جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم التصميم الميكانيكي

السنة الرابعة

خفض الكلفة مع رفع الانتاجية في حقن البلاستيك

مشروع السنة الرابعة

إعداد المهندس:

محمد كراكر

بإشراف الدكتور المهندس

عبد الوهاب الوتار

للعام الدراسي

2012-2011

الإهداء

إلى منارة المعلمين

إلى من علمنا كل شيء في هذه الحياة

وأخرجنا من الظلمات إلى النور

إلى قائد هذه الأمة **النبي الكريم**

إلى من علمني أن الحياة كفاح وعمل

إلى الرجل الذي أمضى حياته في العمل لكي يوفر لأولاده حياة كريمة

إلى الرجل الذي يذكرني كل يوم في صلواته ودعواته

والدي الفاضل

إلى الإنسانة العظيمة التي سهرت بجواري أيام وشهور في سنوات دراستي

إلى التي تفرح لفرحي وتحزن اذا أصابني مكروه

إلى من جعلت نفسها شمعة تحترق وتنير الدرب لأولادها بدعواتها ورضاها عليهم

إلى نبع الحنان والرياض الخضر

أمي الحبيبة

إلى من تجري دماؤهم في عروقي

إلى الذين هم عوني وسندي في هذه الحياة

إلى الذين تحملوا هفواتي وقدموا لي النصح

إخوتي وأصدقائي

كلمة شكر وامتنان

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمـــــــــــة مـــــــــن جديـــــــــــد..

وقبل أن نمضي نقدم أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحيـــــــــــــــاة..

إلـــــى الـــــذين مهـــــدوا لنـــــا طريـــــق العلـــــم والمعرفـــــة...

إلى جميع أساتذتنا الأفاضل..... ونخص بذلك أساتذتنا في قسم التصميم الميكانيكي.

ونخص بالتقدير والشكر

أستاذنا ومعلمنا الدكتور المهندس

عبد الوهّاب الوتار

الذي منحنا جُلَّ اهتمامه ورعايته ولم يدَّخر جهداً في منحنا العون والمساعدة في إتمام هذا العمل المتواضع.

فله منا كل الشكر والتقدير.

والشكر والفضل لكل أساتذتنا منذ المراحل الدراسية الأولى وحتى هذه اللحظة فكان للمخلصين منهم الأثر الكبير والفضل العظيم في وصولنا إلى هذه المرتبة العلمية.

الهدف من المشروع

بعد أن دخلت المنتجات البلاستيكية المحقونة في جميع ميادين الحياة من منتجات استهلاكية وأدوات منزلية وحتى المنتجات الصناعية, أدى ذلك إلى زيادة الطلب على هذا النوع من المنتجات وبالتالي أدى ذلك إلى زيادة عدد المصانع التي تصنع مثل هذه المنتجات البلاستيكية المحقونة على المستوى العالمي وزادت المنافسة فيما بينها, وليس فقط بالأسعار, بل بوقت التسليم أيضاً.

من هنا فُرض على كل مهندس في مصنع لحقن البلاستيك أن يضع الدراسة المفصلة لكلفة المنتج المطلوب مع الأخذ بعين الاعتبار الكمية أو عدد المنتجات المطلوبة, وبالتالي تصميم أفضل قالب واختيار أفضل آلة قولبة تؤمن الانتاجية والجودة المطلوبة لهذا المنتج وبالسعر المنافس وخلال الوقت المحدد لتأمين الكمية المطلوبة.

الفهرس:

مقدمة.....7

حساب الفعالية الانتاجية.....9

1- العوامل الجوية (الحرارة، الرطوبة) 11

1-1 منع التآكل 12

2- عملية تبريد القالب 13

2-1 حساب التبريد فقط للقالب 14

2-2 حساب حجم التبريد للنظام الهيدروليكي فقط 16

2-3 حساب حجم التبريد حسب مواصفات آلة الحقن 18

3- التيار الكهربائي 21

4- هل سيعمل القالب على عدة آلات أم على آلة واحدة؟ 23

5- هل القالب مصمم ليعمل في مشروع جديد 24

6- المتطلبات المتوقعة للمشروع 24

6-1 تصنيع قوالب نمذجة (بروتوتايب) أو تجريبية 25

6-1-1 قوالب نمذجة (prototype molds) 25

6-1-2 قوالب تجريبية (experimental molds).....27

6-1-3 الجمع بين قوالب النمذجة والقوالب التجريبية.....28

6-2 القوالب الانتاجية 28

6-2-1 منتج جديد.....29

6-2-2 منتج قائم والمطلوب زيادة الانتاجية.....30

6-2-3 كميات محدودة.....31

7- زمن الدورة 32

7-1 نوع البلاستيك المحقون 32

7-2 سماكة جدار المنتج 34

7-3 المواد الخام للقالب 35
7-4 فعالية التبريد 36
7-5 تنفيس الهواء 44
7-6 تأثير آلة الحقن (القولبة) على زمن الدورة 45
7-6-1 الدورة الجافة.....45
7-6-2 مقدار الحقنة المطلوبة للقالب.....49
7-6-3 سعة التلدين للآلة (plasticizing capacity) 55
7-6-4 الفوهات المفتوحة (open nozzles) 59
7-6-5 فوهات الإغلاق (shut-off nozzles) 62
7-6-6 وحدات الحقن على مرحلتين (two-stage injection units) 66
7-6-7 سرعة وضغط الحقن (injection speed and pressure) 67
7-8 درجة الحرارة المحيطة والرطوبة.....72
7-9 مقارنة زمن الدورة لنفس المنتج في قالب 73
المراجع 74

خفض الكلفة مع رفع الانتاجية في حقن البلاستيك

مقدمة:

إن عملية الحقن بالقولبة اليوم تعد من أكثر الطرق أهمية في معالجة البلاستيك لإنتاج المنتجات الاستهلاكية والصناعية, وتستخدم هذه الطريقة في جميع انحاء العالم.

فحالما يتم اعطاء القرار باستخدام طريقة القولبة بالحقن للمنج الجديد , فعدد من الصعوبات يتم مواجهتها ويمكن طرحها بالأسئلة التالية:

- ما هي الكلفة المتوقعة للمنتج؟ كلفة الآلة...كلفة القالب...
- هل سيكون السعر منافس لمنتجات مشابهة؟
- ماهي الانتاجية المطلوبة من هذا المنتج؟
- ما هو عدد الفجوات المطلوب في القالب؟
- هل سيتم تشغيل القالب على أكثر من آلة؟
- ما هو حجم المبرد المطلوب لهذه الآلة والقالب؟

كيف يتمكن المهندس من وضع الدراسة اللازمة لاختيار الاله والقالب المتلائمين لإنتاج كمية مفترضه تحقق رغبات واحتياجات السوق؟

إن قوالب الحقن هي غالباً ما تكون غالية الثمن نسبياً, ولكن لسوء الحظ بدون قالب لا يمكن الحصول على منتج بلاستيكي محقون. إن كل مصمم قوالب له نهجه واسلوبه الخاص في تصميم قالب جديد, وهنالك عدة طرق مختلفة يمكن أن يصمم بها قالب الحقن ومن ثم يتم تصنيعه.

إن السؤال المتكرر دائماً هو كيف يمكن الحصول على أرخص قالب, ولكن هذا السؤال خاطئ, إن السؤال الذي يجب دائماً طرحه هو:

- ✓ كيف يمكنني الحصول على أفضل منتج بلاستيكي محقون بأقل كلفة ممكنة, لكمية الانتاج المتوقعة؟

ففي بحثنا هذا سوف نحاول اعطاء اجابة على هذه الأسئلة السابقة من خلال شرح أهم العوامل التي لها تأثير مباشر على كلفة المنتج البلاستيكي المحقون وعلى الانتاجية, وأهم هذه العوامل هي:

1. درجة الحرارة المحيطة والرطوبة
2. عملية تبريد القالب وفعاليته
3. التيار الكهربائي
4. زمن الدورة المتوقع
5. نوع البلاستيك
6. سماكة جدران المنتج
7. التهوية
8. تأثير ماكينة الحقن
9. الطرد (الدفاش)

وأخيراً نأمل بأن نكون قد وفقنا بتقديم عمل مميز في مستوى دراسة انتاج البلاستيك.

والله ولي التوفيق

إن انتاجية القالب تقاس بكم من المنتجات يمكن انتاجها مع مرور الزمن .

حيث أن القالب الذي يعمل بسرعة عالية ولكن أعطاله كثيرة أو يتوقف كثيرا بسبب الصيانة الدورية أو لإصلاح الأعطال لن يقوم بإنتاج منتجات منخفضة الكلفة او منافسة وبإنتاجية عالية .

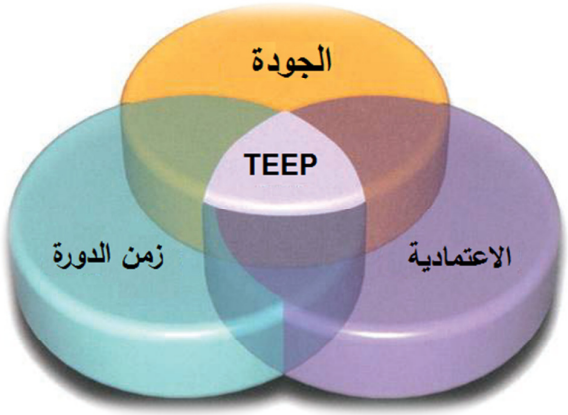
وعلى العكس أيضا القالب الذي يعمل ببطء وبشكل مستمر بدون توقف ليس أيضا قالب مثالي .

كل ما سبق يمكن تطبيقه على كل جزء في نظام الحقن .

من احدى الطرق المتبعة لتحديد الانتاجية هي أن نقيس انتاجية التجهيزات كاملة :

الفعالية الانتاجية لكامل التجهيزات[1] TEEP

Total Effective Equipment Performance



الشكل1-1الفعاليةالانتاجية لكامل التجهيزات

الانتاجية لنظام حقن جيد عادي تصل الى أكثر من 80 %

ولنظام حقن خاص جيد تصل الى أكثر من 90 %

TEEP= Availability X Performance X Quality

سوف نوضح كيفية حساب فعالية المشروع بالمثال التالي 1-1:

مصنع يعمل 24 ساعة يومياً ونظام العمل هو 3 ورديات وفترة الاستراحة النظامية هي 0 دقيقة خلال كل وردية(8 ساعات) ووقت التوقف عند انتهاء وردية العمل هو بحدود 10 دقائق(وقت ضائع)

القالب المدروس يحوي قطعتين زمن دورة 47sec أي39/100min/piece

اجمالي القطع المنتجة 3485 منها 30 استوك

$$\textbf{Availibilty} = \frac{Available\ time}{scheduled\ time} = \frac{scheduled\ time - (3 * 10)}{(24 * 60 - 0)} = 97.91\%$$

Scheduled time وهو زمن العمل 24 ساعة مطروحاً منه فترات الاستراحة في حال تواجدها.

Available time وهو زمن العمل المجدول(Scheduled time) مطروحاً منه الوقت الضائع (Unscheduled Downtime) والذي عادة يكون بين بداية ونهاية كل واردية عمل(10 دقيقة في مثالنا)

$$\textbf{Performance} = \frac{Parts\ produced * Ideal\ cycle\ time}{Available\ Time} = \frac{3485 * 0.39}{(24 * 60) - 3 * 10} = 96.39\%$$

Parts produced القطع المحقونة خلال ال 24 ساعة

Ideal cycle time = 39/100 = 0.39 min/piece زمن الدورة المثالي

$$\textbf{Quality} = \frac{\text{Good parts}}{\text{All produced parts}} = \frac{3485 - 30}{3485} = 99.13\%$$

Good parts القطع المحقونة الجيدة.

All produced parts جميع القطع المحقونة متضمنة القطع الستوك.

TEEP = 97.91% * 96.39% * 99.13% = **93.55 %**

فهذا القالب ذو فعالية انتاجية ممتازة [1] .

1- العوامل الجوية (الحرارة ، الرطوبة)[2]:

افتراضا ان القالب سوف يعمل تحت ظروف مثالية ولكن عادة ليس ذلك هو الواقع .

ان البيئة والجو في مكان المصنع يمكن ان تتغير من بارد جدا الى حار جدا أو من جاف الى عالي الرطوبة أو من نظيف الى متسخ . مع بعض التغيرات المفاجئة مما سبق فان تشغيل القالب سوف يتأثر بشكل ملحوظ .

فمثلا الرطوبة العالية سوف تؤذي القالب نفسه (يصدأ) وسوف تؤثر على زمن الدورة وبالتالي الانتاجية للقالب كما أن التغيرات السريعة في درجة الحرارة يمكن أن تؤثر على اداء آلة الحقن والقالب وتؤدي الى حدوث أعطال وخسائر في الانتاج .

مثال 2-1:

في مصنع لحقن البلاستيك يحوي على 16 آلة حقن موزعين على صفين متوازيين لإنتاج نفس المنتج أو منتجات متشابهة جدا مع نفس النوع من القوالب.

جميع الآلات كانت تعمل بشكل رائع إلا آلة واحدة وهي الأخيرة في أحد الصفين ، كانت تتوقف بشكل متكرر من دون سبب واضح وبعد فحص الآلة مثلا كالتغذية الكهربائية في التابلو أو ضعف في التبريد ..... الخ .

لوحظ أن الماكينة كانت بجوار مخرج طوارئ والذي كان من المفترض أن يغلق بشكل دائم إلا أنه في أحد الأيام ترك العمال الباب مفتوحا من أجل تحسين تهوية المصنع ، إن دخول الهواء البارد من الخارج كان كافيا ليؤثر على عملية التشغيل ومتابعة عمل الآلة وبعد التأكد من إغلاق الباب في جميع الأوقات لم يكن هناك أية مشاكل أخرى مع هذه الآلة إلا مشكلة حرارة الجو المحيط.

الشكل2-1 مصنع حقن بلاستيك كما في المثال 1

1-1 منع التآكل[2] :

إنه من الهام جداً ان يتم تحديد كيف يتم حماية القالب من الصدأ في حال كان من الواضح أنه سوف يعمل في ظروف رطبة ،

هذا يمكن أن يؤثر على كلفة القالب ، وكطريقة يعتمدها الكثر من المصانع لحماية القوالب هي ببخ تجويف القالب بمادة السيليكون أو ببساطة بتزييته وتشحيمه بنوعية جيدة قبل تخزينه.

كما أنه لحماية القالب من الخارج فان الكثير من المصانع تقوم ببخ القالب بالدهان الحراري الزيتي لحمايته من الصدأ.

كأسلوب آخر يمكن تلبيس الأجزاء المتراكمة في القالب بطبقة من الكروم او صناعتها من الستانلس ستيل ، وطبعا في كلا الطريقتين سوف تضاف التكلفة على ثمن القالب.

بالنسبة لقسمي القالب يمكن بدلا من البخ الحراري أن تتم حمايته ضد الصدأ بالتلبيس الكهربائي بالنيكل،

والتي مزاياها أكثر حيث يمكن أيضا بهذه الطريقة حماية بعض التجاويف الداخلية في قسمي القالب والتي عادة لا يتم بخها بالدهان الحراري .

بهذه الطريقة يمكن أيضا حماية أقنية التبريد ضمن القالب من الصدأ والتآكل الذي تسببه مياه التبريد .

ولكن يبقى التغلغل محدود ولا يغطي كافة جدران الأقنية عميقا ضمن القالب.

ان ال ENP يعطي قساوة 70HR ولكن رقيقة وغير مضادة للخدوش والاهتراء .

بعض المواد المقصوصة لجزأي القالب (أرجل القالب):

فولاذ مقسى مسبقا

فولاذ مع ENP(electro-less nickel plating)

ستانلس ستيل SS

يجب دائما الأخذ بعين الاعتبار التكلفة الكلية عند المقارنة بين مواد صناعة القالب ، ان أفضل طريقة هي أن يتم صناعة أجزاء القالب كافة من الستانلس ستيل.

ان التكلفة الأولية للستانلس ستيل أعلى من الفولاذ أو فولاذ الآلات المقسى مسبقا ، لكن في حال شراء الستانلس ستيل بكميات كبيرة فان التكلفة سوف تنخفض بنسبة كبيرة ، وفي حال كان من المتوقع أن يعمل القالب لفترات طويلة فان مزايا الستانلس ستيل هي التي ستحدد السعر الأعلى للقالب .

كما أنه يجب أن لا ننسى أن طريقة التلبيس بالكروم و بأسلوب ال ENP مكلفة ايضا ونحتاج الى عمليات أخرى متممة لإنهاء القالب والى وقت اضافي .

هنالك مشكلة أخرى في تلبيس الكروم حيث أنه اذا أردنا ان نجري أي تعديل على القالب فيجب علينا أولا أن نرسله الى المختص بتلبيس الكروم لينزع طبقة الكروم بطريقة مشابهة وبعد أن نجري نجري المطلوب في القالب يجب أيضا اعادته لوضع طبقة جديدة من الكروم .

ان ذلك مكلف جدا من حيث التكلفة المالية والوقت .

تجدر الملاحظة أن مواد البلاستيك القابلة للتآكل كال PVC الجاسئ, دائما بحاجة الى تلبيس الكروم أو بشكل أفضل إلى ستانلس ستيل للأجزاء المجمعة في القالب .

إن استخدام الستانلس ستيل المقسى مسبقا لحجرات الحقن والأنوية والمدخلات الأخرى ضمن القالب هو اليوم شائع جدا وعلى الرغم من أن الستانلس ستيل مرتفع الثمن لكن عند حساب المصاريف والأخطار المحتملة عند تلبيس الكروم والوقت المعروف فإن الكلفة الاجمالية يمكن أن تصبح أكثر من كلفة الستانلس ستيل.

2- عملية تبريد القالب:

إن مصدر مياه التبريد المتوفرة يجب اعتبارها أيضا الكمية الموجودة وضغط التبريد يجب أيضا أن نتذكر بأنه ليكون التبريد بالماء فعال فان التدفق يجب ان يكون سريعا بما فيه الكفاية ليحدث اضطرابا بالتدفق ان هذا الاضطراب ينقل بشكل ملحوظ حرارة أكثر لواحدة الليتر[3] .

- **هل التبريد كاف للقالب المراد تشغيله ؟**

ان هذه المرحلة هامة جدا في حقن البلاستيك ولها دور هام وذو تأثير مباشرة وبشكل كبير على الانتاجية لذا فسوف نعرض بعض الجداول الهمة واللازمة في اختيار حجم المبرد في القالب.

هنالك بعض المصانع والتي قامت بزيادة عدد الآلات في مصنعها ولكن لم تقم أيضا بالأخذ بالحسبان حجم التبريد الكافي لهذه الآلات الاضافية حيث يبقى المصنع يعمل على نفس الاستطاعة من التبريد.

لوحظ في هذه المنشاة أن الآلات تعمل بشكل أبطئ مما ينبغي عليه أن تكون وبالتالي ذلك سوف يسبب زيادة في كلفة المنتج مع مرور الزمن وانخفاض الانتاجية وقد يسبب أيضا انخفاض في جودة المنتج.

خطوات تحديد حجم التبريد المطلوب للشيلر (المبرد):

- هل الحاجة فقط لتبريد القالب أم القالب والآلة معا؟

للإجابة على هذا السؤال ينبغي علينا أن نعلم نوع الآلة التي سوف يعمل عليها القالب ، هنالك نوعان رئيسيان من الآلات المنتشرة حاليا ذات النظام الهيدروليكي المعروف وهنالك آلات حقن كهربائية تعمل بمحركات السيرفو ، ففي هذه الأخيرة لسنا بحاجة اطلاقا لحساب نظام التبريد للآلة مع القالب وانما فقط للقالب ، أما في الآلات الهيدروليكية فهناك مبرد خاص للزيت بسبب ارتفاع درجة حرارته فيجب أخذه بالحسبان في حال أردنا ضمه لنفس الشيلر .

1)حساب التبريد فقط للقالب [3] :

1 refrigeration ton = 12,000 Btu/h = 3,025.9 k Calories/h = 12,661 kJ/h

288,000 BTU/24 hr = 12,000 BTU/hr

طن التبريد Refigeration Ton

هو كمية الحرارة المزالة بنظام تكييف هوائي والذي يذيب 1 طن(2000 باوند) من الجليد خلال 24 ساعة.

BTU:

واحدة الحرارة البريطانيةBritish Thermal Unit

إن حساب حجم المبرد المطلوب يعتمد على انتاجية القالب في الساعة ولتوضيح ذلك شوف نشرح المثال التالي 3-1 :

لدينا منتج مصنوع من مادة ال PP ووزنه 146 gr يحوي القالب على قطعتين وزمن الدورة الكلي 46 sec أي بإنتاجية 22.7 kg/h أي ما يعادل 50lb/h حيث أن 1kg=2.2 lb

Resin	Chiller lb/h/ton
HDPE	30
LDPE	35
PMMA	35
PP	35
PA	40
PPE	40
ABS	50
PS	50
Acetal	50

الجدول 1-1 حساب حجم المبرد المطلوب

يتم حساب الانتاجية بالساعة 22.7 kg/h أي ما يعادل 50lb/h حيث أن 1kg=2.2 lb

ثم بأخذ القيمة المقابلة لنوع البلاستيك المحقون من الجدول 1-1 PP chiller = 35 lb/h/t° وبضربها بالإنتاجية نحصل على:

Tons cooling = 50 * 35 = 1.75 ton

وبالتالي يكون التبريد المطلوب 1.75طن ولكن لهذا القالب فقط أو لإنتاجية لا تتجاوز 22.7 كغ/سا

2)حساب حجم التبريد للنظام الهيدروليكي فقط [3] :

يمكن تحديد المبرد المطلوب اعتمادا على استطاعة مضخة النظام الهيدروليكي من الجدول التالي

Pump Capacity		REQUIRED IN CAPACITY:	
H P	kw	K Cal. /hr btu /hr	Cooling Tons
5	3.7	3208	1.1
10	7.5	6416	2.1
15	11.2	9623	3.2
20	14.9	12831	4.2
25	18.7	16039	5.3
30	22.4	19247	6.4
35	26.1	22455	7.4

الجدول 1-2

Pump Capacity		REQUIRED IN CAPACITY:	
H P	**kw**	**K Cal. /hr btu /hr**	**Cooling Tons**
40	29.8	25662	8.5
45	33.6	28870	9.5
50	37.3	32078	10.6
60	44.8	38494	12.7
75	56	48117	15.9
100	74.6	64156	21.2
150	111.9	96234	31.8
200	149.2	128312	42.4
225	167.9	144351	47.7
250	186.5	160390	53
275	205.2	176429	58.3
300	223.8	192468	63.6
350	261.1	224546	74.3
400	298.4	256624	84.9
500	373	320780	106.1
550	410.3	352858	116.7
600	447.6	384936	127.3
650	484.9	417014	137.9
700	522.2	449092	148.5
750	559.5	481170	159.1
800	596.8	513248	169.7
850	634.1	545326	180.3
900	671.4	577404	190.9
1000	746	641560	212.2

الجدول 1-2

3) حساب حجم التبريد حسب مواصفات آلة الحقن [3] :

يمكن تحديد المبرد المطلوب من خلال المثال والجدول3-1

مثال4-1 : في مصنع لدينا 3 آلات حقن بلاستيك بالمواصفات التالية :

1) ماكينة 150 طن عدد1

2) ماكينة 200 طن عدد2

من الجدول التالي نجد أن الحرارة الاجمالية المطلوب صرفها لهذه الآلات متضمنة انتاجية القالب:

16000 *k Calories/h* للماكينة 150طن

40000 *k Calories/h* للماكينة200طن

أي المجموع 56000 *k Calories/h*

حجم المبردالمطلوب=56000/3024=18.51 tons

للزيت *k Calories/h*	للقالب *k Calories/h*	الكلي *k Calories/h*	جرعة فيز الماكينة الكلية بالغرام	مقدار احكام الماكينة بالطن
2,250	750	3,000	40	20
3,000	1,000	4,000	70	30
4,500	1,500	6,000	110	50
5,500	2,500	8,000	150	65
6,300	2,700	9,000	170	70
7,000	3,000	10,000	210	80
7,350	3,150	10,500	220	85
8,400	3,600	12,000	250	100
9,000	6,000	15,000	400	135
9,600	6,400	16,000	500	150

مقدار احكام الماكينة بالطن	جرعة فيز الماكينة الكلية بالغرام	الكلي k Calories/h	للقالب k Calories/h	للزيت k Calories/h
175	600	17,000	6,800	10,200
190	700	18,000	7,200	10,800
200	750	20,000	8,000	12,000
250	900	23,000	8,200	13,800
270	950	24,000	9,600	14,400
300	1,100	30,000	13,500	16,500
350	1,400	33,000	14,850	18,150
400	1,700	36,000	16,200	19,800
450	2,100	40,000	19,000	21,000
500	2,500	44,000	22,000	22,000
550	2,750	50,000	25,000	25,000
600	3,000	56,000	28,000	28,000
650	3,400	62,000	31,000	31,000
750	4,000	72,000	36,000	36,000
850	4,750	84,000	42,000	42,000
900	5,000	90,000	45,000	45,000
1,000	8,000	110,000	55,000	55,000
1,400	12,000	140,000	70,000	70,000
1,800	17,000	180,000	90,000	90,000
2,000	21,000	200,000	100,000	100,000
2,300	28,000	240,000	120,000	120,000

الجدول 1-3

يمكن من الجدول 1-3 تحديد المبرد للقالب فقط في حال تشغيله على آلات الحقن الكهربائية

أما بالنسبة لآلات الحقن الهيدروليكية ذات توفير الطاقة فيمكن توفير من 20 وحتى 50 % من تبريد الزيت.

- **هل مياه التبريد نظيفة ؟**

إن مياه التبريد يجب ان تكون نظيفة خالية من الملوثات والمؤكسدات فهنا تظهر ميزة استخدام معدن الستانلس ستيل في صناعة القوالب والتي لها فائدة كبيرة.

مياه التبريد يجب ان تكون خالية من الكلس والذي غالبا ما يستقر في زوايا نظام التبريد مما يؤدي الى انسداد قنوات التبريد وخصوصا في دارات التبريد الدقيقة ضمن القالب والتي غالبا تكون مطلوبة في القوالب عالية الانتاجية لتبريد أجزاء القالب الصغيرة .

يجب صيانة مجاري التبريد دوريا وخصوصا بعد مرور عدة أشهر من تشغيل القالب الجديد حيث يكون مجاري التبريد نظيفة تمام ولا يتم ملاحظة ذلك ولكن تدريجيا نلاحظ انخفاض في زمن الدورة للقالب وبالتالي انخفاض الانتاجية التي بني عليها القالب حيث أن الصدأ أيضا يشكل عازل بين مياه التبريد وقنوات التبريد ضمن القالب.

الشكل 3-1 بعض قطع القالب الصدئة

3- التيار الكهربائي [4] :

إن التيار الكهربائي ليس ثابتا دائما كما هو المطلوب في خارج المناطق الصناعية ليعض الدول وفي كثير من أنحاء العالم وخصوصا البلاد النامية هناك أخذ بعين الاعتبار دائما لتقلبات التيار الكهربائي بسبب ضعف وزيادة اهمال الخطوط الكهربائية

إن مشغلي القوالب في بعض الاحيان أو حتى يوميا يتعطلون خلال فترات ضعف التيار الكهربائي وهم غالبا ما يعانون من مشاكل كلها متعلقة بالتيار الكهربائي والتي قد تستمر من بضع دقائق حتى عدة ساعات ،

إن هذه التوقفات بسبب مشاكل هذا التيار هي ليست مزعجة فقط ولكن يمكن بسهولة أن تكون مكلفة جدا في حال توقف القالب عن الانتاج بشكل متكرر فقط بسبب خطأ في التيار الكهربائي

ان التقلبات في التيار الكهربائي تؤثر على عملية الحقن في سببين رئيسيين :

- إن المتحكمات المنطقية حساسة جداً للتغيرات في الفولتاج ويمكن أن يستلزم ذلك منظمات للتيار وعلى الرغم من أن ذلك هو من متطلبات الآلة ولكن يجب الاشارة الى أنه عندما تتوقف الآلة يتوقف القالب أيضا عن الانتاج
- درجة حرارة الذوبان أو السيولة:

في الواقع جميع السخانات في القوالب وآلات الحقن اليوم هي سخانات مقاومة كهربائية ، ان خرج هذه السخانات يتعلق بمربع الجهد المطبقة فمثلا انخفاض في الجهد الكهربائي بمقدار % 10

سوف يؤدي الى الانخفاض في خرج السخانات بمقدار 20%

إن السخانات المتوازية والمتوضعة على الحاقن تكون متحكمة حراريا وهناك حساسات لقياس درجة الحرارة حيث أن أي انخفاض في الجهد والحرارة سوف يؤدي بشكل أوتوماتيكي لبقاء السخانات في حالة عمل لفترة أعلى

في القوالب ذات التغذية الحرارية إن سخانات المتعددة للمغذي دائما مجهزة بمحولات حرارية (مزدوجات)

ولكن بسبب التكلفة الأولية العالية (في القالب ولتجهيزات التحكم الخارجية المرتبطة به فان كثيرا من القوالب لا تحوي على متحكمات حرارية على سخانات رأس الفوهة (رأس الحقن)وبالتالي يمكن أن يؤدي ذلك الى تغيرات في درجات الحرارة مع تغيرات الجهد وهذا سوف يؤدي الى مشاكل في أداء القالب حتى أن اليوم 80%من القوالب ذات التغذية الحرارية عالية الانتاجية مزودة بهذا النظام للتحكم الحراري للفوهات ولكن تبقى كلفة هذه الميزة الاضافية لها ما يبررها مع ارتفاع الانتاجية

- ✓ انخفاض 10% في الجهد يؤدي الى انخفاض في خرج السخانات الحرارية بمقدار 20% اذا لم تكن متحكمة حراريا.

- في قوالب التغذية الباردة : في هذه الأنواع ان الانقطاعات في التيار ليست خطيرة في حال كان الانقطاع لبضع دقائق فقط ومازال البلاستيك في وحدة الحقن ساخنا بما فيه الكفاية لمتابعة العملية الانتاجية مباشرة ،بحدوث مشاكل ولكن اذا زادت فترة الانقطاع في التيار الكهربائي فان ذلك سوف يستدعي زمنا اضافيا لإعادة تسخيت وحدة الحقن وليس ذلك فقط بل إنما قد يؤدي الى زمن قد يستمر لعدة ساعات لإخراج المنتج من قالب الحقن في حال بردت القطعة المحقونة ضمنه وكان القالب معقدا ولم تؤخذ هذه الناحية في الحسبان أثناء تصميم القالب

- في قوالب التغذية الحرارية : في هذه الأنواع فان الانقطاع في التيار الكهربائي يمكن أن يكون أكثر خطورة الانقطاع لمدة تصل الى دقيقة أو دقيقتين يمكن أن يتغاضى عنها بدون مشاكل ولكن أي فترة انقطاع أعلى سوف تسبب في تدهور في البلاستيك ضمن الموزعة والمغذي في القالب وخصوصا لأنواع البلاستيك ذات الحساسية الحرارية, وسوف يسبب ذلك الى تجمد البلاستيك مباشرة كتلة البلاستيك ضمن الموزعة أصغر بكثير منها في الحاقن وسوف يستلزم ذلك وقت اضافي لرفع درجة حرارة النظام كاملا الى درجات حرارة التشغيل ويجب ايضا تنظيف وحدة الحقن ونظام التغذية الحراري ضمن القالب من البلاستيك قبل اعادة التشغيل

تجدر الملاحظة أن القوالب ذات التغذية حراريا والمصممة بشكل جيد تستلزم وقت أقل لإعادة مزاولة عملها عن تلك ضعيفة التصميم حيث أن نظام التغذية الحراري الجيد يمكن اعادة مزاولة عمله في حوالي 10 الى 15 دقيقة بعد أي انقطاع عن العمل

هذه المعلومات السابقة مهمة جدا لتحديد نوع النظام التغذية المطلوب ضمن القالب حيث ان نظام التغذية الحراري يمكن أن يكون أكثر ملائمة من نظام التغذية البارد لتطبيقات محددة ولكن يمكن أن يؤدي الى وجع راس ومشاكل لا نهائية في حال كانت التغذية الكهربائية غير مستقرة حيث جميع المحاسن والميزات لهذا النظام الحراري يمكن رميها جانبا بسبب التوقفات في العمل نتيجة مشاكل التيار الكهربائي.

4- هل سيعمل القالب على عدة آلات أم على آلة واحدة ؟

غالبا ما يتطلب القالب أن يعمل على أنواع مختلفة من مكنات الحقن وهذا بالتالي سوف يؤدي الى بعض الصعوبات في تصميم القالب وبالتأكيد سوف يرفع من سعر القالب

وعلى الأخص أن التوضعات المختلفة لطاردات (دفاشات) آلة الحقن يمكن ان تؤثر على عملية الطرد (الدفش) وعلى تصميم التبريد ضمن القالب وعموما على حجم القالب ككل

القالب يجب أن يكون مجهز بجميع الميزات مع هذه الأنواع المختلفة من الماكينات أكانت الموجودة حاليا أم المخططة لشرائها في المستقبل

هذا يطبق على عدة أماكن في القالب:

- أبعاد القالب
- أي تحويل للإنتاج الاتوماتيكي
- رفع وترتيب القالب (تتضمن أي أنظمة للتغيير السريع للقالب)
- أبعاد حلقة التوضع
- شكل وأبعاد المغذي
- أماكن توضع طاردات (دفاشات) الآلة
- دارات التبريد والهواء
- الوظائف الهيدروليكية
- التوصيلات الكهربائية

في حال كان القالب مصمم للعمل على آلة واحدة معينة هذا سوف يؤدي الى تصميم بسيط للقالب فمثلا لن يكون هنالك حاجة لتزويد القالب بعدة مقاسات للوردة ويمكن تصميم كيفية توضع واحكام القالب ورفعه ليتناسب فقط مع هذه الآلة المختارة.

5- هل القالب مصمم ليعمل في مشروع جديد؟

ان هذه الحالة مرغوب بها جدا لمصممي القوالب عندما قالب أو سلسلة من القوالب تكون ضمن خطة التشغيل في مصنع جديد أو في قسم منفعل من مصنع قائم ذلك يعود لأنها تعطي فرصة لتعاون مباشر من مصمم القالب والتخطيط للمشروع ككل حيث يمكن اختيار الماكينات الأكثر ملائمة للمنتج حيث يتم تصنيعه وأيضا في تصميم المصنع ككل من تمديدات الكهرباء ونظام التبريد وغيره

وهنا أيضا تسنح الفرصة لاستخدام المواصفات القياسية لكثير من عناصر القالب وأبعادها من طريقة تثبيت القالب وتغييره بطرق سريعة ومن التوصيلات الكهربائية وتوصيلات مياه التبريد وأي ميزة أخرى ليس بالضرورة ان تؤ ثر على القالب المطلوب بحد ذاته بل على جميع القوالب التي يمكن العمل عليها بالمستقبل حيث أن استخدام هذه الستاندرات يلعب دور هام وكبير جدا في التوفير في تكلفة القالب والالة وتجهيزات المصنع مع رفع الانتاجية وبالتالي الحصول على منبع منافس.

6- المتطلبات المتوقعة للمشروع :

- **كم قطعة من المنتج سوف يتم تصنيعها من القالب المراد تصميمه ؟**

ان هذا السؤال يمكن ان يكون أكثر الأسئلة أهمية لمعرفة جوابه قبل تحديد نوع القالب المطلوب لأي وظيفة ولكن غالبا يمكن أن يكون هذا السؤال من الأسئلة الصعبة الاجابة وخاصة اذا كان المنتج جديد في السوق حتى وقد يكون من المستحيل التنبؤ عما اذا كان سيلقى رغبة وقبول وزيادة في المبيعات أو فيما اذا أنه لم لم يقبل كما هو متوقع .

- **على أية حال بافتراض أن الكمية الاجمالية معروفة يأتي السؤال هنا ما هو الاطار الزمني لإنتاج هذه الكميات المطلوبة ؟**

بفرض أن المطلوب هو حقن مليون قطعة من منتج جديد فالأسئلة الهامة هي :

- هل هذه عملية التشغيل لفترة محدودة (خلال أشهر) بالسرعة الممكنة؟

- أم هل الكمية مطلوبة كل سنة لعدد غير محدد من السنوات ؟
- أم هل الكمية مطلوبة على مدار فترة طويلة ولنقل مثلا 5 سنوات أي الحاجة السنوية ستكون بحدود 200 ألف قطعة

6-1 تصنيع قوالب نمذجة (بروتوتايب) أو تجريبية؟

6-1-1 قوالب النمذجة,Prototype Molds.

6-1-2 قوالب تجريبية ,Experimental Molds.

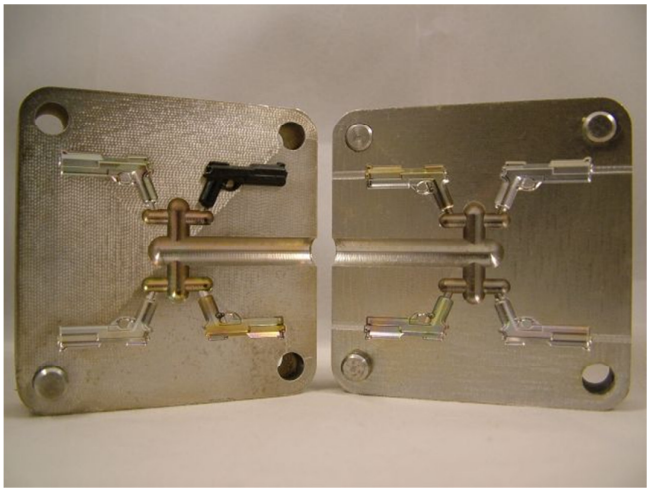
6-1-3 الجمع بين الحالتين.

6-2 القوالب الانتاجية [4]:

- منتج جديد
- منتج موجود كميات أكبر
- كميات محدودة
- تشغيل قصير كميات قليلة

6-1-1 قوالب النمذجة,Prototype Molds.

هذه الأنواع من القوالب تستخدم لصناعة عينات من منتج جديد لتقييم الشكل المطلوب له ولترى كيف يظهر هذا المنتج للعين ولملمس اليد أيضا.



الشكل4-1 قالب نمذجة (Prototype Mold)

العينات المنتجة يمكن أن ينجز عليها الاختبارات المطلوبة لهذا المنتج كالشد والانحناء والنتائج هنا تكون أفضل منها لعينة مصنوعة يدويا على آلات التشغيل كما يمكن ان تكون هذه النتائج أكثر دقة وفي بعض الأحيان تكون أقل كلفة من محاكاة الكمبيوتر لأن المهم في القالب هو فقط شكل المنتج عموما بدون أي قلق عن الانتاجية لذلك يتم أخذ جميع الاختصارات الممكنة في القالب أثناء تصنيعه كمواد القالب (كالفولاذ العادي والألومينيوم أو حتى البلاستيك كالايبوكسي وغيره) يمكن اختيارها طالما هي قاسية بما فيه الكفاية ومقاومة للحرارة والضغط للبلاستيك المحقون.

عادة ان التسامحات الصغيرة في انتاج مثل هذه القوالب غير مطلوبة.

وبشكل عام ايضا لا يتم الأخذ بعين الاعتبار لجودة الأسطح كالنعومة والنقش وحتى اللمعان, وأيضا ليس هنالك حاجة لقنوات التبريد حيث أن اخراج المنتج فقط سوف يستلزم زمنا أطول قليلا حتى يبرد البلاستيك حتى نتمكن من اخراج المنتج وفي كثير من الحالات ليس هناك حاجة لوضع ميكانيزم الطرد لإخراج المنتج حيث يمكن اخراجه بضغط الهواء أو ببعض العينات بشكل يدوي يمكن ان يكون بعض خصائص في المنتج كوجود سن داخلي أو خارجي يمكن انتاجها بوضع ادخالات متحركة حرة في القالب ويتم فكها بعد حقن المنتج .

يمكن أيضا استخدام هذه الادخالات في القوالب التي تحوي على أشكال غريبة أو صعبة التنفيذ على جوانب المنتج والتي يمكن ان تكون كاستخدام أنوية جانبية بالنسبة لبعض الثقوب أو الفتحات البسيطة في المنتج يمكن تشغيلها بعد أن يبرد المنتج

إن هذه فقط بعض الخصائص في المنتج التي يمكن حذفها لغاية تبسيط القالب ولاخفاض كلفة هذا القالب

بالنسبة لنظام التغذية يمكن ان تتم التغذية مباشرة على المنتج باستخدام مغذي بسيط أو يمكن أيضا استخدام قنوات التغذية فرعية قصيرة في حال كان هنالك حاجة للتغذية على جانب المنتج وبعد عملية الحقن يتم ازالة نظام التغذية يدويا.

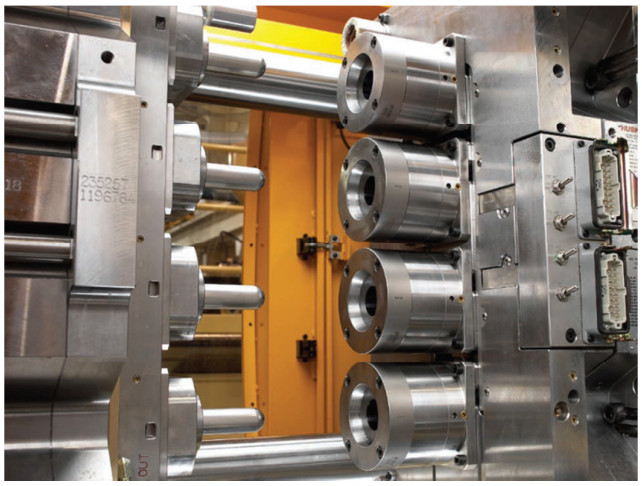
6-1-2 قوالب تجريبية, Experimental Molds .

هذا النوع من القوالب يختلف عن قوالب النمذجة وعادة ما تستخدم لدراسة سلوك البلاستيك في المنتجات الجديدة والمطورة خلال الحقن

بعد الاختصارات التي تم شرحها سابقا يمكن استخدام للتوفير في كلفة القالب لكن بشكل عام القالب ينبغي أن يكون بسيطا وبقطعة واحدة

بالنسبة لفتحة التغذية يجب أن تتوضع كما هو مخطط لها في القالب الانتاجي يمكن أيضا استخدام هذا النوع من القوالب لتحديد أفضل مكان لتوضع فتحة التغذية ولبقية نظام الحقن في القالب

بعض القوالب تتطلب انهاء مناسب للمنتج هنا يرجى ملاحظة أنه خصيصا في المنتجات ذات الجوانب الرقيقة فان عملية الانهاء تؤثر على تدفق البلاستيك ضمن فجوة القالب .



الشكل 5- 1 قالب تجريبي بـ 4 قطع لمحاكاة سلوك القالب الانتاجي (من 48 وحتى 144 قطعة)

ان فعالية التبريد هنا ليست مهمة كما هو في القالب الانتاجي لكن بعض التبريد يجب تأمينه للحفاظ على درجة حرارة ثابتة للقالب لأن جودة المنتج المحقون تعتمد كثيرا على دقة تكرار زمن الدورة

بالنسبة لميكانيزم الطرد ينبغي تأمينه بدلا من الازالة اليدوية وذلك منعا لأي تغيرات في زمن الدفش وبالتالي زمن الدورة

التجارب مع هذه القوالب يمكن أيضا أن تحدد مدى تأثير دورات الحقن ،وعندما تكون بعض مناطق القالب غير مبردة أو مبردة قليلا أو بشكل جيد معلومات مثل هذه يمكن أن تكون ثمينة قبل تصميم قالب انتاجي بعدة قطع ان الاختلاف بين التبريد العادي والاستثنائي يمكن أن يعني الكثير في تصميم وهندسة القالب الانتاجي

إن الانخفاض الحاصل في زمن الدورة باستخدام تبريد استثنائي يمكن ان يكون ضئيل ولا يستاهل التكاليف الاضافية والتعقيدات في القالب

6-1-3 الجمع بين قوالب النمذجة والقوالب التجريبية :

هذا يطبق في حال الحاجة لقالب رخيص لإنشاء شكل المنتج ولكن في نفس الوقت مخطط للدراسة التسويقية ولقبوله في السوق كمنتج وذلك بإنتاج عدة مئات أو حتى آلاف من العينات

عادة مثل هذه القوالب ينبغي أن تعمل بشكل أوتوماتيكي ولكن ليس هنالك حاجة للوصول الى الفعالية العالية في الحقن كتبريد أفضل أو نظام تغذية أفضل وغيره وبدون بعض الإنهاءات الخاصة كأغلب النقوش والرسومات .

6-2 القوالب الانتاجية:

هذه القوالب هي أي نوع من القوالب بخلاف قوالب النمذجة والقوالب التجريبية في تصميم مثل هذه القوالب تجدر الاشارة للحصول على معلومات أساسية للأسئلة التالية

- كم عدد القطع المنتجة المطلوبة ؟
- كم ستكون دورة الحقن ؟

عندما تكون لدينا هذه المعلومات متوفرة فليس هناك صعوبة كبيرة للبدء ولكن غالبا ما يصعب التأكد من هذه المعلومات, بما أن نوع القالب وعدد القطع ضمنه سوف يعتمد بشكل رئيسي على المعلومات المطلوب حقنها فهنا يجب أن نفرق بين الامكانيات المختلفة قبل اعطاء القرار باختيار نوع القالب الأكثر ملائمة

- **منتج جديد**
- **منتج قائم والمطلوب زيادة الانتاجية**
- **كميات محدودة**

6-2-1 منتج جديد:

إن المنتج الجديد غير المجرب هو حالة شائعة ويمكن أن يكون جزء من اختراع أو من منتج حالي مصنوع من مادة مختلفة

- هل سيقبل السوق هذا المنتج الجديد المصنوع بالبلاستيك المحقون؟
- هل سيحتاج الى تعديلات بعد شكاوى أو اقتراحات بعد نشره في السوق ؟
- أم هل سيكون خيبة امل للبائع وسيختفي فورا ؟

لسوء الحظ فان رجل الأعمال يأخذ كافة المخاطر عند الاستثمار في القالب المطلوب بالتأكيد ان ذلك سيكون ملائم للحفاظ على أقل كلفة للقالب ولكن نحن نعلم بأن ذلك قد يرفع من تكلفة المنتجات مع العمل المستمر

- ان كلفة قالب ذو قطع كثيرة قد يؤثر على زمن اطلاق المنتج, هل هناك انتاج عالي متوقع والذي سوف يتطلب قالب بعدة فجوات ؟

في هذه الحالة اذا لم يقبل المنتج في السوق فان الخسارة يمكن أن تكون كبيرة ولكن يوجد هنالك مشكلة خطيرة ايضا عند اطلاق منتج جديد وهي أن المستثمر كان حذرا أكثر من اللازم وكان ينتظر القبول من السوق وحصل المنتج على نجاح ممتاز فان القالب الأول لم يكن مصمما لهذا القبول العالي الغير متوقع

- ماذا يمكن أن تكون الاستراتيجية في هذه الحالة ؟

صناعة قالب آخر (أو حتى عدة قوالب) مشابهة للقالب الأول وتشغيلهم جنبا لجنب

هذا المنهج يؤمن ميزة استثمارات اضافية أقل في حين تؤمن أريحية أكثر في العمل

إن من الأسهل أن نجد عدة آلات أصغر من آلات أكبر ولكن على أية حال يبقى النظام الأكبر باستخدام قوالب عالية الانتاجية مع عدد أكبر من القطع نظام تغذية وتبريد أفضل وحتى أتمتته أكثر فالنظام يوفر في الوقت والنتيجة تكون بالحصول على أخفض كلفة بالمنتجات

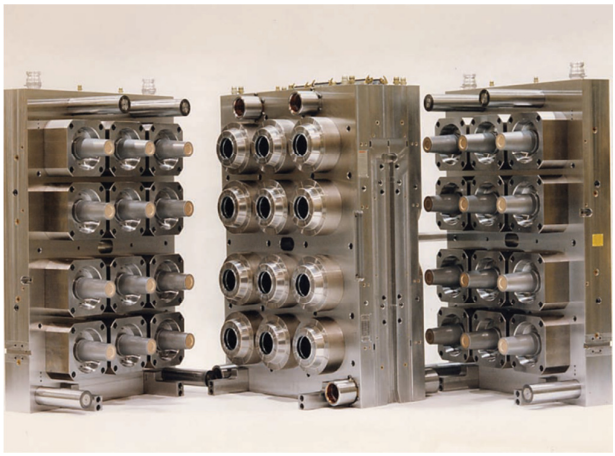
الخلاصة :

لا يوجد هنالك جواب واضح وصريح للأسئلة السابقة حيث أن ذلك يمكن أن يعتمد على عمر المنتج والذي غالبا ما يصعب توقعه بعض المنتجات هي موسمية والطلب يجد نقطة اشباع في وقت مبكر كما أن بعض المنتجات تزداد في الطلب حتى اطلاق بعض المنتجات المنافسة والمشابهة أو حتى منتجات أفضل والذي ينتج عنه أن المنتج الأصلي يختفي حالا أو بعد فترة

أحد النصائح العملية هي أن تبني قالب على أساس الحجم البدئي المتوقع للمبيع مع اضافة 25 % في حالة زيادة الطلب أو بعض التوقفات غير المتوقعة.

6-2-2 منتج قائم والمطلوب زيادة الانتاجية :

بعض المنتجات هي خالدة أو دائمة أي كمياتها السنوية معروفة واستخداماتها يمكن أن تتراوح خلال الفصول ولكنها تبقى في الأساس غير متغيرة هذا ينطبق على كثير من منتجات التعليب كعلب الطعام وحتى المنتجات الطبية.



الشكل 6-1 قالب انتاجي لحقن الكاسات الدعائية (2 X 12 قطعة ,طرد بالهواء)

في هذه الحالات انه ليس من الصعب أن تحدد المتطلبات السنوية ولا حتى لكم من الوقت سيبقى هذا المنتج تحت الطلب.

بالإضافة الى ذلك انه من المهم دائما الأخذ بالاعتبار النظام ككل كالآلة والقالب وأي عملية أخرى لازمة كالأتمتة والتغليف والتجميع وغيرها

ان ذلك سوف يحقق أقل تكلفة للمنتج ومع تشغيل بكميات كبيرة ولفترات طويلة فانه حتى كلفة القالب العالية سوف تكون ضئيلة لكل قطعة منتجة وسوف تساعد بالحصول على أخفض كلفة للمنتج مؤمنة بذلك تشغيل أسرع ولفترة أطول وأعلى جودة للمنتج

6-2-3 كميات محدودة :

في بعض الأوقات يطلب المنتج بكميات محدودة ولمرة واحدة فقط في مثل هذه الحالة يمكن أن يكون المنتج المطلوب مصمم لاستخدام خاص ذو وظيفة معينة فالكميات تكون صغيرة نسبيا ولكن معروفة ويمكن تحديدها

وفي كثير من الأحيان يكون هذا المنتج مطلوبا كمنتج دعائي يوزع مجانا مثل هذه المنتجات يكون مخطط لتوزيعها ضمن فترة معينة تسمى فترة عرض تسويقي لذلك عادة مثل هذه المنتجات تحتاج لعملية شحن سريعة ولكامل الكمية المطلوبة خلال هذه المدة المحددة

فالسؤال الذي يطرح نفسه هنا هل ينبغي انتاج هذه الطلبية على قوالب كبيرة ذات قطع متعددة ؟

هذا بالتأكيد سوف يحقق أفضل كلفة للمنتج ولكن سوف يستلزم آلات كبيرة والتي من المحتمل ألا تكون متوفرة في الوقت الذي يكون فيه القالب جاهزا للإنتاج

إن كلفة القالب سوف تكون أعلى ولكن الكلفة للقطعة المنتجة سوف تكون ضئيلة نسبيا ولكن المشكلة في هذه القوالب الكبيرة انها تحتاج الى وقت أطول حتى يتم تصنيعها وربما لا يسمح الوقت بذلك أيضا هذه القوالب تضع مصنع المنتج في حالة ضعف اذا تعطلت ماكينة الحقن أو القالب وفي هذه الحالة لن يكون هنالك أي انتاج .

كحل بديل فان عدد قوالب صغيرة ومتشابهة يمكن أن يتم تصنيعها ببساطة وبسرعة أكبر بالتعاقد مع أكثر من مصنع للقوالب اذا لزم الأمر هذه القوالب الصغيرة يمكن تشغيلها على آلات أصغر والتي عادة تكون أسهل توفيرا كما أنه في حال ضرورة يمكن التعاقد مع منتجين آخرين لديهم آلات حقن هذا من المحتمل أن يزيد من كلفة المنتج وذلك لسببين :

- لأن القوالب الأصغر والأقل كلفة هي ليست كإنتاجية القوالب الكبيرة
- بسبب الكلفة المضافة في حال التعاقد مع مصدر آخر

وعلى أية حال فان هذا المنهج سوف يكون أقل خطورة في حال حدوث أي عطل أو توقف في الانتاج

الخلاصة :

الاستثمار في أفضل قالب ممكن هو المفتاح لعملية التشغيل الناجحة.

7- زمن الدورة [5]:

بعد أن كان معلوماً لدينا الكمية المطلوب انتاجها فإن خطوتنا التالية هي الوصول لتقدير السرعة التي يمكن أن تتشكل بها القطعة في القالب .

يفضل البعض الإشارة لعدد الثواني (زمن الدورة) اللازمة لقولبة القطعة بينما يفضل آخرون عدد القطع التي يمكن قولبتها في كل ساعة أي القطع التي يمكن إنتاجها في الساعة. وأي الأسلوبين استخدمنا فهو مقبول . إن زمن الدورة لأية عملية حقن تعتمد على عدد من الصفات المميزة والتي سنناقشها بالتفصيل في الفقرات التالية . ومن المهم فهم هذه المنهجية قبل تحديد مقدار منطقي لزمن الدورة .

توضيح: 3600 sec (1 hour) مقسومة على زمن الدورة بالثانية يساوي إلى عدد الحقنات في الساعة. عدد الحقنات في الساعة مضروبةً بعدد الفجوات ضمن القالب تساوي إلى عدد المنتجات المحقونة في الساعة الواحدة.

7-1 نوع البلاستيك المحقون:

لدينا عدة نقاط هامة يجب أن نأخذها بعين الاعتبار:

- درجة حرارة الانصهار اللازمة لنصبح قادرين على الحقن وملئ فجوات القالب حيث أن حرارة الانصهار الأعلى تتطلب أوقات تبريد أطول قبل أن نستطيع طرد القطع .
- الناقلية الحرارية للبلاستيك, إذا كانت الناقلية الحرارية للبلاستيك أقل فإن الحرارة داخل المادة المنصهرة ستستغرق وقتاً أطول من الزمن المطلوب إن كانت الناقلية أعلى لتنتقل الحرارة إلى جدران القالب المبردة . ولكن إن كانت جدران المنتجات رقيقة وليس فيها مقاطع سميكة نسبياً

فإن الفرق في الناقلية لن يكون ذو أهمية لأن المسافة التي ستقطعها الحرارة لجدران التبريد صغيرة جداً .

- سرعة الحقن وخاصة عبر البوابة , بعض أنواع البلاستيك حساسة لإجهادات القص التي يسببها الحقن بسرعات عالية (وخاصة في منطقة البوابة) ونرى في هذه الأنواع تقليل من تدفق البلاستيك إلى فجوة القالب . وفي هذه الحالة السرعة الأقل للحقن (والضغط) سيكون محبذاً, مما سيؤثر على زمن الدورة.

بعض أنواع البلاستيك وخاصة البلاستيك التجاري مثل PP و PS و PE المستعملة في الكثير من المنتجات تتأثر بشكل قليل بإجهادات القص , ولكن الكثير من البلاستيك الحساس للحرارة قد يتلف بسرعات الحقن العالية .

- بلورية البلاستيك, البلاستيك البلوري مثل PE و PP يتطلب إدخال حرارة أكبر من البلاستيك غير المتبلور مثل PS ليصل إلى درجة الانصهار المطلوبة .وبالتالي كمية الحرارة العالية المنتقلة ستتطلب وقتاً أطول ليبرد المنتج المحقون قبل عملية الطرد .

وأحياناً قد يكون القالب مصمماً لإنتاج نوعين من البلاستيك , وليس الانكماش فقط هو الذي سيكون مختلفاً بل زمن الدورة أيضاً .

- الفيلرات (Fillers), إن اضافة المواد الخاملة للبلاستيك (كالألياف – التالك ... إلخ) يؤثر أيضاً بشكل معاكس على زمن الدورة. وبالإضافة لذلك, سيكون الانكماش أقل منه عند استخدام نفس البلاستيك ولكن بدون اضافة الفيلرات. وعلينا الأخذ بعين الاعتبار أن العديد من الفيلرات قد تصيب مواد القالب بالتآكل وخاصة عند البوابة. وبشكل عام عند اختيار مواد البوابات والقالب يجب أخذ هذا النقطة بعين الاعتبار بسبب تأثيرها على تكلفة القالب .

مثال 5–1 : إن الفولاذ العالي المتانة والمقاوم للتآكل هو معدن جيد للبوابة لأنه يقاوم الاهتراء ولكن كونه ناقل ضعيف للحرارة, فإن منطقة البوابة ستعاني من صعوبة التبريد, وهذا سيؤدي لزيادة زمن الدورة حيث أن ذلك مهم خصوصاً في القوالب السريعة.

الشكل 1-7 إن نوع البوليمر المحقون يمكن أن يؤثر بشكل ملحوظ على زمن الدورة (مثل هذا الـ PS)

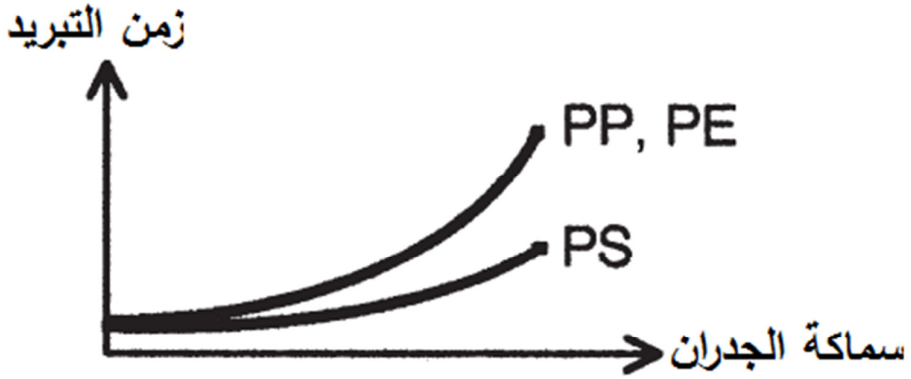
2-7 سماكة جدار المنتج :

ويلعب سمك الجدار دوراً هاما في عملية التبريد ولذا يؤثر على زمن الدورة. نظرياً يجب أن سماكة الجدران موحدة على طول السطح المنتج . ولكن هذا نادراً ما يتحقق عملياً باستثناء بعض المنتجات كالأغطية وبعض الحاويات وبعض المنتجات المسطحة . ومعظم المنتجات لديها أجزاء أكثر سماكة في ميزاتها التصميمية . (مثلاً محاور العجلات) ولكن حتى لو كانت العجلات موحدة السماكة , سيكون هناك أجزاء أكثف في طبقات الجدران وفي أساس الأضلاع, وليست السماكة الموحدة للجدران هي من يتحكم بزمن الدورة بل إنما الأجزاء ذات المقاطع الأكثف.

وهذا يصبح أكثر تعقيداً, لأن هذه الأجزاء الأكثف غالباً تكون أكثر بعدا عن المناطق التي يصلها التبريد بشكل أسرع لذلك حيث يتم الاعتماد على ممرات أطول تصل عبرها الحرارة لقنوات التبريد, وأحياناً تستخدم المواد الناقلة للحرارة بشكل أفضل للمساعدة على إزالة الحرارة من هذه "البقع الحارة" بشكل أسرع.

وتوجد مخططات وروسم بيانية وبرامج كمبيوتر مجهزة للربط بين سماكة الجدران وزمن التبريد وهي تعتمد بالغالب على حالات بسيطة ولكن غير متشابهة.

(انظر الشكل1-8)



الشكل 8–1 يبين العلاقة بين زمن التبريد وسماكة الجدران المنتظمة ونوع البلاستيك(هذا المخطط فقط لتوضيح أهمية تقليل سماكة الجدران عند تصميم القالب)

3–7 المواد الخام للقالب:

إن اختيار المواد الخام لصنع القالب للأجزاء المجمعة أيضاً له أثر على زمن الدورة. وهناك بعض الفروقات (ولكنها قليلة نسبياً) في ناقلية الحرارة (وهي ضئيلة) بين الأنواع المتعددة لسبائك الفولاذ المقسى (فولاذ القالب) والذي يستخدم عادة. إلا أن ناقلية فولاذ الآلات وهو غير مقسى أفضل قليلاً ولكنها أيضاً تبقى قليلة. أما ناقلية ما يسمى ب "الفولاذ الطري"(Mild steel) أفضل قليلاً ولكن قلَ ما يستخدم في الأجزاء المجمعة نظراً لضعف مقاومته وضعف قابلية تلميعه.

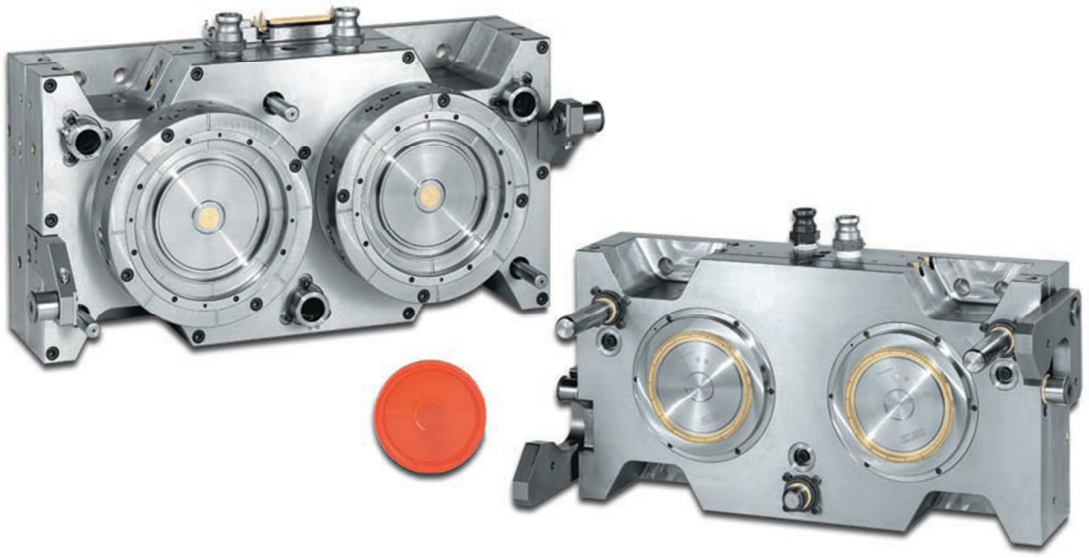
إن المعادن الأخرى ذات الناقلية الأعلى كالألمنيوم والنحاس, لا تستخدم لأنها طرية جداً, إن بعض سبائك الألمنيوم تكون قابلة للتشكيل وغير مكلفة نسبياً وتستخدم أحيانا في قوالب النفخ حيث يكون الضغط أقل بكثير كما تستخدم أحيانا في قوالب الحقن, في الأماكن التي تكون فيها الإجهادات قليلة, وقد تستخدم حتى في قوالب النمذجة (Prototype Molds).

أما سبائك نحاس البيريليوم (BeCu) فناقليتها الحرارية أفضل بحوالي 4–7 مرات من الفولاذ, وتستخدم في مجموعات القوالب (عادة كمدخلات في الفجوات أو الأنوية) للاستفادة منها في الأماكن التي تتطلب أعلى معدل إزالة حرارة يمكن الوصول إليه . وفي قوالب التدفق السريع يكون الفرق بين الفولاذ و BeCu عدة ثوان مما سيتحول إلى لزيادة كبيرة في الإنتاج. إن سبب عدم استخدام BeCu أكثر في القوالب هو غلاؤها فهي أغلى من الفولاذ وليست بنفس القوة. ولأنها أكثر ليونة من الفولاذ

المقسى لذا يتم إدخالها في الفولاذ (الفجوات أو الأنوية) ويجب عدم استخدامها عند خط الفصل أو في أقفال القالب .

هنالك خطر حدوث المسامية في القطع الكبيرة , فالأجزاء الأصغر عادة تشغل من القضبان والأعواد المسحوبة , أما الأجزاء الأكبر , تتطلب سباكة مع ضغط على الفراغات في أجزاء القالب .

ملاحظة: إن عملية تشغيل الـ BeCu تحتاج إلى تدابير وقائية بسبب الغازات الخطرة الناتجة أثناء تشغيلها بأدوات القطع.



الشكل 9-1 قالب غطاء بفجوتين, تم استخدام الـBeCu كإدخال على حلقة الفجوة وعند البوابة بهدف انقاص زمن التبريد

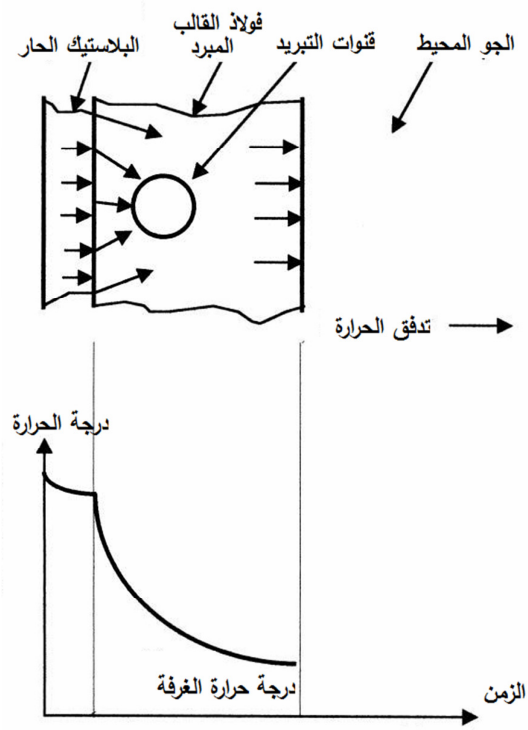
4-7 فعالية التبريد :

إن الغاية من تبريد القالب هي إزالة الطاقة الحرارية التي دخلت إلى فراغ الفجوة خلال عملية حقن البلاستيك الحار المنصهر وبأقصر زمن ممكن, وكلما كانت فعالية إزالة الحرارة أفضل كلما كانت إنتاجية القالب أعلى.

- قوالب الإنتاج المنخفض (تقريبا أقل من 1000 قطعة بلاستيكية)

إن الانتقال الحراري من القالب إلى الهواء المحيط وإلى بلاطات الاحكام في الآلة سيحدث مع مرور الزمن في أي قالب حقن. ويعتبر هذا مقبولا فقط في الحالات التي يكون فيها المطلوب

إنتاج قطع قليلة وعندما يكون زمن الدورة غير مهم, ففي هذه الحالة لا نحتاج بالتزويد بأي تبريد للقالب على الإطلاق.



الشكل 10-1 منحني عملية تبريد القالب

- قوالب الإنتاج الكبير للمنتجات ذات الجدران الرقيقة:

هنا تقاس فعالية التبريد لقالب الحقن السريع للمنتجات رقيقة الجدران, حيث أن كتلة كل منتج تكون صغيرة نسبياً, ولكن بما أن زمن الدورة قصير فإن كميات كبيرة من الحرارة (في البلاستيك الحار)تنتقل للقالب خلال واحدة الزمن, والذي يجب أن يتم تبريده بشكل جيد, للتأكيد على أن حرارة القالب مستقرة وعند درجة حرارة منخفضة. هذا يتطلب أفضل أساليب التبريد, وهي مكلفة بشكل أكبر من ناحية التصميم والتصنيع.

وهذه القوالب تستخدم المواد الأولية للقوالب التي تناسب بشكل أكبر تسهيل عملية الإزالة السريعة للحرارة (وهي غالية ومكلفة في بعض الأحيان) ولكن الأعباء المادية والكلفة المرتفعة جديرة بالتحمل. لأن النتائج ستكون الحصول على قالب ذو إنتاجية أعلى وبتكلفة أخفض بالنسبة لكل قطعة يتم حقنها.

- قوالب الإنتاج الكبير للمنتجات ذات الجدران السميكة:

عندما يبرد البلاستيك أثناء عملية القولبة , فإنه يتقلص على النواة ويبتعد عن جدران الفجوة, وبعد أن يفقد تماسه مع جدران الفجوة ستصبح حتى أفضل فجوات التبريد غير قادرة على إزالة الحرارة من المنتج. ولكن الوقت القصير نسبياً والذي يكون فيه البلاستيك على تماس مع الجدران الباردة للفجوة يكفي لخلق سطح رقيق بعض الشيء وصلب و دافئ, بينما يتواصل التبريد في داخل النواة لإزالة الحرارة من داخل جدران البلاستيك .

وعندما تسمح الطبقة الخارجية الصلبة بالانفتاح المبكر للقالب وبسحب المنتج لخارج الفجوة بدون التعرض خارج الفجوة لخطر التلف (بينما يبقى على النواة) سيكون من غير الممكن طرده في هذا الوقت, لأن الجزء الخارجي من المنتج قد يتعرض للتلف باستثناء الطبقة الصلبة .

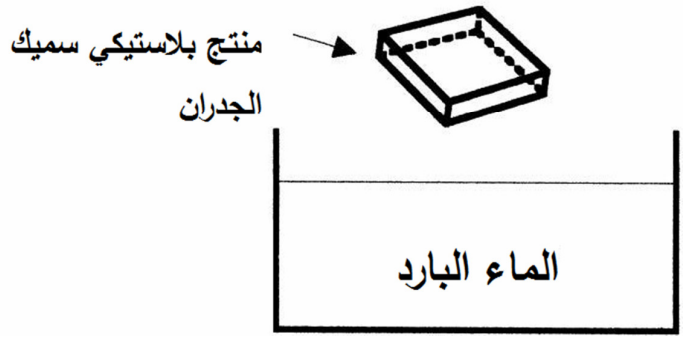
ومن السهل عادةً تزويد الفجوة بتبريد كاف بالغرض, ولكن غالباً من غير السهل تبريد الأنوية لأن :

- حجم النواة عادة يكون أصغر بكثير من حجم الفجوة.
- قد توجد دبابيس الطرد تتحرك من خلال الأنوية.
- يوجد في بعض الأحيان قنوات هوائية في الأنوية .

ويقلل البندين الأخيرين من الفراغ الذي يجب أن يستوعب خطوط التبريد الفعالة, وهناك عدد من الإمكانيات لزيادة الإنتاجية:

- يعود الأسلوب الأول إلى المراحل الأولى من تصنيع منتجات قوالب الحقن وهو بسيط ولايزال يستخدم للمنتجات الثقيلة جداً والبسيطة وذات الأبعاد غير المتقاربة بشكل محدد, ينفتح القالب ويبرد خارجياً أما داخلياً فيبقى ساخناً و طرياً (لذلك يتلف بسهولة).

ويتم أسقاط المنتج في وعاء يحوي ماء مبرداً و جارياً , ثم تتم إزالته من الماء, ويتم تجفيفه أما يدوياً أو عن طريق ناقل يحمله عبر قناة تبريد بالهواء حتى يجف. وهذا أسلوب أولي بعض الشيء ولكنه قد يكون فاعلاً في بعض الحالات. كما في النايلون وبعض المواد الأخرى التي تتطلب محتوى كبيراً من الماء للوصول لصفاتها الطبيعية, فيكون هذا الانغماس في الماء مفيداً لها, أما المواد الأخرى فإن امتصاص الماء قد يتلفها, لذا يتوجد عدم استخدام هذا الأسلوب.



الشكل 11–1 المنتج يتم تبريده بفعالية عالية عند غمره بالماء

- وهناك أسلوب نمطي آخر بمعالجة المنتجات المسطحة مثل (الصينية) أو منتجات أخرى – قد تكون أكبر– ذات أشكال مختلفة والتي تنحني بعد سحبها مبكراً من القالب.

ويوضع المنتج الذي لا يزال ساخناً(ويتلف بشكل سهل) على مثبت تبريد بعضها بسيط وبعضها معقد حيث يتم مسكها بأوزان أو مماسك أو حامل إقفال ميكانيكي. أو أي أسلوب آخر مناسب. حتى يبرد بشكل كاف و يحتفظ بشكله المناسب بدون التواءات (كما تمت قولبته) .

ويمكن أن تتواجد عدد من المثبتات بالآلة بحيث توضع القطع عليها بالتتالي بعد أن يتم حقنها ثم يتم جمعها بعد أن تبرد. وهذا الأسلوب أولي وبدائي ويتطلب جهداً, ولكنه قد ينقص بضع ثوان من زمن الدورة. والبديل أن نترك القالب مغلقاً حتى يبرد المنتج بما فيه الكفاية وعدم لويه بعد الحقن.

يتطلب عادة اتباع هذين الأسلوبين السابقين معاً عند حقن بعض المنتجات كأجسام المكانس السميكة والطويل نسبياً حيث تكون سماكة الجدار بحدود 8–18 mm والطول بحدود 20–40 cm .

- يمكن أن تثبت المنتجات الساخنة بمثبتات تبريد متحركة (تبريد بعد القولبة) و الأمثلة النمطية على هذا الأسلوب من التبريد هي المنتجات ذات الجدران السميكة والمستعملة في صناعة قوارير النفخ PET. وهذه المنتجات مطلوبة يومياً بالملايين في أنحاء العالم, وكل جزء من الثانية نقوم بتوفيره يحقق اقتصاداً كبيراً في الوقت على مدار العام, ولكن المشكلة الأكبر هي الجهد المبذول للتبريد والوقت الطويل الذي تستغرقه عملية تبريد الجدران السميكة والتي– في المرحلة التالية– سيتم إعادة تسخينها ونفخها لتصل للشكل النهائي للقارورة بواسطة آلات نفخ

خاصة. السماكة العادية للجدار هي بحدود 3–4 mm. ويجب أن يكون التبريد فعالاً لإزالة التبلور من البلاستيك وهو يبرد, مما يتطلب مياه باردة جداً وذات تدفق كبير. وعندما يكون من السهل نسبياً تبريد كل من الفجوة والنواة, قد تكون الدورة لا تزال في نطاق30–35 sec أو حتى أكثر, ومشكلة أداء التبريد الفعال كانت – ومازالت – موضوعاً للعديد من البحوث, وقد طرأت العديد من التطورات والتحسينات على هذا العجال "القولبة بالحقن " وأبسط مقاربة لزيادة الإنتاجية هو زيادة عدد الفجوات, وهذا يحسن الإنتاجية بشكل واضح, ولكن الهدف الرئيسي من البحوث معرفة كيف نخفض زمن التبريد (ملاحظة: منذ البدايات الأولى لهذه القوالب ازداد عدد الفجوات من 4 إلى 192 في كثير من قوالب الإنتاج).

إن العامل الأساسي في تقليل زمن الدورة هو زيادة كمية الحرارة المنتقلة من البلاستيك إلى وسط التبريد (ماء أو هواء) إما عن طريق مثبتات تبريد خاصة أو بإزالة المنتجات مبكراً من الفجوات وتركها وقتاً أطول على الأنوية كما سنبينه فيما يلي :

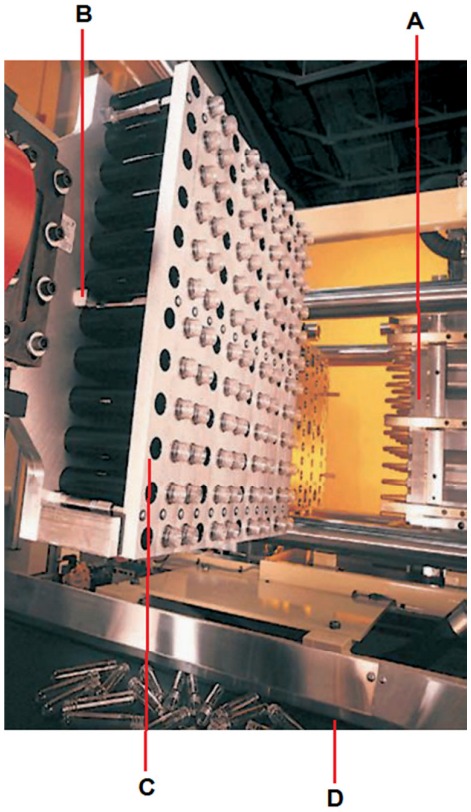
- يمكن طرد المنتجات التي لا تزال ساخنة جداً من على الأنوية إلى الحافظات التي تبرد بالمياه, يقدمها روبوت إلى منطقة القولبة. ثم تنقل المجموعة الكاملة للمنتجات التي لا تزال ساخنة إلى خارج منطقة القولبة وعندها يمكن البدء بدورة حقن جديدة .

وقد تم تنفيذ هذا الأسلوب بطرق متعددة (منها مبتكرة), وقد انخفض زمن الدورة بحوالي 1/2 أو 2/3 أو حتى أفضل من ذلك أحياناً.

وهذه الزيادة المهمة في الإنتاجية ليست رخيصة, ولكن التكلفة التي أنفقت على المعدات المهمة لن تعتبر خسارة بعد فترة قليلة من الوقت, نظراً للتوفير الذي تم الحصول عليه.

يظهر الشكل 1–12 قالباً ذو 48 فجوة لتشكيلات قوارير الـPET, (على اليمين) مصفوفة الأنوية (A) على البلاطة المتحركة. وروبوت الإدخال الجانبي (B) يحمل 48x3 وعاء تبريد (C) , وتضبط مواضعها بحيث تقوم صفيحة روبوت بعد كل مرة تحقن فيها الآلة مجموعة من التشكيلات التي لا تزال ساخنة بنقلها إلى أوعية التبريد , تنتقل هذه البلاطة إلى الدورة التالية, وتتجه الأنوية إلى مجموعة جديدة من أوعية التبريد (الفارغة) . وقبل الدورة الثالثة من إفراغ القالب, تطرد التشكيلات التي أصبحت باردة الآن من دورة الحقن الأولى.

وفي كل عملية طرد تدور البلاطة 90 درجة بحيث يتم إسقاط التشكيلات التي أصبحت باردة إلى سير ناقل D للنقل إلى حاوية. وعندما يكون زمن الدورةsec 12–14 , ينتج هذا النظام من 14,400 إلى 12,340 تشكيلة في كل ساعة .



الشكل 12–1 قالب حقن لتشكيلات الPET يحوي على 48 فجوة

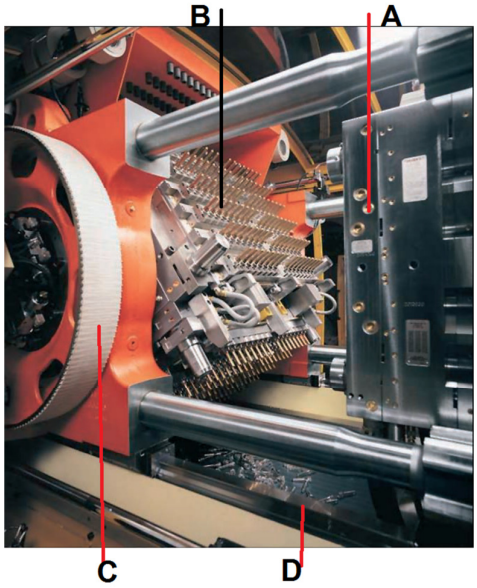
- وأحد التطورات الحديثة هو استخدام مجموعات متطابقة من الأنوية المبردة تثبت على نصف الآلة الدوار تحوي إما 2 أو 4 مصفوفات, وهذا يتطلب آلة خاصة. ولكن لا حاجة للروبوت السالف ذكره . ويحقن البلاستيك ويفتح القالب عندما تتشكل الطبقة الباردة على السطح الخارجي للتشكيل وتسمح للمنتجات التي ما زالت في الداخل بأن يتم نزعها من الفجوات. وعندما تصبح أول مجموعة من الأنوية في موضع الفتح, فإن حامل الجزء الداخلي يدور وتدخل مجموعة جديدة من الأنوية الباردة إلى الفجوة. وتبقى التشكيلات في الأنوية إلى أن تصبح جاهزة للحقن بأمان, ويتحرك طرف القطعة الداخلية ذات المجموعتين 180 درجة في كل دورة ويطرد أثناء هذا الدوران, بينما تكون المنتجات متوجهة نحو الأسفل وقبل الوصول للموضع الذي تصبح منه من جديد على خط واحد مع الفجوة لإعادة إغلاق القالب .

وطرف القطعة الداخلية ذات الأربع مصفوفات يتحرك 90 درجة في كل دورة ويقوم بالطرد عندما تكون المنتجات متوجهة نحو الأسفل, وقبل الدوران الذي يجلب الأنوية الفارغة لتصبح على خط واحد مع الفجوة ويغلق القالب.

إن هذه الأنظمة معقدة جداً ولكن لها مبرراتها وخاصة لأنها لا تتطلب فراغ أرضية كبيرة كالأنظمة التي تستخدم الروبوتات .

يظهر الشكل 1-13 قسماً من آلة الفهرسة الخاصة, ذات قالب له 96 فجوة لتشكيلات PET ,يتألف القالب من مجموعة واحدة من 96 فجوة , تظهر على اليمين(A) .

ولدينا 4 مجموعات في كل منها 96 جزء داخلي (B) في قسم التأشير للآلة . وتم ضبط الآلة بحيث تقوم بعد الحقن أول مرة وحالما تبرد التشكيلات كفاية ويمكن نزعها من الفجوات, يفتح القالب وتدور البلاطة(C) 90 درجة , ثم ينغلق القالب من جديد لدورة الحقن التالية . ويتكرر الحقن , وعندما تصبح الدفعة التالية جاهزة لإخراجها من الفجوة , يتكرر دورة 90 درجة أخرى .



الشكل 13-1 نوع خاص من آلات الحقن تحوي على قالب بـ96 فجوة لحقن تشكيلات الـPET

وتصل التشكيلات التي تمت قولبتها أولاً إلى موضع مقابل لوحدة الحقن. وتتكرر الخطوة نفسها في دورة الحقن الثالثة , وبعد أن تتحرك بلاطة الإغلاق 90 درجة من جديد , وهنا تصل المجموعة الأولى من التشكيلات (من عملية الحقن الأولى) والتي كانت في الجزء الداخلي خلال ثلاث دورات حقن كاملة , إلى موضع موجه للأسفل , وفي هذا الوقت وقد

أصبحت التشكيلات باردة كفاية ليتم طردها بأمان إلى الناقل D الذي يتوضع أسفل وحدة الإغلاق . المجموعة التي حررت الآن تكون جاهزة لتدخل الفجوات من جديد لدورة الحقن التالية . وعندما يكون زمن الدورة 11sec فإن هذا النظام ينتج أكثر من 31,400 تشكيلاً في الساعة . ويمكن استخدام هذه الآلات في أي منتج ذو جدار سميك جداً و أينما طلبت كميات كبيرة منه.

- قوالب معظم المنتجات الأخرى:

تجهز قوالب هذه المنتجات بنظام تبريد, و عادة في قوالب الأشكال المعقدة والتي تتطلب العديد من الأنوية (وهي غالباً منتجات تقنية) من شبه المستحيل أن تبرد الفجوات والأنوية تبريداً قريباً من فضاء الفجوة .

ويتحقق التبريد فقط عبر نقل الحرارة من خلال الجدران المجمعة والإدخالات إلى بلاطة قالب التبريد, والمتوضعة تماماً وراءهم أو حولهم . وهذا يؤدي إلى التخلص من الحرارة بشكل أبطء من لو بردنا جدران الفجوة أو النواة مباشرة ولكنها الطريقة الوحيدة التي تحفظ القالب في حرارة مستقرة. وبشكل مماثل, في بعض المنتجات, والتي تحوي على بقع حارة لا يمكن تجنبها (مقاطع سميكة)حيث لا فائدة من التبريد الممتاز لمناطق يمكن أن تبرد بسهولة, لأن هناك مساحة كافية لهذا التبريد, مالم نؤمن تبريداً أفضل لهذه النقاط الحارة جداً.

- ✓ إن المنطقة التي تبرد بشكل أبطئ من غيرها في القالب هي دائماً التي تتحكم بزمن الدورة.

ومن المدهش كم بحث مصممو القوالب وصانعوها في هذه النقطة وتساءلوا لم لا يستطيعون تحقيق زمن أفضل للدورة "مع أنهم قاموا بالتزويد بتبريد هائل".

وما رأيناه قبل قليل– وخاصة بقوالب الحاويات والمنتجات ذات شكل الفنجان, تكون بعض أجزاء القالب(مثل الفجوة) لديها فضاء واسع لدارات التبريد .

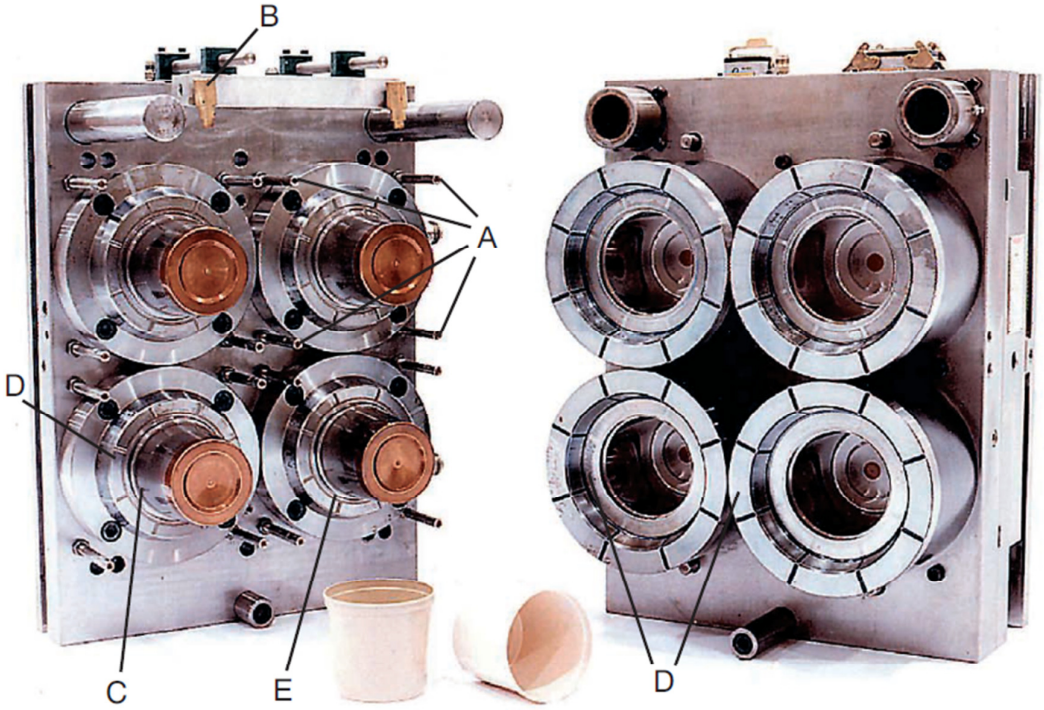
بينما تكون النواة, التي تحتاج لتبريد أكبر, غير مزودة بفراغ كاف لأنها أصغر من الفجوة وعليها تأمين حركة الطرد أيضاً والتي تتجاوز الفراغ المعد للتبريد وقنوات الهواء.

ولسوء الحظ, لا يفهم الكثير من مصممي القوالب هذا ونرى الفراغ الكبير متوفر في الفجوة مما يعطي تبريداً أكثر من اللازم في منطقة غير حرجة, وبالتالي ينفقون الأموال في غير مكانها.

5-7 تنفيس الهواء:

وهو عامل آخر يؤثر على زمن الدورة, من المهم إخراج الهواء من القالب من أمام البلاستيك المندفع أثناء الحقن, حيث أن تنفيس الهواء ضروري لأي قالب للتأكد من أن البلاستيك سيدخل بكل حرية إلى فراغ الفجوة ويتوزع بشكل ملائم .

وتنفيس الهواء ذو أهمية خاصة في قوالب الحقن السريع, وكمثال نموذجي (6-1) نأخذ قالب ذو4 فجوات الشكل(14-1) لحقن حوض صغير, وعندما يكون تنفيس الهواء ممتازاً- أو كبيراً -فإن القالب ينهي 17 دورة(حقنة)في الدقيقة, ولديه فراغات تنفيس مستمرة على أطرافه, عن طريق تزويده بالمزيد من القنوات (8 بدلاً من 4) ليسمح للهواء بالخروج بشكل أسهل, ويمكن أن يزيد الإنتاج لعشرين دفعة بالدقيقة, حيث تصل الزيادة بالإنتاجية إلى 17 % .



الشكل 14-1 قالب بـ4 فجوات حقن PP, A نفاثات الهواء لنواة واحدة, B طرد بالهواء للأسفل, C ثغرات التنفيس مستمرة, D أثلام تنفيس و E قنوات تنفيس للسماح بملء سريع للفجوات. إن انتاجية هذا القالب عند زمن دورة 6 sec هي 2400 اناء في الساعة

7-6 تأثير آلة الحقن (القولبة) على زمن الدورة :

إن عدة مواصفات خاصة بآلة الحقن تؤثر على إنتاجية القالب, وسنناقش هذا فيما بعد, ومن المهم أن نكون على علم بالآلة التي يشكل القالب لأجلها, للوصول لتقييم أكثر دقة لزمن الدورة المناسب.

في حالة المنتجات والقوالب المتشابهة أو حتى المتطابقة فإن زمن الدورة يمكن أن يختلف باختلاف مواصفات آلة الحقن. إن العوامل المتعلقة بالآلة والتي تؤثر على إنتاجية القالب هي:

الدورة الجافة, ضغط وسرعة الحقن, قوة الاحكام(بالطن) وزمن التعبئة(للحلزون).

دورة القولبة sec = الدورة الجافة + الحقن + التبريد + الطرد

7-6-1الدورة الجافة:

إن الدورة الجافة هي العامل الأكثر تغيراً من آلة لآلة. كما أنها تستطيع أن تؤثر على زمن الدورة أكثر من أي عامل آخر . وتعرف بأنها :

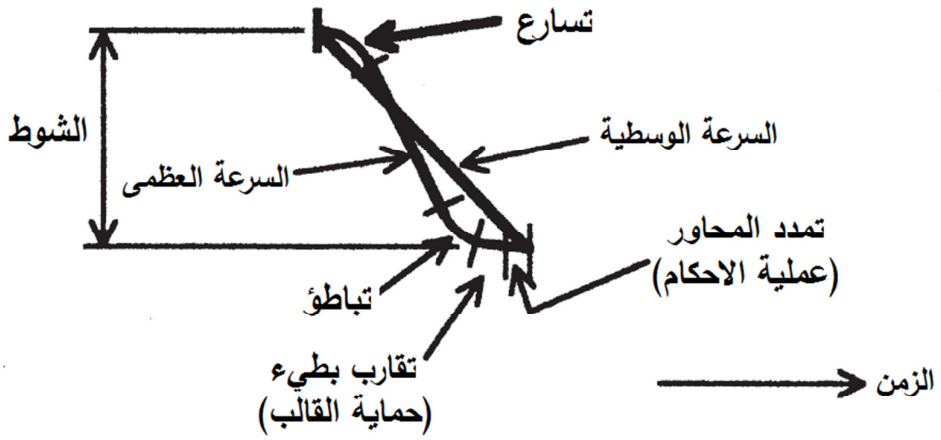
الزمن (بالثواني) الذي تستغرقه البلاطة المتحركة لتتحرك على طول شوط العمل, من موضع فتح القالب (MO) إلى الإغلاق ومن ثم الاحكام و فك الاحكام ثم العودة إلى الوضع MO نفسه , ومن الواضح أنه كلما كانت الكتلة المتحركة أكبر (البلاطة ونصف القالب المتحرك), سيكون من المطلوب قوة أكبر لتسريعها وتحريكها ومن ثم تبطيئها للحصول على توقف لطيف في كل من موضع إغلاق القالب (MC) وموضع MO , لذا فإن الآلات الصغيرة تكون دورتها الجافة أقل من الآلات الكبيرة , ولكن الآلات الجيدة تكون دورتها الجافة أخفض بكثير من الآلات منخفضة الأداء.

إن الآلات من 500KN إلى 10,000 KN (50-1000 Ton) تكون دوراتها الجافة من1,5sec إلى 10 sec , ولكن هناك أيضا آلات أخرى أقدم دورة تجفيفها تصل إلى20 sec!

ومن الواضح أنه من أجل الإنتاج الكبير والقوالب ذات زمن الدورة القصيرة, تكون مدة الدورة الجافة أهم منها في قالب يتطلب دورة قولبة طويلة.

ويبين الشكل 15-1 الحركة التقريبية للإغلاق للبلاطة المتحركة حيث أنها بشكل نموذجي انحناء على شكل S, والسرعة في بداية الاغلاق منخفضة نوعاً ما ثم تصل إلى لسرعة عالية لتقطع المزيد من شوط الاغلاق, حتى تعود البلاطة و تتباطأ من جديد وفي النهاية تتحرك ببطء شديد في الميليمترات القليلة الأخيرة قبل أن تصل لوضع الاحكام MC, عندما يبدأ تمدد محاور البلاطة عند نشوء قوة الاحكام.

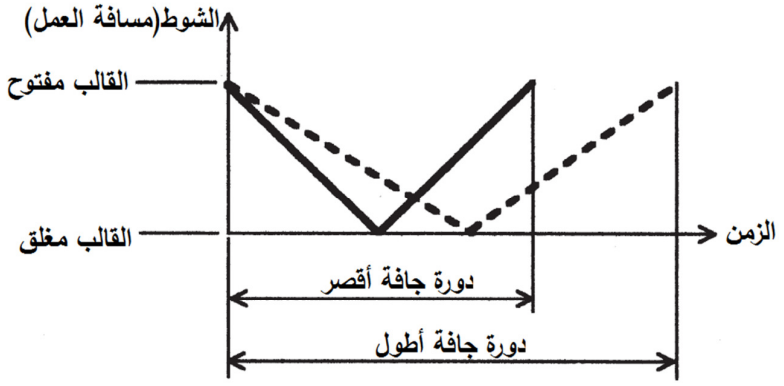
وبشكل مماثل , ولكن بترتيب معاكس , أولاً يتم "إنهاء عملية فك احكام القالب ثم يبدأ بالانفتاح ببطء ثم يتسارع ويتحرك بسرعة حتى يتباطأ من جديد ليتوقف بلطف عند موضعMO .



الشكل 15-1 مخطط يظهر حركة الإغلاق

لاحظ أنه في الشرح التالي (شكل16-1) يبين سرعة البلاطة المتحركة كخط مستقيم يمثل السرعة الوسطية من البداية للنهاية (انظر الشكل 16-1) وسرعة الفتح ليست بالضرورة نفسها سرعة الاغلاق, وفي معظم الآلات يتم تعديل السرعة في أي اتجاه لتناسب بشكل أفضل شروط وظروف عملية القولبة. ولكن القوالب غالباً تعمل على الحد الأعلى للسرعة المتوفرة .

لاحظ أيضاً أن الخط المستقيم يمثل معدل السرعة وينتهي قبل نهاية زمن تمدد محاور البلاطة. أي في اللحظة التي يلتقي فيها نصفا القالب وتبدأ محاور البلاطة بالتمدد.



الشكل16-1 مخطط يظهر الدورة الجافة الأقصر والأطول

يسمح هذا بأن يبدأ الحقن بشكل مبكر, عندما يغلق القالب وفي اللحظة التي يلتقي فيها نصفي القالب ببعضهما (يتلامسان) وثم تبدأ محاور البلاطة بالتمدد. إن أي قوة ذات أهمية داخل القالب سوف تؤثر

فقط عندما تمتلئ فراغات الفجوة بشكل كامل. وتأخذ عملية الملء عادة زمناً أطول مما تستغرقه عملية الاحكام النهائية(تمدد محاور البلاطة) .

إن بدء عملية الحقن بسرعة, فقط ثانية أو حتى كسور من الثانية, يؤدي لمكاسب كبيرة في زمن الدورة وفي الإنتاجية وبخاصة في القوالب ذات الدورات القصيرة.

إن شد (تمدد)محاور البلاطة يؤمن القوة الضرورية للإحكام ويجب أن تكون هذه القوة أكبر من القوة التي تنشأ عن ضغط الحقن داخل فراغ الفجوة, والتي تميل إلى كسر عند المنطقة المفتوحة للقالب عند خط الفصل .

والفرق بين الوقت المطلوب للدورة الجافة الأقصر و الدورة الجافة الأطول هو مقدار الوقت المهدور.

مثال7-1: إذا كان الوقت المقدر لكل من الحقن والتبريد هو3 sec و زمن الدورة الجافة3,5 sec فزمن الدورة6,5sec وهذا يؤدي إلى 554 حقنة بكل ساعة. إذا كانت الدورة الجافة5 sec, تصبح زمن الدورة 8 sec وينتج عندها القوالب فقط 450 حقنة بكل ساعة وهذه خسارة لها اعتبار في الإنتاج. وهذا يكفي لنقوم بشكل جدي باختيار الآلة الأسرع وبخاصة عندما يكون الإنتاج الذي نتوقعه مرتفعاً.

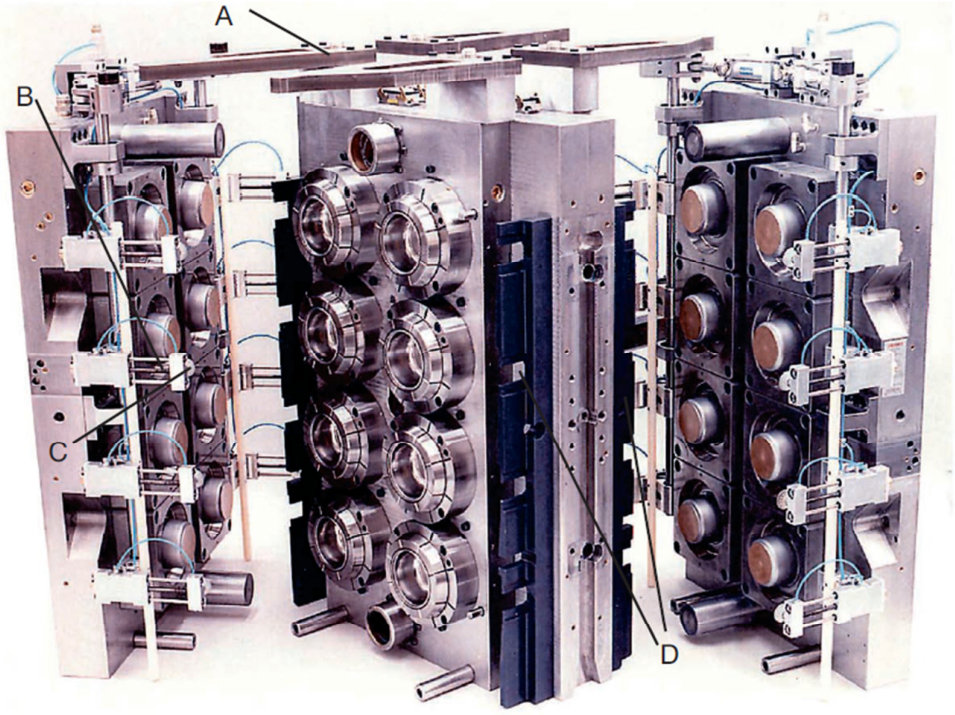
ويتم تحقيق الانفتاح عندما يكون زمن انفتاح القالب MO=0 في عدة قوالب صغيرة وحتى بدورات جافة صغيرة (حوالي2 sec) ولكن يمكن تحقيقه أيضاً بالقوالب المجهزة بمعدات طرد أوتوماتيكية حيث يكون عملية الطرد (أي الآلية التي تصل إلى القالب لإزالة المنتج بينما يفتح القالب ويغلق) مرتبطة ميكانيكياً بآلية فتح القالب وإغلاقه.

- ✓ زمن فتح القالب MO=0 هي حالة مثالية.

الشكل 17-1 يظهر قالباً ذو فجوات 8x2 لحقن أكواب اللبن وتم صناعة هذا القالب بشكل معياري, وصنع من أجل آلة مجهزة لهذا النوع من القوالب.

كامة الطرد بالهواء(A), ذراع النقل(B) مع فتحات الشفط(C) لالتقاط المنتجات من الأنوية وتوصيلها إلى المزلاق (D) – على جانب بلاطة الفجوة .

ويعمل هذا القالب بحيث يكون زمن فتح القالب MO=0 وإنتاجيته عند دورة 4,5 sec تساوي 12,800 كوب كل ساعة.



الشكل 17-1 قالب بفجوات 8x2 لحقن الأكواب

مثال 7-1:

في بداية التسعينيات, كان هنالك بعض الآلاتTon800 تقوم بإنتاج منتجات كبيرة وتتطلب دورة حقن وتبريد تصل إلىsec 10.

وزمن الدورة الجافة لهذه الآلات (الحديثة) كانsec18 , وينتج عن هذا دورة قولبة sec 28 أي تعطي 128 حقنةاساعة . وآلة أخرى قابلة للمقارنة من حيث القياس , ولكن بدورة جافة منطقيةsec6 تصبح الدورة الكليةsec 16 أي 225حقنةاساعة بزيادة 76 % من الإنتاج , وفي ذلك الوقت كانت الشركة التي شغلت تلك الآلات لا تملك الإمكانية لإنقاص زمن الدورة الجافة لأن الآلات كانت مصممة خصيصاً لتعمل ببطء بغاية توفير العناصر الكهربائية والهيدروليكية الغالية الثمن والتي نحتاجها في السرعة الأعلى, حيث اشترى المالك هذه الآلات الجديدة لسبب رئيسي كونها رخيصة الثمن مقارنة بنفس الحجم من الآلات الجيدة. لكن هل يكون فعلاً قد وفر المال؟!

بعد 3 سنوات من العمل على هذه الآلات, تخلص صاحب الشركة منها ببيعها كقطع حديد(سكروب) لأنه لم يرغب أحد آخر بالآلات مع إنها كانت بحالة عمل جيدة وهذه بالطبع حالة شبه نادرة ولكنها تبين كم من المهم الاهتمام بالدورة الجافة عند شراء أي آلة حقن .

2-6-7 مقدار الحقنة المطلوبة للقالب :

إن حجم الحقنة خاصية مهمة في آلة الحقن والتي تؤثر على دورة القولبة , ولكن يجب أولاً أن ندرك الفرق بين "مقدار الحقنة" و "معدل مقدار الحقنة" !

- معدل مقدار الحقنةRated shot size:

مقدار (بالغرام أو بالأونصة) للبوليستر PS الذي يستطيع نظام الحقن (لولب الحقن أو لولب الحقن المزدوج) أن يحقنه في كل دورة , ويشار له ضمن مواصفات الآلة في جميع الآلات .

- مقدار الحقنةShot size:

يعتمد على الكتلة (w) للمنتج الذي سيتم تشكيله في القوالب (بالغرامات) .

وهناك عدة أساليب شائعة لمعرفة الكتلة:

- نزن عينة (أو نموذج مصنع يدوياً), وإذا كانت العينة (أو النموذج) من نفس مادة المنتج الذي نريده فهذه هي كتلة المنتج, أما في الحالات الأخرى نقسم على كثافة مادة العينة (النموذج) ونضرب بكثافة مادة البلاستيك الذي نريده.
- معرفة الحجم, وتتم بالغمس الكامل بالعينة أو النموذج في وعاء مدرج مملوء جزئياً بالماء والفرق الناتج عن غمس المنتج يعطينا مقدار حجمه.
- نحسب الحجم من أبعاد الرسم (وهذا قد يكون مرهقاً ويستهلك وقتاً كبيراً), ويمكن حسابه أيضاً باستخدام أحد برامج الرسم الهندسي مباشرة في حال كان المنتج مرسوماً.

	Density[a] (g/cc) D-792	Specific Volume (cc/g)	Specific Volume ($in.^3/lb$)
AB S	1.08	0.926	25.7
ABS 20% GR	1.2	0.833	23.1
Acetal copolymer	1.41	0.709	19.6
Acetal 20% GR	1.55	0.645	17.9
Acetal homopolymer	1.42	0.704	19.5
Acetal 20% GR	1.55	0.645	17.9
Acrylic	1.2	0.833	23.9
Modified acrylic MMA	1.16	0.862	24.0
Cellulose acetate	1.22	0.820	22.7
Cell.acet.butyrate	1.15	0.870	24.1
Cellulose proprionate	1.17	0.855	23.7
Ethyl cellulose	1.13	0.885	24.5
Chlorinated polyether	1.4	0.714	19.8
CTFE	2.1	0.476	13.2
Polyvinylidene fluoride	1.75	0.571	15.8
FEP	2.12	0.472	13.1
Ionomer	0.93	1.07	29.8
Nylon 6	1.16	0.862	23.9
Nylon 6 30% GR	1.35	0.741	20.5
Nylon 6/6	1.14	0.877	24.3
Nylon 6/6 30% GR	1.35	0.741	20.5
Nylon 1 1	1.4	0.962	19.8
Nylon 6/10	1.09	0.917	25.4
Nylon 6/10 30% GR	1.35	0.741	20.5
Polysulfone	1.24	0.806	22.3
Modified phenylene oxide PPO	1.08	0.926	25.6
PPO 30% GR	1.29	0.775	21.5
Polyaryl ether	1.14	0.877	24.3
Polyaryl ether 30% GR	1.37	0.730	20.2
Polyarylsulfone	1.36	0.735	20.4
Polycarbonate	1.2	0.833	23.1
Polycarbonate 30% GR	1.43	0.699	19.4
Polyethylene LD	0.910-.925	1.10–1.08	30.4–30.0
Polyethylene MD	0.926-.940	1.08–1.06	30.0–29.4
Polyethylene HD	0.941–0.97	1.06–1.03	29.4–28.6
Polyethylene 30% GR	1.18	0.847	23.5
Polyethylene High MW	0.94	1.06	29.4
Ethylene vinyl acetate (EVA)	0.935	1.07	29.6
Polypropylene	0.9	1.11	30.8
Polypropylene 30% GR	1.12	0.893	24.7
Polycopolymer	0.9	1.11	30.8
Polyallomer	0.9	1.11	30.8
4-Methyl pentene-1	0.83	1.20	33.3
Polystyrene GP	1.07	0.935	25.9
Polystyrene GP 30% GR	1.33	0.752	20.8

الجدول 4–1

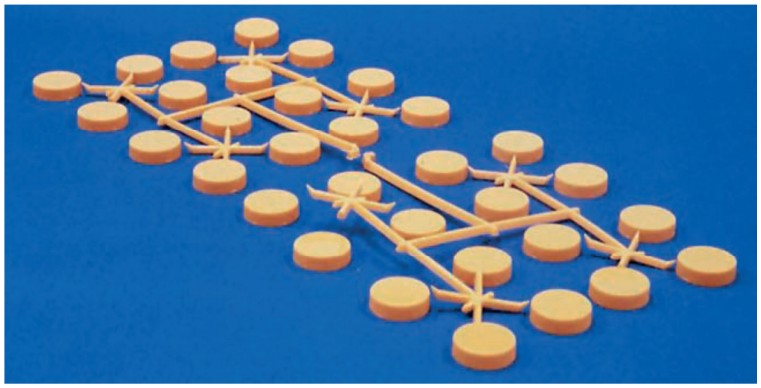
إن ضرب الحجم الذي تم الحصول عليه بالوزن النوعي للبلاستيك الذي نريده, يعطينا تقديراً لكتلة المنتج (انظر الجدول 4–1 يبين الأوزان النوعية لأنواع متعددة من البلاستيك) ويجب أيضاً أن نحدد أي من أنظمة تغذية الحقن أكثر ملائمة للقالب الذي نخطط له فإذا تم اختيار نظام تغذية بارد(Cold runner) تضاف كتلته إلى كتلة الحقنة, وأخيراً يتوجب تحديد العدد (N) من الفجوات وثم إعادة كل هذه الحسابات عدة مرات مع اعتبار فرضيات مختلفة قبل أن نقرر الخيارات النهائية للقالب الذي نخطط له.

في القوالب ذات البلاطتين أو 3 بلاطات(Stack Molds) :

كتلة الحقنة (Shot Wight)تساوي إلى(N.W)=SW مضافاً إليه كتلة نظام التغذية البارد لأن كتلة نظام الحقن مهمة جداً , ويمكن أن تكون كتلة نظام الحقن البارد R صغيرة ويمثل نسبة مئوية فقط من وزن البوليمر , كما يمكن أن تكون كبيرة نوعاً ما في القوالب ذات الثلاث بلاطات (3 Plate molds) وفي بعض القوالب ذات البلاطتين, ويمكن أن تكون R مساوية تقريباً لـ N.W أو أكبر, خصوصاً إذا كانت المنتجات صغيرة جداً وكان المطلوب شبكة كبيرة من نظام التغذية.

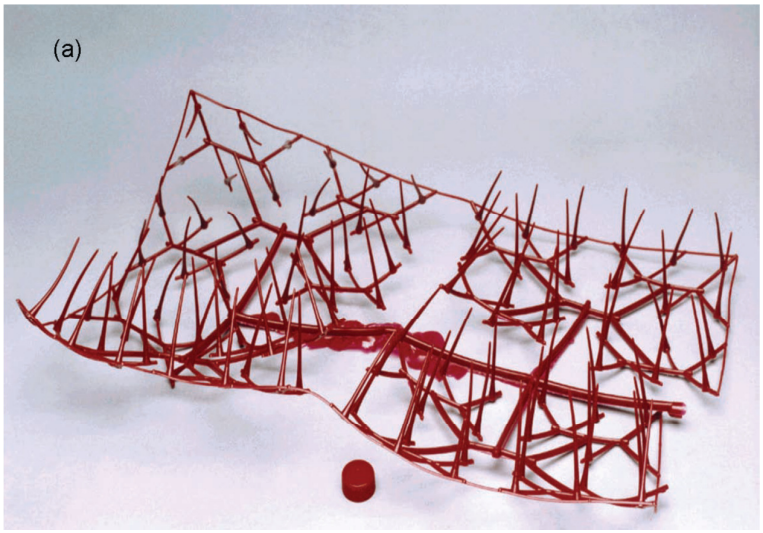
يظهر الشكل 18–1 نظام تغذية لقالب حقن غطاء ذو 32 فجوة وهو قالب ببلاطتين – كتلة نظام التغذية تشكل حوالي 25 % من كتلة كل الأغطية (المنتجات).

إن نظام التغذية هذا, تم تزويده من المركز بمغذي حراري (hot sprue) لتفادي الكتلة الاضافية في حال استخدام مغذي بارد (cold sprue) , وتم تغذية الفجوات بطريقة بوابات تغذية نفقية حيث يتم فصل نظام التغذية عن المنتجات بشكل اتوماتيكي بعد عملية الطرد.



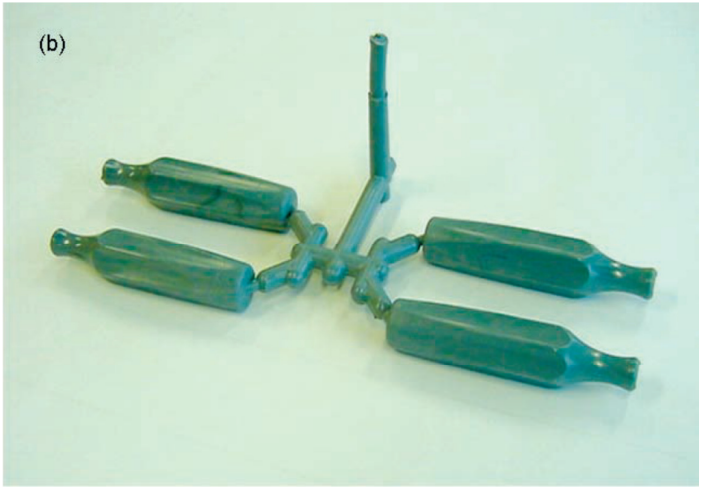
الشكل 18–1

يظهر الشكل 19–1 نظام تغذية القالب بـ3 بلاطات و72 فجوة لحقن أغطية صغيرة ويستهلك نظام التغذية هذا من البلاستيك بقد ما تستهلكه المنتجات بحد ذاتها, إن زمن التبريد لنظام التغذية الكبير هنا يتحكم بزمن الدورة الاجمالي. في مثل هذه الحالة فإن استخدام نظام التغذية الحراري يمكن أن ينقص الكمية المحقونة إلى النصف وبالتالي يؤدي إلى مضاعفة سرعة الانتاج, هذا مثال نموذجي حيث يجب أخذ كلا الأسلوبين بعين الاعتبار في تحديد المتطلبات الكلية للمنتج .



الشكل 19–1

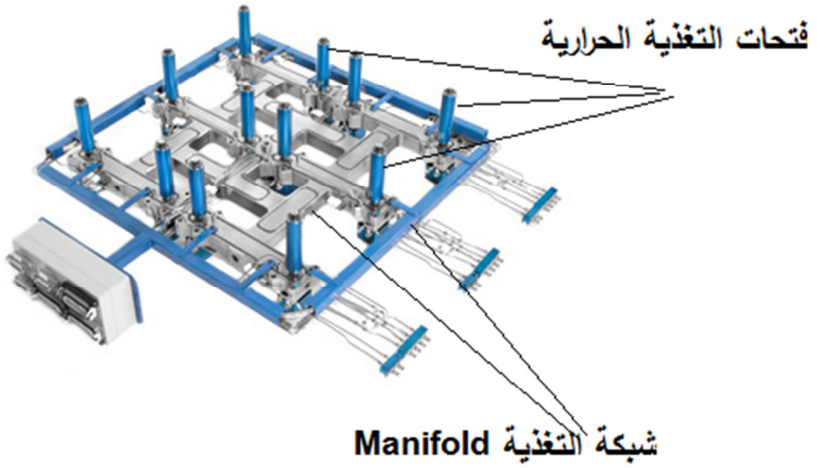
ويظهر الشكل 20–1 نظام التغذية والمنتجات في قالب بسيط جداً ذو بلاطتين و4 فجوات لمنتج بسيط ولكنه ثقيل, لاحظ ثقل نظام التغذية والمغذي البارد, وهذا أيضاً مبرر لاستخدام نظام التغذية الحراري و تكلفته المرتفعة.



الشكل 20–1

- وفي كل من المنتجات الظاهرة في**الشكل 20–1 و الشكل19–1** يكون مقدار البلاستيك في نظام التغذية كبيراً بالنسبة لكتلة المنتجات التي تتم قولبتها. (25 % في أحدهما تقريباً و 100% في الحالة الأخرى), ولكن ماذا سنستفيد من استخدام نظام التغذية الحارة ؟

الجواب عبارة عن مسألة اقتصادية , فيجب أن نفكر في مبلغ حوالي 750 –1000 $ لكل بوابة نظام تغذية حارة إضافة لثمن الشبكة(manifold) وهو حوالي 5000 دولار أو أكثر(الشكل 21–1 يوضح بوابة التغذية و الـ Manifold في نظام التغذية الحراري).



الشكل 21–1

ولكن الزيادة في خفض زمن الدورة وفي الانتاجية عند استخدام نظام التغذية الحراري هي فائدة معتبرة, فدورة القولبة (كما يظهر بالشكل20–1) تصبح أسرع مرتين بنظام التغذية الحراري وأيضاً, كلفة إعادة تدوير نظام التغذية البارد والنسبة المئوية للبلاستيك المهدور خلال إعادة التدوير هي مقادير معتبرة, مع نظام التغذية الحراري سيتوجب وجود وحدة حقن أصغر حيث أن كل البلاستيك المحقون سينقلب إلى منتجات. وهناك أيضاً توفير في الطاقة لأنه تم معالجة مواد بلاستيك أقل للحصول على نفس النتيجة. وتكون أبعاد القوالب ذاتها سواء استخدام قالب ذو3 بلاطات أو قالب بنظام تغذية حراري. لذا فالمسألة فقط مسألة الكميات المطلوب انتاجها, فإذا كانت الكميات كبيرة فالتوفير في كلفة المنتج يبرر الكلفة المرتفعة لاختيار نظام التغذية الحراري.

وكقاعدة: يجب أن لا تكون كتلة الحقنةSW أكثر من حوالي 80 % من مقدار الحقنة للآلة لأن ذلك قد يؤدي إلى أضرار ميكانيكية بلولب الحقن واسطوانته. إذا استخدمت مواد غيرPS, فمن الضروري تحويل الكتل إلى حجوم, وهو ما تحققه الآلة بالواقع.

فلنفس الكتلة يكونPE ذو حجم أكبر بمقدار 10 % من PS لذلك يجب إجراء هذه الحسابات بشكل جيد لتجنب المفاجآت عندما لا يمكن للقالب الجديد أن يملأ بالآلة التي تم اختيارها .

- **قوالب نظام التغذية الحرارية:**

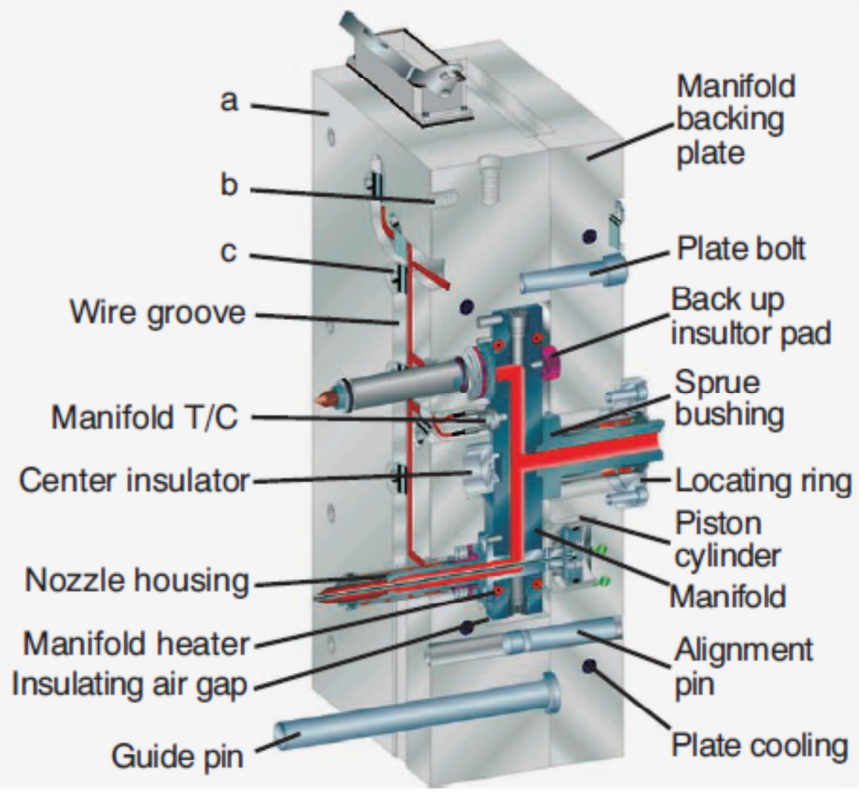
يظهر الشكل 22−1 تخطيطاً لقالب بنظام تغذية حراري نمطي يتألف من شبكة التغذية (Manifold) لتوزيع البلاستيك المنصهر للبوابة (Gate) وأحد النوعين التاليين من الفوهات (Nozzles):الأول نوع مفتوح من الفوهات والآخر نوع من الفوهات ذو صمام.

إن العناصر المختلفة يتم وضع ملصقات عليها بشكل واضح, وعادة لا يتم استخدام النوعين السابقين من الفوهات معاً في نفس شبكة التغذية.

إن إحدى الميزات الرئيسية لقوالب نظام التغذية الحراري هي أنه لا يوجد هنالك نظام تغذية يتم حقنه وطرده خلال كل دورة لذا فهي تستفيد بشكل كامل من مقدار حقنة الآلة, لذا تكون كتلة الحقنة:

SW=N.W

وجرت العادة على تسمية هذه القوالب (عديمة نظام التغذية) وهذا يعتبر خطأ في التسمية. لأن هناك نظام, ولكنه يبقى(منصهر) في القالب ولا يتم حقنه في كل دورة, وتتميز القوالب هذه بميزة إضافية وهي عدم الحاجة لتبريد نظام التغذية, أما في قالب نظام التغذية البارد, تعد قنوات نظام التغذية من العوامل التي تقيد زمن الدورة. أما مع قنوات نظام التغذية الحارة يعتمد زمن الدورة بشكل أكبر على سماكة جدار المنتج وجودة تبريد القالب.



الشكل 23-1

إن سعة الحقن قد تكون أيضاً كبيرة جداً بالنسبة لحجم الحقنة(الصغير) المطلوب. إن الحد الأدنى العملي لحجم الحقنة(المسافة التي ينسحب بها اللولب للحقنة) يجب أن لا يكون أصغر بـ0,5 مرة من قطر اللولب. وإذا كان حجم الحقنة أقل من هذه القيمة سيكون الحقن غير متناسق لأن من الضروري توافر بعض المسافة لإعادة ضبط حلقة أو كرة الصمام, وإذا كانت هذه هي الحالة, فيجب اختيار وحدة حقن أصغر أو آلة أصغر.

7-6-3 سعة التلدين للآلة (Plasticizing Capacity):

تعرف سعة التلدين بمقدار(كتلة) البلاستيك التي يمكن لوحدة الحقن أن تحوله من حبيبات البلاستيك الباردة إلى مصهور بلاستيكي متجانس ممزوج ومسحن بشكل كامل, وعند درجة الحرارة المطلوبة وجاهزا للحقن.

واليوم , تستخدم كل الآلات بشكل عملي فيز(Extruder) لتلدين المواد, ويتألف من لولب تلدين ذو تصميم مناسب, يدور داخل حجرة (Barrel) حيث يتم تسخينه خارجياً, وفي معظم الآلات يتم تدوير اللولب بمحرك هيدروليكي. حديثاً يتم تدوير اللولب بمحرك كهربائي في الآلات الكهربائية والذي هو أكثر فاعلية وتوفيراً للطاقة. وبينما يدور اللولب يندفع البلاستيك الخام (والذي يدخل عادة قرب طرف مكان التدوير للفيز) باتجاه الجدار الداخلي لحجرة الفيز(Barrel).

مثال 8-1:

قالب يحوي على 6 فجوات لحقن منتج بلاستيكي بوزن50 g ويعمل بزمن دورة 10sec .

بالحساب:

$3600 \div 10 \text{ sec} = 360 \text{ shot/h sec}$

$360 \text{ sh/h} \cdot 50 \text{ g} \cdot 6 \text{ cav} = 108{,}000 \text{ g/h} \quad \text{or} \quad 108 \text{ kg/h}$

وبافتراض أن زمن الحقن مع الايقاف(الكبح) يحتاج لـ 1.5sec , فإن سعة التلدين للآلة يجب أن تجهز الكتلة المطلوبة للحقنة الواحدة خلال زمن قدره 8.5 sec, لذا بإعادة الحساب السابق ولزمن 8.5 sec ينتج 127 kg/h, وبالتالي سنحتاج إلى آلة سعة تلدينها على الأقل 130 kg/h (PS).

في حال كان المنتج مخطط له ليصنع من الـPE, يتوجب علينا تحويل الاختلاف بالوزن النوعي واضافة حوالي 10% وبالتالي سيتطلب ذلك وحدة تلدين بسعة لا تقل عن 145 kg/h (PS).

كما يجب الانتباه إلى أن هذه الأرقام قابلة للتحقيق فقط بالفوهات ذات الإغلاق(shut-off nozzle), بينما في الفوهات المفتوحة يتطلب وجود فيز(extruder) أكبر.

- وماذا يحدث إذا لم يتوفر آلة أكبر ولم يكن لدينا سعة تلدين كافية ؟

سيكون القالب قابلاً للعمل ولكن لن يعمل بالسرعة المتوقعة له, لأن النظام سينتظر ريثما يتم تجهيز الحقنة وبالتالي سنحصل على ناتج أقل مما خططنا له.

- **يجب التأكد دائماً أن الآلة ليست عامل قِصر عند محاولة زيادة انتاجية قالب معين.**

تخفيض وزن المنتج وتطوير القالب:

إن أهمية فهم سعة التلدين للآلة تصبح واضحة عند التخطيط لإعادة تصميم المنتج بكتلة أقل (تخفيض الوزن) . إن تخفيض الكتلة لا يوفر فقط البلاستيك, بل ينقص أيضا(في معظم الحالات) وقت التبريد وبالتالي يزيد من إنتاجية القالب.

من الاسئلة المهمة التي يجب طرحها هنا:

- هل يتطلب القالب الجديد بلاستيك أكثر خلال كل ساعة ؟
- وهل وحدة الحقن الموجودة كبيرة بما فيه الكفاية ؟

ولكن حتى لو لم يكن هنالك امكانية بتخفيض الوزن أي بتوفير البلاستيك, فإن تحسين تصميم القالب وبشكل عملي تبريد أفضل, وأساليب طرد أفضل وبعض التحسينات الأخرى تؤدي الى انقاص في زمن الدورة, وبمعنى أخر: عدد أكبر من القطع بكل ساعة .

- هل سعة التلدين الآن كبيرة بشكل كاف لهذا القالب الجديد, وعلى نفس الآلة كما من قبل ؟

مثال 9-1:

منتج بلاستيكي بوزن 40g ويتم حقنه بقالب يحوي على 12 فجوة, ويعمل بـ 4 حقنات بالدقيقة أي بزمن دورة 15 sec . تم اعادة تصميم هذا المنتج ليزن 35 g وليعمل القالب بـ 6 حقنات بالدقيقة.

التصميم القديم للمنتج يحتاج لـ:

40 g . 12 cav . 4 sh/min . 60 min = 115.2 kg/h

عند اعادة التصميم للمنتج سنحتاج لـ:

35 g . 12 cav . 6 sh/min .60 min = 151.2 kg/h

وهذا يعني بأن الآلة بحاجة إلى وحدة تلدين أكبر بكثير من السابقة.

ولكن يجب الانتباه أيضاً إلى أن زمن الدورة الجافة للآلة قادر بالسماح للعمل بدورة سريعة.

- إن المثال السابق يلقي الضوء على استنتاجات مهمة:

1- يمكن زيادة الانتاجية بحوالي 50%:

سابقاً تم انتاج**2,880**=12cav.6sh/min.60min قطعة بالساعة أما بعد إعادة التصميم :تم انتاج **4,320**=12cav.6sh/min.60min قطعة بالساعة .

وهذا يتطلب ساعات أقل لعمل الآلة ويخفض أيضاً كلفة المنتج , والزيادة في الانتاجية مهمة ولكن التوفير في الكلفة قد يكون أقل في حال الحاجة لآلة أكبر.

2- إن كلفة المنتج انخفضت بشكل كبير باستخدام بلاستيك أقل. والفرق يكون 5 g بكل وحدة أي 5 kg كل 1000 قطعة . وبكلفة متوسطة1 $ لكل كغ من البلاستيك المستخدم والحاجة السنوية من الإنتاج حوالي 10,000,000 قطعة , فإن هذا يوفر50,000$في السنة. وإذا كان نوع البلاستيك المستخدم غالياً فالتوفير سيكون مذهلاً.

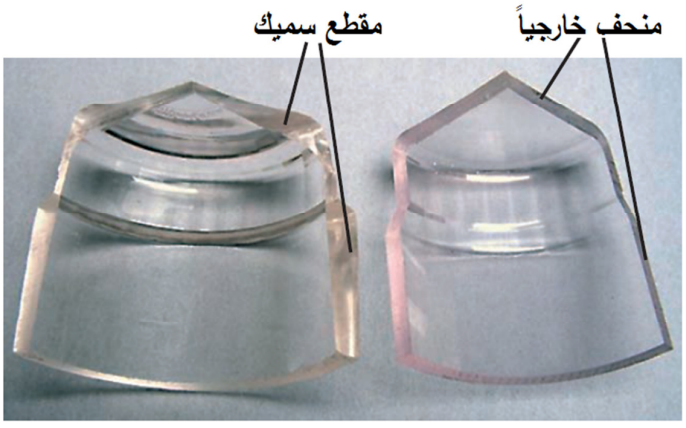
3- وفي نفس الوقت إذا قررنا الانتقال من نظام التغذية الباردة إلى الحارة في القالب الجديد, فعلينا أن نتذكر أنه في حالة القنوات الباردة , فوحدة التلدين يجب أن تزود البلاستيك المصهور ليس فقط للمنتجات بل أيضاً لقنوات التغذية. وعند اختيار نظام التغذية الحراري فنحن بالحقيقة نزيد سعة التلدين القابل للاستخدام لأن كتلة نظام القنوات الباردة يصبح غير مطلوباً, وهذا يعني – وخاصة إذا كانت القنوات كبيرة – إن وحدة الحقن الموجودة يمكن أن تكون كافية للقالب الجديد. وفي حالة نظام التغذية الحراري, تتأثر أيضاً كلفة المواد الخام بكل قطعة, لأننا لا نحتاج لاعتبار كتلة قنوات التغذية.(وحتى لو كانت كلها قابلة لإعادة التدوير, يبقى هنالك خسارة للمواد ستحدث أثناء إعادة التدوير), وأيضاً لا توجد كلفة لإعادة التدوير.

4- إذا لم تكن وحدة الحقن قادرة على التزويد بالكميات الجديدة المطلوبة من البلاستيك المنصهر, فإن كل الجهود المبذولة لإعادة التصميم من أجل انتاجية أفضل ستكون غير مجدية اقتصاديا و هدرا في الأموال, لأن الآلة ستواصل دورتها القديمة بالسرعة المنخفضة.

كل ما سبق يجب أخذه بعين الاعتبار ويجب عمل حسابات كلما أردنا التفكير بإعادة التصميم.

يظهر الشكل 24-1مقطع من كأس محقون:

على اليسار: سماكة الجدران قبل إعادة التصميم وعلى اليمين بعد إعادة التصميم. وينتج عن هذا توفير في البلاستيك وصل لـ20 % وانخفاض في زمن الدورة حوالي20%. وبنفس الوقت تم التخلص من عيوب قولبة كثيرة عند هذا الانتقال من المنتج السميك إلى المنحَّف(الرقيق).



الشكل 24-1

4-6-7 الفوهات المفتوحة Open Nozzles:

تأتي آلات القولبة كلها بفوهات "مفتوحة" كمعيار standard أي يكون طرف فوهة الآلة مفتوحاً ويسمح للبلاستيك بالمرور من خلالها بحرية من نهاية اللولب إلى الهواء المحيط أو إلى داخل مغذي القالب (sprue bushing) أثناء الحقن.

وللحصول على تلدين جيد, فعلينا تزويد أسطوانة الحقن ببعض الضغط الخلفي الخفيف المتحكم على اسطوانة الحقن وذلك بالتأثير على بسطون الحقن. وهذا الضغط الخلفي عادة ما يكون حوالي 5-10% من ضغط الحقن, ولكن الضغط على طرف اللولب(أثناء قيام اللولب بالتلدين) يكون عالي بما فيه الكفاية لدفع البلاستيك من الفوهة المفتوحة.

وفي حالة الفوهة المفتوحة فيجب أن لا يدور اللولب (يقوم بالتلدين) إذا لم يغلق, لأن:

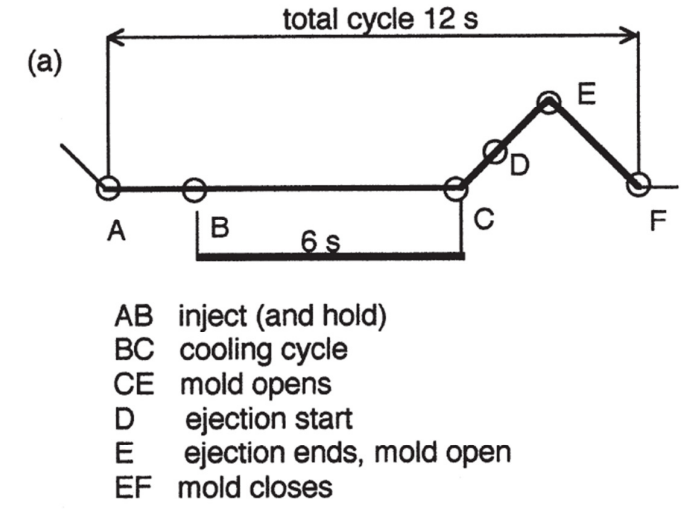
1- في قوالب ذات نظام التغذية الباردة. تضغط الفوهة مواجه مغذي القالب. والبلاستيك في المغذي يقوم بدور الإغلاق(لإيقاف تدفق البلاستيك من الفوهة), ويمكن للولب أن يبدأ بالدوران والإنتاج عندما ينتهي من الحقن والكبح, ولكن حالما يفتح القالب يجب ألا يدور اللولب ويجب أن يتوقف الضغط الخلفي لأن البلاستيك سيندفع إلى المغذي الذي سيكون فارغاً في هذه اللحظة ومنه إلى القالب المفتوح.

2- حالة القوالب ذات نظام التغذية الحراري, فالفوهة أيضاَ تضغط مواجه مغذي القالب ويمكن للولب أن يبدأ بالدوران والإنتاج عندما ينتهي من الحقن والكبح. ويمكن للقالب أن يفتح بأمان حتى عندما يقوم اللولب بعمله في التلدين, ولكن فقط إذا كانت كل البوابات متجمدة بما فيه كفاية لتوقف البلاستيك عن السيلان خارج البوابات, وإلا فإن البلاستيك سيسيل إلى الفجوات المفتوحة, وهذا بالتأكيد غير مقبول. وفي هذه الحالة يجب أن يتوقف اللولب عندما يفتح القالب. ولكن في معظم القوالب ذات البوابات الصّمامية تنغلق البوابات بشكل ميكانيكي آلي بعد الحقن, و لا يكون من الضروري استخدام الفوهات ذات الإغلاق(shut-off nozzle).

وفي كلتا الحالتين , فالوقت المتوفر للتلدين يبقى محدود بزمن التبريد. فبينما يفتح القالب يكون اللولب متوقفاً, وفي القوالب ذات دورات التبريد الطويلة, هناك عادة وقت كافٍ لتلدين الحقنة التالية.

مثال 10-1:

لنفترض وجود قالب وآلة ذات دورة جافة 4 sec و دورة حقن و كبح 2 sec ودورة تبريد6sec فالدورة الكلية تكون12sec. عند استخدام فوهة مفتوحة فالوقت الأعظمي الذي يمكن أن يعمل فيه الفيز(Extruder) هو 6 sec , وهو نفس زمن دورة التبريد. إذا كان مقدار الزمن اللازم لتلدين البلاستيك المطلوب للحقنة يساوي6sec أو أقل, فليس هناك مشكلة باستخدام الفوهة المفتوحة, ولاحظ أنه في هذا المثال , اللولب يعمل 50% فقط من الوقت. لذا فالفيز يستخدم فقط 50% من سعة تلدينه.

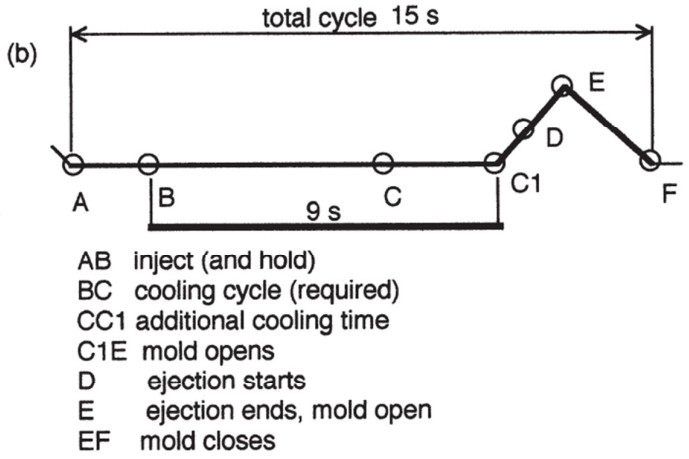


الشكل 25-1مخطط يوضح المثال 10-1

مثال 11-1:

نفترض نفس الآلة وحالة القالب بالمثال السابق ولكن في هذا المثال نفترض أنه لا يمكن تلدين البلاستيك المطلوب للحقنة خلال 6sec بين نهاية الحقن ونهاية التبريد فإذا افترضنا أننا نحتاج9sec لتلدين الحقنة التالية , فيجب زيادة زمن "التبريد بمقدار3sec (أي من 6 إلى 9) لتصبح الدورة الكلية15 sec . وهذا يمثل خسارة في الانتاجية (4 مقابل 5 حقنات\دقيقة) وهذا الفيز(Extruder) يستخدم 60 % من سعة تلدينه.

لذا يجب أن نبحث عن بديل , أما باستخدام فوهات الإغلاق, أو إيجاد آلة ذات فيز أكبر.



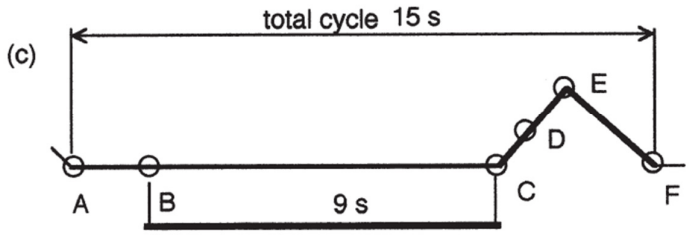
الشكل 26-1مخطط يوضح المثال 11-1

ومن المهم أن نفهم أنه بإضافة زمن تبريد غير ضروري, سيتم طرد المنتجات بشكل أبرد من اللازم والانكماش بالتالي سيصبح أقل (وستكون القطع أكبر من المتوقع) وهذا يكون مهماً عند قولبة أنواع البلاستيك ذات عوامل تقلص مرتفعة, وكذلك المنتجات التي يتم تبريدها كثيراً داخل القالب قد تصبح مجهدة في بعض المناطق وهي تنكمش إلى الأنوية لذلك تتلف مبكرا عند الاستعمال. وللتخلص من المشكلتين, يجب أن نرفع الحرارة حتى تصبح حرارة البلاستيك المصهور أكبر للتأكد من أن المنتج لن يبرد كثيراً في القالب وهذا سيؤدي إلى زيادة كلفة المنتج, لأنه يتطلب ليس فقط طاقة أكبر لتسخين البلاستيك إلى درجة أعلى من اللازم بل يتطلب أيضاً طاقة أكبر لتبريده.

إن استخدام فوهات الإغلاق ينقص من زمن التبريد الاضافي "غير المطلوب".

مثال 12-1:

نفترض نفس ظروف الآلة والقالب في المثال 10-1. ولكن هنا وقت التبريد الضروريsec 9 . والدورة الكلية 15 sec . في هذه الحالة, لدى اللولب وقت كاف للتلدين حتى 9 sec من زمن الدورة الكلي15 sec . ويستخدم الفيز حتى 60% من وقت الدورة وهذا يؤكد أنه عندما تكون دورات التبريد أكبر, فإن استخدام الفوهات المفتوحة يفي بالغرض.



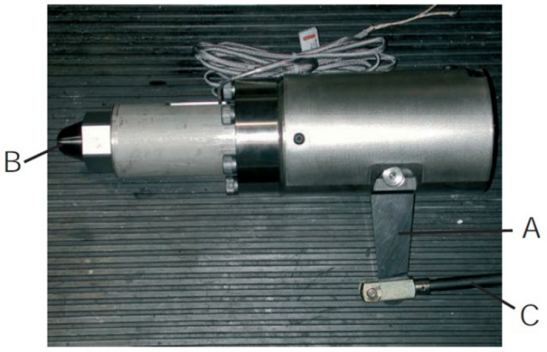
AB inject (and hold)
BC cooling cycle
CE mold opens
D ejection start
E ejection ends ,mold open
EF mold closes

9 s Time available for plasticizing (60%)

الشكل 27-1 مخطط يوضح المثال 12-1

5-6-7 فوهات الإغلاق Shut-off Nozzles :

في أزمان الدورات القصيرة, فإن يزيد فوهة الإغلاق تزيد انتاجية القالب والآلة بشكل كبير. والمبدأ الرئيسي لفوهة الإغلاق هو التزويد بميكانزيم توقف ميكانيكي داخل فوهة الآلة, والذي يغلق ويفتح ممر تدفق البلاستيك من الفيز إلى طرف الفوهة. وإغلاق الفوهة يتم بعدة طرق : صمامات مكوكية أو محاور (بِنّات) دورانية, وغالباً يعمل بالهواء المضغوط أو بالضغط الهيدروليكي.



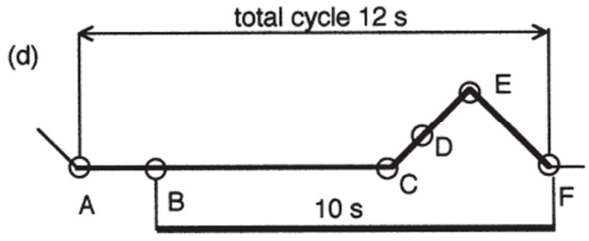
الشكل 28-1

يظهر الشكل 28-1 صورة لفوهة اغلاق كاملة. وفي هذا التصميم, تدفع الساعد (A) بنا (Pin) لإغلاق الفوهة (B). وفي الحقن , يدفع ضغط البلاستيك البن إلى اليمين, مما يفتح الفوهة ليدخل البلاستيك إلى القالب . تعمل الساعد Aعن طريق اتصالها بوصلة (C) متصلة مع محرك هوائي أو هيدروليكي.

ورغم أن فوهة الإغلاق تمثل تكلفة اضافية لمرة واحدة, فإن استخدامها محبذ جداً, وخاصة مع دورات أزمان قصيرة لأنها تسمح للولب بالتلدين بينما يكون القالب مفتوحاً.

مثال 13-1:

نفترض من جديد قالب وآلة بدورة جافة 4 sec , ودورة حقن وكبح 2 sec , ودورة تبريد 6 sec , فالدورة الكلية 12 sec. باستخدام فوهة الإغلاق , يكون الوقت الذي يستطيع منه الفيز أن يعمل هو 6 sec (دورة التبريد) + 4 sec (الدورة الجافة) =10 sec فاللولب لديه الآن وقت كاف للتلدين 10sec من12sec في كل دورة كاملة, أو 83% من سعة التلدين للآلة. وهذا تحسن كبير عنه في استخدام الفوهات المفتوحة, ويمكن استخدام فيز أو آلة أًصغر في هذه الحالة.



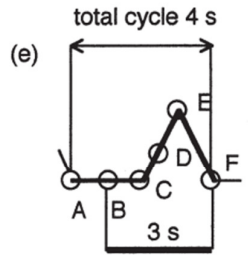
AB inject (and hold)
BC cooling cycle
CE mold opens
D ejection start
E ejection ends, mold open
EF mold closes

10 s Time available for plasticizing (83%)

الشكل 29-1مخطط يوضح المثال 13-1

مثال 14-1 :

يوضح هذا المثال حالة خاصة: آلة ذات دورة جافة 2 secدورة حقن1 sec (ولا يوجد زمن كبح) ودورة التبريد 1 sec فالدورة الكلية 4 sec (15 حقنة بالدقيقة). في حالة فوهة مفتوحة, لدى اللولب فقط 1 secليجهز الحقنة التالية فهو يعمل فقط 25 % من سعة تلدينه. بينما مع فوهة الإغلاق يستطيع اللولب التلدين لـ3 sec (بإضافة زمن الدورة الجافة والتبريد) إن اللولب يقوم بالتلدين في 3sec من 4sec أي أن الفيز يعمل بـ 75 % من سعة التلدين.



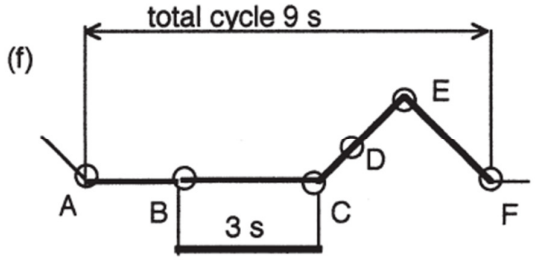
AB inject
BC cooling cycle
CE mold opens
D ejection start
E ejection ends, mold open
EF mold closes

3 s Time available for plasticizing (75%)

الشكل 30-1مخطط يوضح المثال 14-1

مثال 15-1:

أراد أحد مشغلي القوالب أن يشغل قالب على آلة ذات دورة جافة 4 sec وبدورة كلية 9 sec , أي 400 حقنةاساعة, ولكن لم يكن هناك وقت كاف للفيز ليجهز الحقنة المطلوبة للدفعة التالية. تمت إطالة دورة التبريد إلى6 sec (كانت 3 sec) والدورة الكلية ازدادت من 9 sec إلى 12 sec . بمعنى آخر, أصبحت الانتاجية أقل بـ25 % من المتوقع.



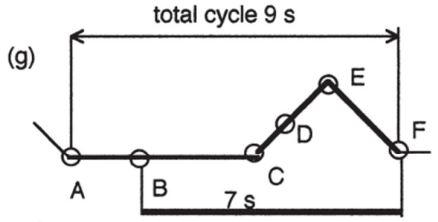
AB inject (and hold)
BC cooling cycle
CE mold opens
D ejection start
E ejection ends, mold open
EF mold closes

3 s Time available for plasticizing
(not enough)

الشكل 31-1مخطط يوضح المثال 15-1

مثال 16-1:

لقد عدلنا بعض الشروط في المثال 15-1, ويظهر الشكل 32-1أن استخدام فوهة الإغلاق سيزيد الوقت المتوفر للتلدين.



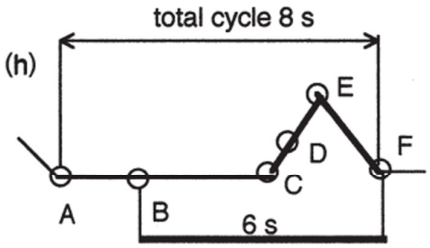
AB inject (and hold)
BC cooling cycle
CE mold opens
D ejection start
E ejection ends, mold open
EF mold closes

7 s: Time available for plasticizing (71%)

الشكل 32-1مخطط يوضح المثال 16-1

مثال 17-1:

تم فيما بعد نقل القالب إلى آلة أخرى بنفس المقاس(نفس الطون) ولكن بدورة جافة أقل(3 sec) . والشكل 33-1 يظهر أن الدورة الكلية يمكن إنقاصها ثانية أخرى لتصبح 8 sec, وهذا يزيد الانتاجية إلى 450 حقنةاساعة أو 11 % زيادة فوق التقدير الأصلي.



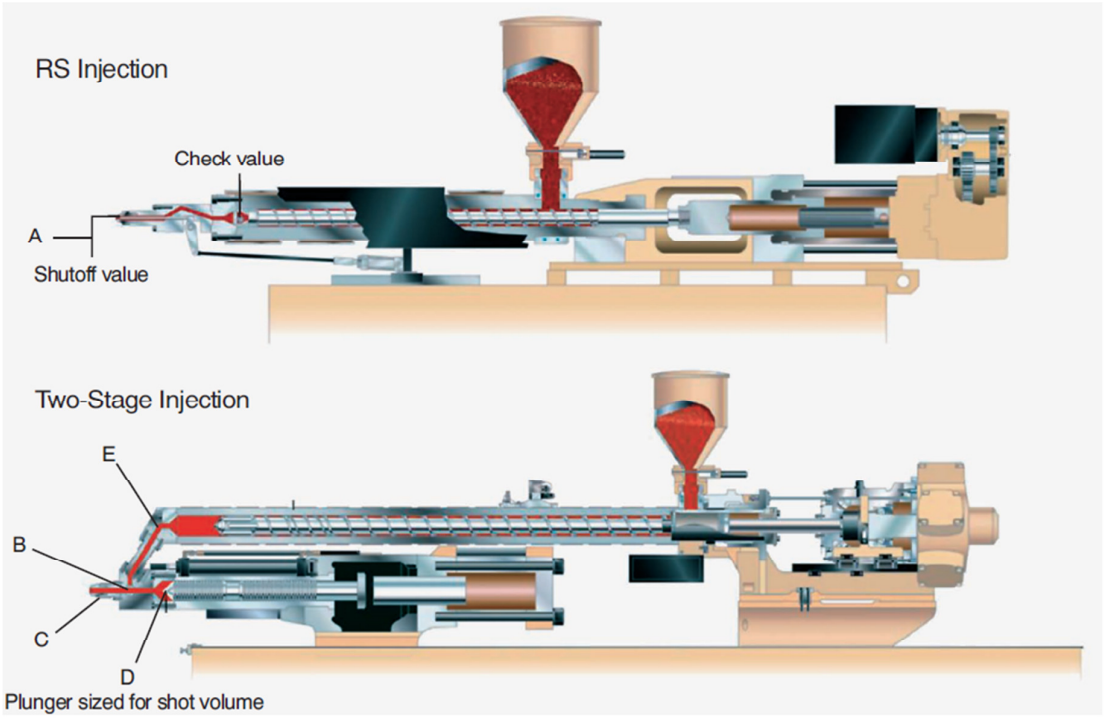
AB inject (and hold)
BC cooling cycle
CE mold opens
D ejection start
E ejection ends, mold open
EF mold closes

6 s:Time available for plasticizing (75%)

الشكل 33-1مخطط يوضح المثال 17-1

7-6-6 وحدات الحقن على مرحلتين Two-Stage Injection Units :

يظهر الشكل 34-1 الفرق بين نظام حقن RS (لولب ترددي Reciprocating Screw) في الأعلى وبين نظام حقن على مرحلتين (في الأسفل).



الشكل 34-1 نظام حقن ترددي (في الأعلى) ونظام حقن على مرحلتين (في الأسفل)

في نظام RS, تكون وظائف الحقن والتلدين مجتمعة بوحدة واحدة, فبينما يدور اللولب, يتحول البلاستيك إلى مصهور وتتراكم هذه المواد المنصهرة أمام صمام عدم الرجوع (Check valve). إن فوهة الإغلاق(A) تبقي البلاستيك محجوزاً , بينما يتراجع اللولب الذي يدور للداخل لتحضير كمية البلاستيك لحقنة الانتاج التالية. ويتوقف اللولب عندما يصبح حجم البلاستيك جاهزاً, وصمام عدم الرجوع في طرف اللولب يمنع المصهور البلاستيكي من التدفق عائداً للفيز.

أما في نظام المرحلتين, فتكون الوظيفتان منفصلتان. الصمام الدوراني(B) بين الفوهة (C) وحجرة القذف (D) والقناة (E) الآتية من الفيز وتوجه تدفق البلاستيك كما هو مطلوب: في أحد المواضع للصمام, يسمح للبلاستيك المنصهر الآتي من الفيز ليدخل حجرة القذف ويرجع مكبس القذف إلى الخلف حتى تمتلئ الحجرة للحقنة التالية. وفي الموضع الآخر للصمام , يمكن حقن البلاستيك إلى القالب, بدون عودته إلى الخلف في الفيز (كما هو في الشكل 34-1) , والفيز أيضاً ترددي أي

أثناء دورة الحقن, يمكن للولب أن يواصل الدوران والتلدين وهو يتراجع, ولا يتوجب هنا وجود صمام إيقاف للولب.

إن الحقن على مرحلتين أسلوب خاص تستطيع فيه وحدة التلدين (بفيز ترددي) العمل باستمرار إذا احتاج الأمر. ويجمع المصهور في اسطوانة الحقن (حجرة القذف) حيث يختزن ومنها إلى القالب بواسطة مكبس . إن آلة القولبة بمثل هذا النظام أكثر تعقيداُ وأغلى ثمناً من نظام RS. ولكن تبريرات استخدامه هي تبريرات اقتصادية عندما يكون المطلوب حقنات كبيرة لأنه يمكن استخدام فيز أصغر و أقل كلفة . وإضافة لذلك , يمكن للفيز أن يعمل بشكل متواصل بدون أي توقف في كل دورة, وهذه أيضاً يحسن جودة المادة المصهورة, لأن حرارة المادة المصهورة ستكون أكثر استقراراً.

وميزة أخرى للحقن ذو المرحلتين هي أنه يقبل الأحجام الصغيرة جداً أو الكبيرة جداً في نفس الآلة كما أن حجرة القذف صغيرة الحجم (القطر) أيضاً تسمح بضغوط حقن مرتفعة جداً حين نحتاجها في الظروف الاستثنائية.

7-6-7سرعة وضغط الحقن Injection Speed and Pressure:

سرعة الحقن، في هذا الإطار، هي كمية البلاستيك التي يمكن دفعها خارج فوهة الآلة إلى القالب في الثانية عند تقدم اللولب (أو المكبس، في أنظمة المرحلتين) وقيامه بعملية الحقن.

و تحدّد عادة بالغرامات أو الأونصات بالثانية. على افتراض أن ليس هناك خسارة (بسبب تسرب أو ضعف في تصميم صمام عدم الرجوع في مقدمة اللولب)، كل الحجم الملدن المنصهر الجاهز للحقن سوف يحقن إلى القالب.

هذا الحجم V يمكن أن يحسب بسهولة من المقطع الداخليA للأسطوانة الفيز (ذو الثقب D)، مضروبا بطول الشوط S للولب.

$$V\,(\mathrm{mm^3}) = A\,(\mathrm{mm^2}) \cdot S\,(\mathrm{mm})$$

$$V\,(\mathrm{mm^3}) = [\,(\pi . D\,(\mathrm{mm^2}) \div 4) \cdot S\,(\mathrm{mm})] \quad \text{أو}$$

في هذه المناقشة، سنهمل حقيقة أن البلاستيك يتمدد عندما يسخن, في الحقيقة فان حجم الكمية المنصهرة – في بعض أنواع البلاستيك – يصل إلى 30 % اكبر من حجم البلاستيك البارد.

سنهمل أيضاً حقيقة أن الحجم الصالح للاستعمال أصغر بعض الشيء في الحقيقة بسبب "الجزء الصغير" المتروك في رأس اللولب، بعد كل عملية حقن.

A (سطح منطقة اللولب) ثابت؛ لذا، حجم حقنة الإنتاج V متناسب بشكل مباشر مع الشوط S.

كل لولب طارد (أَو حجرة اطلاق) له شوط أعظمي محدد S_{max} . إن هذا الشوط هو نفس شوط أسطوانة الحقن(الهيدروليكية) ، التي تدفع اللولب (أَو المكبس) للأمام أثناء الحقن.

في أكثر آلات الحقنِ، يكون اللولب(أَو المكبس) ذو حجم قياسيstandard, إن نسبة سطح اللولب (أو المكبس)إلى سطح أسطوانة الحقن الهيدروليكية هي 1:10، لذلك فإن ضغط الزيت الهيدروليكي في أسطوانة الحقن يمكن أن يضرب ببساطة بـ10 للوصول إلى الضغط المطلوب للبلاستيك في فوهة الآلة.

على سبيل المثال، إذا كان مؤشر ضغط الزيت يعطي القيمة 14,000 kPa (2,000 psi)، فإننا نحصل على ضغط حقن بلاستيكي بمقدار 140,000 kPa (20,000 psi)

في معظم الآلات يمكن للفيز أن يبدل بسهولة (ضمن حدود) إلى لولب واسطوانة أصغر أو أكبر , لكن اسطوانة الحقن الهيدروليكي تبقى دون تغير. لذلك، باستخدام الصيغة أعلاه , نجد أنه باستخدام لولب قطره أكبر بـ 25 % سيؤدي إلى زيادة الحد الأعلى لحجم حقنة الإنتاج بحوالي 56 %, وبنفس الوقت سيخفض الحد الأعلى لضغط الحقن بحوالي الـ36 %.

من الناحية الأخرى، باستخدام لولب قطره أصغر بـ 20 % سيؤدي إلى نقص الحد الأعلى لحجم حقنة الإنتاج بحوالي 36 %، ولكن سيزداد ضغط الحقن بحوالي 56 % . هذا يمكن (ويجب) القيام بهذه الحسابات دائما, مما يمكننا من تشغيل قالب لا يتطلب ضغوط حقن عالية على آلة أصغر فقط عن طريق تغير لولب الفيز واسطوانته إلى آخر قطره أكبر.

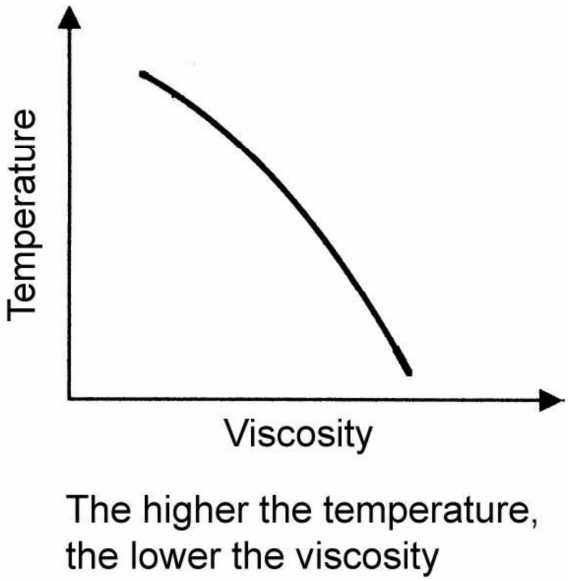
إن سرعة الحقن تعتمد على أربعة عوامل:

1- لزوجة البلاستيك المحقون (والتي تتنوع تبعاً لمعدل الحقن والحرارة)

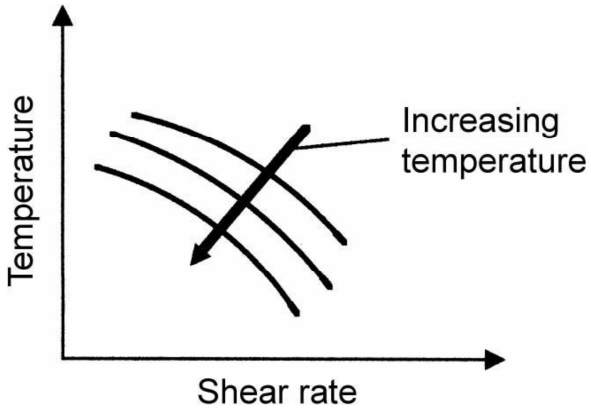
2- ضغط الحقن المتوافر.

3- مقاومة التدفق داخل نظام التغذية(القنوات) والبوابات والفجوة.

4- حجم زيت الهيدروليك المتدفق إلى أسطوانة الحقن.



الشكل 35–1 العلاقة بين درجة الحرارة واللزوجة



الشكل 36–1 منحني القص واللزوجة للبلاستيك

العاملان 1 و 2 متعلقتان ببعضهما: فالبلاستيك في الحرارة المرتفعة (مع لزوجة أقل) يتطلب ضغوطاً أقل وعند درجات حرارة منخفضة (مع لزوجة أعلى) سيتطلب ضغوطاً أعلى لملء فجوة القالب. وهذه الحقيقة قد تكون واضحة ولكن لها بعض الانعكاسات على اختيار القالب وخاصة في بنائه. في منتجات الجدران الرقيقة , ومن أجل حقن بلاستيك لزج (أو بارد) أكثر خلال ممرات التدفق الضيقة بين الفجوة والنواة, يتطلب الأمر ضغطاً أعلى من المطلوب للمنتجات ذاتها لو كانت جدرانها سميكة, وهذا الضغط الأعلى يعني أن قوى أكثر تتولد داخل القالب, وهذه القوى تسبب اجهادات في بعض مكونات القالب, ولكن الأهم من ذلك أنه يتطلب قوى احكام أعلى للتأكد من أن القالب لن ينفتح أثناء الحقن ويسبب الرايش.

إن منطقة خط الفصل(السطح) يجب أن تكون كبيرة كفاية لتحمل قوى الاحكام الكبيرة بدون التعرض للتلف, وهذا يمكن أن يعني أن الأمر يتطلب قالباً أكبر.

ولتجنب تلف القالب عندما يلتقي الفولاذ مع بعضه تحت قوى الاحكام الشديدة , ينصح أن يكون ضغط الاحكام في مستويات الفصل أقل من(42,000 kPa 6000psi).

أما الحل البديل بجعل البلاستيك أُقل لزوجةً (عن طريق رفع درجة حرارة انصهاره), ليس دوماً حلاً جيداً, مع أن البعض لا يفهمون الآثار الجانبية لهذه الطريقة فهم يستعملونها بشكل متكرر, ودرجات الحرارة الأعلى تجعل ظهور الرايش في القالب أسهل, ولكن الأهم إن رفع درجة الانصهار تعني إضافة المزيد من الطاقة (الكلفة !) للبلاستيك, والبلاستيك المحقون الأعلى حرارةً يتطلب تبريداً أكثر قبل الطرد مما يتطلب طاقة تبريد إضافية وبالتالي المزيد من التكاليف. وبما أننا نحتاج المزيد من الوقت لتبريد البلاستيك الأعلى حرارة, فإن ذلك أيضاً سيتطلب دورات زمنها أطول مما يتسبب بانخفاض الانتاجية.

- إن توليد الضغوط العالية يستهلك طاقة أكبر, ولكن تبقى أقل بكثير من الطاقة المطلوبة للتسخين الإضافي والتبريد الإضافي.

لقد كانت الآلات القديمة محدودة بضغوط حقن حدها الأعلى حوالي (140,000 kPa(20,000 psi أما الآلات الأكثر تطوراً فتصل ضغوط الحقن إلى(200,000kPa(29,000 psi أو أكثر عن طريق تزويدها بلوالب واسطوانات الفيز(أو حجرات حقن)لمقاسات أصغر.

كل هذا يشرح لماذا عادةً ينصح باستخدام ضغوط حقن عالية عند قولبة منتجات الجدران الرقيقة لأي حجم, سواء كانت المنتجات التي تستخدم لمرة واحدة أم لا. وبينما تضيف المتانة الزائدة تكاليف اضافية إلى القالب, فإن التوفير في الطاقة والزيادة في الإنتاج تسدد هذه التكاليف الاضافية.

أما بالنسبة للعامل الثالث الذي يحد من سرعة الحقن, فيمكننا فعل الكثير لتحسين تدفق البلاستيك في القالب وفي قنوات التغذية والفجوات, عن طريق الاستفادة المثلى من موضع البوابة وأبعادها, وأحياناً عن طريق زيادة ثخانة الجدران في مناطق معينة, وعن طريق التأكد أن عملية الانهاء لسطوح القولبة مناسبة تماماً للبلاستيك المحقون. وكما تم توضيحه سابقاً فإن تلبيس بالكروم ذو السطح اللماع يمكنه أن يحسن كثيراً من التدفق وينقص زمن الدورة.

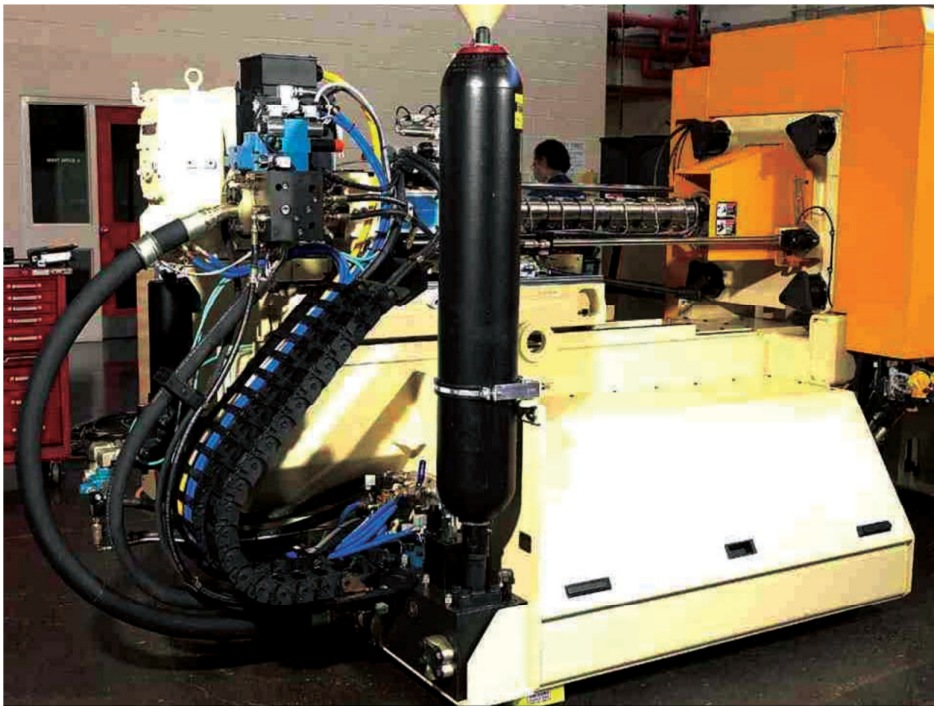
أيضاً نظام التغذية الحراري, خاصة القنوات داخل شبكة التغذية (Manifold), يجب أن تكون ذات أبعاد مناسبة للعمل بظروف مثلى, وتتم عمليات انهائها بنعومة عالية.

تتولد قوة الحقن من اسطوانة الحقن الهيدروليكية, ويتجه المكبس الموجود داخل اسطوانة الحقن للأمام بفعل ضغط زيت الهيدروليك حالما يسمح صمام الهيدروليك للزيت بالدخول إلى الأسطوانة. لذلك فإن

سرعة حركة المكبس متناسبة مع مقدار(حجم) الزيت المتدفق إلى أسطوانة الحقن. ويعتمد هذا الحجم على مصدر الزيت المضغوط, ولكنها تعتمد أيضاً على ضياعات التدفق في الأنابيب و الصمامات بين المصدر والأسطوانة, وفي كثير من آلات الحقن والقولبة, يكون مصدر الزيت المضغوط هو مضخة زيت هيدروليكية, إما مضخة مفردة تزود كل الآلة (الإغلاق والحقن, وأي ملحقات تتطلب زيت مضغوط) أو مضخة مخصصة لنظام الحقن, عن طريق الجمع بين المضخة(المضخات) و المدخرات الهيدروليكية(hydraulic accumulators).

وتقدر المضخات الهيدروليكية عن طريق خرجها(output), باللتر أو الغالون\دقيقة. والعلاقة بين خرج المضخة وحجم أسطوانة الحقن يحد من سرعة الحقن. فإذا كان لدينا مثلاً أسطوانة حقن ذات قطر 150 mm وبشوط 150 mm يكون الحجم 2,65 liters . المضخة (في هذا المثال) قد يكون خرجها 40 liters من الزيت عالي الضغط بالدقيقة. لذا يَلزم $60\ s \cdot 2.65\ liter \div 40\ liter = 3.98\ s$ لملء الأسطوانة. هذا يمكن تحويله لسرعة حقن عظمى. $150\ mm \div 3.98\ s = 37.74\ mm/s$ وستكون هذه هي السرعة التي يندفع بها البلاستيك إلى القالب, وهذا سيكون كافياً لبعض المنتجات, أما البعض الآخر, وبخاصة المنتجات ذات الجدران الرقيقة, فإن هذا لن يكون سريعاً بما فيه الكفاية, وإذا أردنا زيادة سرعة الحقن لدينا أحد هذين الخيارين:

- تجهيز الآلة بمضخة أكبر, وهذا يتطلب أيضاً محرك أكبر(وتحكم أكبر), أو
- تجهيز الآلة بنظام مدخرة, أي بإضافة وعاء ضغط(مدخرات accumulators)أو أكثر, حيث يتم تخزين الضغط الهيدروليكي عندما لا يكون هناك حاجة له خلال دورة القولبة. وخلال الحقن يضاف الضغط القادم من المدخرات للضغط القادم من المضخة. نلاحظ أن هذا الأسلوب ممكن التطبيق فقط إذا وجد وقت كاف فقط خلال كل دورة لإعادة شحن المدخرة. وإذا كانت دورة القولبة قصيرة جداً لن يكون هناك وقت كاف لإعادة شحنها ويتوجب عندها استخدام محرك ومضخة أكبر.



الشكل 37–1 وحدة حقن مجهزة بمدخرة لزيادة سرعة الحقن

لذا فمن الضروري لصانعي القرار أن يتحققوا من أن الآلة التي نصمم القالب من أجلها لديها سرعة الحقن الكافية للاستفادة القصوى من الطاقة الإنتاجية للقالب الذي نخطط له.

إذْ ليس هناك فائدة من قالب صمم لإنتاج (مثلا) 15 حقنة في الدقيقة إذا كان نظام الحقن في الآلة قادر فقط على انتاج 10 حقنات.

ملاحظة: هناك فرق في زمن الحقن عند حقن قالب له فجوات أكثر مقارنة بقالب لنفس المنتج له فجوات أقل, بسبب المسافات الطويلة التي يتوجب على البلاستيك أن يتدفق خلالها (هبوط أكبر في الضغط) والمقدار الكلي الأكبر من البلاستيك الذي يجب حقنه, ولكن عند هذه النقطة, يمكن للتقييم المعتدل أن يتجاهل فروقاً كهذه, والتي قد تبلغ فقط كسوراً في الثانية. وعند توافر مخطط القالب, فإن هذه الفروق في زمن الحقن يمكن حسابها.

7–7 درجة الحرارة المحيطة والرطوبة:

إن درجات الحرارة المحيطة والرطوبة لها تأثير على دورة الحقن, كما تم مناقشته في الفقرة 3–1, نحن يجب أن نشغل آلات الحقن في جو فوق نقطة الندى(dew point), في بيئة منخفضة الرطوبة, فإن سائل تبريد أكثر برودةً يمكن استخدامه, وبالتالي انخفاض في زمن الدورة. إذا كانت درجة الحراة

المحيطة عالية فإن طاقة أكبر سوف تستخدم للحفاظ على القالب بدرجة حرارة منخفضة. إن استخدام مكيف هوائي أو حتى تحكم في الرطوبة سوف يحسن ظروف القولبة والانتاجية.

- مثلاً في بعض المناطق تكون باردة في الشتاء ومعتدلة صيفاً فيمكن الاستفادة من الجو البارد المحيط في عملية التبريد و بالتالي التوفير حتى 80% من الطاقة المصروفة على أجهزة التبريد والحصول على منتج أقل كلفة.

7-8 مقارنة زمن الدورة لنفس المنتج في قالب جديد:

بوجود أزمنة الدورات المسجلة من قالب قديم لنفس المنتج، والذي عمل على آلة وفي بيئة أخرى غير المخطط لها في القالب الجديد يؤمن أرقام الإنتاج الدقيقة (حقنة في كل ساعة). ومع أن تأثير جميع العوامل يمكن أن تختلف في القالب الجديد فإنه يجب أخذها بعين الاعتبار. القالب الجديد يمكن أن يحتوي على فجوات أكثر (أو أقل)؛ وآلة الحقن يمكن أن تملك دورة جافة مختلفة أو حقن أسرع؛ والجو الحيط في المصنع يمكن أن يختلف؛ وغيرها من العوامل...

الظروف الجديدة يمكن أن تكون أفضل أو حتى أسوأ ويجب أخذها جميعاً بعين الاعتبار. أي تحسينات في نظام الطرد والتغذية والتبريد... الخ, تستطيع أن تصنع تحسينات كبيرة في الانتاجية.

الخلاصة:

إن عدة عوامل تؤثر على زمن الدورة , ولقد وضحنا كما مر معنا أي منها يؤثر بشكل ايجابي وأي منها يؤثر بشكل سلبي. لكن تبقى هنالك بعض الأسئلة:

- ما هو زمن الدورة المتوقع ؟
- كيف يمكن تحديد الحجم المناسب للقالب ؟
- ما هو عدد الفجوات المناسب ؟

لتحديد ذلك بصراحة, ليس هنالك جواب محدد وصحيح؛ نحن يجب أن نعتمد بشكل كبير على ذاكرة ورأي مشغلي القوالب الخبراء وعلى سجلات التشغيل السابقة للقوالب المشابهة. كل ما يمكن قوله مقارنة قالب معروف لمنتج مشابه, وبمعرفة كيف تم بناء هذا القالب وطريقة عمله وعلى أي آلة كان مركباً, سوف نكون قادرين على القول بأننا يمكن أن نصنع أفضل باستخدام ميزات وتجهيزات مختلفة في القالب المخطط له وبالتالي سنحسن زمن الدورة للقالب بكلفة معقولة.

المراجع:

[1] Wikipedia
_http://en.wikipedia.org/wiki/Overall_equipment_effectiveness

[2] Rees, Herbert, Selecting Injection Molds, 2nd ed. Chapter 14, 2002

[3] Steps for Calculation and Selection of Chillers - York Chiller Aireyor.
http://www.aireyork.net/pasos-para-el-calculo-y-seleccion-de-chillers-eng

[4] Rees, Herbert, Understanding Product Design for Injection Molding (1996)

[5] Rees, Herbert, Selecting Injection Mold, plastics—Equipment and supplies (2005)