

انواع استیلايزرها جهت استفاده در لوله و اتصالات پي وي سي سخت

شرکت پرنکار پلاستیک اسپادانا

تهیه کننده : سهيلا غلامعلي پور

مهر 1390

## چکیده :

پیش بینی کیفیت سطح اتصالات تزریقی مزیت های فراوانی داشته و می تواند با روش های حدس و خطا و اصلاح قالب و پارامترهای فرایند که هر دو وقت گیر و هزینه بر است جلوگیری کند. در تزریق اتصالات پلی وینیل کلراید معمولاً لکه های ابروبادی اطراف نقطه تزریق ظاهر می شود. این عیب به دلیل طراحی نادرست سیستم تزریق و شرایط غیر صحیح تزریق می باشد. برای بهبود کیفیت قطعات تزریقی PVC تأثیر سیستم های خوراک دهی مختلف با استفاده از طراحی دو اسپرو<sup>1</sup> بررسی شده است. به منظور بررسی تشکیل لکه در دو طراحی اسپرو ، شبیه سازی با استفاده از نرم افزار و همچنین آزمون های آزمایشی انجام شده است. رابطه بین پارامتر های متغیر به دست آمده از هر دو روش مانند دمای جریان و تنش برشی نشان می دهد که کدام فاکتورها منجر به عیب سطح قطعه شده و بنابراین امکان انتخاب طراحی مناسب اسپرو فراهم می شود.

## 1. مقدمه :

قالب گیری تزریقی یک روش معمول جهت تولید قطعات با سرعت بالا و کنترل خوب ابعاد قطعه می باشد. اما کیفیت سطح ظاهری اتصالات به اندازه ابعاد آن حائز اهمیت است. دستیابی به کیفیت سطح مناسب می تواند منجر به جلوگیری از تغییرات اضافی پارامتر های تولید و کاهش هزینه گردد. فرایند پرشدن حفره قالب توسط مذاب بسیار پیچیده است و به متغیرهای زیادی که خود نیز به هم وابسته اند بستگی دارد. در این مطالعه تکنیک های CAE برای شبیه سازی تزریق پلاستیک به کار می رود و در مواردی مانند پیش بینی شرایط فرایند مثل فشار تزریق، نیروی قفل کننده ، محل نقاط تزریق و نقاط جوش بین نتایج آزمایشی و آنالیتیکال هماهنگی وجود دارد. یکی از عیوب مهم قطعات تزریقی که در برخی از پلاستیک ها نظیر ABS ، PE و PVC دیده می شود، وجود لکه ابروبادی اطراف نقطه تزریق می باشد. محقق بنام Servano تنش اطراف نقطه تزریق را بررسی کرد و نتایج مطالعات وی نشان می دهد این عیب با کاهش سرعت و افزایش دما بهبود می یابد. همچنین اضافه کردن برخی افزودنی ها به پلی کربنات میزان لکه را به میزان قابل توجه کاهش می دهد. Strenson نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسید که استفاده از کمک فرایند با جرم مولکولی بالاتر از PVC در تزریق PVC منجر به بهبود چسبندگی PVC و در نتیجه کاهش لکه سفید اطراف نقطه تزریق می شود چون مواد در این حالت می توانند تنش بالاتری را تحمل کنند.

هدف این مقاله بررسی ارتباط بین طراحی اسپرو و کیفیت قطعه تزریقی در اطراف نقطه تزریق است. به منظور فهم کامل فرایند قالب گیری PVC و کنترل بهتر تزریق که اثر زیادی بر کیفیت قطعه تولیدی دارد. شبیه سازی مناسب فرایند تزریق بسیار حائز اهمیت است. برای این امر پکیج های نرم افزاری قالب گیری تزریقی برای شبیه سازی فرایند تزریق به کار می رود و برای نتیجه گیری دقیق تر، مطالعه با انجام آزمون های آزمایشگاهی و کنترل دمای داخل قالب کامل می شود. ارتباط بین نتایج تئوری و آزمایشگاهی امکان رسیدن به یک روش عددی، تخمین دلیل ایجاد لکه ها و همچنین تشخیص طراحی مناسب اسپرو جهت بهبود کیفیت قطعه را فراهم می آورد.

## 2. آزمایش ها و شبیه سازی :

### 1.2. مشخصات مواد :

پلیمر مورد استفاده در این تحقیق PVC سخت می باشد.

خواص PVC استفاده شده به صورت زیر می باشد.

$$\square \text{ دانسیته} = 1320 \text{ kg/m}^3$$

$$\square \text{ هدایت} = 0.13 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$\square \text{ دمای انتقال شیشه ای} = 79 - 80^\circ\text{C}$$

$$\square \text{ گرمای ویژه} = 1767 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

جدول 1 خواص رئولوژیکی را نشان می دهد. میزان تنش برشی بحرانی و دمای تخریب حدود 0/2 Mpa و  $215^\circ\text{C}$  می باشد.

جدول 1. خواص رئولوژیکی PVC سخت

تنش برشی ( $\text{s}^{-1}$ )	ویسکوزیته (pas)
<u>دما = <math>200^\circ\text{C}</math></u>	
4000	180
1000	540
400	1050
100	2350
40	3700
10	7000
<u>دما = <math>190^\circ\text{C}</math></u>	
4000	200
1000	640
400	1350
100	3300
40	5800
10	12000
<u>دما = <math>180^\circ\text{C}</math></u>	
4000	220
1000	750
400	1600
100	4400
40	8000
10	18000

## 2.2. هندسه قطعه :

شکل 1 هندسه قطعه را نشان می دهد . نقطه تزریق در قسمت مرکزی قطعه می باشد. ضخامت این گونه قطعات معمولا 3 تا 15 میلی متر می باشد. بنابراین ضخامت متوسط 8 mm برای این قطعه با طول 200 mm ، عرض 200 mm و حجم  $393 \text{ cm}^3$  انتخاب شد . اثر طراحی اسپرو با استفاده از دو اسپرو با طول 70 mm و قطر داخلی 6 mm با زاویه مخروطی  $1^\circ$  و  $3^\circ$  بررسی گردید. علاوه بر این نقطه تزریق در اسپرو با زاویه  $1^\circ$  در انتها 5 mm گرد می شود تا در قسمت دروازه برای دو اسپرو مقطع یکسانی به دست آید. بنابراین در هر دو حالت شرایط ایجاد لکه های ابرو بادی یکسان خواهد بود. به دلیل انتهای گرد شده در اسپرو با زاویه  $1^\circ$  جریان مذاب نسبت به حالت  $3^\circ$  که ورودی مذاب مستقیم است به صورت نرم تری وارد حفره قالب می شود.



شکل 1. شماتیک قطعه نمونه

## 3.2. تجهیزات آزمایشگاهی :

جهت کنترل کامل فرایند قالب گیری باید از نقطه نظر فرایند های پلاستیک به بررسی آن پرداخت و باید شناخت کاملی از پلاستیک و ویژگی های آن در تمامی مراحل جریان و از ابتدای ماشین تا قالب ئ تأثیر متغیر های مختلف بر فرایند و خواص آن دست یافت. کنترل دمای مذاب زمانی که داخل حفره قالب جریان می یابد بسیار مهم است زیرا این تغییرات دمایی در مواقعی که دما از میزان مجاز تجاوز می کند اطلاعات کافی درباره تخریب مواد می دهد. برای این منظور از سنسور مادون قرمز به جای ترموکوپل استفاده می شود. استفاده از سنسور مادون قرمز به دلایل زیر بهتر از ترموکوپل می باشد.

1- استفاده از سنسور ترموکوپل به دلیل محل قرارگیری آن در مذاب منجر به ایجاد زائده در قطعه می شود.

2- زمان پاسخ ترموکوپل نسبت به مادون قرمز بیشتر است.

3- سنسور مادون قرمز می تواند تابش حرارتی نشر شده از ماده را اندازه گیری کند.

معادله wien-plank برای هر طول موج انرژی تابش شده را اندازه گیری می کند.

$$\omega_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left( e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

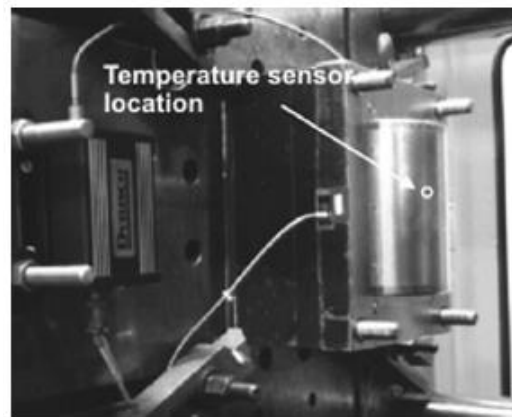
که  $\omega$  شدت تابش و  $T$  دما و

$$c_1 = 3.743 \times 10^{-16} \omega / m^2$$

$$c_2 = 1438 \times 10^4 \mu m k$$

می باشد.

در هر دما میزان تابش نشر شده از هر طول موج متفاوت است. برای اندازه گیری دمای مذاب در جایی که لکه سفید ظاهر می شود یک سنسور مادون قرمز در فاصله 17mm از نقطه تزریق قرار داده شده است (شکل 2). این سنسور زمان پاسخ 10  $\mu s$  دارد و طیف 1/6 تا 2/2  $\mu m$  و رنج دمایی 146 $^{\circ}C$  تا 379 $^{\circ}C$  را پاسخ می دهد. زمانی که پلاستیک بر روی سنسور جریان می یابد سیگنال الکتریکی به دما تبدیل می شود.



شکل 2. محل سنسور مادون قرمز در قالب

## 4.2. ماشین تزریق

ماشین تزریق مورد استفاده برای تزریق PVC از نوع Cincinnat Milacron 250 به کار می رود. نیروی قفل کننده ، فشار تزریق و سرعت به ترتیب 153 KN و 1400  $kg/cm^2$  و 368  $cm^3/s$  می باشد.

## 5.2. پارامترهای فرایند

آزمون های اولیه برای مشخص کردن پارامتر های فرایند بهینه به کار می رود (جدول 2) دمای مذاب زمانی که مواد از نازل خارج می شود اندازه گیری می شود. پس از چندین آزمایش میزان محدوده سرعت تزریق به دست می آید. ماکزیمم سرعت تزریق بالاترین سرعتی است که در آن مواد نسوزد و حداقل سرعت تزریق سرعتی است که در آن قطعه کاملاً پر شود. در نهایت 6 سرعت تزریق انتخاب می شود و زمان تزریق متناسب با آن به دست می آید (جدول 2). پنج قطعه در هر سرعت تزریق می شود و پروفایل دمایی در هر قطعه ثبت می گردد. در شرایط یکسان مطابق جدول 2 برای آزمون های آزمایشگاهی انجام شده ، شبیه سازی فرایند پرشدن قالب و تزریق قطعه به وسیله نرم افزار انجام میشود. این نرم افزار جریان مذاب پلیمر را با استفاده از 3 اصل موازنه جرم و انرژی و مومنتوم شبیه سازی می کند که شرایط مرزی مورد استفاده در حل معادلات به صورت زیر است.

- 1- در دیواره قالب لغزش مواد وجود ندارد و سرعت جریان صفر است.
- 2- در دیواره قالب دمای جریان شبیه دمای قالب است.
- 3- در لایه مرکزی جریان تغییرات سرعت بر حسب ضخامت صفر است.

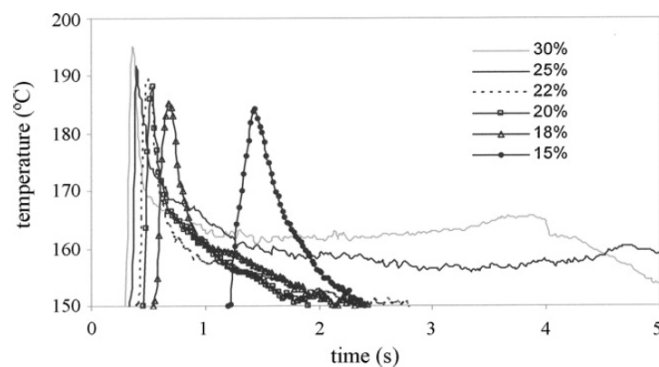
جدول 2. پارامترهای فرایند

پارامتر	مقدار
دمای سیلندر (°C)	155-185-165
دمای نازل (°C)	185
دمای مذاب (°C)	205
دمای قالب (°C)	40
سرعت تزریق (%)	15, 18, 20, 22, 25, 30
زمان تزریق (s)	19, 12, 7, 5, 8, 43, 3, 4
زمان تراکم (s)	5
فشار تراکم (bar)	80

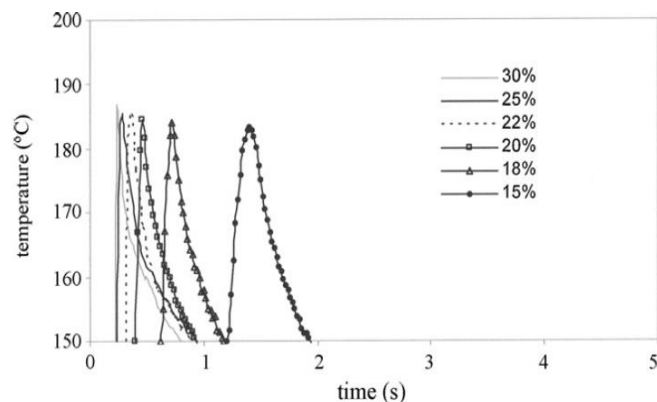
### 3. نتایج

#### 1.3.1. آزمون های آزمایشگاهی

برای هر دو اسپرو نمودار دمای متوسط با استفاده از سنسور مادون قرمز در همه سرعت های تزریق ثبت می شود. (شکل 3 و 4) همه نتایج رفتار کیفی یکسانی را نشان می دهد.



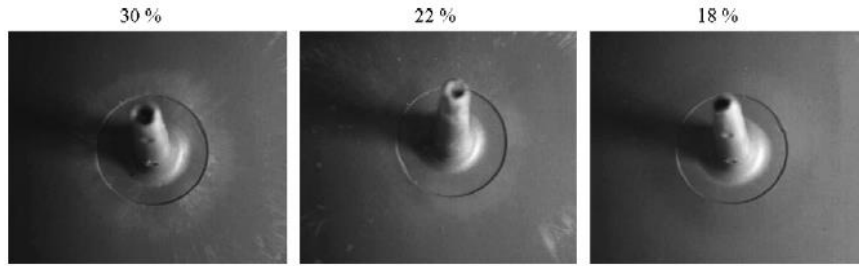
شکل 3. دمای سنسور مادون قرمز اسپرو با زاویه 1°



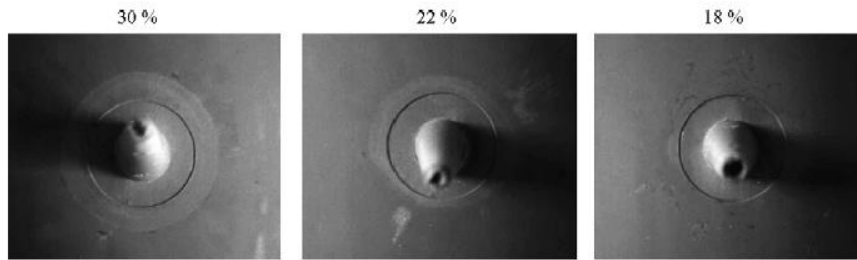
شکل 4. دمای سنسور مادون قرمز: اسپرو با زاویه 3°

برای اسپرو با زاویه 3° منحنی دما با سرعت تزریق 30٪ بررسی می شود. مشاهده می شود که دمای مذاب افزایش می یابد و پس از رسیدن به مقدار ماکزیمم مرحله خنک کاری شروع شده و افت دما را شاهد هستیم. برای اسپرو با زاویه 3° ماکزیمم دما از 187 °C تا 184 °C تغییر می کند و برای اسپرو با زاویه 1° دما از 185 °C تا 196 °C تغییر می کند و با کاهش سرعت تزریق و زمان خنک کاری کمتر می شود. واضح است که اسپرو با زاویه 1° مقطع باریک تری دارد و تنش بالاتری به مذاب وارد می شود که منجر به افزایش انرژی و در نتیجه افزایش دما می شود. این اثر در سرعت های تزریق بالاتر از 20٪ بسیار قابل توجه است. برای سرعت های تزریق پایین مقادیر ماکزیمم دما برای هر دو اسپرو یکسان است. زیرا تنش برشی در سرعت های پایین چندان قابل توجه نمی باشد. دمای مذاب زمانی که داخل قالب جریان می یابد 205 °C بوده و با ورود به داخل قالب کاهش می یابد. این نکته حائز اهمیت است که توزیع دما در طول ضخامت قطعه یکنواخت نمی باشد و از نقاط ماکزیمم در لایه مرکزی، تا دمای قالب در دیواره قالب گرادیان دمایی وجود دارد. مقایسه هر دو اسپرو نشان می دهد که در اسپرو با زاویه 1° سرعت خنک شدن آهسته تر است زیرا انرژی بیشتری بایستی مصرف شود. علاوه بر دمای ثابت شده، قطعه تزریق شده در هر آزمون برای مشاهده و ارزیابی لکه ها در اطراف نقطه تزریق دسته بندی می شود. شکل 5 و 6 نمای بالای قطعه در بعضی از سرعت های تزریق را نشان می دهد. مقایسه شکل ظاهری قطعات نشان می دهد که لکه ها اغلب در سرعت های تزریق 30٪ مشاهده می شود.

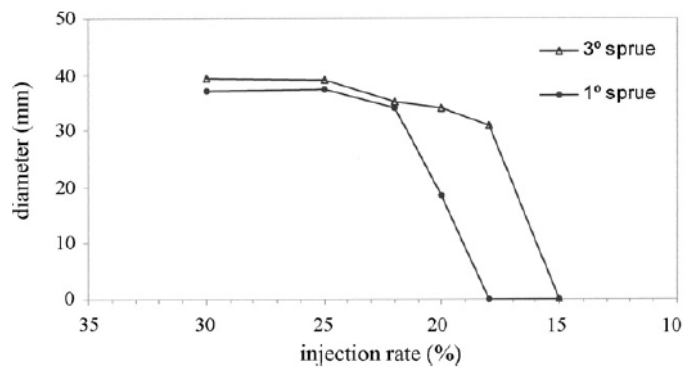
با توجه به شکل حلقوی لکه ها، قطر هر لکه برای مقایسه شدت لکه ها قابل اندازه گیری می باشد. (شکل 7) برای هر دو اسپرو لکه ها با کاهش سرعت کوچکتر می شوند. در سرعت های تزریق بالاتر از 22٪ هر دو اسپرو رفتار یکسانی را نشان می دهد. در سرعت های پایین تر، اسپرو با زاویه 1° لکه های ابروبادی کوچکتری دارد و بهبود قابل توجهی در سطح ظاهری آن مشاهده می شود. لکه های ابرو بادی در نقطه تزریق در سرعت 18٪ از بین می رود. اگر چه زاویه این اسپرو کوچکتر از مقدار پیشنهادی برای این مواد می باشد اما گرد کردن انتهای این اسپرو نسبت به زمانی که مواد به صورت مستقیم وارد می شود مانند حالتی که زاویه 3° است منجر به نرم شدن جریان مواد داخل قالب می شود. اگر چه به نظر می رسد این اثر نمی تواند تنش ایجاد شده در سرعت های بالا را جبران کند.



شکل 5. بررسی لکه اطراف نقطه تزریق: اسپرو با زاویه  $1^\circ$



شکل 6. بررسی لکه اطراف نقطه تزریق: اسپرو با زاویه  $3^\circ$

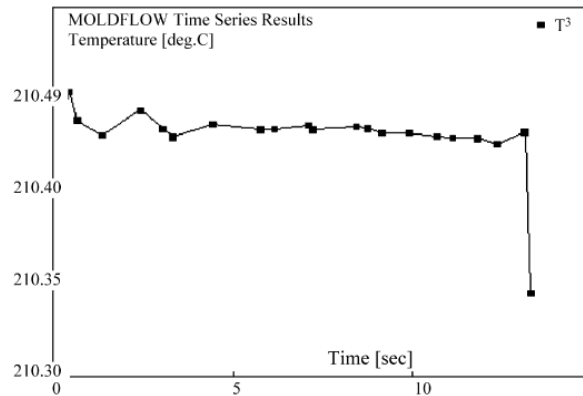


شکل 7. مقایسه قطر لکه ها برای اسپرو با زاویه  $3^\circ$  و  $1^\circ$

### 2.3. نتایج شبیه سازی:

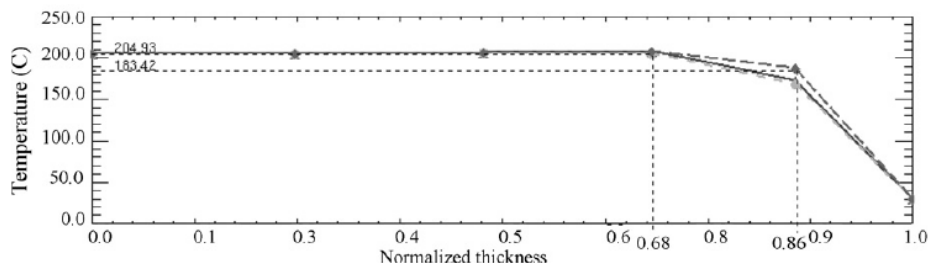
نتایج دمای به دست آمده توسط نرم افزار FEM Mold Flow در ناحیه ای که سنسور قرار داده شده است برای هر دو اسپرو نشان داده شده است. مقادیر به دست آمده در ناحیه مرکزی جریان در هر سرعت تزریق تقریباً ثابت است. به عنوان مثال شکل 8 پروفایل دمایی محاسبه شده در طول تزریق قطعه را برای اسپرو با زاویه  $3^\circ$  در سرعت تزریق 18٪ را نشان می دهد. زمانی که جریان به سنسور می رسد ثبت دما شروع می شود. دما در طول پر شدن حفره قالب ثابت است اگر چه یک افت کوچک دارد ولی افت دما بسیار ناچیز و کمتر از  $0.2^\circ\text{C}$  است.





دمای جریان مذاب در سرعت تزریق 18٪ برای اسپرو با زاویه 3°

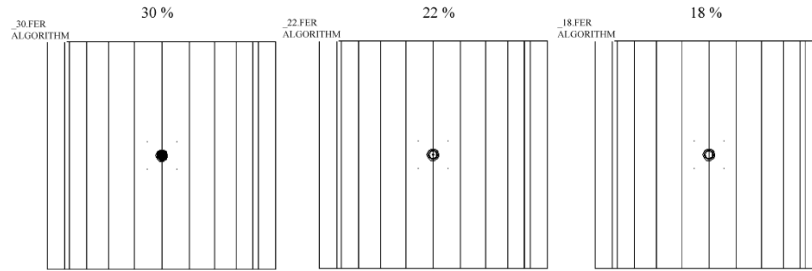
برای اسپرو با زاویه 3° مقادیر ماکزیمم دما از 212 °c تا 209 °c می باشد. در حالی که در اسپرو با زاویه 1° مقدار ماکزیمم دما در سرعت های تزریق بالاتر از 20٪ بالاتر از 215 °c است و در نتیجه PVC تخریب می شود. به دلیل اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی، شبیه سازی با نرم افزار FEM نیز انجام شد و مقادیر ماکزیمم دما تنها 2٪ با نتایج آزمایشگاهی اختلاف داشت. علاوه بر دمای ناحیه مرکزی مقدار دما در طول ضخامت نیز قابل اندازه گیری است. برای مثال در سرعت تزریق 15٪ شکل 9 نشان می دهد که چگونه دما به صورت تابعی از ضخامت کاهش می یابد. مقدار ضخامت 0 برای لایه مرکزی و 1 برای دیواره قالب می باشد. مقایسه نتایج آزمایشی و نتایج حاصل از نرم افزار امکان اندازه گیری عمق سنسور را می دهد.



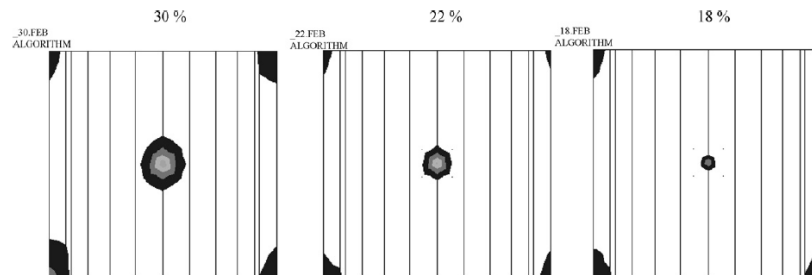
شکل 9. دما در طول ضخامت

رابطه بین لکه های ابروبادی سطح با متغیر های موجود توسط نرم افزار به دست می آید. اگر مقدار این پارامتر از تنش برشی بحرانی (0/2 MPa) بالاتر باشد مواد تخریب می گردد و سطح قطعه خراب می شود. شکل 10 و 11 میزان تنش برشی اطراف نقطه تزریق را نشان می دهد که با استفاده از نرم افزار Mold Flow در چندین سرعت تزریق به دست آمده است. تفاوت به دست آمده برای دو اسپرو کاملاً واضح است. برای اسپرو با زاویه 1° تنش برشی در هیچ ناحیه ای بالاتر از مقدار بحرانی نیست. دلیل این امر انتهای گرد اسپرو می باشد که منجر به تنش کمتر مذاب نسبت به حالتی می شود که نقطه تزریق مستقیم است. اگر چه در اسپرو با زاویه 3° زاویه بیشتر است اما مواد به دلیل مستقیم بودن راه تغذیه تحت تنش بیشتری قرار می گیرد.

در این حالت ناحیه تخریب شده بزرگتری در سرعت تزریق 30٪ مشاهده می شود که با کاهش سرعت تزریق کاهش می یابد.



شکل 10. توزیع تنش برشی اطراف نقطه تزریق : اسپرو با زاویه  $1^\circ$



شکل 11. توزیع تنش برشی اطراف نقطه تزریق : اسپرو با زاویه  $3^\circ$

#### 4. مقایسه نتایج آزمایشی و تئوری

هدف از ایجاد رابطه بین نتایج آزمایشی و تئوری نشان دادن پارامترهای مؤثر در ایجاد لکه ها اطراف نقطه تزریق قطعات تزریقی PVC می باشد. با مشخص شدن این عوامل می توان حضور لکه ها را در طراحی سیستم های تغذیه مد نظر قرار داد.

##### 1.4. آنالیز دمایی

ارزیابی مقادیر ماکزیمم دما برای آنالیز آزمایشگاهی و تئوری مشابه است. ولی مقایسه کمی بین نتایج نمی توان انجام داد. از آن جایی که نتایج تئوری، مربوط به دمای لایه مرکزی است در حالی که توسط سنسور مادون قرمز دمای این لایه را نمی تواند اندازه گیری کرد. مقادیر تئوری بالاتر از دمای مذاب تزریقی  $205^\circ\text{C}$  می باشد.

دمای PVC زمانی که داخل قالب جریان می یابد به دلیل تنش برشی اعمال شده افزایش می یابد. نتایج آزمایشگاهی کمتر از دمای مذاب است. این مطلب نشان می دهد که سنسور دما را در نقطه ای که گرادیان دمایی وجود دارد اندازه گیری می کند. با مقایسه این نتایج با نتایج تئوری در راستای ضخامت قطعه، می توان به اندازه عمق سنسور که  $0/5\text{ mm}$  است پی برد. بنابراین اندازه گیری تخریب حرارتی PVC به صورت آزمایش به دلیل محدودیت سنسور مادون قرمز سخت است. برای اسپرو با زاویه  $1^\circ$  لکه های ابروبادی در سرعت های تزریق بالاتر از 20٪ به دلیل تخریب حرارتی اتفاق می افتد که در اسپرو با زاویه  $3^\circ$  وجود ندارد.

##### 2.4. کیفیت سطح

لکه های ابروبادی اطراف نقطه تزریق به وسیله تنش برشی آنالیز می گردد. اگر مقدار تنش برشی از مقدار تنش برشی بحرانی بالاتر باشد منجر به تخریب پلیمر و ظاهر شدن لکه ها در اطراف نقطه تزریق می گردد. تنش برشی تنها در اسپرو با زاویه  $3^\circ$  بالاتر از مقدار بحرانی می باشد. در این مورد توزیع دایره ای شکل از تنش برشی اطراف نقطه تزریق مشاهده می شود و این قطر لکه با کاهش سرعت تزریق کوچکتر می شود. در نتایج آزمایشگاهی نیز با کاهش سرعت تزریق قطر لکه ها کاهش می یابد. همچنین لکه ابروبادی اطراف نقطه تزریق و تنش برشی بالاتر از حد بحرانی در سرعت تزریق مشابه حذف می شود. در اسپرو با زاویه  $3^\circ$  لکه های ابروبادی به دلیل تنش برشی بالاتر از مقدار بحرانی می باشد.

#### 5. نتیجه :

پیش بینی شکل ظاهری اتصالات PVC بر مبنای طراحی سیستم تزریق با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی نشان می دهد که لکه های ایجاد شده اطراف نقطه تزریق به دلیل تخریب حرارتی یا تخریب در اثر تنش برشی بالا می باشد. شبیه سازی حرارتی نشان می دهد که برای اسپرو با زاویه  $1^\circ$  ظاهر شدن لکه ها با افزایش بیش از حد دما رخ می دهد. توزیع تنش برشی برای اسپرو با زاویه  $3^\circ$  نشان می دهد که تنش برشی اطراف نقطه تزریق از مقدار بحرانی بالاتر بوده که منجر به وجود آمدن لکه ها می شود. این امر برای اسپرو با زاویه  $1^\circ$  اتفاق نمی افتد که به دلیل انتهای گرد آن می باشد که منجر می شود مذاب به صورت نرم تر وارد قالب شود و لکه سفید اطراف نقطه تزریق حذف گردد. این نشان می دهد که انتهای گرد اسپرو منجر به کیفیت بهتر سطح اتصال می شود.

#### مراجع :

B. Sanchez, J. Llado, Surface quality of PVC fittings based on the design of the Sprue, journal of materials processing technology 207(13-20).

Ghun, D.H., 1999. cavity filling analyses of injection moulding simulation : bubble and weld line formation, J. Mater. Process. Technol. 89-90, 177-181.