الدرس السابع

عملية القولبة بالحقن
The Injection Molding Process

أسئلة مفتاحية

ما الوظائف التي تؤديها وحدات البناء الرئيسة في مراحل العملية الفردية؟

ما مراحل عملية القولبة بالحقن؟

ما حركات الآلة المرتبطة بمراحل العملية الفردية؟

المحتويات

(٧,١) مراحل دورة القولبة بالحقن.

(٧,٢) البدء.

(٧,٣) مرحلة الحقن.

(٧,٤) مرحلة ضغط الحجز.

(٧,٥) مرحلة التبريد.

(٧,٦) مرحلة التغذية.

(٧,٧) تفريغ القالب (إزالة المقولب).

أسئلة للمراجعة

المعرفة المسبقة

آلة القولبة بالحقن (الدرس الثاني).

وحدة الحقن والتلدين (الدرس الثالث).

القالب (الدرس الرابع).

وحدة التثبيت (الدرس الخامس).

أنظمة التحريك والتحكم (الدرس السادس).

obeikandl.com

(٧,١) مرحلة دورة قولبة الحقن

مراحل

يعرض هذا الدرس عملية قولبة الحقن بكل مراحلها: مرحلة الحقن، ومرحلة ضغط الحجز، ومرحلة التبريد، ومرحلة التغذية، والتفريغ. كما يصف هذا الدرس أيضًا حركات الآلة المرتبطة بهذه المراحل. وفي تصنيع المواد المرنة والمبلمرات حرارية التصلب، تُستبدل مرحلة التبريد، والمطبق في تصنيع اللدائن الحرارية، بمرحلة التسخين.

عرضت الدروس من الثاني إلى السادس مكونات آلة القولبة بالحقن، والتي بها تتشكّل المادة من المادة الخام الحبيبية إلى المنتج النهائي.

الوحدات البنائية

لتصنيع مقولب حقني، فإنه يجب على الوحدات البنائية للآلة أن تعمل معًا بطريقة عملية. وهذا التوافق ما بين الوحدات ينتج عنه عملية القولبة بالحقن، والتي يتشكّل من خلالها القطعة المقولبة.

دورة القولبة بالحقن

تتكون عملية القولبة بالحقن من مراحل فردية أو مراحل يتبع بعضها بعضًا، قد تتداخل إلى حد ما، وتتكرر بشكل متواصل. ونسمي مثل هذه العمليات بالدورة، ونتحدث بالتالي عن دورة قولبة حقن متكررة. ومن المألوف حاليًا أن تجري دورة القولبة بالحقن بشكل آلي من مرحلة لأخرى.

التكرار الآلي

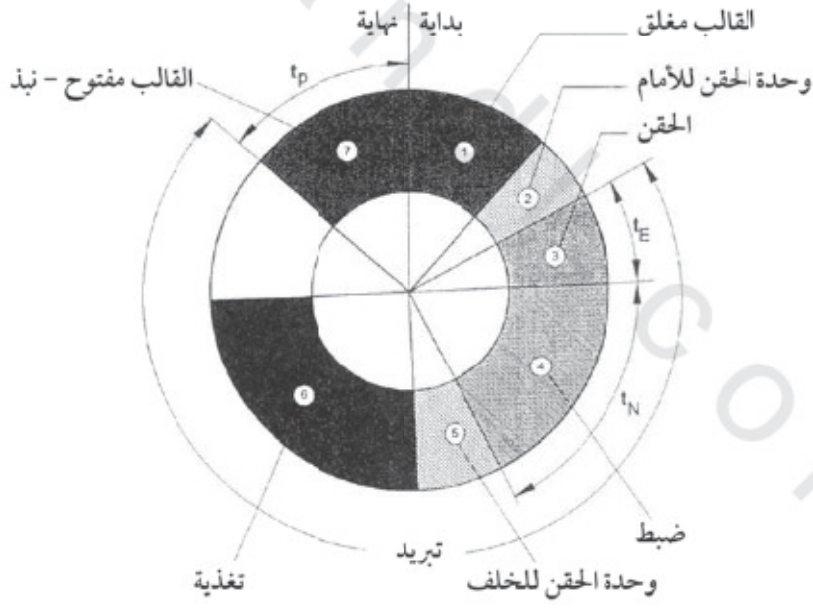
وفي معظم الحالات، فإن الدورة تكرر نفسها بشكل آلي. وفي ظروف معينة فقط، أو لقطع مقولبة خاصة، قد يكون من

الضروري أن تتوقف الآلة عند نهاية الدورة. وبعد تدخل يدوي من مشغل الآلة، فإن الآلة يتم تحضيرها للدورة التالية، ثم تبدأ العمل. ويحدث هذا بأجزاء اللدائن المرنة المقولبة، مثلًا، والتي يتم إزالتها في الغالب يدويًّا.

القرص المدمج

ويتم، مثلًا، إنتاج القرص المدمج بطريقة آلية بالكامل. وفي هذه الحالة يتدخل مشغل الآلة فقط عند حدوث المشاكل.

يوضح الشكل رقم (٧,١) المراحل المختلفة لدورة القولبة بالحقن وتعاقبها.



الشكل رقم (٧,١) دورة قولبة بالحقن للدائن الحرارية.

دورة قولبة القرص المدمج

تظهر الأوقات التي تتألف منها دورة القولبة بالحقن في حالة القرص المدمج كالآتي:

المرحلة	الزمن، ثانية
غلق القالب	٠,٤
الحقن	٠,٣
ضغط الحجز	٠,٣
زمن التبريد المتبقي	٢,١
فتح القالب	٠,٤
التناول (إضافة إلى إزالة المصب)	٠,٤
الزمن الكلي لدورة الحقن	٣,٩

وبالنظر إلى زمن دورة حقن القرص المدمج، فإنه يعد من المواد الأسرع دورة، شبيها بتلك المنتجات المستخدمة في صناعة التعبئة، مثل (الأكواب). وقد يستغرق زمن الدورة للمقولبات الأخرى من نصف دقيقة إلى عدة دقائق، ويعتمد هذا على عوامل مؤثرة كثيرة، مثل حجم المقولب، والمادة، وتصميم الفوهات، وإمكانيات إزالة المقولب، وغير ذلك.

ولا يمكن الملاحظة المباشرة لطريقة قولبة قطعة ما، لكن وحدات بناء الآلة يمكن أن تزودنا بمفاتيح بالنسبة لمرحلة دورة القولبة بالحقن التي تنفذها الآلة.

obeikandl.com

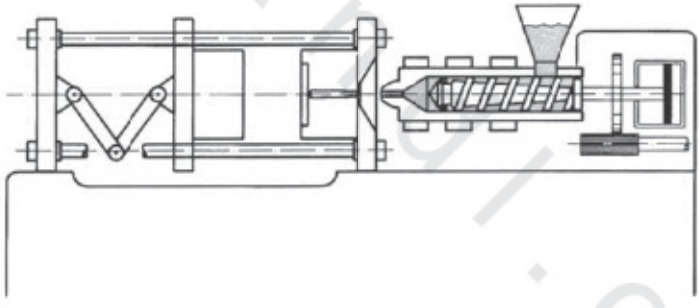
وعليه، وبالتوازي مع وصف مراحل دورة القولبة بالحقن، كما ترى من جانب المادة، فإن الشرح سوف يُظهر أيضًا الشكل الذي تتضمنه وحدات تركيب الآلة.

(٧,٢) البدء

الآلة

لبدء إنتاج القولبة، لا بد أن تكون كل وحدات الآلة في مواقعها المحددة.

ويبين الشكل رقم (٧,٢) الآلة ومكوناتها في الوضعية التي تسمح ببدء الإنتاج.



الشكل رقم (٧,٢). آلة قولبة الحقن ووحداتها البنائية: وضع الإطفاء (الافتراضي).

(٧,٢,١) القالب ووحدة التثبيت

وحدة التثبيت مفتوحة، ولا يوجد أي جزء مقولب في تجويف القالب، كما أن النوابذ تكون في وضع التراجع، وقد تم تعديل القالب إلى درجة الحرارة المقررة.

(٧,٢,٢) وحدة التلدين

اللولب والأسطوانة

يُسخَّن اللولب والأسطوانة في وحدة التلدين إلى درجة الحرارة المقررة، ويكون اللولب في وضع التراجع، أما المادة الملدنة المنصهرة فتكون موجودة في غرفة الحقن أمام اللولب. وتغلق الفوهة حتى لا يتسرب أي شيء من المادة.

(٧,٢,٣) التحكم

رسالة الخطأ

إذا كان المطلوب تنفيذ دورة واحدة، فإن التحكم يكون في الوضع شبه الآلي، أما إذا كان المطلوب تنفيذ عدد غير محدد من الدورات، فإن التحكم يكون في الوضع الآلي الكامل، وعلى مُشغل الآلة أن يبتدئ العملية بالضغط على الزر. وفي العادة تبدأ العملية فقط إذا كانت كل مكونات الآلة في أوضاع البدء المحددة، وإذا لم تكن كذلك، فإن التحكم يصدر رسالة خطأ مناسبة، أو يعيد المكونات بشكل آلي إلى وضع الابتداء.

(٧,٢,٤) الأنظمة الهيدروليكية والكهربائية

سوف نناقش لاحقًا آلات القولبة التي تنفذ آليات حركاتها الرئيسة: (التلدين، والحقن، وغلق القالب وفتحه) هيدروليكياً؛ لأنها هي المستخدمة بشكل سائد في هذا المجال. لكن لا بد من الإقرار بأن الآلات الكهربائية أو الهجينة (الحركات الرئيسة تنفذ جزئيًّا بشكل هيدروليكي، وجزئيًّا بشكل كهربائي)؛ تكتسب أهمية متزايدة.

درجة حرارة التشغيل للزيت الهيدروليكي

الشرط المسبق لبدء الإنتاج، هو بالطبع أن نضع الأنظمة الهيدروليكية والكهربائية في وضع التشغيل. ولا بد أن يكون مستوى الزيت الهيدروليكي في الآلة عند درجة حرارة التشغيل.

المادة

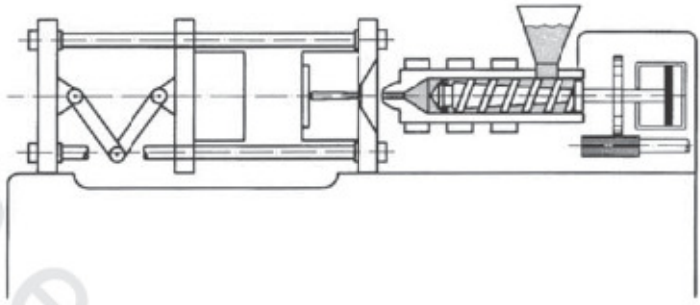
المادة (مركب القولبة) موجودة في غرفة الحقن، على هيئة مصهورٍ مخلوطٍ تمامًا. وفي تصنيع اللدائن الحرارية التقليدية (عديد الإثيلين، وعديد الستايرين، وعديد كلوريد الفينيل)، تكون المادة عند حوالي ٢٠٠-٣٠٠ م°.(٣٩٠-٥٧٠ ف°)، والمادة التي تنتج منها الأقراص المدمجة يتم تسخينها إلى حوالي ٣٣٠ م°.(٦٢٥ ف°). ويكون قوام مصهور المبلمر مقارباً لقوام العسل تقريبًا.

وحالما يطلق مشغل الآلة إشارة البدء، تبدأ دورة القولبة بالحقن بغلق القالب.

(٧,٣) مرحلة الحقن

الآلة

تتحرك وحدات بنية الآلة إلى وضعية التشغيل التالية (الشكل رقم ٧,٣).



الشكل رقم (٧,٣). آلة قولبة الحقن ووحداتها البنائية: مرحلة الحقن.

(٧,٣,١) القالب ووحدة التثبيت

قوة التثبيت

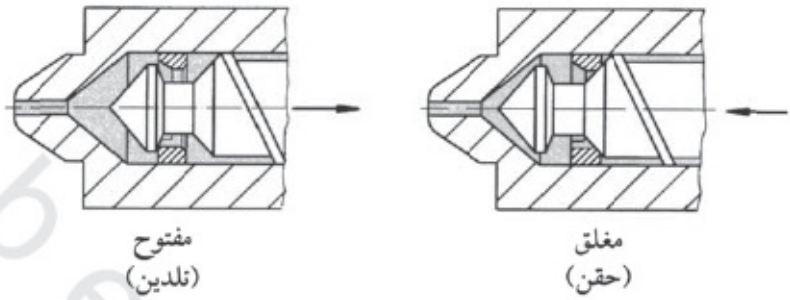
تُحرك وحدة التثبيت نصفي القالب معًا، حيث تنشأ قوة ربط تعمل على غلق القالب بإحكام.

(٧,٣,٢) وحدة التلدين

تتحرك وحدة التلدين إلى جلبة فتحة الصب في القالب، إذ تُفتح الفوهة، وتُحقن المادة الموجودة في غرفة الحقن في القالب عن طريق الحركة الأمامية للولب.

صمام منع الرجوع

وعندما يتحرك اللولب إلى الأمام، فإن الضغط يُبذل على صمام منع الرجوع، على حافة اللولب من قِبل المادة في غرفة الحقن. وكنتيجة لذلك، تندفع غرفة الحقن حلقة الزنق لصمام عدم الرجوع إلى الخلف باتجاه المقعد؛ مما يوقف أي مصهور من التسلل إلى الخلف على حواف اللولب. ويعمل اللولب الآن كمكبس خلال عملية الحقن (الشكل رقم ٧,٤).



الشكل رقم (٧,٤). اللولب، والأسطوانة، وصمام عدم الرجوع.

(٧,٣,٣) التحكم

يجب على أنظمة التحكم التأكد من أن تحركات الوحدات البنائية الرئيسة منسقة فيما بينها، في الوقت الذي تسير فيه على السرعة والضغط المطلوبين. ويتطلب هذا دقة عالية في عملية التحكم.

(٧,٣,٤) النظام الهيدروليكي

القدرة العليا

على النظام الهيدروليكي أن يبذل أعلى قدرة خلال مرحلة الحقن. وبجانب الحفاظ على قوة التثبيت، فإن النظام الهيدروليكي عليه أن يكون قادرًا أيضًا على حقن مصهور اللدائن في التجويف عند سرعة عالية مضبوطة. ولحصول ذلك، فعلى النظام الهيدروليكي أن يتغلب على مقاومة الفوهة والقالب.

المادة

عند بدء عملية الحقن، فإن مصهور المادة المتجانسة يندفع في غرفة الحقن، وتُغلق الفوهة، بحيث لا تتسرب أي مادة.

فوهة الإغلاق

وحالما تتحرك وحدة التلدين في مواجهة جلبة فتحة القالب، فإن الفوهة تُفتح للسماح بمرور المصهور بحرية خلال القالب.

التجويف

وفي الوقت نفسه، فإن النظام الهيدروليكي يبذل ضغطًا على اللولب، الذي يتحرك في الاتجاه المحوري، أي إلى الأمام باتجاه الفوهة، وبهذا تندفع المادة خارج غرفة الحقن باتجاه تجويف القالب.

التبريد

يجب على مادة المصهور المائع أن تتصلب مرة أخرى داخل التجويف، بحيث يمكن إزالة القطعة الناتجة فيما بعد. وعليه، فإن القوالب المستخدمة في اللدائن الحرارية يتم تبريدها أو تسخينها بتوازن، لأجل تصريف الحرارة التي اكتسبتها المادة خلال عملية الصهر؛ مما يؤدي إلى تصلبها.

السرعة

عندما يُلامس المصهور القالب خلال عملية الحقن، فإنه يبدأ في البرود والتصلب، وعليه فلا بد أن يحدث الحقن بسرعة بحيث يمتلئ التجويف، بينما ما تزال المادة مائعة.

الضغط

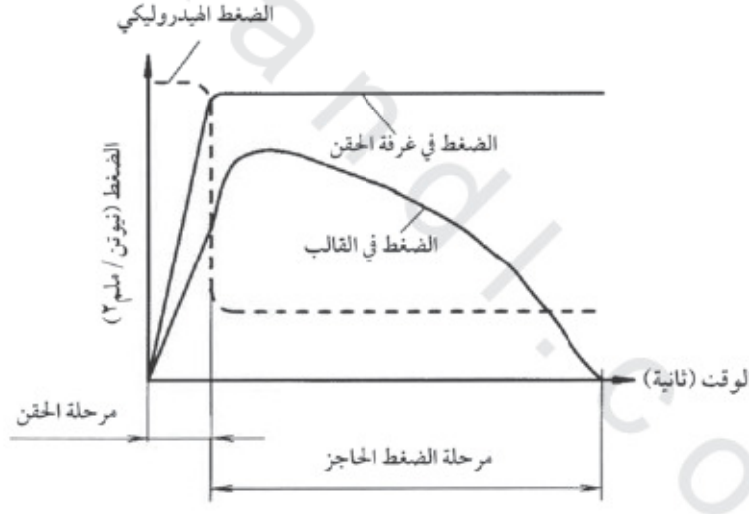
يتطلّب هذا ضغطًا عاليًا جدًّا؛ لأن المصهور لزج، على الرغم من درجة الحرارة العالية المستخدمة. ولا بد لجريان المصهور أن يتغلب على المقاومة التي تبديها الفوهة، وفتحة الصب، والتجويف، وبعض العقبات الأخرى، مثل الاحتكاك بالجدار. وقد يتجاوز الضغط في مقدمة اللولب ٢٠٠٠ بار (٢٩,٠٠٠ رطل/بوصة مربعة) في عملية الحقن.

قوة التثبيت

تتسبب المقاومة في الفوهة، وفتحة الصب، والتجويف في نقصان هذا الضغط بشكل تدريجي في اتجاه الجريان. وعلى الرغم من هذا، فإن هناك ضغوطاً عالية داخل القالب. ولا بد لوحدة التثبيت أن تكون قادرة على الإمساك بالقالب مغلقًا بشكل محكم في مواجهة هذه الضغوط.

منحنى الضغط

يبين الشكل رقم (٧,٥) منحنى الضغط داخل القالب، وغرفة الحقن ، وفي نظام الآلة الهيدروليكي. ويمكن ملاحظة أن الضغط داخل القالب يصل إلى قيمته القصوى، عندما تُحقن كمية كافية من المصهور لملء الفجوات بالكامل.



الشكل رقم (٧,٥). منحنيات الضغط داخل القالب.

الضغط الهيدروليكي

في الحقيقة فإن الضغط في النظام الهيدروليكي يكون أقل بكثير من الظاهر في الشكل رقم (٧,٥). والسبب في ذلك، هو أن الضغط يشتد إلى قيمة أعلى بسبب مساحة إسقاط

المكبس الهيدروليكي (الشكل رقم ٧,٢). ينقل الضغط الهيدروليكي المؤثر على مساحة الإسقاط للمكبس الهيدروليكي كمية كبيرة من القوة إلى حافة مكبس اللولب.

النقطة الحرجة

وتنتج هذه القوة الضغط العالي داخل غرفة الحقن، كما أن هذه النقطة هي الأكثر حرجاً في مرحلة الحقن. ومعظم مادة القولبة تظل مائعة، بحيث إن معظم الضغط المطبق من قِبل اللولب يمكن نقله إلى القالب. وإذا أمكن الحفاظ على ضغط الحقن بعد هذه النقطة، فإن الضغط الناتج داخل القالب يمكن أن يكون كافيًا للتغلب على قوة التثبيت.

ويمكن للقالب أن ينفصل عند الخط الفاصل؛ مما يسمح للمصهور بالتسرب خارج التجويف.

الوميض
الضغط الزائد
تلف

يمكن أن يترتب على ذلك تبعات خطيرة، حيث يتشكّل الوميض على القالب، والذي يتطلب تشطيبات معينة، أو أنه لا بد من رفض المنتج. ويمكن أن تكون التبعات على القالب أو الآلة أكثر حرجًا، كما يمكن أن تؤدي القوة العالية المطبقة إلى تلف خطير للقالب أو وحدة التثبيت.

تحول الضغط

ولذا لا بد من وقف ضغط الحقن عند اللحظة المناسبة. وإذا حدث هذا في الحال، فإنه يؤدي إلى إنتاج أجزاء غير ممتلئة بالكامل. إن التحول إلى ضغط الحجز يتطلب دقة عالية للتحكم في الآلة والمنظومة الهيدروليكية.

(٧,٤) مرحلة ضغط الحجز

انكماش المادة

عندما يملأ مصهور اللدائن القالب، يبدأ في البرود. وتبدأ عملية التبريد هذه عند جدار القالب، وتمتد باتجاه المركز. ولفترة معينة، يبقى المصهور مائعًا داخل القالب، وحالما يبرد، تنقص مادة القولبة في الحجم، أو تتقلص.

القرص المدمج

لو توقف الضغط بالكامل بعد مرحلة الحقن، فإن القالب يفكُّ نفسه من الجدار عندما يبرد، ولا يكون هناك أي سيطرة على أبعاد القولبة. ومن السهولة تخيل النتائج في مثال القرص المدمج، حيث يصبح السطح غير منتظم، ولذا تصبح قراءة القرص المدمج بالليزر غير مؤكدة، وباختصار يصبح القرص عديم الفائدة.

موضع المصب

غير أنه من الممكن تجنب ذلك بإبقاء الضغط على المصهور كما هو، مادام أن داخل المقولب في الحالة المائعة، وتندفع كذلك مادة داعمة جديدة إلى القالب بكمية كافية للتعويض عن التقلص. ويعمل هذا فقط عندما تظل المادة في فتحة الصب لينة بما فيه الكفاية، وهذا سبب بقاء فتحة الصب موجهة عند أكثف نقطة في القالب ما أمكن ذلك. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن تكون أبعادها مناسبة.

نقطة منع التسرب

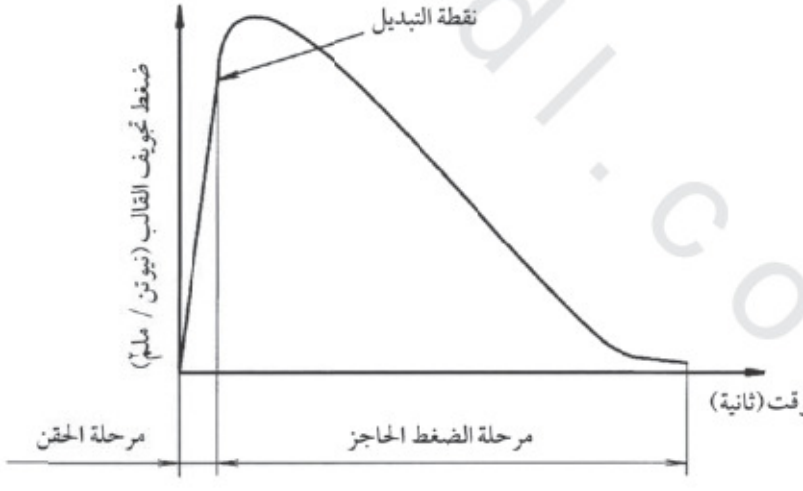
ضغط الحجز مصطلح للمرحلة التي يُطبَّق فيها الضغط الكافي؛ للتعويض عن التقلص الناتج عن مادة الحقن الداعمة. وهذه المرحلة لا بد أن تبقى إلى أن تتصلب فتحة

الصب – بمعنى آخر – حتى لا يمكن دفع المزيد من المصهور إلى داخل القالب. وتُعرف هذه الخطوة بنقطة منع التسرب.

المنحنى النموذجي للضغط

خلافاً لمرحلة الحقن، فليس هناك مقاومة للجريان يلزم التغلب عليها في مرحلة ضغط الحجز. وعمليًّا لا تحصل أي حركة داخل هذه المرحلة. ولهذا السبب يمكن ضبط ضغط الحجز إلى مستوى أقل من ضغط الحقن.

إن من المهم ضبط الضغط إلى المستوى المطلوب. وإذا كان ضغط الحجز منخفضًا جدًّا، أو فترة ضغط الحجز قصيرة جدًّا، فإن هذا يؤدي إلى إنتاج مقولبات معيبة. يظهر المنحنى النموذجي لضغط تجويف القالب في الشكل رقم (٧,٦).



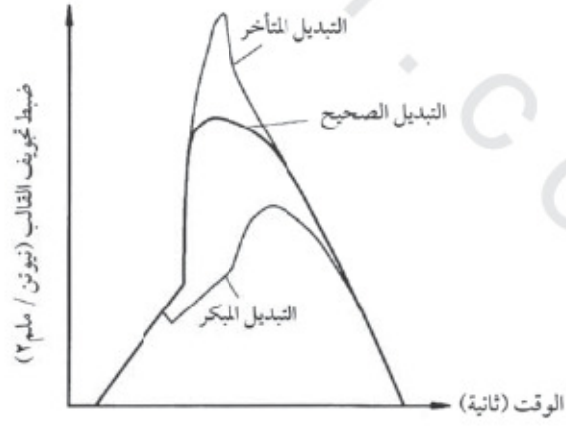
الشكل رقم (٧,٦). منحنى الضغط لتجويف قالب نموذجي.

وبالنسبة لبيانات آلة القولبة بالحقن، فتقدم منحنيات الضغط داخل القالب من هذا النوع مساعدة قيّمة؛ للحصول على الوقت والضغط الأمثلين لمرحلتي الحقن وضغط الحجز. ويُمكننا هذا النوع من الرسم البياني من إيجاد بيانات كثيرة بالنظر إلى جودة الإنتاج والقولبة.

ومن المهم جداً التحول من مرحلة الحقن إلى مرحلة ضغط الحجز عند اللحظة المناسبة. يبين الشكل رقم (٧,٧) بعض الأمثلة لمنحنيات خاطئة لضغط تجويف القالب. وإذا حدث التحول مبكرًا، فإنه يحدث هبوط في الضغط، ويستلزم هذا خطر استحالة ملء التجويف بالكامل. وإذا ما حدث التحول متأخرًا، نتج عن ذلك ومضة ضغط. وعلى المدى البعيد، فإن مثل هذه الومضات تؤدي إلى تلف في القالب والآلة.

الآلة

تنطبق الحالة التالية على الوحدات البنائية للآلة خلال مرحلة ضغط الحجز:



الشكل رقم (٧,٧). منحنيات خاطئة لضغط تجويف القالب.

(٧,٤,١) القالب ووحدة التثبيت

تُغلق وحدة التثبيت بطريقة الإغلاق نفسها خلال مرحلة الحقن، ويُضغط نصفا القالب بإحكام عن طريق قوة التثبيت. وتُعادل بعض قوة التثبيت بقوة تباعد نصفي القالب المتولد عن ضغط الحقن المؤثر على مساحة الإسقاط الداخلية للقالب.

(٧,٤,٢) وحدة التلدين

التعويض عن الانكماش

تتحرك وحدة التلدين باتجاه القالب، حيث تُفتح الفوهة ويتعرض اللولب للضغط. وهدف هذا الضغط هو دفع مادة المصهور من غرفة الحقن إلى التجويف حتى يمتلئ، ثم تطبيق ضغط الحجز؛ للتعويض عن التقلص في المقولب، إلى أن تتصلب فتحة الصب.

ومن المهم إلقاء نظرة فاحصة على موقع اللولب في مرحلة ضغط الحجز. وعند بداية مرحلة ضغط الحجز، يكون التجويف قد امتلأ بمعظم المصهور المراد حقنه، ثم يتم حقن كمية صغيرة للتعويض عن التقلص. وحتى عند نهاية مرحلة ضغط الحجز، فإن بعض المادة المتبقية يجب أن تبقى في غرفة الحقن. وتمكّن هذه الوسادة من المصهور انتقال الضغط ما بين اللولب والتجويف أو فتحة الصب، ويتم الاستفادة من هذه الوسادة في الحقنة التالية.

obeikandl.com

(٧,٤,٣) التحكم

ضغط الحجز المراحل

أثناء مرحلة ضغط الحجز، لا بد لنظام التحكم أن يتأكد من الضغط الهيدروليكي، والذي يحرك اللولب، ويُبقى على المستوى نفسه المعد مسبقًا. ويسمح هذا للحقن الإضافي بالكمية الكافية فقط داخل التجويف للتعويض عن التقلص في المقولب. ولهذا الغرض، فإن معظم الآلات توفر خيار تشغيل سلسلة من ضغوط حجز مختلفة، حيث تحدد مراحلها حسب الشكل الهندسي للمقولب.

(٧,٤,٤) النظام الهيدروليكي

التحول

تكون قيمة الضغط الهيدروليكي أثناء مرحلة ضغط الحجز أقل من قيمته في مرحلة الحقن. وفي النظام الهيدروليكي فإن التحول من مرحلة الحقن إلى مرحلة ضغط الحجز يكون حرجًا. ويتصف نمط الحقن بسرعات عالية للولب وبضغط مرتفع، في حين يتصف نمط ضغط الحجز بسرعة لولب منخفضة، وبضغط هيدروليكي منخفض نسبيًا. ولا بد أن يتم الانتقال من النموذج الأول إلى الثاني بدقة متناهية، وفي أقصر وقت ممكن، ويتطلب هذا دقة عالية لعمليات التحويل.

ويتبع مرحلة الحقن ومرحلة ضغط الحجز مرحلتان أخريان متزامنتان: التبريد، والتغذية.

(٧,٤,٥) مرحلة التبريد

الالتواء وصلت المادة الآن إلى تجويف القالب في حالة سريان، ولا بد لها أن تتصلب تحت تأثير درجة حرارة القالب المنخفضة نسبيًّا، حيث يسمح هذا بإزالة المقولب الجاهز. ويجب أن يتصلب المقولب تحت ظروف محكومة، بحيث لا تتشكل إجهادات غير مرغوب فيها داخل المقولب، إذ تُسبب هذه الإجهادات التواء المقولب.

(٧,٤,٦) مرحلة التغذية

مرحلة التغذية يؤدي تصلب المصهور في المصب إلى منع حقن مركب القولبة الإضافي؛ ولذا يمكن لوحدة التلدين أن تقوم بمهماتها الأخرى، كما يمكن تحضير مادة جديدة استعدادًا للدورة التالية.

(٧,٥) مرحلة التبريد

المادة تنتهي مرحلة ضغط الحجز للمادة داخل تجويف القالب عندما تتصلب فتحة الصب – بمعنى آخر، عندما يتم انسدادها. ومن هذه النقطة فصاعدًا، لا يمكن دخول أي مادة إلى التجويف. وخلال مرحلتي الحقن وضغط الحجز، تبدأ المادة في التجويف بالبرود؛ بسبب جدار القالب البارد نسبياً، وتتصلب الطبقات الخارجية بسرعة عالية، حيث يبدأ زمن التبريد مبكرًا كما في الحقن.

التوصيل الحراري

يستغرق الجزء الداخلي من المقولب وقتًا أطول ليبرد، ولا بد من تصريف حرارة المصهور الزائدة خلال الطبقات الخارجية لجدار القالب. ويبدو واضحًا الآن أن توصيل اللدائن للحرارة رديء، وأن الموصلية الحرارية للدائن أضعف مائة مرة من موصلية الفولاذ الحرارية.

ويمكن تعريف انتقال الحرارة بفعالية بمساعدة المعادلات الرياضية، حيث يجعل هذا من الممكن إنجاز حسابات متقدمة لزمن التبريد، والذي من خلاله يبقى لمقولب في القالب إلى أن يبرد بشكل كاف.

مدة التبريد

تعتمد مدة التبريد على طول الزمن اللازم لتبريد المادة داخل القالب. وليس من الضروري الانتظار حتى يبرد كامل المقولب إلى درجة حرارة القالب. ويكفي للأجزاء الخارجية أن تبرد بما يسمح بإزالة المقولب من القالب في ظروف مستقرة. وسيكون من غير الحكمة السماح للمقولب بالبرود داخل القالب أطول من الضروري. والسبب هو كون الآلة في مرحلة الانتظار خلال مرحلة التبريد، ومن ثم فهي غير منتجة.

الربحية

اختيار مدة التبريد المناسبة مهم أيضًا من ناحية الربحية. وبعيدًا عن المعادلات المعقدة لتعريف عملية التبريد – كما هو مطبق في المحاكاة بالحاسوب لقولبة الحقن – توجد معادلات بسيطة تجعل من الممكن حساب مدة التبريد بحاسبة جيب أو يدويًا.

(٧,٥,١) معادلة مدة التبريد

معادلة مدة التبريد

اُشتقت معادلة مدة التبريد باعتبارها تقريبًا بسيطًا لتعريف انتقال الحرارة داخل القالب خلال عملية التبريد في أداة القولبة بالحقن:

$$t_c = \frac{s^2}{\pi^2 * a_{eff}} * \ln\left(\frac{4}{\pi} * \frac{T_m - T_w}{T_E - T_w}\right)$$

t_c مدة التبريد المراد حسابه بالثواني.

S سمك القطعة، (ملم).

T_m درجة حرارة المصهور عند بدء عملية الحقن، (كالفن).

T_w درجة حرارة القالب، (كالفن).

T_E درجة حرارة فتح القالب (درجة حرارة مركز المقولب المفترضة، والتي يخرج عندها المقولب)، (كالفن).

a_{eff} الموصلية الحرارية الفعالة[1]، ملم^2/ثانية (خصائص مادة المقولب التي يمكن العثور عليها في الجداول، عند درجة حرارة جدار القالب).

ويمكن استخدام المعادلة التالية في عمل حسابات تقريبية لزمن التبريد:

$$t_c = 2s^2$$

حيث t_c مدة التبريد بالثواني، و s سمك الجدار للقطعة، (ملم).

---

(١) عُرّفت a_{eff} هنا بالموصلية الحرارية الفعالة، بينما المصطلح الصحيح لها هو الانتشارية الحرارية وبينهما فرق. وسنستخدم لاحقاً الانتشارية الحرارية. (المترجمان)

obeikandi.com

تعد قيمة أكبر سمك جدار للقطعة حاسمة ؛ لأنه يحدد مدة الدورة.

وبحسب هذه المعادلة ، فإن سمك القرص المدمج البالغ ١,١٤ ملم يتطلب مدة تبريد قدرها ٢,٦ ثانية تقريبًا.

القرص المدمج

وفي هذا الصدد يمكن الاطلاع على الفصل (٨,٣,٣) (خارطة القالب الحرارية). (لسماكة الجدار بالبوصات ، حيث تُصبح معادلة مدة التبريد :

$$(t_c = 2000\ s^2$$

(٧,٥,٢) القالب ووحدة التثبيت

حالة القالب ووحدة التثبيت في مرحلة ضغط الحجز مطابقة لتلك التي في مرحلة التبريد.

(٧,٥,٣) وحدة التلدين

خلال فترة التبريد ، تُحضَّر المادة في وحدة التلدين لأجل الحقنة التالية. الوصف التفصيلي لما يحصل في وحدة التلدين خلال هذا المرحلة معطى في الفقرة ٧,٦ "مرحلة التغذية".

(٧,٥,٤) أنظمة التحكم والهيدروليك

بما أن مرحلة التبريد تمثِّل مرحلة انتظار للآلة ، فلا حاجة لعمل أي إجراء للتحكم والهيدروليك في هذه المرحلة. والإجراءات المتخذة بالتزامن مع مرحلة التغذية موصفة في الفقرة ٧,٦ "مرحلة التغذية".

(٧,٦) مرحلة التغذية

المادة

خلال فترة التغذية – بعد إكمال مرحلة الحقن ومرحلة ضغط الحجز – لا بد من إعداد المادة لحقنة جديدة، وتوفيرها بالكمية المناسبة، حيث يتم تغذية هذه المادة أو ضخها.

القادوس
نقل المادة

عند هذه النقطة، يتم سحب المادة من القادوس فوق وحدة التلدين عن طريق اللولب الدوار، ونقلها بين حواف اللولب باتجاه الفوهة. وفي الوقت الذي يتم تحريكها فيه باتجاه الفوهة، فإنها تتعرض لإجهادات كثيرة مختلفة.

التوصيل الحراري

تنتقل الحرارة من جدار الأسطوانة في وحدة التلدين إلى المادة. ويُسمى هذا النوع من الانتقال الحراري بالتوصيل الحراري.

الاحتكاك

تتعرض المادة للقص عن طريق دوران اللولب، وتُسخَّن بحرارة الاحتكاك الناتجة عن ذلك. ويتركز هذا الأثر بحقيقة أن ارتفاع أجنحة اللولب تتناقص في اتجاه الفوهة، ولذا تنضغط المادة بشكل متزايد، ويتم خلطها بشكل آني ومستفيض. كما تتسبب ظروف الضغط في الفضاء ما بين اللولب وجدار الأسطوانة في نقل الهواء المحجوز باتجاه منطقة التغذية.

حركة اللولب الرأسية

الانضغاط الشديد وخلط المادة جيداً مطلوب للتأكد من أن خواصها منتظمة قدر الإمكان. وحال وصولها حافة اللولب، تصبح المادة منصهرة، وتتراكم في غرفة الحقن. وإذا ما تحرك اللولب في الاتجاه المحوري، فإنه يستجيب لضغط المادة المتراكمة، ويتحرك إلى الخلف. ولتحسين التجانس، فإن هذه الحركة تتقيد بالمقاومة المعدلة، والتي تعرف بالضغط الخلفي.

الطاقة

في معظم الحالات، يتم تزويد المادة بالطاقة الناتجة من الاحتكاك أكثر من الطاقة المحصلة من جدار الأسطوانة الساخن. وفي النهاية لا بد من إنتاج هذه الطاقة من قِبل محرك التشغيل. وعليه، فإن كمية الطاقة المزودة تعتمد بشكل خاص على سرعة اللولب، ووضعية الضغط الخلفي، حيث تؤثر سرعة اللولب على الزمن المطلوب لتحضير المادة.

سرعة اللولب

الضغط الخلفي

مدة التبريد

مدة التلدين

عند اختيار إعدادات عملية القولبة بالحقن، فمن المهم التأكد من أن مدة التلدين لا تتجاوز مدة التبريد. والسبب في ذلك هو أن مدة التلدين يمكن أن تتغير نتيجة لتباين خواص المادة. وإذا كانت مدة التلدين أطول من مدة التبريد، فإن هذه التباينات ستؤثر بشكل مباشر على مدة الدورة؛ مما قد يتسبب في تغير جودة القولبة، ولهذا فإن القاعدة التالية تنطبق على هذا الوضع:

قاعدة الربحية

يجب عدم السماح لمدة التلدين بتحديد مدة الدورة.

تحقق مدة التبريد المثلى ميزة الربحية الكبرى؛ لأنها تسمح بإنتاج المزيد من المقولبات بسبب توفير الوقت.

فترة الانتظار

تسير مرحلة تبريد المقولب في اتجاه مرحلة التغذية نفسه، وحالما تنتهي مرحلة التغذية، تكون المادة متاحة في غرفة الحقن للدورة التالية. وخلال فترة الانتظار – بانتظار انتهاء مرحلة تبريد القولبة – يحصل تبادل حراري بين المصهور في غرفة الحقن وجدار الأسطوانة. ومن المهم التأكد من أن المصهور – خلال فترة الانتظار هذه – لم يبرد بشكل كبير، ولم يمتص حرارة تجعله يبدأ بالتفكك.

التبادل الحراري

خطر التفكك

(٧,٦,١) القالب ووحدة التثبيت

القالب ووحدة التثبيت غير موجودة في مرحلة التغذية.

(٧,٦,٢) وحدة التلدين

فوهة الإغلاق

يتم تحضير المادة مباشرة عقب انتهاء مرحلة ضغط الحجز. وإذا ما اُستخدمت فوهة إغلاق، فإنها سوف تُغلق حالما ينتهي زمن ضغط الحجز. وفي هذه الحالة، ترتد وحدة التلدين من القالب؛ لتجنب انتقال الحرارة الزائدة من الفوهة الساخنة إلى القالب البارد.

وحدة التلدين القابلة للارتداد

وإذا لم تُستخدم فوهة الإغلاق، فلا يمكن لوحدة التبريد أن ترتد، إلى أن تنتهي مرحلة التغذية، وإلا فإن مركب القولبة سيخرج من الفوهة مبكراً.

عملية التلدين

خلال عملية التلدين، يدور اللولب بمحرك هيدروليكي، إذ تنزل المادة من القادوس وتدخل منطقة التغذية. وينقل دوران اللولب المادة باتجاه حافة اللولب، وخلال صمام منع الرجوع، حيث يُجبر اللولب على التحرك إلى الخلف بفعل المادة المتراكمة في غرفة الحقن أمام حافة اللولب. وحالما يدفع المصهور اللولب إلى الخلف لقدح مفتاح نهاية شوط التغذية، فإن دوران اللولب يتوقف.

صمام منع الرجوع

غرفة الحقن

obeikandl.com

(٧,٧) تفريغ القالب (إزالة المقولب)

حالما ينتهي وقت التبريد في دورة القولبة بالحقن – بمعنى آخر، حالما تتصلب المادة المقولبة داخل القالب – فإن القالب يفتح عند الخط الفاصل، وينفصل نصفا القالب بشكل كاف يسمح للمادة بالخروج.

النابذ

يحصل النبذ في العادة عن طريق مسامير معدنية موجهة – النابذ – التي هي جزء من القالب. وتدفع هذه النوابذ بالقولب إلى خارج سطوح التجويف. ومن المهم التأكد من أن المادة لم تتلف بفعل دبابيس النبذ.

جهاز المناولة

يجب ألا يُسمح للمقولبات عالية الجودة والحساسية، مثل (صدامات السيارات)، ولا للأجزاء التي تخضع للمزيد من التصنيع فورًا بعد التفريغ، أن تسقط في صندوق أو فوق حزام ناقل. ولا بد من إزالتها من القالب بوسيلة مناولة مناسبة.

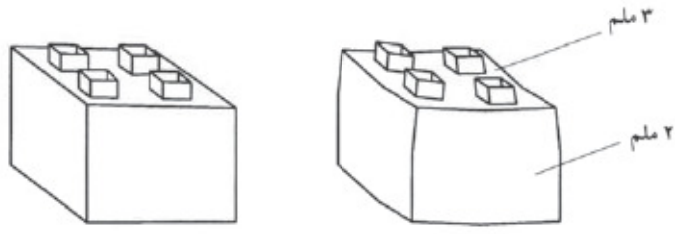
القرص المدمج

كل هذه المعايير تنطبق على الأقراص المدمجة. ولا يُسمح للأقراص بالسقوط فوق بعضها؛ لأن هذا يؤدي إلى تلف أسطحها الحساسة جدًّا. ويتم طلاء الأقراص وتغطيتها بعمليات لاحقة، حيث تُستخدم آلة لوضع الأقراص في الآلات المستخدمة في هذه العمليات.

الانكماش

لا تتشكل أبعاد المادة بشكل نهائي إلا بعد نبذها من القالب. بالإضافة إلى الانكماش المرتبط بعملية التبريد في حالة القولبة، فإنه يحدث التواء للمادة، ويعتمد الالتواء على شكل المادة. يظهر في الشكل رقم (٧,٨) الالتواء الحاصل على نموذج بتغيير سمك الجدار. ويمكن تصحيح الانكماش والالتواء بشكل جزئي عن طريق إعدادات الآلة.

الالتواء



الشكل رقم (٧,٨). التواء في نموذج الإدخال.

(٧,٧,١) القالب ووحدة التثبيت

فتح القالب

حالما ينتهي زمن التبريد، يفتح القالب عند الخط الفاصل بواسطة تحريك الصفيحة المتحركة. وتحمل الصفيحة المتحركة نصف القالب المطابق معها، وتتوقف عند وضع الفتح المبرمج. وتبقى مادة المقولب ملتصقة بنصف القالب الموجود في الصفيحة المتحركة، والذي انفصل عن النصف الآخر الموجود على الصفيحة الثابتة (جانب الفوهة). ومع عملية التباعد، لا بد من تحريك نصفي القالب بعيدًا، بما يكفي لإزالة المقولب أو تحريكه بدون لمس القالب.

مستوى الفصل

دبابيس النبذ

يبدأ النبذ عندما تفتح وحدة التثبيت القالب، ولهذا الغرض تم وصل دبابيس النبذ مع نصف القالب المتحرك، حيث تندفع الدبابيس متحركة للأمام – نسبة للقالب – بنظام هيدروليكي متصل مع الآلة؛ مما يحرك المقولب من نصف القالب. وتسقط المقولبات حال إزالتها في صندوق تجميع، أو تزال بجهاز التناول. وفي الحالة الأخيرة، يبقى المقولب في دبابيس النبذ لإزالة أسهل.

النوابذ الهوائية

في معظم الحالات، يُزال المقولب ميكانيكيًّا بدبابيس النبذ، الموصولة مع القالب. ومع المقولب الحساس أو الطري، يتم استبدال الدبابيس بنابذ هوائي يفصل المقولب، ويدفعه إلى خارج سطح القالب بفعل الهواء المضغوط.

القرص المدمج

القرص المدمج مقولب حساس، يتم تحريره من القالب بالهواء المضغوط، ثم تحريكه بجهاز تناول مزود بأكواب شفط. وعلى الرغم من أن سمك القرص المدمج ١,١٤ ملم (٠,٠٤٥ بوصة)، فلا بد للقالب على الآلة نفسها أن يفتح بشكل واسع؛ مما يسمح لجهاز التناول بإزالة القرص المدمج.

الإزالة اليدوية

في بعض الحالات الفردية من قولبة اللدائن الحرارية، وأكثر مع المواد المرنة، فإن المقولب النهائي لا يمكن نبذه بشكل آلي، بل لابد من إزالته يدويًّا؛ لأن اللدائن المرنة المعقدة يتم إنتاجها عادة من قوالب بسيطة، بسبب انحناء المادة ومرونتها. وإزالة هذه المواد معقدة جدًّا، بحيث إنها تحتاج إلى أجهزة متخصصة جدًّا يمكنها تفريغ القالب بشكل آلي. ولهذا فإن الإزالة اليدوية ما تزال تُستخدم في تصنيع اللدائن المرنة في الصناعة إلى يومنا هذا.

أدوات المناولة

وبعد نبذ المقولب، يرتد النابذ إلى مكانه، ثم تكون وحدة التثبيت والقالب في مكانهما استعدادًا لدورة تالية.

(٧,٧,٢) وحدة التلدين

في مرحلة التغذية، تحضر وحدة التلدين مادة للدورة التالية، وتكون بذلك قد أنهت مهمتها، وتصبح في وضع الانتظار.

(٧,٧,٣) أنظمة التحكم والهيدروليك

خلال عملية النبذ يعمل التحكم على تنسيق تتابع الحركات التي تتم بوحدة التثبيت والنابذ. ولا يُسمح للنابذ بالحركة السريعة؛ لأن هذا قد يؤدي إلى إلحاق الأذى بالقالب. ولا بد للحركة التي تفتح القالب أن تحصل ببطء لتجنب تلف المقولب.

وحالما تنتهي الدورة، تحدد إعدادات التحكم إذا كانت الدورة التالية ستبدأ في الحال (في الوضع الآلي الكامل)، أو عند إشارة من مشغل الآلة (شبه آلي).

obeikandl.com

أسئلة مراجعة

م	السؤال	الاختيار
١	يمكن تقسيم عملية القولبة بالحقن إلى المراحل التالية : الحقن، وضغط الحجز، والتبريد، والتغذية، و.....	الإقفال الإزالة
٢	..... الفوهة خلال مرحلة الحقن.	تغلق تفتح
٣	يتحرك اللولب باتجاه..... خلال مرحلة الحقن.	القادوس الفوهة
٤	يحصل التعويض عن التقلص خلال مرحلة	الحقن ضغط الحجز التغذية
٥	النقطة التي لا يمكن عندها دفع المزيد من المصهور داخل القالب تسمى.....	نقطة منع التسرب نقطة الانصهار
٦	ضغط الحجز ..... من ضغط الحقن بشكل عام.	أقل أعلى
٧	تُنقل كمية ..... من المادة داخل التجويف خلال مرحلة ضغط الحجز.	صغيرة كبيرة
٨	تعطي المعادلة التالية زمن التبريد التقريبي : زمن التبريد (بالثواني) = ٢ * سمك الجدار (بالملم).....	٤x مربع.
٩	.... يحدد زمن الدورة من خلال زمن التلدين.	يجب أن يجب ألا

obeikandl.com

١٠	تسير مرحلة..... بالتوازي مع مرحلة التغذية.	الحقن التبريد ضغط الحجز
١١	القرص المدمج حساس، ولا بد من إزالته	يدويًا بالجاذبية بجهاز تناول

obeikandl.com