

آنالیز گرمایی اجزاء محدود کانال های خنک کننده در قالب های تزریقی

Cooling Channels in Plastic Injection Molds, Thermal analysis

امین صفایی کارشناس مکانیک طراحی جامدات

خنک کاری قطعه در کانال های منطبق پذیر در قالب با استفاده از نرم افزار ANSYS مورد بررسی قرار گرفته است. با آنالیز صورت گرفته با استفاده از ANSYS ، کاهش سیکل زمانی در حین افزایش کیفیت قطعه در قالب هایی که سیستم خنک کننده منطبق پذیر با قالب دارند مورد تایید قرار گرفته است.

لغات کلیدی: کانال های خنک کننده - خنک کاری تطبیقی- قالب تزریقی - آنالیز گرمایی

1- مقدمه

قالب های تزریقی به طور گسترده در فرآیند ساخت قطعات تزریقی استفاده می شود. موفقیت این روش در گرو توانایی تولید قطعات با نرخ بیشتر نسبت به دیگر فرآیندهای قالب گیری می باشد. قاعده کلی در قالب های تزریقی این می باشد که پلمیر جامد، ذوب شده و سپس درون حفره های قالب تزریق می شود که بعد از عملیات خنک سازی، قطعه از قالب خارج می شود. به

چکیده:

فرآیند سیکل زمانی قالب های تزریقی به طور قابل ملاحظه ای به زمان خنک کاری قطعه بستگی دارد که این امر با استفاده از کانال های خنک کننده که در قالب تعبیه شده است صورت می گیرد. کانال های خنک کننده تعبیه شده در قالب بسیار نقش مهمی دارند زیرا علاوه بر زمان سیکل بر کیفیت قطعه نهایی نیز تاثیر گذار می باشند. کانال های خنک کننده قدیمی معمولا از سوراخ های مستقیمی که با استفاده از مته کاری ایجاد شده بودند ساخته شده بودند که از لحاظ ساختار هندسی باعث ایجاد محدودیت در حین حرکت سیال خنک کننده در قالب می شدند. با گذشت زمان استفاده از تکنیک خنک کاری منطبق پذیر با قالب به عنوان راه حلی برای سیستم خنک کاری مرسوم گذشته ارائه شد. هدف از این مقاله طراحی سیستم بهینه برای سیستم خنک کاری تطبیقی برای قالب های تزریق پلاستیک با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود و آنالیز نرخ انتقال حرارت می باشد. زمان بهینه

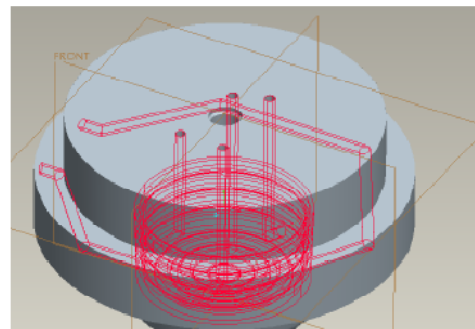
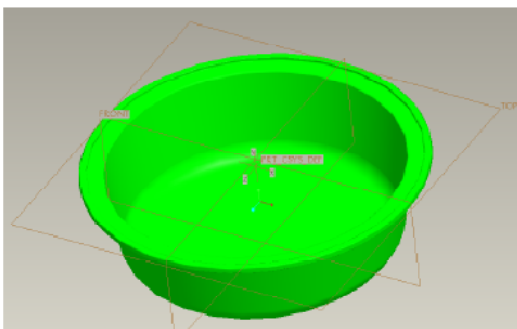
روش دیگر برای سیستم خنک کننده که منطبق با شکل و اندازه محفظه قالب و ماهیچه ها باشد می تواند انتقال حرارت بهتری در قالب های تزریقی فراهم کند که منجر به کاهش سیکل زمانی می شود. این روش جایگزین از یک سری کانال های هم طراز با مقاطع عرضی مختلف، بسته به نوع استفاده تشکیل شده است که برای دفع هر چه بهتر گرما از پلاستیک مذاب به سطح قالب نزدیک تر ساخته می شوند که این امر موجب می شود که قطعه به صورت یکنواخت خنک شود که در نتیجه کارایی و کیفیت قطعه بالاتر می رود. امروزه با پیشرفت تکنولوژی و نرم افزار های تخصصی مهندسی، کانال های خنک کننده بهتر با طرح واره های پیچیده تر و مقاطع مختلف می تواند طراحی و ساخته شود. این مقاله به بررسی تاثیر سیستم خنک کاری تطبیقی با سیستم خنک کاری مرسوم در قالب های تزریقی بوسیله نرم افزار PRO-Engineer و نرم افزار اجزاء محدود ANSYS پرداخته و مشخص کرده است که کدام روش بیشترین کارایی را در دفع گرما دارد.

2- طراحی قالب و کانال های خنک کننده

قطعه ای که برای بررسی در نظر گرفته شده است کاسه پلاستیکی دایروی در قالب تزریقی می باشد که از ترموپلاستیک پلی پروپیلن ساخته شده است که در شکل 1-a نشان داده شده است. قالب این قطعه پلاستیکی از محفظه قالب، ماهیچه و استریپر تشکیل شده است. آنالیز ماهیچه و استریپر قالب نشان داده شده است هرچند آنالیز محفظه قالب نیز همین نتایج را در بر دارد

همین منظور مراحل اصلی در قالب های تزریقی شامل تزریق، خنک سازی و خروج قطعه می باشد، که مرحله خنک سازی دارای اهمیت بیشتری نسبت به بقیه مراحل می باشد. زمانی که برای خنک سازی صرف می شود مشخص کننده نرخ تولید قطعه می باشد در واقع در صنایع پیشرفته زمان و هزینه به طور گسترده به یکدیگر متصل می باشند هر چه زمان برای تولید قطعه بیشتر صرف شود هزینه ها افزایش می یابد. کاهش زمان خنک سازی بطور قابل توجه نرخ تولید را افزایش می دهد که باعث کاهش هزینه ها نیز می شود. به همین جهت بهینه سازی فرآیند انتقال حرارت با استفاده از فرآیندهای مخصوص قالب گیری از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

نرخ انتقال حرارت بین پلاستیک تزریق شده و قالب از لحاظ اقتصادی در قالب های تزریقی از اهمیت قابل توجه ای برخوردار می باشد. گرما باید تا اندازه ای از ماده پلاستیکی دفع شود که قطعه به یک حالت پایدار برای خروج از قالب برسد. زمان برای دست یافتن به این امر زمان خنک سازی نامیده می شود. طراحی مناسب سیستم خنک کننده مناسب برای بهینه سازی گرمای انتقال یافته بین پلاستیک مذاب و قالب ضروری می باشد. به طور سنتی سیستم خنک کننده شامل ایجاد سوراخ هایی مستقیم در محفظه قالب و یا ماهیچه ها و حرکت سیال خنک کننده در سوراخ های ایجاد شده می باشد که گرما از پلاستیک مذاب شده دفع می شود. این سوراخ ها با استفاده از ماشین های مرسوم سوراخ کاری از قبیل دریل ایجاد می شوند که این روش قادر به ایجاد کانال های پیچیده منطبق با قالب نمی باشد.



شکل 1

(a) قطعه پلاستیکی (b) مدل سه بعدی ماهیچه و استریپر متداول، طراحی شده با استفاده از نرم افزار PRO/Engineer. کانال های خنک کننده متداول با رنگ قرمز نشان داده شده اند.

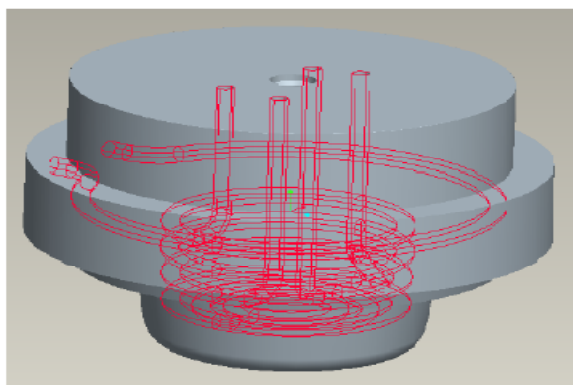
های خنک کننده تطبیقی درون قالب را نشان می دهد. کانال های خنک کننده به گونه ای طراحی شده اند که کمترین فاصله مجاز با حفره های قالب را داشته باشند و نیز خود کانال های خنک کننده با در نظر گرفتن استانداردها کمترین فاصله را داشته باشند. قطر کانال های خنک کننده 12 میلیمتر می باشد.

مدل قالب و کانال های خنک کننده با استفاده از نرم افزار PRO-Engineer انجام گرفته و آنالیز گرمایی با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ANSYS صورت گرفته است.

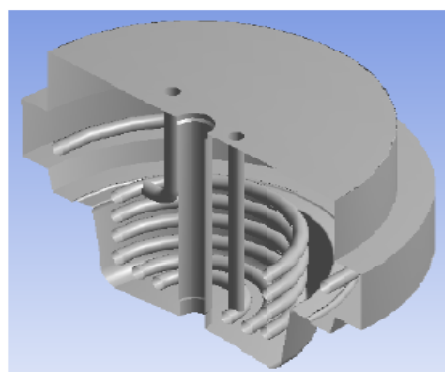
شکل 1-b مدل سه بعدی ماهیچه و استریپر به همراه کانال خنک کننده متداول که در قالب ها انجام می گیرد را نشان می دهد و شکل 2 مدل سه بعدی ماهیچه و کانال

شکل 2

(b) نمای مقطعی از مدل که داخل قالب را نشان می دهد (a) ماهیچه و استریپر به همراه کانال خنک کننده تطبیقی با مقطع دایروی



a)

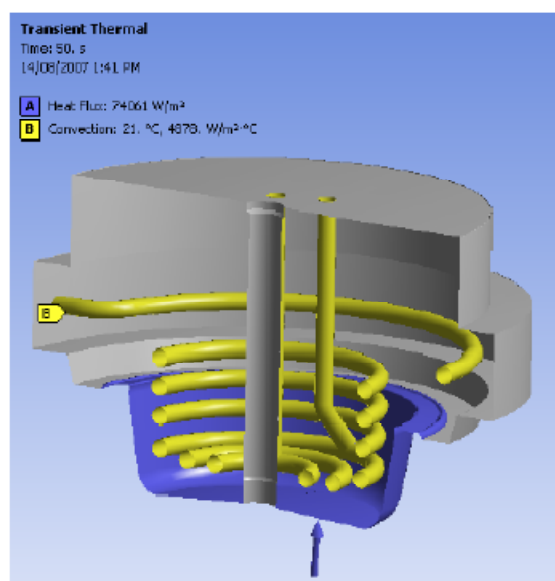


b)

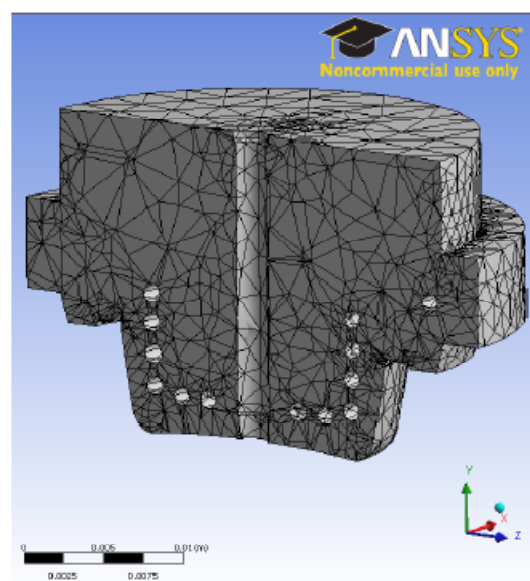
3- آنالیز گرمایی برای کانال های خنک کننده

پایدار، حالتی پایدار برای تمام بارهای گرمایی و شرایط مرزی در نظر می گیرد، این خصیصه برای تست توزیع دما در سطح قالب استفاده می شود. آنالیز گرمایی گذرا برای محاسبه پاسخ گرمایی در یک بازه زمانی استفاده می شود که به همین منظور برای تخمین زمان خنک کاری استفاده می شود. بعد از طراحی سیستم کانال های خنک کننده برای قالب های تزریقی، باید کارآیی آن در زمینه توزیع دما و زمان خنک کاری مورد ارزیابی قرار بگیرد

نرم افزار ANSYS برای آنالیز قطعه بکار رفته است. با استفاده از این نرم افزار پیشرفته، مهندسان به راحتی می توانند نحوه عمل را با شبیه سازی رفتار قطعه تحت بارگذاری های حرارتی مورد ارزیابی قرار دهند. قسمت شبیه سازی ANSYS می تواند مسائل حرارتی در حالت پایدار و یا گذرا مورد را بررسی قرار دهد. آنالیز گرمایی در حالت پایدار برای محاسبه پاسخ گرمایی سیستم که در معرض بارهای گرمایی ثابت دما و یا شرایط همرفتی قرار می گیرد استفاده می شود. آنالیز گرمایی



a)



b)

شکل 3- نمایی مقطعی از قالب

(b) مش بندی قالب (a) شرایط مرزی آنالیز گذرا برای کانال های خنک کننده تطبیقی

حالت پایدار نشان می دهد آنالیز گذرا مورد بررسی قرار می گیرد. در آنالیز گذرا زمان خنک کاری از طریق پاسخ گرمایی در طی یک بازه زمانی قابل محاسبه می باشد.

در ادامه به آنالیز گرمایی ماهیچه و استریپر پرداخته می شود و هر دو حالت پایدار و گذرا مورد ارزیابی قرار گرفته است اما چون حالت گذرا دامنه نتایج بهتری نسبت به

زمان خنک کاری زمانی است که گرما از پلاستیک مذاب با دمای 230°C دفع گردد تا به دمای خروج قطعه از قالب برسد. در آنالیز گذرا ، پارامترهای مورد نیاز عبارتند از: دمای سطح قالب که 230°C ، جنس قالب از فولاد ساختمانی می باشد. شرایط مرزی عبارتند از: شار گرما در سطح مذاب در تماس با پلاستیک مذاب $74601 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2}$ می باشد. در کانال ها که سیال خنک کننده آب در نظر گرفته شده است شرایط همرفت در نظر گرفته شده است که ضریب انتقال گرمای همرفت با استفاده از معادله دیتوس-بوتلر³ برای جابجایی اجباری در جریان مغشوش در لوله های دایره ای برابر $4878 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2\text{C}}$ می باشد.

³Dittus-Boetler

$h_c =$	ضریب انتقال گرمای جابجایی
$K =$	ضریب هدایت گرمایی برای سیال خنک کننده (آب)
$D =$	قطر کانال خنک کننده
$Re =$	عدد رینولدز
$Pr =$	عدد پرانتل

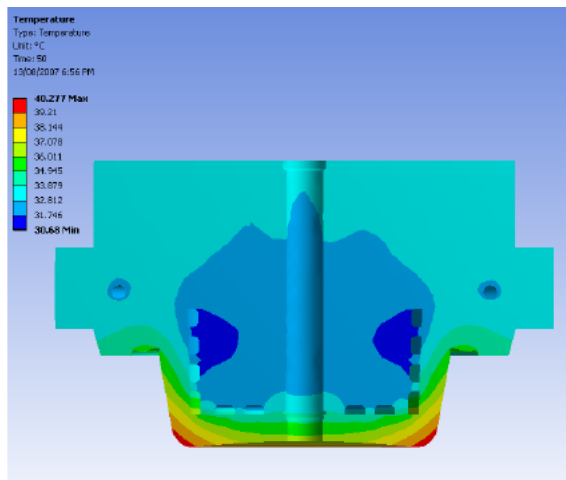
$$h_c = 0.023 \frac{K}{D} Re^{0.8} Pr^{0.1}$$

نتایج در نمودار دما-زمان که در حالت آنالیز گذرا با استفاده از شبیه سازی گرمایی ANSYS بدست آمده است نشان داده شده است توزیع دمایی در مناطق مختلف قالب در نمودار نشان داده شده است.

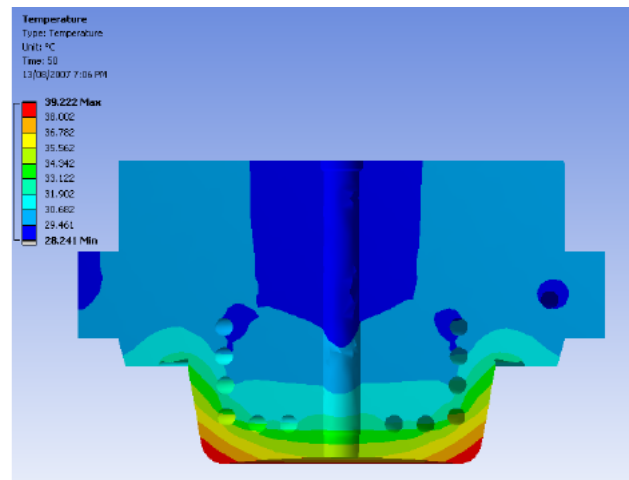
4- نتایج و بررسی ها

پایین ترین دمای قالب در میانه قالب نزدیک 32°C می باشد. از طرفی دیگر در شکل 4-b قالب با کانال های خنک کننده تطبیقی توزیع دمای یکنواخت تری را نشان می دهد. که کاهش پروفیل دما را نشان می دهد که حداکثر دما 39°C و مینیمم 28°C می باشد

شکل 4 مقایسه ای بین نتایج توزیع دمایی در قالب هایی با سیستم خنک کاری مرسوم و تطبیقی می باشد. شکل 4-a پروفیل دمایی برای قالب هایی با سیستم خنک کاری مرسوم را نشان می دهد که که حداکثر دما نزدیک 41°C در سطح قالب که در تماس با ماده پلاستیکی می باشد و



a)



b)

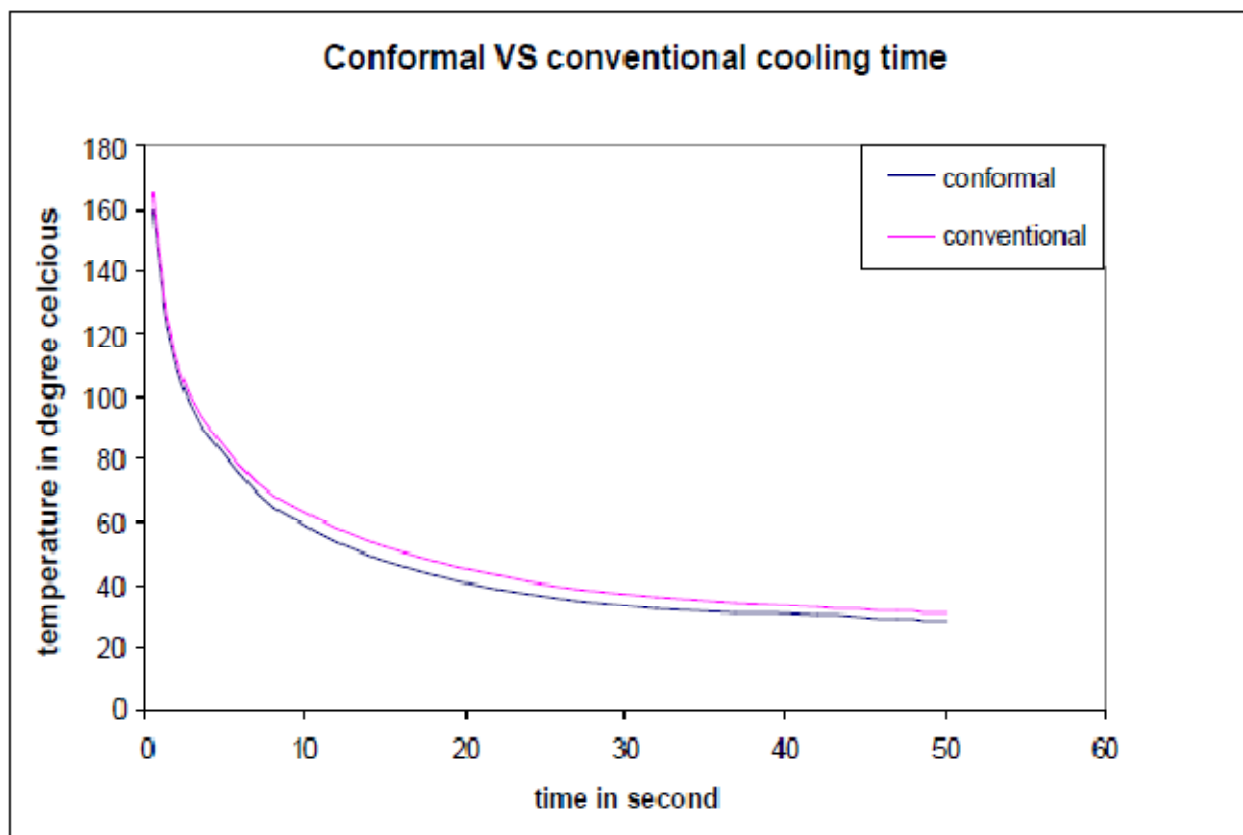
شکل 4- توزیع دما در

(b) قالب کانال‌ها یخنک‌کننده تطبیقی (a) قالب با کانال های خنک کننده متداول

برای این پلاستیک مورد ارزیابی قرار گرفته دمای خروج از قالب نزدیک 55°C می باشد. مطابق شکل 5 زمان لازم برای دمای خروج برای قالب با سیستم خنک کاری مرسوم، نزدیک 13 ثانیه و برای سیستم خنک کاری تطبیقی نزدیک 9 ثانیه می باشد. به این ترتیب قابل پیش بینی است با استفاده از سیستم خنک کاری تطبیقی 4 ثانیه از زمان خنک سازی کاهش می یابد که در نتیجه زمان سیکل 20 درصد کاهش می یابد.

از نتایج می توان پی برد که کانال های خنک کننده تطبیقی توزیع دمای بهتر و یکنواخت تری را فراهم می کنند که باعث بهینه شدن فرآیند انتقال حرارت در قالب های تزریقی می شود.

نکته حائز اهمیت دیگر در این پژوهش زمان خنک سازی می باشد که در شکل 5 نشان داده شده است. شکل 5 نشان می دهد کانال های خنک کننده تطبیقی با مقطع دایروی زمان خنک کاری بهتری نسبت به کانال های مرسوم دارند.



شکل 5- نموداری از مقایسه زمان خنک سازی در قالب با سیستم خنک کاری تطبیقی و مرسوم

5- نتیجه گیری

مناسب کانال ها، کانال های خنک کننده تطبیقی می توانند تا 20٪ موجب کاهش زمان خنک سازی شوند در نتیجه باعث بهبود نرخ تولید و کیفیت محصول در قالب های تزریقی شوند. در این مقاله نتایج آنالیز ماهیچه و استریپر نشان داده شده است اما بطور مشابه استفاده از کانال خنک کننده تطبیقی باعث کاهش سیکل زمانی و توزیع دمایی یکنواخت در مونتاژ کامل قالب های تزریقی نیز می گردد.

فرآیند خنک سازی یکی از مهمترین مراحل در قالب های تزریقی می باشد بخاطر اینکه بطور معمول نزدیک 80٪ سیکل زمانی مربوط به این فرآیند می باشد و به طور مستقیم بر انقباض، خمش و پیچش محصول پلاستیکی قالب گیری شده اثر می گذارد. به همین جهت طراحی سیستم مناسب کانال های خنک کننده ضروری می باشد که تاثیر زیادی بر نرخ تولید و کیفیت دارد. نتایج شبیه سازی گرمایی ANSYS نشان می دهد با استفاده از مقاطع هندسی مناسب و طراحی