الدرس الثامن

تصميم القالب
Mold Design

الأسئلة المفتاحية

ما وظائف قالب الحقن؟

ما مراحل عملية التصميم؟

ما المقصود بمخطط القالب الميكانيكي، والحراري، والانسيابي؟

المحتويات

(٨,١) مهام أدوات القولبة بالحقن ومواصفاتها.

(٨,٢) مهام المصممين.

(٨,٣) مخطط القالب.

أسئلة للمراجعة

المعرفة المسبقة

المبادئ الأساسية للدائن (الدرس الأول)

آلة القولبة بالحقن (الدرس الثاني)

القالب (الدرس الرابع)

وحدة التثبيت (الدرس الخامس)

(٨,١) مهام أدوات القولبة بالحقن ومواصفاتها

يجب على أداة القولبة بالحقن أن تُنجز مهام أولية عديدة، والتي بدورها تفضي إلى مهام ثانوية.

المهام الرئيسة

المهام الرئيسة:

- استقبال المصهور.
- توزيع المصهور.
- تشكيل المقولب.
- تبريد المقولب (الميزان الحراري).
- إزالة القطعة من القالب.

المهام الثانوية

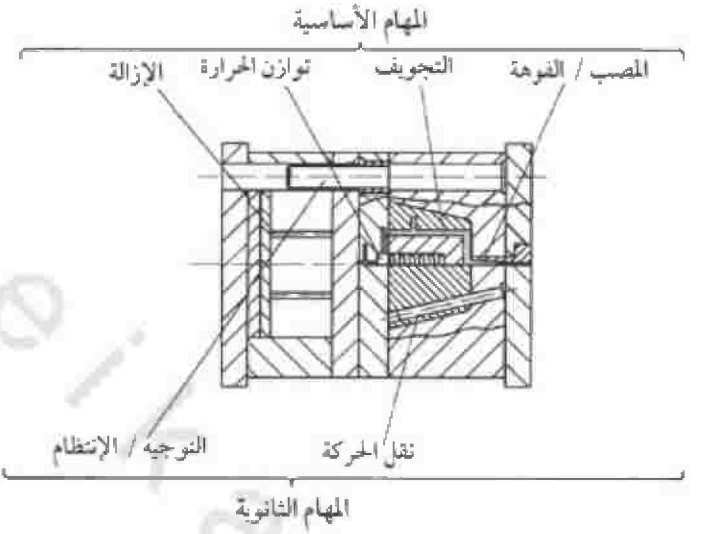
المهام الثانوية:

- امتصاص القوى.
- نقل الحركة.
- موجه حركة مكونات القالب، مثل (الأجزاء).

وعلى سبيل المثال، فمن المهام الثانوية التي يقوم بها القالب امتصاص قوى كبيرة، لأجل التأكد من أن المهمة الأولية المتمثلة في استقبال المصهور المحقون فيها تحت الضغط قد تم إنجازها.

تعقيدات الوظائف

يمكن تعيين عدة وظائف لهذه المهام (الشكل رقم ٨,١). ويجب على المصمم أن يتأكد من أن هذه الوظائف قد أُنجزت من قِبل القالب. وعند هذا الحد، لا بد للمصمم أن يستخدم الطرائق المساندة بالحاسوب.



الشكل رقم (٨,١). وظائف أداة القولبة بالحقن (قالب الانفصال).

(٨,٢) مهام المصممين

مساعدة الحاسوب

مواصفات القالب المذكورة آنفًا، تُبين بوضوح مدى تعقيد مهام المصمم. وفي هذا العمل، يستعين المصممون بمساعدة الحاسوب. وقد أصبح التصميم بمساعدة الحاسوب مؤسسًا بالكامل، ولاقى قبولًا على مدى واسع. وليس هذا آخر المطاف، وذلك بسبب تزايد كفاءة الحواسيب الشخصية والمحطات التشغيلية التي يمكن شراؤها.

تصميم بمساعدة الحاسوب

بالنسبة للمخطط الهندسي للقالب، توجد أنظمة بمساعدة الحاسوب CAD، والتي بواسطتها لا يقتصر وصف أداة القولبة بالحقن بالرسوم ثنائية الأبعاد فقط، بل يتعدى ذلك إلى نموذج كامل ثلاثي الأبعاد. وهذا الأخير مهم في

وصف المنحنيات المقفلة (الكفافية) المعقدة للقوالب. والدوافع لإنتاج مثل هذا النموذج قيم جدًّا، ليس أقلها أنه يوفر مزيدًا من الاستخدامات لمراحل تطوير لاحقة، مثل اشتقاق البيانات المطلوبة لأغراض الإنتاج، أو لتعليمات التجميع والتأليف.

الهندسة بمساعدة الحاسوب طريقة العناصر المنتهية

وبعيدًا عن المنظومات التي تنتج هندسة مادة القالب أو القالب نفسه، فهناك مساعدات إضافية مدعومة بالحاسوب، والتي تساعد المصمم في عمله على أداء مهام أخرى. وتُعرف هذه البرامج بالهندسة بمساعدة الحاسوب CAE. ومن بين ذلك برامج طريقة العناصر المنتهية FEM لمخطط القالب، فمثلًا برامج CAD و CAE لا بد أن تكون قادرة على تبادل البيانات بينهما. وبالإضافة إلى ميزات أخرى، فإن الفوائد التالية تُبرز من استخدامات الحواسيب:

- تحسين نتائج التصميم بتطبيق الطرائق العلمية.
- تحسين عمليات التصميم (استعادة المعلومات، وقواعد البيانات).
- تسارع عملية التصميم بالنسبة لأداء مهام تنفيذية روتينية، مثل (الإنشاء، والتعديل، وتخزين الرسومات).
- سرعة إدخال بيانات المصنع الأخرى، مثل (تحضير الشغل، والإنتاج) عند ارتباط حواسيب متنوعة.

تصميم القالب

تنقسم العملية الإجمالية لتصميم القالب إلى ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى: تحديد مبدأ عمل القالب.

المرحلة الثانية: مخطط القالب (انسيابي، حراري، ميكانيكي).

المرحلة الثالثة: تجميع بيانات الإنتاج.

مبدأ عمل القالب

تشتمل المرحلة الأولى على تحديد مبدأ القالب، وتسمى أيضًا التصميم الكيفي. وتتضمن هذه المرحلة اتخاذ قرار حول استخدم قالب بتجويف واحد أو تجاويف متعددة، أو تحديد نوع القالب الذي سيستخدم (حقن المادة بقالب معياري أو منفصل، أو أي طريقة أخرى، وترتيبات التسخين/التبريد).

مخطط القالب

وتتضمن المرحلة الثانية تحديد أبعاد وظائف المجمعات والنماذج المنتقاة في المرحلة الأولى، وتوصف هذه المرحلة بالتصميم الكمي. ويمكن إنتاج مخطط القالب من حيث الاعتبار الانسيابي، والحراري، والميكانيكي في الوقت نفسه. ويمكن الآن إنتاج هذا المخطط بطرائق الهندسة بمساعدة الحاسوب CAE.

الهندسة بمساعدة الحاسوب

وثائق الإنتاج التصميم بمساعدة الحاسوب

في المرحلة الثالثة، يتم تجميع وثائق الإنتاج. ومبدئيًا يمكن اعتبار هذا جزءًا من مرحلة التصميم الكمي، ويمكن تصميمه بمساعدة الحاسوب.

(٨,٣) مخطط القالب

(٨,٣,١) نظرة عامة

مرحلة تحديد الأبعاد

تحديد أبعاد القالب (المرحلة الثانية في تصميم القالب)، يتضمن بشكل أساسي مخطط القالب الانسيابي، والميكانيكي، والحراري. وهذه الأوجه يمكن تقسيمها أيضًا إلى عدة خطوات، ولكل واحدة أهميتها الخاصة:

الانسيابي:

- تحديد نمط التعبئة.
- الحسابات الانسيابية لمرحلة التعبئة ومرحلة ضغط الحجز.
- مخطط نظام المجاري.

الحراري:

- حساب مدة الدورة.
- ميزان الطاقة للقالب بالكامل.
- مخطط منظومة التسخين/التبريد.

الميكانيكي:

- الحركيات.
- تحليل القساوة.

مخطط الانسيابية

يتطلب المخطط الكمي لمنظومة منطقة التجويف والفوهات خبرة في الانسيابية، بمعنى آخر، معرفة خواص الجريان للمصهور اللدن.

المخطط الحراري إن تحديد أبعاد نظام التحكم في درجة حرارة القالب، يتطلب معرفة مطابقة في موضوع انتقال الحرارة.

المخطط الميكانيكي الخبرة في الميكانيكيا وعلم الحركية مطلوبة لتحديد أبعاد بنية القالب، ومخطط نظام إزالة مادة القالب.

(٨,٣,٢) مخطط القالب الانسيابي

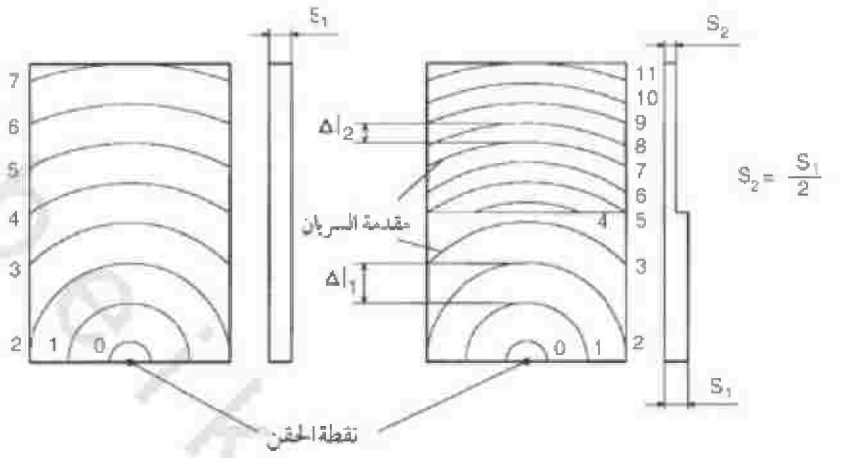
خصائص التعبئة تتحدد خواص تعبئة الفجوات في مخطط القالب الانسيابي. وتحدد مرحلتا التعبئة وضغط الحجز خواص المقولب. ويتضمن مخطط القالب الانسيابي عدة خطوات:

- تأسيس نمط التعبئة (كيفي).
- حسابات الانسياب لمرحلة التعبئة ومرحلة ضغط الحجز (كمي، مثل درجة الحرارة والضغط).
- مخطط نظام الصب.

نمط التعبئة إن تأسيس نمط التعبئة، والذي يمكن تحديده بالرسم أيضًا، يجعل من الممكن التأكيد على المواقع التالية:

- خطوط اللحام (والتي تنشأ عند التحام مقطعين مختلفين من المصهور).
- احتباس الهواء (والذي ينشأ عندما يحتبس الهواء من قبل المصهور).
- مواقع فتحات الصب الملائمة.

يظهر الشكل رقم (٨,٢) تأسيس نمط التعبئة لقالبين بسيطين في شكل صفائح، كما يُظهر المواقع التي تصل إليها الجبهات الأمامية في أوقات مختلفة، حيث تمتلئ كل صفيحة من الفوهة (نقطة التغذية).



الشكل رقم (٨,٢). تأسيس أنماط التعبئة لقالبين بسيطين على هيئة صفائح.

تنتشر مقدمة الجريان منبعثة من نقطة وحيدة بالجريان الطبقي، مثل الأمواج في داخل تجويف القالب الفارغ، ويؤدي ذلك إلى دوائر متحدة المركز حول نقطة التغذية. وإذا تغيرت مساحة المقطع، كما هو في يمين الشكل رقم (٨,٢)، فإن نمط التعبئة يتغير أيضًا لأشكال مستطيلة المقاطع. وهذه العلاقات يمكن حسابها بشكل تقريبي عن طريق الصيغة التالية:

$$\frac{\Delta l_1}{\Delta l_2} = \frac{s_1}{s_2}$$

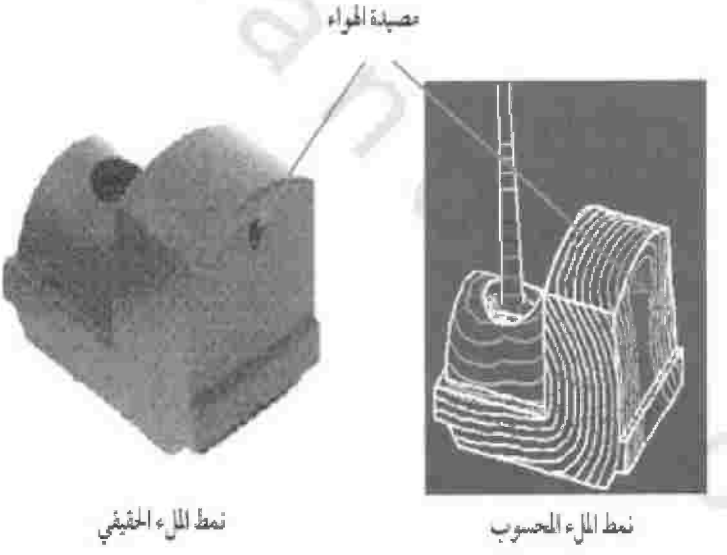
حيث تعبر Δl عن تقدم جبهة الجريان (ملم)، ويعبر s عن سمك جدار مادة القالب، (ملم).

مقدمة الجريان

على سبيل المثال، إذا نقص ارتفاع المقطع العرضي بمقدار النصف، فإن المسافة من مقدمة جريان واحدة حتى التالية، سوف تقل إلى النصف أيضًا. ويعني هذا أن تعبئة الصفيحة اليمنى سوف يأخذ وقتًا أطول من اليسرى.

محاكاة التعبئة

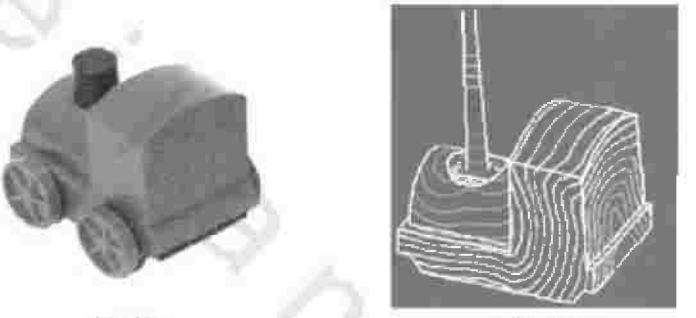
المثال التالي يوضح محاكاة التعبئة. وعند قولبة مخطط لعبة القاطرة، فإن الهواء يُحتبس في الجانب البعيد، مقابل الفوهة (الشكل رقم ٨.٣ يسار). وهذا يمكن توقعه بالمحاكاة (الشكل رقم ٨.٣ يمين).



الشكل رقم (٨.٣). نمط التعبئة في لعبة القاطرة.

منحنى مقدمة الجريان

يمكن تحقيق الأمثلة لمخطط مقدمة الجريان بتغيير سمك الجدار، بحيث يلغى احتباس الهواء. ويظهر الشكل رقم (٨,٤) مخطط مقدمة الجريان، كما تم تأسيسها بمحاكاة تعبئة حاسوبية، بالاعتماد على طريقة نمط التعبئة، وهذا يمكن إنتاجه يدويًّا، بزوج من البوصلة والمسطرة.



الشكل رقم (٨,٤). جبهة الجريان بأمثلة المحاكاة.

خطوط اللحام

حتى مواقع خطوط اللحام، والتي تتشكل عند تقابل جبهتين، يمكن تحديدها بمساعدة برامج المحاكاة.

خواص المادة

يُنتج نمط التعبئة هذا بشكل مستقل عن خواص المادة ومعاملات العملية. بمعنى آخر، فهي تؤسس عن طريق تطبيق قواعد رسم بسيطة. ويعتمد مخطط الانسياب الحقيقي للقالب على المواصفات التالية: بيانات المادة والعملية، مثل

بيانات العملية

كثافة مركب المصهور، ومعدل الحقن، ودرجة حرارة الحقن، والخواص الانسيابية للمادة. ويجعل هذا من الممكن صياغة عبارات تتعلق بالآتي:

- متطلبات الضغط في تعبئة القالب.
- درجة حرارة المصهور.
- السرعات.
- خواص الانكماش.

متطلبات الضغط

متطلبات الضغط لتعبئة تجويف القالب لا تحدد فقط نموذج آلة قولبة الحقن التي سيتم انتقاؤها، بل تحدد كذلك مقاس عناصر إنشاء القالب.

(٨,٣,٣) مخطط القالب الحراري

مرحلة التبريد

كما هو الحال في مرحلة التعبئة، فإن مرحلة التبريد مهمة جدًّا لضمان جودة المقولب، حيث يتم تبريد المقولب داخل القالب للمدة المطلوبة ليصبح صلبًا بما يكفي لإزالته.

التحكم بدرجة حرارة القالب

لابد أن يكون نظام التحكم في درجة الحرارة موضوعاً بطريقة تسمح بتبدد حرارة القطعة المقولبة بشكل منتظم، وبأقصر وقت ممكن. وعلاوة على جودة القطعة، فإن الربحية تتأثر بقوة أيضًا؛ بسبب التأثير على مدة دورة القولبة بالحقن.

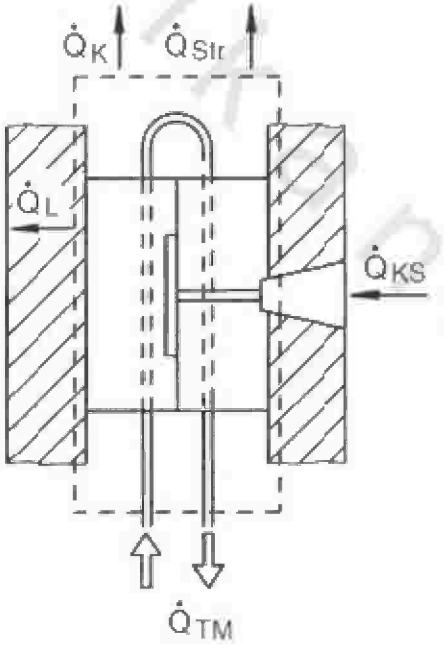
مدة الدورة

كلما قصرت مدة التبريد، قصرت مدة الدورة. ويتضمن مخطط القالب الحراري عدة مراحل:

- حساب مدة الدورة.
- ميزان الطاقة للقالب الكلي.
- مخطط نظام الميزان الحراري.

ميزان الطاقة

بمعرفة درجة حرارة المادة، ودرجة حرارة الجدار، ودرجة حرارة المحيط، بالإضافة إلى درجة حرارة إزالة المقولب، يكون من الممكن تحليل توازن الطاقة الكلية للقالب. وفي هذه المرحلة، تتخذ القرارات حول كيفية العزل الحراري للقالب، كما يبدأ أداء نظام التحكم في درجة الحرارة. الشكل رقم (٨,٥) يظهر ميزان الحرارة لأداة القولبة بالحقن.



$\dot{Q}_{KS}$ = سريان الحرارة في المادة المقولبة
$\dot{Q}_{TM}$ = المحتوى الحراري في وسط الاتزان الحراري
$\dot{Q}_K$ = سريان حرارة الحمل
$\dot{Q}_{Str}$ = الحرارة المشعة
$\dot{Q}_L$ = حرارة التوصيل

الشكل رقم (٨,٥). ميزان الحرارة لأداة القولبة بالحقن.

فضاء ميزان الحرارة

فضاء ميزان الحرارة حد يرجع إلى الفضاء المعتبر في ظاهرة الانتقال الحراري، حيث يدخل السريان الحراري الصادر عن المقولب فضاء الميزان. يمر الآتي من خلال فضاء ميزان

الحرارة: الحرارة السارية من الوسط الموازن للحرارة، والحرارة السارية بالحمل وبالإشعاع (كلاهما إلى المحيط)، والحرارة السارية بالاتصال، والتي تدخل الصفائح.

مخطط أنظمة التوازن الحراري

تتمثل الخطوة التالية في مخطط أنظمة التوازن الحراري. وتتضمن هذه الخطوة تأسيس عدد من دوائر التوازن الحراري المطلوبة، والمسافات ما بين المراكز في وسط التوازن الحراري، والمسافات ما بين المراكز وسطح التجويف، ودرجة الحرارة ومعدل التدفق لوسط التوازن الحراري. ويتحدد التصميم الدقيق لأنظمة التوازن الحراري في هذا المخطط. والهدف هو التشتيت المنتظم للحرارة من منطقة التجويف، وهو ما يمكن تحقيقه.

مدة الدورة

تُحسب مدة الدورة المثلى، التي وصفت في الدرس السابق، في المرحلة النهائية، حيث يزيد هذا من ربحية الإنتاج. وتصل مدة التبريد إلى ٥٠ - ٧٠٪ من مدة الدورة، وتزداد بالجذر التربيعي لسمك جدار مادة القالب. ولهذا السبب، فإنه نادرًا ما يتم اختيار سمك جدار يتجاوز ٦ ملم (١/٤ بوصة).

وهناك قاعدة تقريبية لحساب التبريد بصيغة معطاة في الدرس (٧.٥)، إذ تستخدم هذه الصيغة متغيرات درجة حرارة المصهور، ودرجة حرارة الجدار، ودرجة حرارة فتح القالب، بالإضافة إلى الانتشارية الحرارية للمادة اللدنة.

القرص المدمج

حساب مدة التبريد في القرص المدمج كالآتي:

- سمك جدار القرص ١,١٤ ملم (٠,٠٤٥ بوصة)، وهو مصنوع من عديد الكربونات. ويتم تصنيعه عند درجة حرارة المادة (T_M)، وهي ٣٣٠ م° (٦٢٥ ف°) تقريبا. ودرجة حرارة جدار القالب (T_w)، وهي ٦٠ م° (١٤٠ ف°)، والانتشارية الحرارية للمادة اللدنة (a_{eff}) ٠,٠١ ملم٢/ثانية. ودرجة الحرارة المفترضة عند فتح القالب (T_E) – درجة الحرارة عند نقطة مركز المقولب –١١٠ م° (٢٣٠ ف°).
- حساب مدة التبريد (t_C) عن طريق صيغة مدة التبريد يساوي ٢,٥ ثانية.

تُقدَّر مدة الدورة الحالية لإنتاج الأقراص المدمجة، بشكل آلي تماماً، بحوالي ٣,٨ ثانية، ومدة التبريد ٢,٧ ثانية. لكن من الممكن الحصول على زمن دورة أقصر لهذه العملية.

(٨,٣,٢) مخطط القالب الميكانيكي

التشوهات

قوالب الحقن من أكثر الأجهزة تعرضاً للأحمال في الصناعة؛ لأنها تتعرض لقوى تثبيت تصل إلى آلاف الأطنان، ولضغوط تصل إلى ٢٠٠٠ بار (٢٩٠٠٠ رطل/بوصة^2). وبما أن هذه القوالب قد صُنعت لمقولبات عالية الدقة، فمن الضروري الاهتمام بالتشوهات التي تطرأ على قالب الحقن تحت هذه الاحمال.

مخطط القالب الميكانيكي

ينتج مخطط القالب الميكانيكي أيضًا في عدة مراحل. وعلى سبيل المثال، لابد من الاهتمام بالعوامل المتعلقة بالحركيات (الكيمانيكا)، والقساوة في اتجاه التثبيت.

المرونة الخطية

ولأن تشوهات القالب تحدث في مدى المرونة الخطية، فإنه يُسمح من حيث المبدأ بالتداخل ما بين الأحمال والتشوهات. وتعني المرونة الخطية أن التشوه يتغير بشكل خطي، (أي في خط مستقيم)، مع زيادة القوة المبذولة على المكون. وعندما يُزال الحمل، فإن التشوه يؤول إلى الصفر، ويتصرف المكون هنا مثل النابض. ويعد معامل المرونة هو مقياس للخطية في هذه الاستجابة، فكلما كبرت قيمة معامل المرونة، قلَّ التشوه على المكون المجهد.

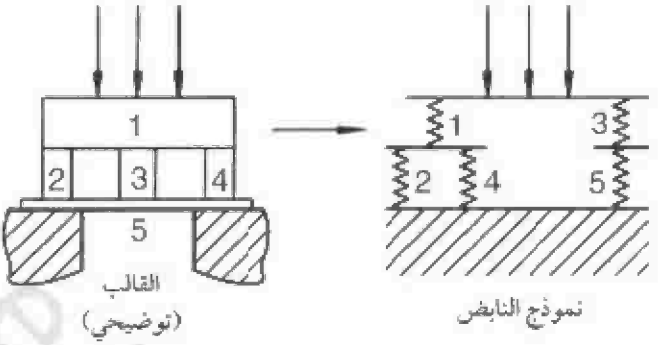
معامل المرونة

النابض

تتصرف الأجزاء الفردية للقالب بشكل أساسي، مثل النابض. وعندما يتعرض النابض إلى حمل، فإنه ينضغط. وعندما يزول الحمل، فإن النابض يتحرر ويرجع إلى نقطة البداية.

نموذج النابض

وعليه فإن تشوهات القالب تُحسب على أساس نموذج النابض. ويمكن محاكاة خواص التشوه لمكون معرض للفحص بعدة نوابض مجتمعة معًا بطريقة ملائمة. يظهر الشكل رقم (٨.٦) مثالًا على نموذج قالب بسيط، ونموذج النابض المطابق. وقد تم تقسيم العناصر الخمسة للمكون إلى خمسة نوابض. ونحتاج إلى قوانين المرونة على التوالي والتوازي للنوابض لأجل إتمام الحسابات.



الشكل رقم (٨,٦). نموذج مجموعة النابض.

معترض لاتجاه التشبيت

تتمثل إحدى خطوات المخطط في أخذ الأبعاد في اتجاه التثبيت. والمعيار الذي يحكم هذا الجانب من المخطط، يتمثل في انحراف الصفيحة، حيث يجب ألا يزيد عدد الفجوات الكبيرة الممنوعة في مستوى الفصل؛ مما يسمح للمصهور بالاختراق (وميض). ويؤدي هذا الوميض في النهاية إلى تحطيم القالب.

قوى الاحتكاك

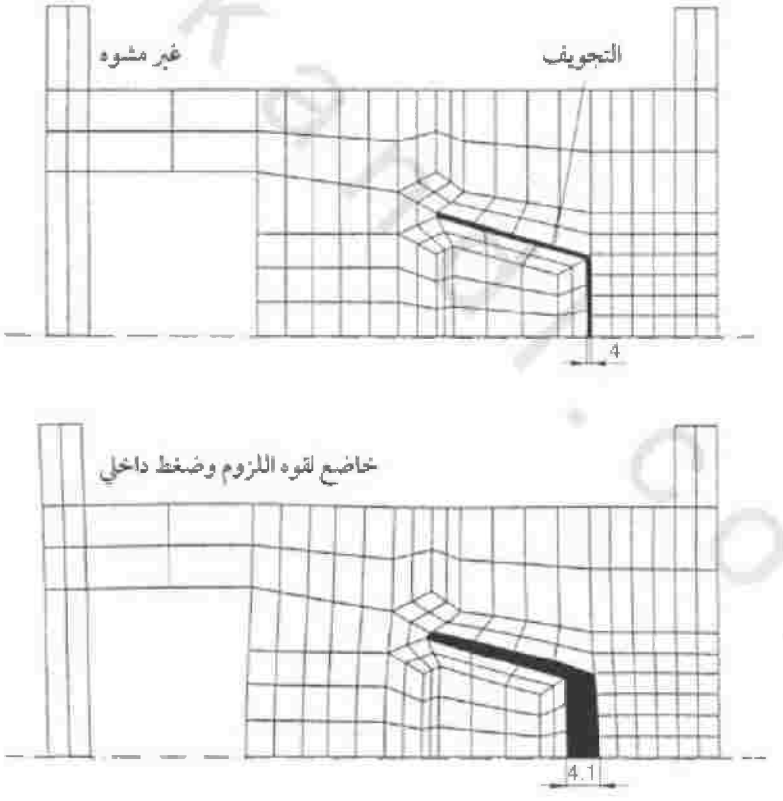
هناك خطوة إضافية في المخطط الميكانيكي تتضمن مراعاة المكونات، مثل دبابيس النبذ وأنظمة التوجيه. والقوى التي تهيمن هنا، هي القصور الذاتي والاحتكاك. ولا تحمل هذه القوى فقط المكونات المشار إليها، بل تحمل أيضًا المقولب. ومن الضروري أحيانًا التغلب بدرجة عالية على احتكاك السكون، لا سيما عند إزالة المقولب من القالب. ويسبب احتكاك السكون التلف للقالب أكثر من دبابيس النبذ.

برنامج حاسوبي

من الضروري إجراء حسابات تستغرق وقتًا في حالة القوالب التي لها هندسة معقدة والإجهادات، وتنفذ تلك المهام باستخدام برامج حاسوبية.

التشوهات

يظهر الشكل رقم (٨,٧) مقطعًا خلال قالب في حالة الإجهاد، وفي حالة عدم الإجهاد. وتظهر هذه الحسابات الآلية بوضوح تشوهات قدرها ٤,٠ ملم (عدم الإجهاد) إلى ٤,١ ملم (ظروف الإجهاد) في مساحة التجويف. ولتسهيل الفهم تم تكبير التشوه في ظروف الإجهاد، أي أن هذا العرض ليس بالمقياس نفسه.



الشكل رقم (٨,٧). محاكاة خواص التشوه.

أسئلة مراجعة

م	السؤال	الاختيار
١	يمكن تقسيم عملية التصميم إلى الأطوار التالية : التصميم الكيفي، والمخطط، و....	التحكم إنشاء وثائق التصنيع
٢	بالإضافة إلى استقبال المصهور وتشكيل المقولب، هناك مهمة أولية أخرى للقالب، وهي ..... المقولب.	تبريد منع انكماش
٣	المهمة الأولية في استقبال المصهور تؤدي إلى مهمة ثانوية، وهي	توجيه المقولب القوى الماصة
٤	..... في الفجوات تتحدد في مخطط القالب الانسيابي.	خواص التعبئة المظهر نظام التبريد
٥	عندما ينقص سمك الجدار في منتج مقولب بالحقن من اللدائن الحرارية بمعامل قدره ٢، في حين يتم الحفاظ على الجريان الحجمي عند القدر نفسه، فإن معدل جبهة الجريان ..... بمعامل قدره ٢.	يزداد ينقص
٦	يجب وضع نظام التحكم في درجة حرارة القالب، بحيث إن منتج اللدائن الحرارية المقولب يبرد بشكل منتظم، ويكون ..... قدر الإمكان.	سريعاً بطيئاً قليلاً
٧	يُسمح بالتداخل ما بين الأحمال وتشوهات القالب؛ لأنها تحدث داخل منطقة مرنة....	تقدمية خطية تراجعية