الدرس الثاني

آلة القولبة بالحقن

The Injection Molding Machine

الأسئلة المفتاحية

ما أنواع آلات القولبة بالحقن؟

ما الحجم المطلوب لآلة القولبة بالحقن؟

ما أهم أجزاء آلة القولبة بالحقن؟

المحتويات

(٢,١) تصنيف آلات القولبة بالحقن.

(٢,٢) الوحدات البنائية لآلات القولبة بالحقن.

(٢,٣) عمليات قولبة خاصة.

أسئلة المراجعة

المعرفة المسبقة

المبادئ الأساسية للدائن (الدرس الأول)

(٢,١) تصنيف آلات القولبة بالحقن

مقاس الآلة

يمكن أن يُقال – مبدئياً – أن مقاس الآلة يجب أن يختار بناء على مقاس المنتج المقولب، حيث إن المنتج الأكبر يحتاج آلة أكبر، غير أن هذا غير صحيح في كل الأحوال، وخاصة عندما نريد أن نقولب منتجات صغيرة. بل إن إنتاج عدة قطع صغيرة في آلة كبيرة في الوقت نفسه أفضل اقتصادياً من إنتاج قطعة واحدة صغيرة في آلة صغيرة.

وزن القطعة

يحتاج حجم القطعة المقولبة – عند الحديث عن اختيار الآلة – إلى فحص أدق، حيث إن القطعة الأثقل تحتاج من وحدة التلدين والحقن إلى مادة قولبة أكثر خلال وقت محدد. وهناك أيضاً – غير مقاس القالب – أبعاده، والتي يجب أخذها في الاعتبار. إن اختيار آلة ما لقولبة معينة تحدد – أساساً – بمساحة المسقط للقطعة المقولبة (المساحة الساقطة في اتجاه التثبيت). ويوضح الشكل رقم (٢,١) هذا المعنى.

مساحة مسقط القطعة

القرص المدمج

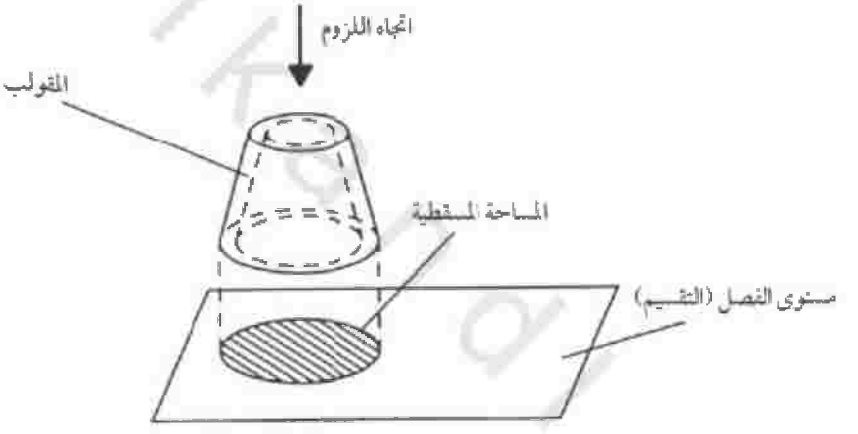
في حالة القرص المدمج، مساحة المسقط تساوي المساحة السطحية الدائرية للقرص. وحيث إن قطر القرص المرن هو ١٢٠مم (٤,٧٥ بوصة)، فإن مساحة المسقط هي ١١٣ سم^{٢} (١٧,٥ بوصة^{٢}).

القوى

في القولبة بالحقن، تحقن المادة في القالب تحت ضغط عال قد يتجاوز ٢٠٠٠ بار (٢٩٠٠٠ رطل/بوصة^{٢}) أو ٢٠٠ نيوتن/مم^{٢} (للتحويل: ١بار = $١٠^{٥}$ نيوتن/م^{٢} = $١٠^{٥}$

باسكال). وللمقارنة، فإن ضغط إطار السيارة، هو ٢ بار تقريباً (٢٩ رطل/بوصة٢). يجب أن يبقى القالب مغلقاً بواسطة ضغط الحقن حتى لا يتسرب شيء من المادة المحقونة من بين نصفي القالب المنطبقين (وتسمى هذه الحالة بالوميض). وتستمد قوة التثبيت (الكبس) هذه من وحدة التثبيت (الملزم). وتصنف آلات القولبة بالحقن إلى أحجام مختلفة بناءً على قوة التثبيت (١٢ - ٨٠٠٠ طن).

قوة التثبيت



الشكل رقم (٢,١). مساحة المسقط.

قوة الفصل
مساحة المسقط

تُعرف القوة المضادة لقوة التثبيت - والتي تحاول فتح القالب - بقوة فصل القالب، وتنتج هذه القوة من ضغط المصهور داخل القالب مضروباً في مساحة المسقط، والتي تقع على اتجاه حركة التثبيت.

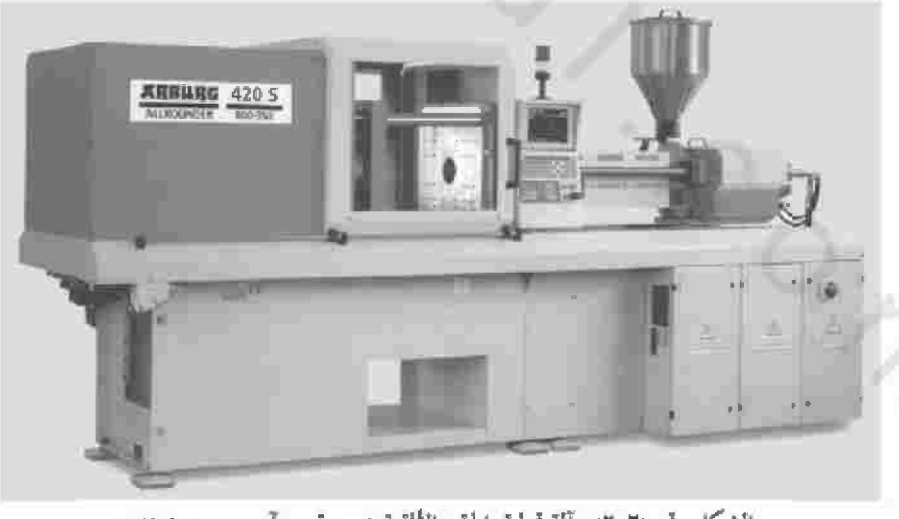
الجودة

للحصول على جودة عالية (أي منع التسرب)، يجب أن تكون قوة فصل القالب أقل من قوة التثبيت.

لقد أعطى الدرس الأول نظرة عامة عن مواد مختلفة بآلة القولبة بالحقن، إذ إن لهذه المواد خصائص مختلفة، ويجب قولبتها عند ظروف متفاوتة جداً. ولهذا السبب، فهناك أيضاً آلات حقن مختلفة. غير أن كل آلات القولبة بالحقن لها الوحدات الأساسية نفسها. ويعطي التوضيح الآتي أمثلة على آلات الحقن بالقولبة.

آلة القولبة بالحقن الأفقية

تُستخدم – عادة – آلات القولبة بالحقن الأفقية في عمليات تشكيل اللدائن الحرارية، كما في الشكل رقم (٢,٢). وبسبب كون الخط الفاصل بين شطري القالب أفقياً، تسقط القطع المقولبة في حاوية عند تحريرها من القالب.



الشكل رقم (٢,٢). آلة قولبة بالحقن الأفقية (صورة من آربيرج Arburg).

آلة القولبة بالحقن الرأسية

في الآلات الرأسية، يكون خط الفصل بين نصفي القالب أفقياً، ونتيجة لذلك فإن هذه الآلات مناسبة لإنتاج المقولبات ذات القطع المدرجة، مثل (المقابس الكهربائية)، كما في الشكل رقم (٢,٣). ومعظم المقولبات المصنوعة من اللدائن المرنة مصنعة بآلات القولبة الرأسية.

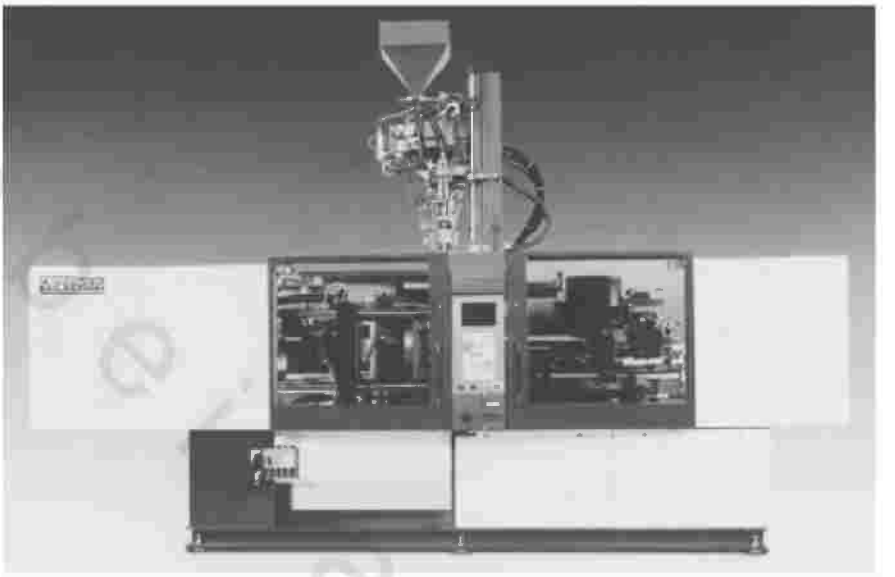
الشكل رقم (٢,٣). آلة القولبة بالحقن الرأسية (صورة من Kloeckner Desma Elastomertechnik).

آلة الطاولة الدوّارة

في حالة آلات الطاولة الدوّارة، هناك عدة وحدات تثبيت مخصصة لوحدة تلدين واحدة. ونتيجة لذلك، فإن هذه الآلات مناسبة لإنتاج القطع التي تحتاج إلى وقت طويل للتبريد أو التسخين (انظر الشكل رقم ٢,٤).

لقد أضافت الحاجة إلى إنتاج قطع معقدة – بشكل اقتصادي وبدون تدنٍّ في الجودة أو تأخر في الإنتاج – مسؤوليات جديدة على صناعة تشكيل اللدائن. وعند عدم تلبية الطرائق التقليدية في القولبة للحقن للمواصفات الجديدة، يجب استخدام عمليات تشكيل خاصة – مثل القولبة بالحقن لمكونات متعددة – (انظر الفقرة ٢,٣ في نهاية هذا الدرس). وفي حالة القولبة بالحقن لمكونات متعددة، فهناك وحدتا تلدين على الأقل لكل وحدة تثبيت. وتسمح هذه الطريقة بحقن مادتين مختلفتي اللون فوق بعضهما بعضا لإنتاج قطعة واحدة، كما في الإضاءة الخلفية للسيارات (الحقن العشّي، الشكل رقم ٢,٥).

الشكل رقم (٢,٤). آلة الطاولة الدوّارة (صورة من Kloeckner Desma Elastomertechnik).



الشكل رقم (٢,٥). آلة حقن ثنائي المكونات (صورة من Ferromatik Milacron).

(٢,٢) الوحدات البنائية لآلات القولبة بالحقن

التصاميم

يمكن إنتاج كثير من القطع المقولبة بأحجام مختلفة وأشكال متنوعة باستخدام القولبة بالحقن. ويحتاج تصنيع هذه القطع في ظروف مثلى إلى تصاميم بديلة لآلات القولبة بالحقن ذات الأحجام المختلفة، وأجهزتها المساعدة.

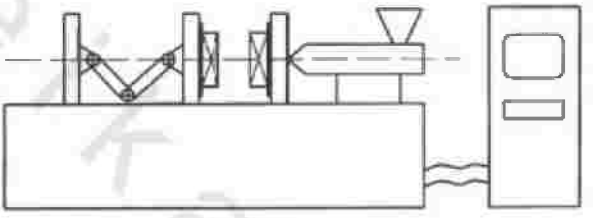
الوحدات الأساسية

تعد الوحدات الأساسية لآلة القولبة بالحقن وحدات مشتركة لكل التصاميم:

- وحدة التلدين والحقن.
- وحدة التثبيت.
- أنظمة التحكم الهيدروليكية والكهربائية.

القالب

يوضح الشكل رقم (٢,٦) آلة حقن بالقولبة ووحداتها البنائية الأساسية. ولا يعد القالب - عادة - من الوحدات البنائية لآلة القولبة بالحقن. وسيعد - لغرض التبسيط - جزءاً من النظام الكلي لآلة القولبة بالحقن.



آلة القولبة بالحقن

الشكل رقم (٢,٦). الوحدات الأساسية لآلة القولبة بالحقن.

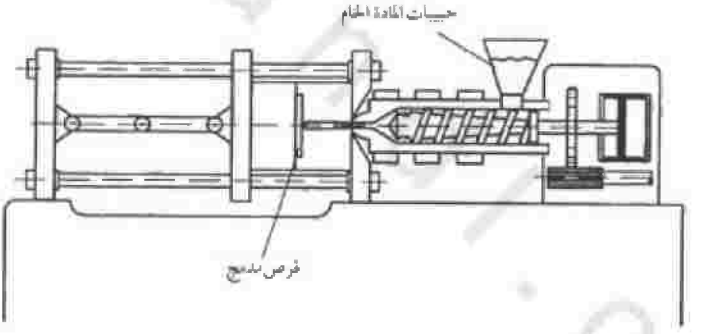
ومن أجل إنتاج القطع المقولبة، فلابد من تحديد المواقع النسبية لتلك الوحدات البنائية وكذلك أحجامها.

ويمكن إنتاج قطع مختلفة الأشكال على آلة القولبة نفسها، غير أن كل شكل من القطع يحتاج إلى قالب خاص به.

القرص المدمج

فيما يلي وصف مجمل للوحدات البنائية لآلات القولبة بالحقن. ومن أجل التمثيل ستوصف آلة القولبة بالحقن المستخدمة لقولبة الأقراص المدمجة.

ومن أجل فهم وظيفة كل جزء، يُفضَّل تتبع مسار المبلمر خلال الآلة من نقطة تغذية المادة الخام، (وعادة ما تكون على هيئة حبيبات) إلى المنتج النهائي. ويوضح الشكل رقم (٢,٧) المبدأ الأساسي برسم مقطع عرضي لآلة القولبة بالحقن المنتجة للأقراص المدمجة، مع تظليل مسار المبلمر من القادوس إلى القالب.



الشكل رقم (٢,٧). رسم مقطعي لآلة قولبة أفقية.

وبلا شك، فإن إنتاج القرص المدمج كاملاً أكثر تعقيداً. وبعد قولبة القرص المدمج، يرشّ بطلاء معدني لعكس أشعة الليزر. بعد ذلك يخضع لفحص الجودة، ثم يُطبع عليه (انظر الشكل رقم ٢,٨).

الشكل رقم (٢,٨). مركز إنتاج أقراص مدمجة (صورة ليولد).

(٢,٣) عمليات قولبة خاصة

تواجه مصنعي آلات تشكيل اللدائن أعباء كبيرة لتلبية طلبات الحصول على أدوات تنتج مقولبات معقدة بجودة عالية وذات جدوى اقتصادية. وحيث لا يمكن مواجهة هذا التحدي بآلات القولبة بالحقن التقليدية، فقد بدأ طلب آلات تقوم بعمليات تشكيل متخصصة. وفيما يلي شرح مختصر لبعض هذه العمليات.

(٢,٣,١) قولبة الرغوة البنائية

قولبة الرغوة البنائية

في الحالة المثالية، فإن القطعة المقولبة بهذه العملية تتميز بالخفة والبناء الداخلي الخلوي، كما تتميز بغلاف خارجي

ناعم ومحكم. ويعطيها هذا قوة ميكانيكية عالية، إضافة إلى وزنها الخفيف. وتُستخدم هذه العملية للقطع ذات الأحجام الكبيرة مثل قطع الأثاث.

(٢,٣,٢) عملية القولبة بالحقن المتعدد

حقن المكونات المتعددة

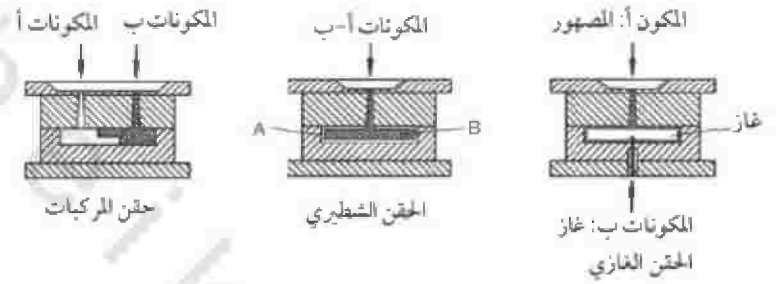
تمثل كل تقنيات القولبة بالحقن التي يتم فيها تشكيل قطعتين أو أكثر عملية حقن متعدد. وحيث إن المعتاد هو حقن مادتين فقط، فإن العملية تعرف أيضاً بعملية القولبة ثنائية المكونات.

الحقن التغليفي والحقن الغازي

وتنتمي كل من تقنيتي الحقن التغليفي (الشطيري) والحقن الغازي (ويسمى أيضاً القولبة بالحقن بمساعدة الغاز، أو طريقة ضغط الغاز الداخلي) إلى ما يُسمى بالعمليات المتعاقبة. وفي كلا الحالتين، فهناك إدخال مادتين على بعضهما بعضاً، حيث يُحقن مبلمر إلى تجويف القالب أولاً، ثم تُحقن مادة أخرى تتمدد داخل مصهور المبلمر. وفي عملية الحقن التغليفي، تتكون المادة الثانية من مبلمر أيضاً، مكونة بناءً تغليفياً (شطيرياً) مكوناً من لب داخلي وغلاف خارجي. وفي تقنية الحقن الغازي، يكون المركب الثاني عبارة عن غاز خامل، مثل (النيتروجين)، والذي يعمل على تكوين جسم فراغي (الشكل رقم ٢,٩).

وعند إنتاج منتج باستخدام القولبة بالحقن التغليفي، تُستخدم مادة جديدة لتكوين الغلاف الخارجي، بينما تُستخدم مواد معادة التدوير للمركب الداخلي. ويتيح هذا

استخدام كميات كبيرة من المواد معادة التدوير بدون تأثير مخل على مظهر المنتج.



الشكل رقم(٢,٩). العمليات المختلفة للقولبة بالحقن.

القولبة ثنائية المكونات

تستخدم طريقة الحقن الغازي في تطبيقات المقولبات الطويلة ذات الجدران السميكة، مثل المقابض أو دواسات قوابض السيارات؛ لتقليل المواد وانكماش المنتج. كما أنها تُستخدم أيضاً في إنتاج القطع ذات الأسطح الكبيرة، مثل أبواب آلات التصوير. وهنا تستخدم مع الأضلاع لزيادة الصلابة، ومن ثم تقليل الانفتال (التموجات).

وبطريقة الترقيق، يقولب المكونان بالحقن حتى يلتقيا مع بعضهما بواسطة الترقيق. وفي هذه الحالة، يمكن أن يكون المكونان مختلفي النوع، أو من النوع نفسه مع اختلاف اللون.

ومثال الحالة الأولى المركبات الصلبة – المرنة، مثل الختم المرن المحقون على مركب صلب. أما الحالة الثانية فمثل الإضاءة الخلفية للسيارة، وعناصر لوحة المفاتيح في أجهزة الحاسوب.

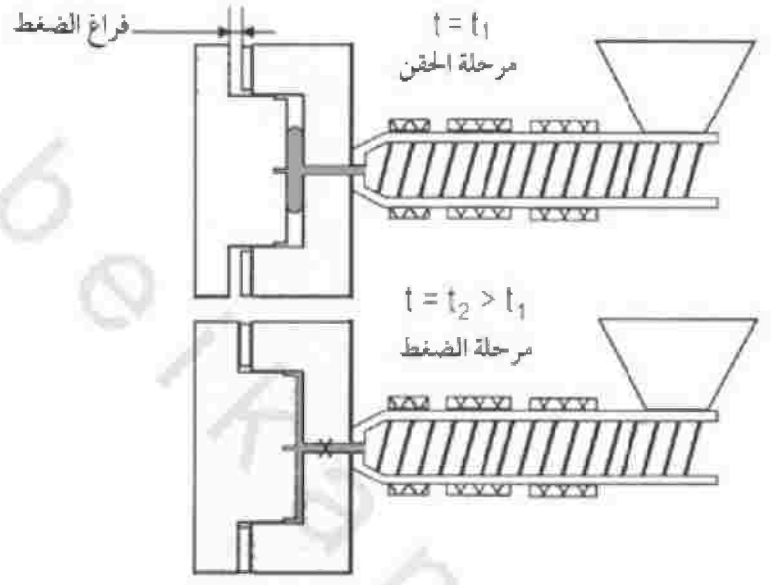
(٢,٣,٣) القولبة بالحقن الانضغاطي

القولبة بالحقن الانضغاطي

تشترك عملية القولبة بالحقن الانضغاطي مع عملية الحقن الغازي أو عملية قولبة الرغوة البنائية في أنها تُستخدم أيضاً للمنتجات ذات الجدر السميكة الخالية من التموجات (التعرجات) أو التحززات، بل إنها تُستخدم الآن لإنتاج المقولبات ذات مسارات الجريان الطويلة.

ويمكن تقسيم عملية القولبة بالحقن الانضغاطي إلى خطوتين: الحقن والضغط. في مرحلة الحقن، تُحقن كمية محددة بدقة في القالب المفتوح بقدر حاجة شوط الضغط (الشكل رقم ٢.١٠). وحيث إن حجم تجويف القالب أكبر من حجم المقولب المنتج، فإن المصهور المحقون يتراكم على بعض. وخلال مرحلة الضغط، فإن هذا المصهور المتراكم يمدد ويقولب داخل التجويف عن طريق إغلاق النصف المتحرك من القالب. و يفترض هذا أن مسار الحقن مغلق لمنع المصهور من الخروج من تجويف القالب. وبسبب سمك الجدار، فإن الضغط في عملية القولبة بالحقن الانضغاطي أقل منه في عملية الحقن المباشر.

وتقلل هذه التقنية أيضاً التوجهات (orientations) في المقولبات، ولهذا السبب تُستعمل عملية القولبة بالحقن الانضغاطي لإنتاج الأقراص الرقمية متعددة الأغراض (DVD)، والتي لها نصف سمك الأقراص المدمجة (تتمتع الأقراص الرقمية بسعة تخزينية عالية مقارنة بالأقراص المدمجة).



الشكل رقم (٢,١٠). مراحل عملية القولبة بالحقن الانضغاطي.

(٢,٣,٤) تقنية الحقن الخلفي

الزخرفة في القالب

وهذه طريقة لإنتاج مقولبات الزخرفة بطريقة القولبة بالحقن بإضافة عدة خطوات فقط. وتتكون المقولبات من مادة أساسية (ركيزة) لدنة حرارياً، ومادة زخرفة مكونة عادة من رقيقة أو نسيج.

يكسى داخل القالب بمادة الزخرفة، ثم تُحقن (الركيزة). ومن الأمثلة على تقنية الحقن الخلفي أغطية الجوالات، والمفاتيح الداخلية لأبواب السيارات.

أسئلة مراجعة

م	السؤال	الاختيارات
١	تتكون آلة القولبة بالحقن من الأجزاء الأساسية الآتية: وحدة التلدين/ وحدة الحقن، والقالب، والتحكم، و.....	وحدة النقل وحدة التثبيت وحدة الرفع
٢	تُعرّف المساحة المسقطية بأنها.....	المساحة المؤثرة في اتجاه التثبيت أكبر مساحة في القطعة
٣	قطر القرص المرن ١٢٠ مم (٤,٧٥ بوصة). المساحة المقطعية هي..... سم^{٢} (.....بوصة^{٢}) تقريبا.	سم^{٢} بوصة^{٢} ١١٣ ١٧,٥ ٢٢٦ ٣٥,٠
٤	للحصول على الضغط المطلوب لتصنيع قرص مدمج ٥٠٠٠ نيوتن/سم^{٢} (٧٢٥٠ رطل/بوصة^{٢})، فلابد أن تكون قوة التثبيت للآلة..... كيلونيوتن(.....طن)	كيلونيوتن طن ٥٠٠ ٥٠ ١٠٠٠ ١٠٠ ١٥٠٠ ١٥٠
٥	حجم القطعة المقولبة و..... معياران مستخدمان في اختيار الآلة المنتجة لها.	لونها مساحتها المسقطية طولها

٦	قد يتجاوز ضغط الحقن لآلة القولبة بالحقن ...بار، ..... رطل/بوصة^{٢}.	بار رطل/بوصة^{٢} ٢٠٠٠ ٢٩٠٠٠ ٢٠ ٢٩٠ ٢٠٠ ٢٩٠٠
٧	تقع وحدتا التثبيت والتلدين في الآلة الأفقية.....	بجانب بعضهما واحدة فوق الأخرى
٨	لتقليل التموجات على المقولبات ذات الأسطح الكبيرة، تستخدم طريقة.....	قولبة المركبات تقنية الحقن الغازي
٩	تنتج القطع المزخرفة باستخدام تقنية للقولبة بالحقن تسمى	تقنية الحقن الخلفي قولبة الرغوة البنائية

obeikandl.com