

تصميم مكائن القولبة الحقن

(Design of injection mould machine)

أن ترتيب مكونات ماكينة الحقن في ماكينة واحدة يقع تحت ثلاث فئات أساسية وهي الأفقية (horizontal) والعمودية (vertical) ومتعددة الأوضاع الدوارة (multiple-station rotary). وأن ماكينة الحقن نوع اللولب المتحرك هي مثال على الماكينة الأفقية والماكينة العمودية موضحة بالشكل (5). الماكينة العمودية تكون مجهزة بألواح أنزلاقية تسمح بنقل

الحرارة من القالب إلى خليط المطاط مما يساعد في التليين وبالتالي تسهيل دفع المادة إلى القالب بشكل تدريجي.

والنوع الأخير هو متعدد الأوضاع الدوار (multiple-station) ويستخدم لهذه الماكينة قضبان تحتوي على أدراج. في هذه العملية فإن المطاط المحقن في القالب يمر بعدة أوضاع

1- الطاولة سوف تدور بالتناوب باتجاه عقارب الساعة.

2- تقوس القالب.

3- تجميع أجزاء القالب الثلاثة.

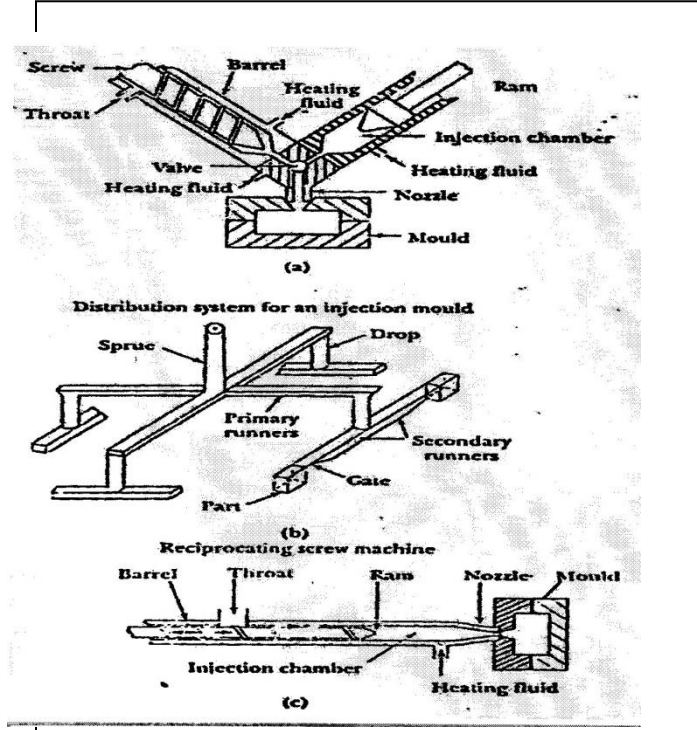
4- تحميل المادة إلى القالب وبهذا سوف تكتمل الدورة وبعد ذلك تعاد الدورة مرة

ثانية.

ومن العيوب المرافقة لعملية الحقن هي : الفقاعات المحصورة والفراغات والالتصاق

بالقالب والفلاش المفرط والشقوق على السطح وعدم السيطرة على الانتفاخ الناتج من

السوائل البوليمرية.



الشكل (5) ماكينة القولبة بالحقن الجامعة اللولب والمكبس

تفاعلات القولية بالحقن

(Reaction injection moulding (RIM))

عندما الصب مفتوح والطررد المركزي يستخدم للصب بشكل شائع هذه هي طريقة (RIM). في (RIM) حيث يتم خلط وقولية السوائل للمواد حيث أن هذا الخلط سوف يساعد في نقل السائل من غرفة الحقن إلى تجويف القالب. وعند مزج (polyol) مع (isocyanate) وتحت ضغط عالي حوالي (13.8 Mpa) حيث سوف يدخل نوعين من التيارات الى حجرة الخلط. مما يعمل على ضرب السائل بعضه ببعض تحت سرعات عالية جداً مما يسبب التيارات المضطربة. وهذا الاضطراب يساعد على تدفق السوائل المخلوطة تحت ضغط منخفض من (runner) إلى (gate) ثم يصل إلى تجويف القالب ليقولب الجزء المطلوب، وهنا يجب تسليط قوة منخفضة للمحافظة على القالب مغلق ومقدار الضغط المسلط على القالب حوالي (0.34 Mpa) أو أقل. وأن استخدام الضغوط المنخفضة تسمح بصب المواد في قوالب غير

معدينية أو حتى قوالب من نوع سليكون مطاط.

الجدول (1) مقارنة بين القولية بالضغط والقولية بالنقل والقولية بالحقن

ت	القولبة بالضغط	القولبة بالنقل	القولبة بالحقن
1	عملية القولبة بسيطة	عملية القولبة معقدة	عملية القولبة معقدة
2	تسبب أفرط كبير يصعب أزالته ويسبب مشاكل بالأبعاد	تعطي أفرط بمقدار 25%	أنخفاض الإفراط (أنخفاض الزوائد)
3	تعطي أقل حدة من التدفق	المكونات تتدفق بصورة حرة لملئ القالب بشكل صحيح	يجب تخفيض اللزوجة للمكونات الى أدنى مستوى لتحسين التدفق
4	تكون عملية إعادة الخزن مكلفة	خزن المواد يحتاج الى عمليات تجهيز	عملية إعادة الخزن تكون غير مكلفة

5	دورة التقسية طويلة	دورة التقسية تكون متوسطة	دورة التقسية سريعة جداً
6	تحتاج الى عمل متزايد لتحميل وتفريغ القوالب حيث يتم تحميل كل تجويف على حدة	القوالب ثقيلة وتحتاج الى عاملين للتحميل والتفريغ	العامل وظيفته فقط تفريغ القوالب
7	تصلح للانتاج المنخفض	الانتاج متوسط	حجم الانتاج واسع
8	تمتاز بتكاليف انتاج منخفضة	أكثر تكلفة من القوالب بالضغط	التكاليف تعتمد على حجم الانتاج
9	القوالب تتعرض للبلى بصورة أقل	البلى في القوالب عالي	بلى القوالب عالي
10	تكلفة تحضير القوالب تكون أقل من القوالب بالنقل	تكلفة تحضير القوالب عالية	تكلفة تحضير القوالب عالية
11	نتيجة لكبر الفلاش تحتاج الى عمليات إنهاء مكلفة	تحتاج الى عمليات إنهاء فتكون التكلفة عالية	لا تحتاج الى عمليات إنهاء لعدم وجود (flash)
12	لا تحتاج الى تسخين عالي ولكن تحتاج الى ضغط عالي	المكونات تحتاج الى تسخين عالي لكي يحدث التدفق الصحيح من (pot) الى تجويف القالب	(screw) في عملية الحقن تعمل على رفع درجة الحرارة للمكونات المطاط
13	القوالب ضمن مدى درجة الحرارة (120-160°C)	مدى درجة الحرارة للقوالب (130-270°C)	مدى درجة الحرارة للقالب (180-240°C)
14	تستخدم لانتاج الأجزاء المعقدة	تستخدم لتغليف المعادن بالمطاط حيث تعطي أفضل التصاق للمطاط بالمعدن	عملية أوتوماتيكية تستخدم للانتاج المستمر

قولبة المواد المجوفة

(Moulding of hollow articles hollow)

أن المنتجات المطاطية المجوفة قد تمتلك فتحات صغيرة مثل القناني أو قد تكون مغلقة تماماً كما في الكرات. بعد التقسية يجب أن يمتد عنق القنينة إلى حد كبير من أجل إزالة (core) الجزء الذي يتم قولبته ليأخذ الشكل المجوف، في عملية النفخ قد يتم استخدام تيار من الهواء. أن سداة القنينة تصب على حدة ثم بعد ذلك تلف على عنق القنينة ليتم إغلاق القنينة.

وأن هذه العملية توضح بشكل مبسط كالتالي : نضع (core) في القالب الذي يكون مكون من جزئين وبعد ذلك نغلق الجزئين ونعمل على تسليط تيار من الهواء حيث يعمل على ضغط المطاط باتجاه السطح الداخلي للقالب وأن القالب يكون ساخن وتستمر عملية القولبة إلى أن يقوالب الجزء حسب الشكل المطلوب.

ومن أهم منتجات هذه الطريق هي الكرات المستخدمة بالألعاب الرياضية وأن هذه الكرات يجب أن تمتاز بدقة عالية لأنها يجب أن تقي بالموصفات من حيث الحجم والوزن. وعلى سبيل المثال كرات التنس، حيث تتم القولبة كالتالي: يتم تكوين جزئين على شكل (cup) بالطرق التقليدية ثم بعد ذلك تبرد وبعدها يعلق الجزئين في محلول مطاط (rubber solution) ثم يتم تنظيف سطح الكرة الخارجي من الخارج ثم تجري عملية الطلاء (coated) في محلول من المطاط ثم بعد ذلك الكرات تترك لتفلكن وتقسى وبهذا تكون جاهزة.

أنكماش القوالب

(mould shrinkage)

كل منتجات المطاط معرضة إلى الانكماش بعد التقسية ويرجع ذلك أساساً إلى درجة الحرارة التي تحدث فيها عملية الفلكنة. أن القوالب التي يتم فيها قولبة المطاط يجب أن تكون دائماً أكبر من أبعاد المنتجات التي يتم قولبتها بها ويمكن حساب مقدار الانكماش من خلال المعادلة التالية:

$$\text{Percentage moulding shrinkage} = \frac{(\text{dimension of mould}) - (\text{dimension of article})}{(\text{dimension of article})} \times 100$$

وأن مقدار الأنكماش يعتمد أساساً على الفرق بين معامل التمدد الحراري للمفلكنات ودرجة حرارة الفلكنة، وتتأثر بالأنكماش درجة حرارة التقسية وكذلك مستوى حشو المطاط بالمكونات، حيث كلما ازداد الأنكماش ازداد مقدار الحشو المطلوب (filler). كقاعدة عامة الأنكماش يحدث في القوالب بمقدار (2%). معامل التمدد الخطي لـ

$$\begin{aligned} \text{NR} &= 216 \times 10^{-6} : \text{Fillers } (5 \text{ to } 10 \times 10^{-6}) \\ \text{SBR} &= 216 \times 10^{-6} : \text{Steel } 11 \times 10^{-6} \\ \text{CR} &= 196 \times 10^{-6} : \text{Aluminium } 22 \times 10^{-6} \\ \text{NBR} &= 196 \times 10^{-6} \\ \text{IIR} &= 196 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

من المهم أن نعرف مسبقاً مقدار الأنكماش من أجل تصميم القوالب والحصول على الأبعاد الدقيقة للمنتج المراد قولبته. أن أنكماش المطاط أمر غير مرغوب فيه لأنه في

حالة كان المطاط يمتلك نفس معامل التمدد ففي هذه الحالة سوف يصعب إزالة الجزء المقولب من القالب بالإضافة إلى صعوبة إزالة المفلكنات الزائده من القالب. ويمكن الحد من الانكماش بعدة طرق

1- أجراء التقسية بدرجة حرارة منخفضة

2- معاملات التمدد الحرارية يجب أن تكون متقاربة للمكونات الداخلة في خليط

المطاط

3- التقليل من الانكماش باستخدام إحدى عمليات الصب مثل الحقن أو النقل

هنالك بعض المواد التي تضاف حيث تحول دون الالتصاق بالقالب وتسهل إزالة هذه المواد من القالب ومنع تكوين القشور وهذه يمكن أن تطبق على القوالب ولكن ليس عند قولبة المطاط. المستحلبات السليكونية هي المواد الأكثر استخداما وهي توفر فعالية عالية وتعطي خصائص جيدة بالإضافة الى أسطح نظيفة وملساء. وتكون الأكثر فعالية لأنها ذات استقرار حراري عالي ولذلك يمكن استخدامها بمدى واسع وأن الرقائق السليكونية يمكن استخدامها في درجة حرارة (200°C) . الصابون الطبيعي ممكن استخدامه أيضا ويمكن أن يطبق هذا المحلول باستخدام فرشاة أو عن طريق الرش. ويجب استخدام هذه المواد ضمن الحد الأدنى وإلا فأنها عند الصب سوف تولد عيوب مما يؤدي الى أعطاء منتج ذو خصائص سيئة. في بعض الأحيان قد لا توجد حاجة لاستخدام وإضافة هذه المواد إذا أضيفت إلى المزيج مواد التشحيم حيث أنها تعطي فعالية جيدة عند السطوح الناعمة (مثل الكروم المطلي والمصقول).

(Moulding defects)

1- (backrinding)

السبب // قطع في parting line

العلاج // التقسية بدرجة حرارة منخفضة وضغط عالي

2- (blisters)

السبب // الهواء الموجود في الفراغات

العلاج // تعديل التجهيز للتجويف

3- (flow cracks)

السبب // حجم وشكل القالب الغير صحيح والغير كافي للتدفق في الوقت المحدد

بالأضافة الى اللزوجة العالية

العلاج // استخدام درجة الحرارة المناسبة لنظام التقسية

4- (porosity)

السبب // التقسية تحت ضغط منخفض

العلاج // زيادة الزمن ودرجة الحرارة والضغط للتقسية

5- (tearing)

السبب // أنخفاض التسييل

العلاج // إجراء التقسية المناسبة

6- (sticking to mould)

السبب // القالب يحتوي على شوائب ومواد التزييت غير كافية

العلاج // تنظيف القالب وزيادة الزمن المطلوب لملئ تجويف القالب

7- (excess flash)

السبب // التحميل المفرط والضغط المنخفض والتصميم الغير جيد للقالب
العلاج // اختيار الكمية المناسبة لملئ تجويف القالب بالإضافة الى زيادة الضغط المسلط

8- (rough surface distortion)

السبب // التدفق القليل بالإضافة الى الغلق البطيء للقالب
العلاج // تحسين التدفق والأغلاق السريع للقالب

9- (bloom)

السبب // التقسية تحت ضغط منخفض أو درجة حرارة منخفضة
العلاج // كمية المواد يجب أن تكون مناسبة بالإضافة الى التسخين الصحيح.

الفاكنة بضغط السائل المستمر

(pressurized liquid continuous vulcanization)

(LCM) الخليط الملحي ، الذي يكون بضغط يساوي أثنتين من الضغط الجوي سوف يساعد على أنخفاض المسامية وتناضح المياه التي تظهر عند استخدام ضغط أقل من (LCM) أو ضغط البخار.

السرع العالية لغازات التقسية

(High-Velocity gas cure)

في هذه الطريقة التقسية تتم بسرع عالية وعادة في هذه الطريقة يتم استخدام النتروجين بسرع

عالية تساوي (1800 m/min) وضغط (10 atm) وعملية الفلكنة تحدث عند درجة حرارة

(350°C) هذه الطريقة تستخدم فقط للكابلات (cables). ويمكن بهذه الطريقة استخدام أنواع أخرى من الغازات مثل (O₂) و (CH₄).

المسخنات

(Helicure)

السليكون السائل والكليسرين و (polyglycal) والزيوت ذات درجات الغليان العالية يمكن استخدامها في التسخين بالإضافة الى السخانات الكهربائية.