلاستیکی تزریقی دقیق و همچنین بهینه سازی پارامتر های تزریق بوده که با صرف کمترین زمان و هزینه ما را در رسیدن به طراحی بهتر یاری می کند.
- کاهش دمای قالب در محدوده مجاز فرآیندی موجب کاهش انقباض می گردد.
- افزایش زمان نگهداری تا زمان انجام دریچه تزریق برای کاهش اعوجاج، کاملاً مؤثر و در قطعات دقیق ضروری است.
- به منظور کاهش انقباض در تعیین پارامتر های دمای مذاب و زمان تزریق بایستی به دنبال یک نقطه بهینه بود.
- نرم افزار MOLDFLOW اثر زمان نگهداری در قالب را بر انقباض قسمت های کاملاً مقید را نشان نمی دهد.

۹- بررسی اثر زمان سرد شدن در قالب بر انقباض قسمت مقید قطعه

زمان های مختلف خنک کاری برای قطعه در نظر گرفته شد تا اثر زمان خنک کاری بر انقباض قسمت کاملاً مقید قطعه در قالب که در شکل (۲۰) نشان داده شده است، بررسی گردد. مقادیر انقباض در دو راستای عمود بر هم قطری (شکل ۲۰ - ب) اندازه گرفته شد. با تغییر زمان خنک کاری هیچ تغییری در مقادیر انقباض در این دو راستا دیده نشد.



Scale (100 mm)
(الف)



(ب)

شکل (۱۵): (الف) نمای کلی مدل - (ب) قسمتی از قطعه که تحت قید خنک کاری می شود و دو راستای عمود بر هم قطری

با توجه به خواص ویسکوالاستیک مواد پلیمری، با افزایش زمان سرد شدن قطعه در داخل قالب و تأخیر در بیرون اندازی قطعه پس از انجام کامل قطعه، ماده پلاستیکی فرصت بیشتری برای استراحت تنش داشته و با دادن این فرصت به آن، قطر سوراخ و مقدار عددی انقباض بیشتر خواهد بود [۲]. لذا انتظار می رود که در ابتدا انقباض در قسمت کاملاً مقید، نزدیک صفر و بسیار ناچیز باشد و به مرور و تحت خنک شدن این قسمت به همراه قید، مقدار عددی انقباض

۱۱- مراجع

- [12] Kabanemi, K. K., Vaillancourt, H., Wang, H. and Salloum, G. (1998), "Residual stresses, shrinkage, and warpage of complex injection molded products: numerical simulation and experimental validation", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 38, No. 1, 1996, pp. 21-37.
- [13] Hiroyuki, K. and Kiyohito, K., "Warpage anisotropy, and part thickness", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 36, No. 10, 1996, pp. 1326-1335.
- [14] Fan, B., Kazmer, D. O., Bushko, W. C., Theriault, R. P. and Poslinski, A., "Warpage prediction of optical media", *J Polym Sci Part B: Polym Phys*, Vol. 41, No. 9, 2003, pp. 859-872.
- [15] Akay, M., Ozden, S. and Tansey, T., "Prediction of process-induced warpage in injection molded thermoplastics", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 36, No. 13, 1996, pp. 1839-1846.
- [16] Hiroyuki, K. and Kiyohito, K., "The relation between thickness and warpage in a disk injection molded from fiber reinforced PA66", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 36, No. 10, 1996, pp. 1317-1325.
- [17] Fahy, E.J., "Modeling warpage in reinforced polymer disks. *Polymer Engineering and Science*", Vol. 38, No. 7, 1998, pp. 1072-1084.
- [18] Santhanam, N., Chiang, H. H., Himasekhar, K., Tuschak, P. and Wang, K. K., "Postmolding and load-induced deformation analysis of plastic parts in the injection molding process", *Advanced Polymer Technology*, Vol. 11, No. 2, 1991, pp. 77-89.
- [19] Huang, M. and Tai, C., "Numerical simulation of thermally induced stress and warpage in injection-molded thermoplastics", *Advances in Polymer Technology*, Vol. 20, No. 1, 2001, pp. 14-21.
- [20] Sahu, R., Yao, D. G. and Kim, B. (1997) Optimal mold design methodology to minimize warpage in injection molded parts. Technical papers of the 55th SPE ANTEC Annual Technical Conference, 1997.
- [21] Tang, S. H., Tan, Y. J., Sapuan, S. M., Sulaiman, S., Ismail, N. and Samin, R., "The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 182, 2007, pp. 418-426.
- [1] آرزو، ب.، خادم، ع. ا.، "شبيه سازی فرآیند تزریق پلاستیک به کمک کامپیوتر"، چاپ اول، انتشارات سایکو، ۱۳۸۳.
- [۲] ازدست، ط.، "مطالعه عددی و تجربی اثر قيود قالب در ابعاد نهایی قطعات تزریقی"، پایان نامه دکترای مکانیک ساخت و تولید، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.
- [۳] بهروش، ا. ح.، معلمی، م.، "مطالعه نرم افزاری و تجربی اعوجاج در قطعات تزریقی پلاستیکی"، مجله فنی مهندسی مدرس، شماره ۱۲، تابستان ۱۳۸۲.
- [4] Beaumont J. P., "Runner and Gating Design Handbook", Hanser, Munich, 2004, Chaps. 4, 5.
- [5] Shoemaker J., "Moldflow Design Guide, Hanser", Munich, 2006, Chaps. 2, 4, 5, 7, 10.
- [6] Fische, J., "Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage", William Andrew, 2002, Chap. 6.
- [7] Matsuoka, T., Takabatake, J., Koiwai, A., Inoue, Y., Yamamoto, S. and Takahashi, H., "Integrated simulation to predict warpage of injection molded parts", *Polym. Eng. Sci.* 31, 1991, pp. 1043.
- [8] Bushko, W. C. and Stokes, V. K., "Solidification of thermoviscoelastic melts.II. Effect of processing conditions on shrinkage and residual stress", *Polymer Engineering and Science*, 35 365, 1995.
- [9] Leo, V. and Cuvellez, Ch., "The effect of the packing parameters, gate geometry, and mold elasticity on the final dimensions of a molded part", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 36, No. 15, 1996, pp. 1961-1971.
- [10] Jansen, K. M. B. and Titomanlio, G., "Effect of pressure history on shrinkage and residual stresses-injection molding with constrained shrinkage", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 36, No. 15, 1996, pp. 2029-2040.
- [11] Chang, R. Y. and Tsaur, B. D., "Experimental and theoretical studies of shrinkage, warpage, and sink marks of crystalline polymer injection molded parts", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 35, No. 15, pp. 1222- 1230.

- model and genetic algorithm", Journal of materials processing technology, Vol. 169, No. 10, 2005, pp. 314-319.
- [26] Kurtaran, H. and Erzurumlu, T., "Efficient warpage optimization of thin shell plastic parts using response surface methodology and genetic algorithm", Int Adv Manuf Technol, Vol. 27, No. 5-6, 2006, pp. 468-472.
- [27] Zhou, J., Turng, L. S. and Kramschuster, A., "Single and multiobjective optimization for injection molding using numerical simulation with surrogate models and genetic algorithms", Int Polym Process, Vol. 21, No. 5, 2006, pp. 509-520.
- [28] Huizhuo, Sh., Gao, Y. and Wang, X.. "Optimization of injection molding process parameters using integrated artificial neural network model and expected improvement function method", Int J Adv Manuf Technol, DOI 10.1007/s00170-009-2346-7
- [29] Moldflow software, version 6.1, help.
- [22] Gao, Y. H. and Wang, X. C., "An effective warpage optimization method in injection molding based on the Kriging model", Int J Adv Manuf Technol, Vol. 37, 2008, pp. 953-960.
- [23] Gao, Y. H., Turng, L. S. and Wang, X. C., "Adaptive geometry and process optimization for injection molding using the Kriging surrogate model trained by numerical simulation", Advances in Polymer Technology" Vol. 27, No. 1, 2008, pp. 1-16.
- [24] Gao, Y. H. and Wang, X. C., "Surrogate-based process optimization for reducing warpage in injection molding", Journal of materials processing technology, Vol. 209, 2009, pp. 1302-1309.
- [25] Kurtaran, H., Ozcelik, B. and Erzurumlu, T., "Warpage optimization of a bus ceiling lamp base using neural network