الفصل الثاني

تقنيات تصنيع اللدائن

1-2 مقدمة

تُصنع معظم أنواع اللدائن إما بطريقة مباشرة من موادها الأولية التي تُحضّر عادةً على شكل مسحوق ناعم أو حبيبات خشنة نسبياً، أو يتم كبس المادة الأولية إلى منتج أولي على شكل أقراص حيث تُشكل إلى المنتج النهائي بعملية ثانية. يتم شراء معظم لدائن الثرموبلاستيك (اللدائن التي تُلدن بالحرارة) على شكل حبيبات لذا تُركّب وهي جافة أما لدائن الثرموستنك (اللدائن التي تتصلب بالحرارة)، فيحصل عليها كسائل أو :مركب مبلمر جزئياً.

إن من أهم تقنيات تصنيع اللدائن هي:

2-2 القولبة بالكبس (Compression Molding)

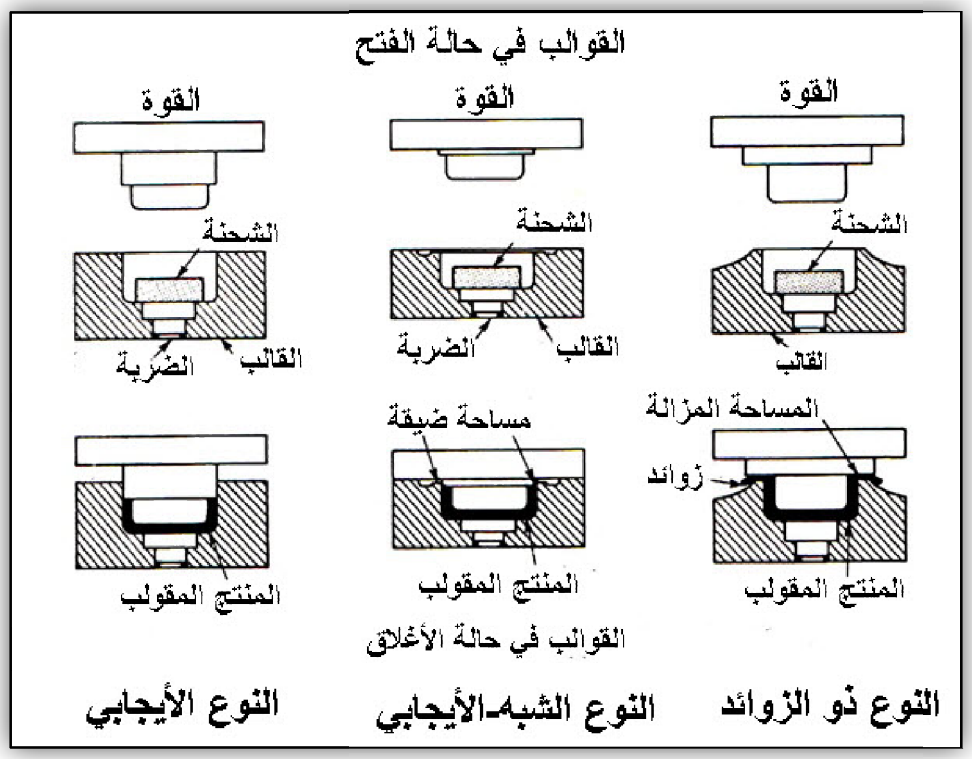
في هذه الطريقة يتم وضع كمية محدودة من المادة المتبلمرة في قالب معدني ساخن، وحالما يغلق القالب يتم تسليط الضغط الذي يؤدي إلى انسياب المادة الملينة لتأخذ شكل فجوة القالب، كما مبين في الشكل (2-1). ان القالب هنا يبقى مغلق لفترة زمنية كافية حتى يسمح بتشكيل وتصلب المنتج. ان المادة هنا يمكن إن تكون على شكل حبيبات أو عبوة مسبقة التشكيل. يتراوح الضغط المستخدم في

عملية التشكيل بهذه الطريقة ما بين (15 إلى 55 ميجا باسكال MPa) وذلك بحسب نوع المادة المستخدمة وتصميم المنتج، وتتراوح درجة الحرارة ما بين (120 إلى 260 ˚C).

تستخدم تقنية القولبة الإنضغاطية في الغالب للدائن الثرموستنك، التي يجب أن تنضج بواسطة تسخين القالب. إن استخدام الطرائق الأخرى هي أسرع للإنتاج الكبير للدائن الثرموبلاستيك. إن استخدام الحرارة مهماً للدائن التي تُصلب بالحرارة (الثرموستنك)، وذلك لأنه يمر بمرحلتين حيث يلين أولاً ومن ثم يتبلمر فيتصلب، لذلك فان التسخين المنتظم أمراً مرغوب فيه إلا انه أمر يصعب تحقيقه بسهولة نظراً لرداءة التوصيل الحراري للمادة. فلتحسين كفاءة انتقال الحرارة بهذه الطريقة، يجب أن تكون الأشكال بسيطة وجدرانها متماثلة ويُفضّل أن يكون سمكها ان لا يتجاوز (3 مليمتر). ورغم ذلك فان عملية إنضاج الشحنة بواسطة تسخينها قد يستغرق عدة دقائق. يمكننا تخفيض هذا الوقت بنسبة (50%) بواسطة تسخين الشحنة قبل وضعها بالقالب. لتسريع عملية القولبة بهذه الطريقة إلى أقصى ما يمكن، يمكننا استخدام الآلات المؤتمتة أو شبه المؤتمتة. يتم توجيه الحرارة لتليين المادة اللدائنية و يمكن أن تنتقل عن طريق لوحاً ساخناً (على المنضدة) أو يوجه مباشرة إلى القالب المعدني بواسطة بخار ساخن أو سائل ساخن أو بمقاومة كهربائية أو بذبذبات فائقة للتيار الكهربائي.

الأنواع الثلاثة الأساسية للقولبة الإنضغاطية للبلاستيك مبينة في الشكل (2–1). حيث في النوع الأول (النوع الايجابي) يتم تسليط القوة بإحكام (Snugly). حيث تؤثر القوة بالضغط التام على المادة لإجبارها لملأ فجوة القالب. ويجب التحكم هنا بكمية الشحنة بدقة لإنتاج منتجات دقيقة الأحجام.

أما في الطريقة الثانية (النوع الشبه–الايجابي)، فان القوة ستسلط للحصول على تسامح قريب فقط خلال المليمترات الأخيرة من شوط الكبس، حيث يتم تسليط الضغط الأقصى عند إغلاق القالب، ويسمح لمادة الشحنة الزائدة بالخروج، لذلك



شكل (2–1) ثلاثة أنواع من القولبة الانضغاطية للدائن.

فليس من الضروري أن تكون هنا كمية الشحنة دقيقة، وتعتبر هذه الطريقة الأفضل في حالة الإنتاج الكبير و الجودة العالية.

في الطريقة الثالثة (النوع ذو الزوائد أو الفائض) لا يتم تسليط القوة بإحكام على المنتج بل يسلط قسم منها على الزوائد الناتجة من الشحنة. ولا نحتاج إلى التحكم بكمية الشحنة، فالكمية الزائدة ستخرج كزوائد رقيقة خارج فجوة القالب.

وتعتبر الزوائد كفضلات (Waste) لا يمكن إعادة استخدامها (لأن المادة من نـــوع الثرموستنك)، ويجب تشذيب (Trimming) كافة المنتجات. نتيجة لعـــدم تســـليط الضغط التام على المنتج، فان القالب المصنوع لهذه الطريقة يعتبر الأرخص ثمناً.

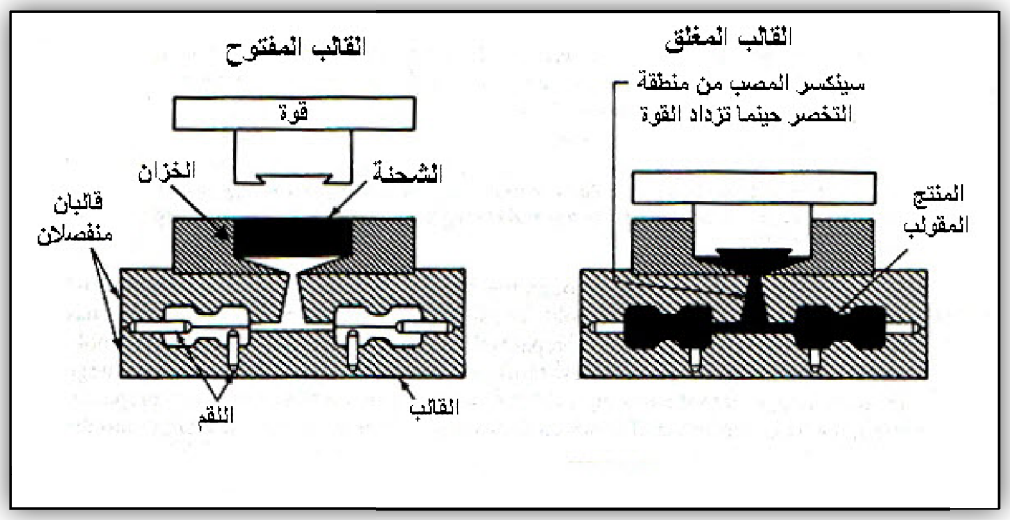
شكل(2-2) آلة القولبة بالكبس.

طريقة القولبة الإنضغاطية يتم تنفيذها بالغالب باستخدام الحرارة، لكن في بعض الحالات يمكن اســـتخدام القولبة الإنضغاطية الباردة، وخاصـــةً للمرّكبات من النوع المقاوم للحرارة، بسبب سرعة العملية. حيث يتم كبس المادة في هذه الطريقة إلى الشكل المطلوب باستخدام القالب المناسب، ثم يتم تسخينها بالفرن حتى تنضج

(Cured). لا يتم التحكم بالحجم بهذه الطريقة وكذلك التشطيب يكون أسوأ مما في القولبة الإنضغاطية الساخنة. شكل(2–2) يبين إحدى أنواع آلات القولبة بالكبس.

3-2 **القولبة الانتقالية** (Transfer Molding)

في تقنية القولبة الانتقالية والتي يُطلق عليها أيضاً البثق أو القولبة البوابية (Gate Molding)، تُسخن المادة و تُضغط في غرفة واحدة ومن ثم تُجبر على المرور من خلال مصب (Sprue)، ثم مجرى، و منفث (Orifice) إلى داخل فجوة القالب (الشكل 2–3).



شكل(2–3) القولبة الانتقالية.

في هذه التقنية، توضع مساحيق اللدائن التي تتصلب بالحرارة (الثرموستنك) أو عبواتها المشكلة مسبقاً (Preform) في فجوة منفصلة أو خزان كبس موجودة فوق فجوة القالب كما مبين في الشكل (2–3). تتلين المادة داخل الخزان بفعل الحرارة

بشكل أولي ثم تضغط، حيث يتم حقنها داخل فجوة القالب على شكل مائع ساخن، بعدها ستتضج و تتصلب.

باستخدام هذه التقنية، من الممكن الحصول على سامحات أدق (Closer Tolerances) (أي إنتاج أشكال دقيقة) وكثافة متجانسة أفضل، والزمن بصورة عامة أقصر للمقاطع السميكة، ويمكن أن تكون هنالك مقاطع سميكة وأخرى نحيفة في نفس المنتج كما يمكن إدخال قطع معدنية في المنتج (إنتاج أجزاء مُلقّمة) مع مشاكل أقل بالمقارنة مع التقنيات الأخرى. السبب يعود إلى كون المادة الداخلة إلى فجوة القالب ستكون تحت تأثير ضغط يتراوح ما بين (40 إلى 85 MPa) وسيكون سلوكها كالمائع.

ان أحد عيوب هذه التقنية هو فقدان المادة في الخزان والمصب ومجاري الصب بالإضافة إلى الكلفة العالية للقالب، شكل(2-4) يبين إحدى أنواع هذه الآلات.

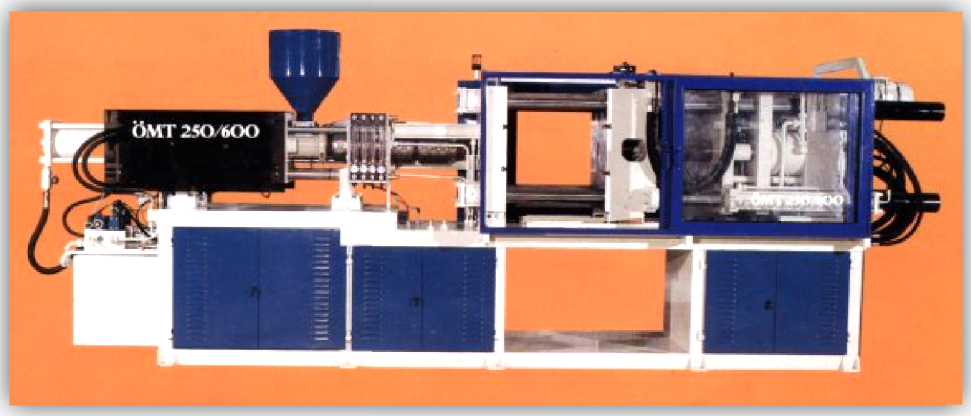
شكل(2-4) آلة القولبة الانتقالية.

4-2 **القولبة بالحقن** (Injection Molding)

في هذه التقنية يتم تحويل المادة المُلينة حرارياً من حبيبات إلى سائل، ثم يتم حقنها بداخل فجوة القالب حيث تتصلب. ويمكن تكرار تحول هذه المادة من صلبة إلى سائلة (لأنها ثرموبلاستيك) دون حدوث تغيير كيميائي مما يجعلها طريقة مثالية للإنتاج السريع وتقاس سعة آلات التشكيل بالحقن بمقدار القوة بالنيوتن التي بها يتم غلق نصفي القالب على بعضهما البعض، وبكمية المادة التي تُحقن في كل دورة ولمعظم آلات هذا النوع، قوة غلق القالب تتراوح ما بين (0.4 إلى 22 MN) وسعة القذفة (Shot Capacity) تتراوح ما بين (أقل من غرام لغاية 9 كيلو غرام)، الشكل (2–5).

إن مخطط لتقنية القولبة بالحقن للمواد اللدائنية موضح في الشكل (2–6). ان أقدم طريقة هي طريقة الكباس ذو المرحلة الواحدة (Single-Stage Plunger Method). فعندما يُسحب الكباس (Plunger) إلى الخلف، ستسقط المادة من القادوس (Hopper) إلى داخل الغرفة (Chamber). ثم يُدفع الكباس الى الأمام ليُجبر المادة بالمرور خلال الأسطوانة الساخنة، حيث ستتلين و تُحقن تحت تأثير الضغط داخل فجوة القالب. يعتبر نظام اللولب التردددي ذو المرحلة الواحدة (Single-Stage Reciprocating Screw System) هو الأكثر شيوعاً، لأنه أكثر كفاءةً في تحضّير المواد خلال القالب وبصورة عامة أسرع. فعندما يدور اللولب، فانه يدفع إلى الخلف و يحشر الشحنة القادمة من القادوس بالاسطوانة الساخنة. وعندما يتم تحضير مادة كافية، يتوقف اللولب عن الدوران ويتم دفعه إلى الأمام ككباس ليضغط الشحنة إلى داخل فجوة القالب. في النظام ذو المرحلتين، تُلدن المادة في أسطوانة واحدة، ويتم تحويل قسم من هذه المادة المُلدنة باستخدام كباس أو

لولب باتجاه غرفة القذف (Shot Chamber) والتي منها يقوم الكباس بحقنها إلى فجوة القالب والمصب من جانب الحقن ويقذفان من الجانب الأخر للقالب عند فتحه. يتم إغلاق القالب مرة أخرى بإحكام لتبدأ دورة قولبة أخرى. من الممكن حقن اللدائن من نوع الثرموستنك لكن يجب بلمرته و قولبته قبل تهيئته في الماكينة. ممكن أن تتم هذه باستخدام ماكينة اللولب الترددي حيث يتم شحن شحنة واحدة في

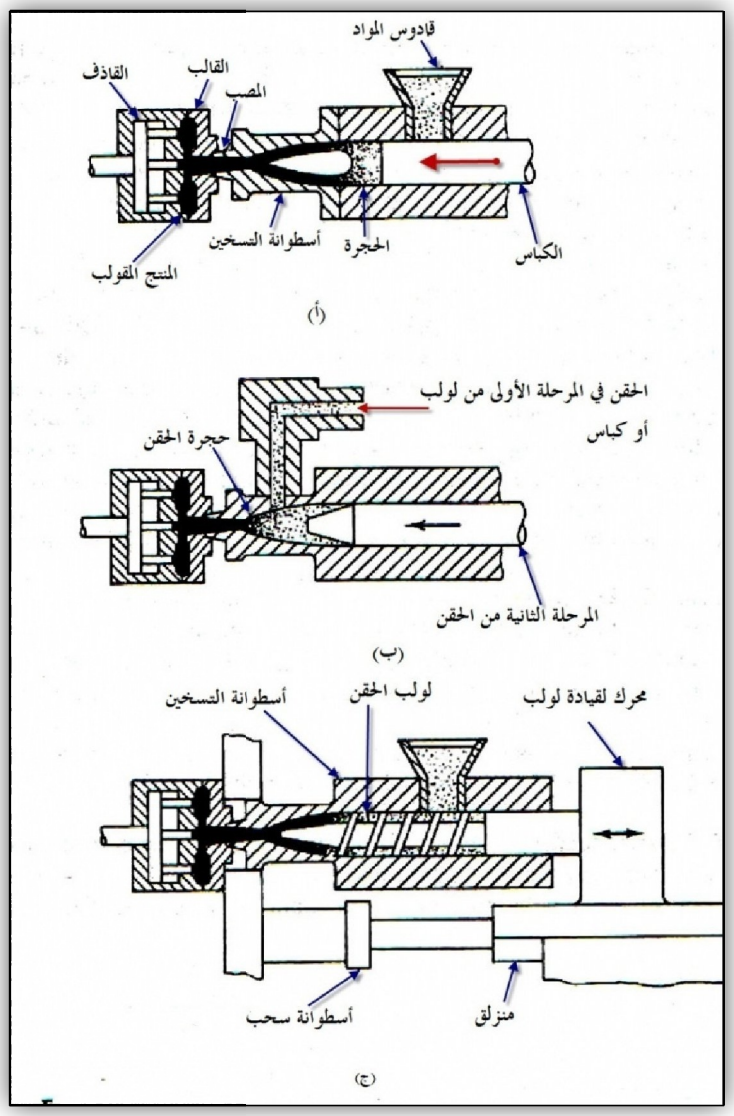


شكل (2-5) آلة القولبة بالحقن.

وقت معين إلى درجة حرارة الإنضاج. باستخدام طرق أخرى، يطلق عليها في بعض الأحيان بالقولبة النفاثة (Jet Molding)، حيث يتم شحن المادة المُسبقة التشكيل في وقت واحد إلى كباس الآلة ذو المرحلة الواحدة.

هنالك آلات متوفرة لقولبة الأجزاء ذات الطبقة البينية (Molding Sandwich Parts). حيث يتم حقن كمية مقاسة بواسطة أسطوانة أو كباس، للمادة بشكل طبقة جلدية في داخل فجوة القالب، ثم تقوم أسطوانة ثانية بحشر المادة الحشوة داخل الكتلة. أخيراً، يجرى تدفق نهائي من الاسطوانة الأولى ينظف مادة قلب المنتج

المتوسطة من المصب. الغرض هو إنتاج مادة مُرّكبة بأفضل الخواص، من الممكن أن يكون إما القلب أو الغلاف (Case) مادة رغوية (Foam).



شكل (2–6) نظام القولبة بالحقن: (أ) الكباس ذو المرحلة الواحدة:(ب) الكباس ذو المرحلتين :(جـ) اللولبي الترددي ذو المرحلة الواحدة.

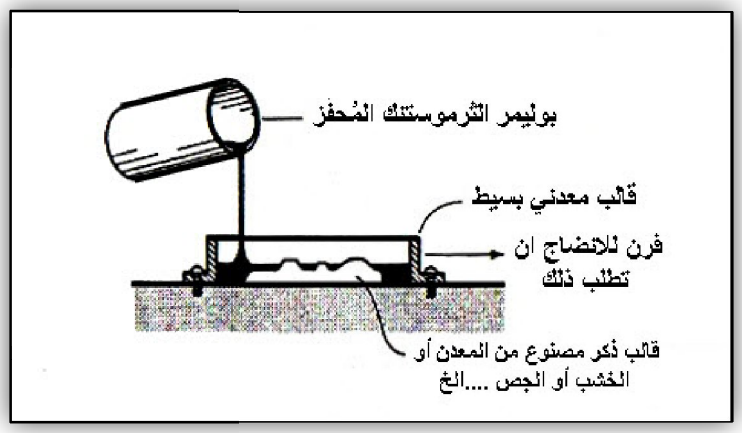
تعتبر عملية القولبة بالحقن من التقنيات المنخفضة التكاليف في صناعة منتجات لدائنية من نوع الثرموبلاستيك وبكميات كبيرة. ان الآلات المؤتمتة يمكن إن تنتج ستة قذفات بالدقيقة وهي شائعة للاستخدام في المنتجات المعتدلة–الحجم. يمكن إنتاج الأشكال المُعقدة و بتسامحات دقيقة دون الحاجة إلى عمليات إضافية. ان فضلات المواد (Scraps) الناتجة عن هذه العملية يجب أن تكون أقل من (10%) من كمية المواد المستخدمة. ان عملية القولبة بالحقن للثرموستنك هي (25%) أسرع من القولبة الإنضغاطية، لكنها تحتاج إلى اهتمام خاص.

5-2 **السباكة** (Casting)

تستخدم المواد الراتنجية السائلة (Liquid Resins) في القولبة بالسباكة باستخدام قوالب مصنوعة من مواد لينة نسبياً، كالمطاط والجبس (Plaster)،..الخ وفي بعض الحالات من الرصاص. يمكن تشكيل مثل هذه القوالب بسهولة حول شكل النموذج (يمثل شكل المنتج) المصنوع من الخشب، الجبس، المعدن...الخ. وتستخدم هذه الطريقة (الشكل 2–7) لإنتاج الأشكال المجوَفة أو المصمتة من بوليمر مصهور أو راتنج مُحفّز للبلمرة، والأخير بعد صبه في القالب عادةً يسخن (بدون الحاجة إلى تسليط ضغط) في فرن لمدة ساعات أو أيام عند درجة حرارة تتراوح بين (C˚ 65 - 95) لكي ينضج أو يتصلب.

يكون القالب مفتوحاً من الأعلى عادةً والمعدات المستخدمة في هذه التقنية قليلة الكلفة، لكنها تعتبر طريقة بطيئة، وهي تستخدم في الحالات التي يكون فيها عدد القطع المطلوب إنتاجها غير مجدي لتصنيع قالب عالي التكلفة. وهي طريقة يمكن ان تستخدم لكلا النوعين من اللدائن الثرموستنك و الثرموبلاستيك.

من الأمثلة على منتجات هذه الطريقة، الحُلّي (Ornaments)، النمـــاذج الأوليـــة (Prototype)، القوالب والأجزاء الكهربائية الملقمة.



شكل(2-7) سباكة اللدائن.

من ضمن مواد الثرموستنك التي تستخدم في القولبة بالســباكة هـــي الفينـــول (Phenolics)، البولي يستر ، الأيبوكسي، و راتنجات الألايل (Allyl Resins). ويستخدم الأخير في صناعة عدسات المجهر والتطبيقات التـــي تتطلـــب وضـــوحاً ممتازاً. ان هذا النوع من الراتنجات (الثرموستنك) له استخداماً واسعاً في الســباكة بالمقارنة مع الراتنجات من نوع الثرموبلاستيك، وذلك لأنه يمتلك انسيابية عالية في السكب.

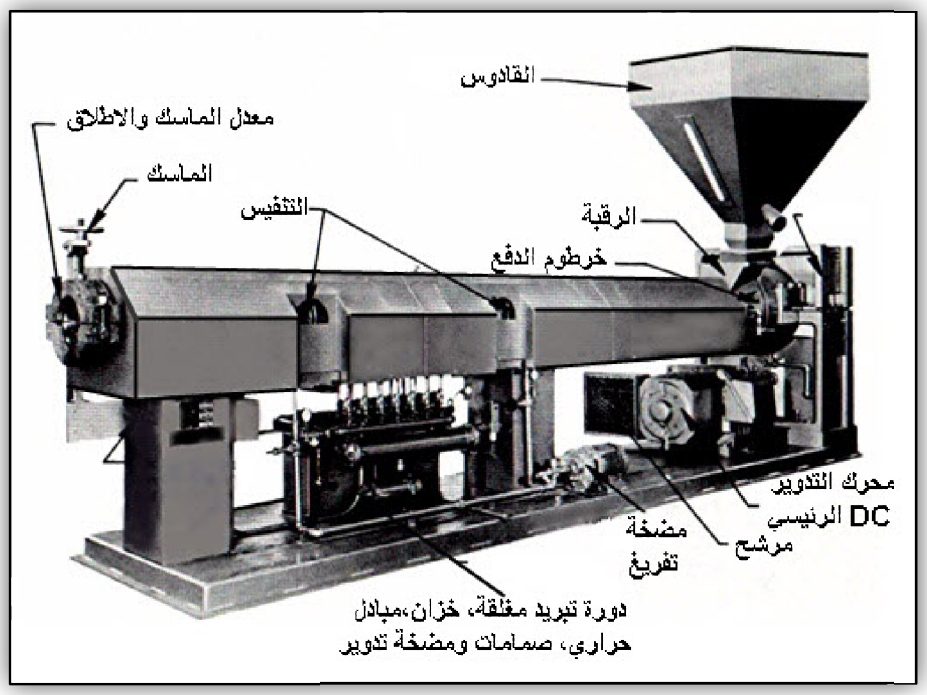
يستخدم بيوتيريت أسيتات السليلوز (Cellulose Acetate Butyrate) وأثيل السليلوز وكلاهما من نوع الثرموبلاستيك في الحالات التي تتطلب مقاومـــة عاليـــة للصدمات و الجساءة التي نحتاجها في صناعة المطارق و القوالب. أما الأكريليك (Acrylics) فيستخدم في سباكة القطع الشفافة و الصفائح المستوية.

6-2 **القولبة بالبثق** (Extrusion)

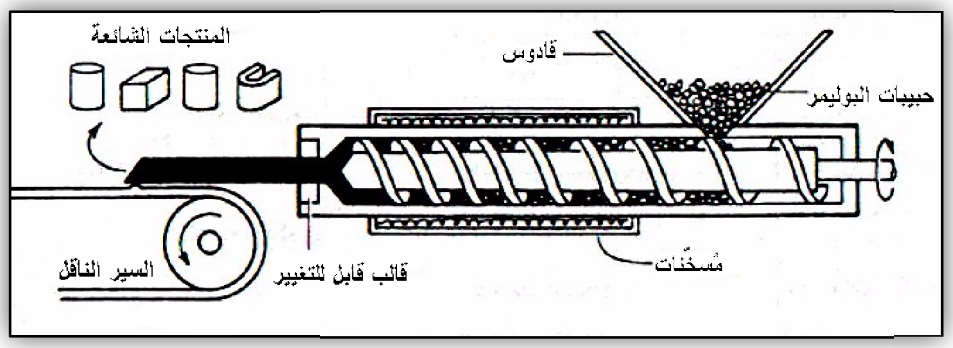
ان الغرض من هذه العملية هو إنتاج أشكال مستمرة باستخدام القوة لإجبار البوليمر المصهور في المرور من خلال قالب معدني باستخدام آلات خاصة كما مبينة في الشكل (2–8). يستخدم البثق في إنتاج الأشكال الهيكلية كالقنوات والقضبان والأقواس والخراطيم و الأنابيب والألياف والأفلام وأشكال أخرى. إنها عملية سريعة جداً وتستخدم في الغالب لمواد الثرموبلاستيك مثل راتنجات الفينيل، البولي ستارين، البولي أثيلين، البولي بروبلين و النايلون. حيث يمكن تشكيل هذه المواد باستخدام قوالب بسيطة.

ويوضح الشكل (2–9) رسماً تخطيطياً لعملية البثق، حيث تتم تغذية المادة المتبلمرة بهيئة حبيبات أو مسحوق من خلال القادوس (Hopper) الذي يقع في خلف الاسطوانة. تقاد المادة بعد ذلك للدخول إلى الغرفة الساخنة وذلك باستخدام لولب حلزوني ضاغط (Spiral Screw)، حيث تصبح المادة في هذه الغرفة عبارة عن كتلة لزجة سميكة والتي سيتم ضغطها وهي بهذه الحالة من خلال القالب. وفور خروج المادة المبثوقة من القالب، ستُبرّد بالهواء أو بالماء أو بالتماس مع سطح مبرّد فتتصلب بالتدريج، وهي ممتدة على الحزام الناقل. بعض المنتجات مثل أنابيب التأسيسات الكهربائية وأنابيب المجاري للمواد الكيماوية ستُصنع بهذه الطريقة، لان مواد الثرموبلاستيك المبثوق يمكن ثنيها أو تقويسها إلى أشكال مختلفة بعد عملية البثق، وذلك باستخدام الماء الساخن.

لا تصلح اللدائن المتصلبة حرارياً (الثرموستنك) لمثل هذا النوع من عمليات التشكيل، لأنها تتصلب بسرعة كبيرة، لذلك فهي محدودة الاستعمال، غير أنها تستعمل لإنتاج الأنابيب ذات الجدران السميكة.



شكل (2–8) آلة البثق.



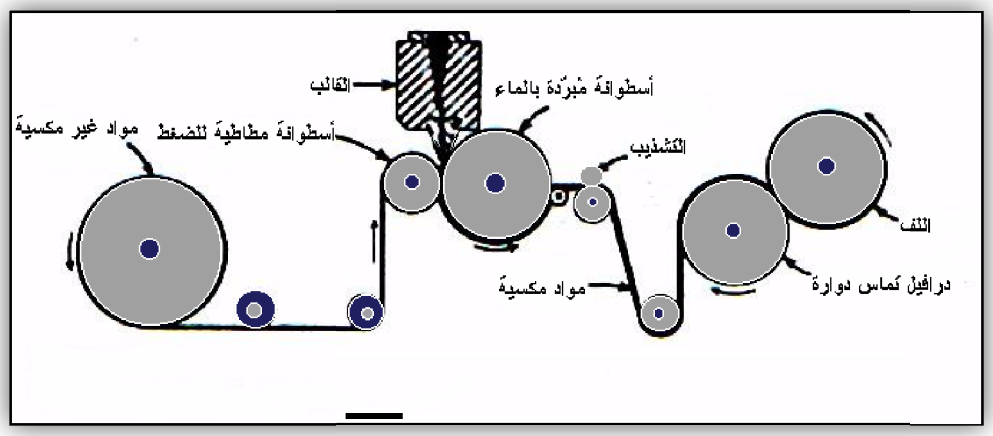
شكل (2–9) رسم تخطيطي لعملية القولبة بالبثق

إن الآلات التي تستخدم في عملية بثق مواد الثرموستنك تستخدم مدك (Ram) بدلاً عن اللولب في تسليط القوة على المادة وإجبارها على الخروج من القالب. تغذى المادة من القادوس الذي يقع خلف الاسطوانة، وباستخدام أشواط متعددة من المدك سيؤدي ذلك إلى إجبار المادة بالخروج من القالب المسلوب (Tapered Die) والذي فيه منطقة التسخين. هنالك حرارة إضافية تنشأ نتيجة لاحتكاك المادة خلال الاسطوانة والقالب، سيتم الإنضاج عند بلوغ النهاية الأمامية. بالإمكان إنتاج بعض المنتجات كالقوالب، الأنابيب، القضبان، المحامل، بطانات الفرامل والتروس. ويمكن الحصول على تسامحات بمقدار (4%). الشكل(2-10) يبين بعض منتجات هذه الطريقة.

هنالك عملية تسمى الإكساء بالبثق (Extrusion Coating) وهي طريقة تستعمل بصورة واسعة لإكساء الورق والقماش والرقائق المعدنية. حيث يتم بثق مادة الثرموبلاستيك من خلال قالب مٌسطح (Flat Die) وتخرج بشكل صحيفة تمرر إلى الأسفل كما مبين في الشكل (2-11). بعد بثق المادة الملينة حرارياً خلال قالب المُنبسط على شكل صحيفة تمرر إلى الأسفل لتتلقاها اسطوانة مطاطية تقوم بضغطها ضد اسطوانة درفلة من الصلب، بضغط مناسب. يتم تشذيب حافات الصحيفة (Sheet) من اجل لفها. في الوقت الذي يمكن استخدام أي مادة من نوع ثرموبلاستيك للاكساء، إلا أن المواد الشائعة الاستعمال هي الفينيل (Vinyles)، البولي بروبلين والبولي أثيلين.

هنالك استعمالاً مهماً أخرا لعملية الإكساء بالبثق تتمثل في عزل الأسلاك والكابلات، حيث إن عملية الإكساء تتم بصورة اقتصادية ولها خواص كهربائية وفيزيائية ممتازة.

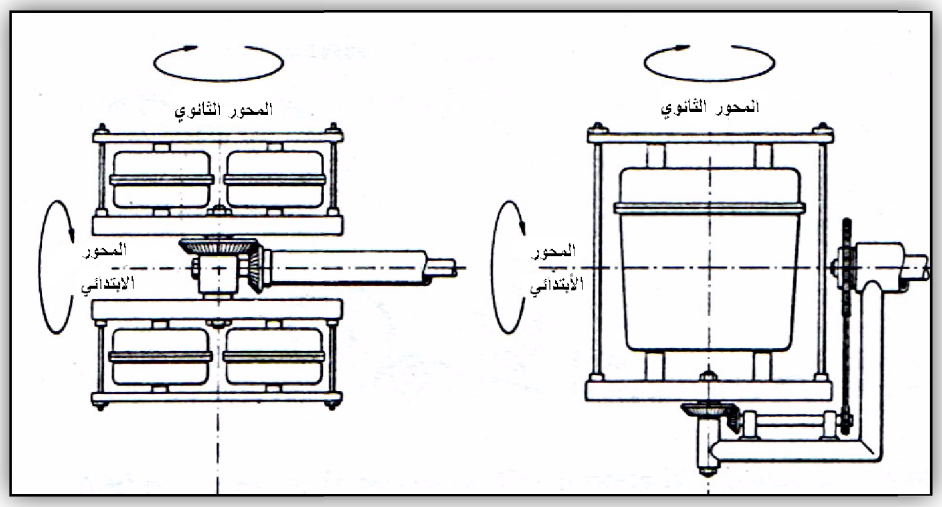
شكل(2-10) أشكال متنوعة لمنتجات تم الحصول عليها بالقولبة بالبثق.



شكل (2-11) مخطط لعملية الإكساء بالبثق

7-2 **القولبة الدوارة** (Rotating Molding)

تتم القولبة الدوارة بواسطة الدوران المتزامن لقالب رقيق الجدران حول محورين، ابتدائي وثانوي، والذين يكونا متعامدين على بعضهما البعض. فبعد عملية شحن (تغذية) المواد اللدائنية المناسبة، يُسخن القالب أثناء دورانه، مما يؤدي إلى انصهار الحبيبات في المساحة الداخلية للفجوة القالب متكوناً على شكل طبقات حتى يتم الانصهار التام للمادة اللدائنية. يُبرّد القالب وهو مستمراً بالدوران ويُفتح حتى يتم إخراج المنتج التام وإعادة شحنه تارةً أخرى. تستخدم هذه الطريقة في صناعة الألعاب ويستخدم البلاستيسول (Plastisols) والبولي أثيلين لصناعة الألعاب التي يمكن ضغطها.



شكل (2-12) رسم تخطيطي للقولبة الدوارة مبيناً فيها نظامان للتثبيت.

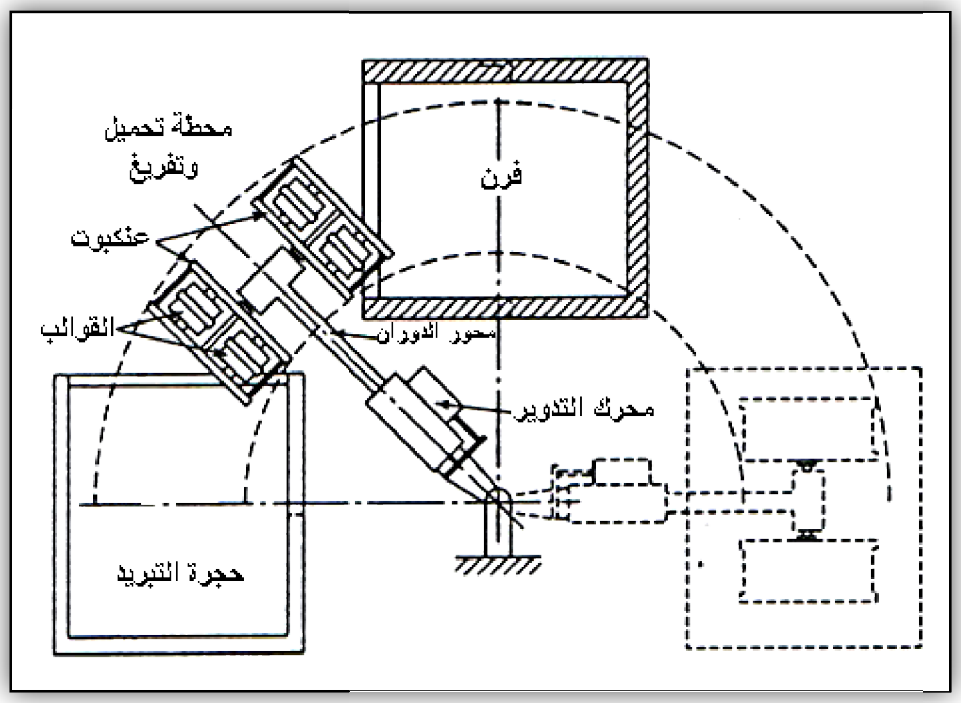
تختلف طريقة القولبة الدوارة عن عمليات القولبة الأخرى في أن جميع الطرائق الأخرى تستخدم الضغط والحرارة في عملية القولبة بينما لا تستخدم هي إلا

الحرارة. يجب تُثبيت مقاطع القالب بإحكام حتى لا تدخل الرطوبة إلى القالب وتسبب حدوث اعوجاج (Warping) بين نصفي القالب.

في الغالب يُستخدم الألمنيوم-المصبوب (Cast-Aluminum) في تصنيع قوالب هذه الطريقة ولكن يمكن استخدام النحاس المشكل كهربائياً (Electroformed Copper) أو الصلب الكربوني كذلك. يتم التحكم بالسرعة الدورانية لمحوري العمودين بواسطة مُحرك منفصل، في الغالب تكون النسبة (1:3) بين المحورين الرئيسي و الثانوي. السرعة الدورانية للمحور الرئيسي هي بصورة عامة أدنى من (18 rpm)، بينما مدى درجة حرارة القالب هي (370 – 260 ˚C).

إن أساس عمل القولبة الدوارة مبين في الرسم التخطيطي في الشكل (2-12)، في حالة استخدام قالب واحد كما مبين، بينما الرسم الأخر في حالة استخدام مجموعة تتألف من أربعة قوالب في ذراع وحدة واحدة. في كلا الحالتين ستكون الذراع مزودة بمحور ارتكاز حتى تتمكن من التأرجح ما بين فرن التسخين وغرفة التبريد، كما مبين في الشكل (2-13).

من فوائد هذه الطريقة هي قلة التكلفة الابتدائية، المرونة التي تسمح باستخدام أقسام مختلفة لكي تصنع بنفس المعدات، قلة تكاليف المُعدة، ويمكن إنتاج منتجات مغلقة أو مفتوحة النهايات، تعطي تفاصيل دقيقة، تشطيب ممتاز للأسطح، قلة كلفة التبريد، وكلفة المنتج قليلة. من الأمثلة على منتجات هذه الطريقة هي كراسي الأطفال، حاويات تخزين الغذاء، واقيات الالآت، سلال القمامة، حافظات الصور الفوتوغرافية، خزانات الجازولين.



شكل (2–13) رسم تخطيطي لذراع الارتكاز لنظام تحريك القالب. محور الدوران يتـــأرجح في زاوية (90°) بشكل قوس ما بين غرفتي التسخين والتبريد. إضافة غرفة تبريد ثانيـــة (الخطوط المُنقطة لمحور الارتكاز والدوران، ستقلل من زمن الدورة.

تستخدم نفس المعدات في القولبة سواءً كانت اللدائن هي من نوع ثرموبلاســـتيك أو ثرموستنك.

8-2 **القولبة بالنفخ** (Blow Molding)

هي عملية يتم من خلالها تسخين أنبوب لدن من الثرموبلاستيك يُطلق عليه الباريسون (Parison) ، يتم نفخه لاحقاً في قالب مغلق تمثل فجوة القالـــب شـــكل

المنتج المطلوب. تستخدم آلات القولبة بالنفخ لإنتاج الحاويات الرقيقة الجدران بمختلف أنواعها والقناني المدورة والأنابيب والقوارب الصغيرة وألعاب الأطفال والتي تصنع عادةً من راتنجات الثرموبلاستيك.

المواد الشائعة الاستخدام في هذه التقنية هي:

1. البولي أثيلين المنخفض الكثافة (LDPE) والبولي أثيلين العالي الكثافة (HDPE).
2. البولي بروبلين (PP).
3. البولي فينيل كلورايد (PVC).
4. البولي أثيلين تيريفتاليت (PET).

هنالك ثلاث أنواع رئيسية للقولبة بالنفخ وتختلف فقط في طريقة تحضيرها للباريسون وهي:

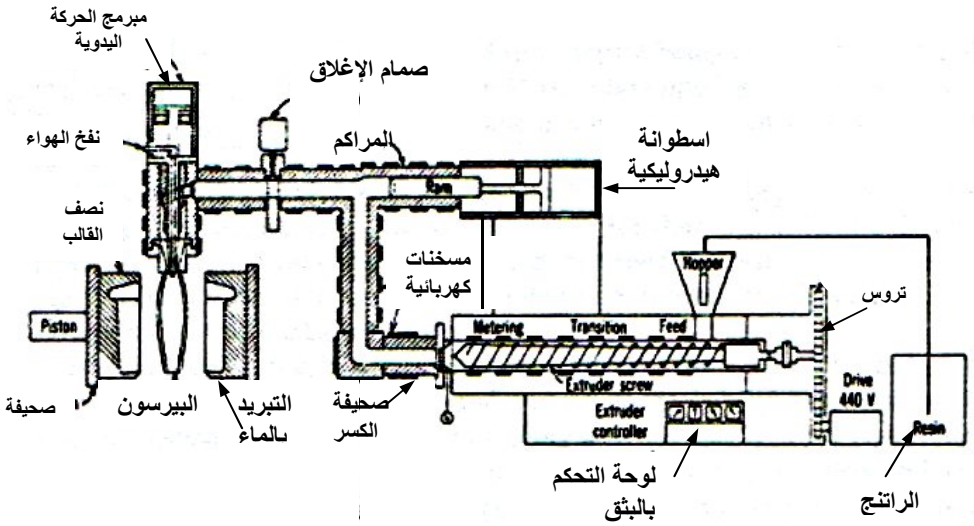
2-8-1 **قولبة النفخ بالبثق** (Extrusion Blow Molding)

وتتضمن تصنيع الباريسون بالطريقة التقليدية بالبثق وذلك باستخدام قالب مشابه للقالب الذي يستخدم في صناعة الأنابيب بالبثق. مخطط لآلة قولبة النفخ بالبثق مبين في الشكل(2–14) وصورة للآلة مبينة في الشكل(2–15). وتتضمن دورة الإنتاج المبينة في الشكل(2–16) الخطوات التالية:

1. يبثق الباريسون عمودياً بالاتجاه الأسفل بين نصفي القالب.
2. عندما يبلغ طول الباريسون الطول المطلوب، فان نصفي القالب سيغلقان سوية مؤديان الى قرص الجزء العلوي للباريسون وإحكام غلق النهاية السفلى للباريسون على أنبوب النفخ.

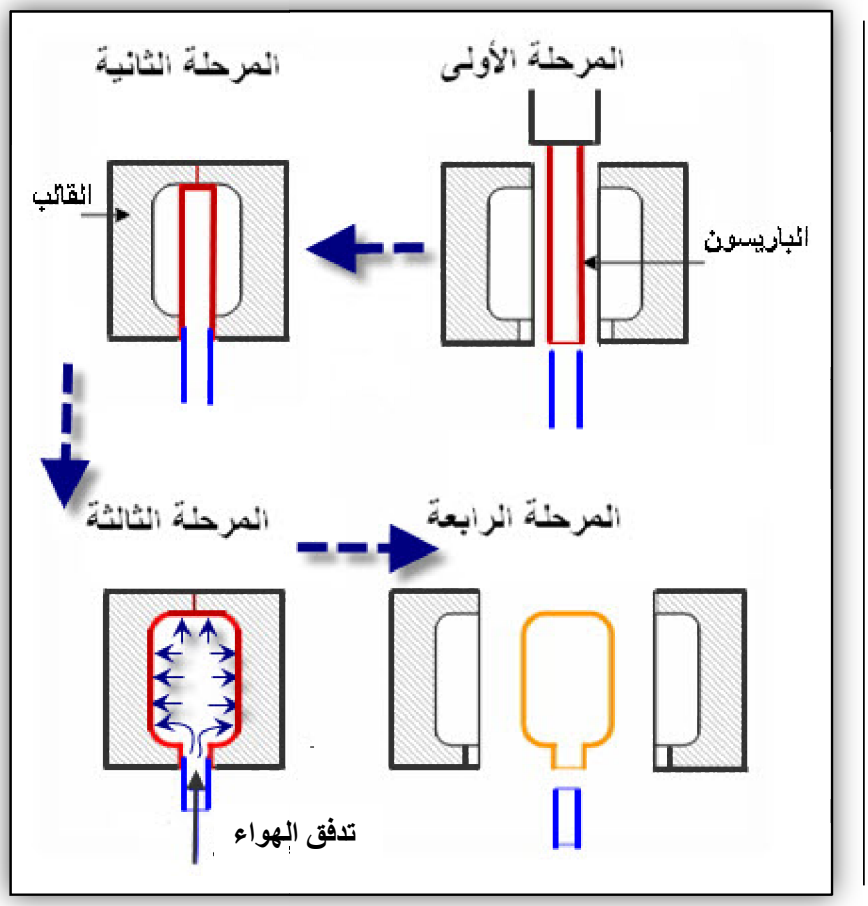
3. يتم نفخ الباريسون بالهواء عن طريق أنبوب النفخ الذي يكون موقعه في الأسفل، مؤدياً ذلك الى تمدده وأخذه لشكل فجوة القالب. يتم بعد ذلك قص الباريسون من الأعلى.
4. يبرد القالب ويُفتح نصفي القالب ويتم إخراج المنتج النهائي.

ويمكن أن تكون نسبة النفخ إلى غاية (1:6) لكن الشائعة الاستخدام هي (1:3). تشبه العملية هذه، تشكيل القناني في الصناعات الزجاجية. الشكل (2–17) يوضح آلة تتألف من ثمانية محطات لعملية القولبة المستمرة لإنتاج القناني اللدائنية بعملية يطلق عليها عملية قرص–الأنابيب (Pinch-Tube Process). حيث يتم بثق أنبوب من مواد الثرموبلاستيك من المُلدن إلى القالب المفتوح. و يتم قرص كل نهاية للأنبوب عند إغلاق القالب، ثم يزود بهواء مضغوط عن طريق الجزء المجوف منه بواسطة أنبوب قلبي يوضع في داخله. يؤدي الهواء المضغوط إلى حدوث تمدد الأنبوب اللدائني الذي يلامس السطح الداخلي لفجوة القالب. وبعد فترة تبريد قصيرة، يحافظ خلالها على ضغط الهواء، ثم يتم تحرير الضغط، فيُفتح القالب، وتُقذف القنينة، ويكون القالب جاهزاً لبدأ دور جديدة مرة أخرى. في بعض أنواع اللدائن، التي يجب أن تُبرد إلى درجة حرارة الغرفة، يُستخدم رشاش ماء. يجب تشذيب نهايتا القنينة لإزالة الزوائد، وليس هنالك حاجة إلى عمليات أخرى. يتم إعادة العملية باستمرار لكل ثمان قوالب.



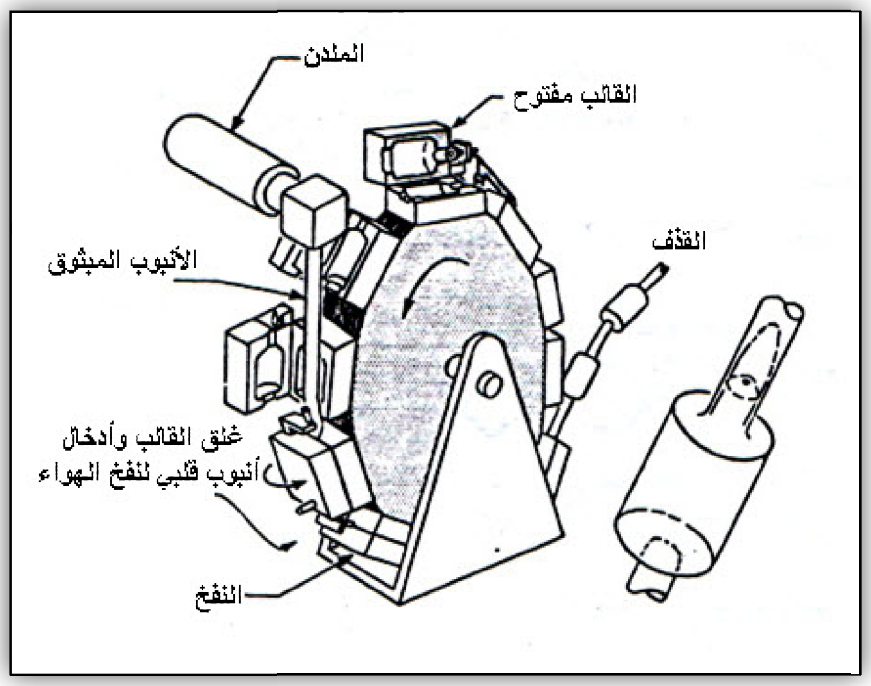
شكل(2-14): مخطط لآلة قولبة النفخ بالبثق.

شكل(2-15) آلة قولبة النفخ بالبثق.



شكل(2-16): مراحل قولبة النفخ بالبثق.

من منتجات هذه العملية هي الحاويات الصلبة للمنظفات، علب الماكيـــاج، القنـــاني المرنة التي يمكن ضغطها. يمكن استخدام غالبية مواد الثرموبلاستيك في القولبـــة بالنفخ، ويمكن إنتاج أشكال اسطوانية بحجم (50 جالون).



شكل(2-17) عملية الأنبوب المستمر لصناعة الحاويات اللدائنية.

من أهم عيوب هذه الطريقة هي عدم القدرة على الحصول على سمك متجانس لمختلف الجدران، نتيجة لاختلاف تمدد أجزاء المنتج. كذلك من الصعب زيادة سمك الجدران للأضلاع أو المساند. وكذلك فان المساحة المنفوخة سوف لا تُظهر لمعان عالي نتيجة لانخفاض الضغط في القالب الذي سوف لا يتجاوز (700 kPa). تعتبر عملية القولبة بالنفخ من العمليات السريعة والسهلة الأتمتة. تكلفة القوالب المستخدمة بهذه الطريقة هي نصف إلى خُمس تكلفة القوالب المستخدمة في آلة الحقن، لأنها لا تحتاج إلى قلوب، مجاري، وبوابات.....الخ. الشكل (2-18) يبين بعض أنواع منتجات آلات القولبة بالنفخ.

شكل(2-18) منتجات القولبة بالنفخ

2-8-2 **قولبة النفخ بالحقن** (Injection Blow Molding)

في هذه الطريقة سيتم صنع الباريسون بواسطة حقن الراتنج في قالب حقن ساخن حول أنبوب النفخ أو حول قضيب قلبي (Core rod). ثم يتم بعد ذلك إزالة أنبوب النفخ مع الباريسون من قالب الحقن وينقل الى قالب النفخ. ان العمليات التي تلي ذلك ستكون مشابهة لتلك التي تستخدم بقولبة النفخ بالبثق.

ان قولبة النفخ بالحقن هي طريقة أكثر دقة ويمكن التحكم فيها بطريقة أفضل بالمقارنة مع تقنية قولبة النفخ بالبثق. فهذه الطريقة ستسمح لنا بإنتاج منتجات أكثر تعقيداً ولأنواع عديدة من اللدائن. ولكن من عيوبها هو معدل إنتاجها القليل بالمقارنة مع قولبة النفخ بالبثق.

2-8-3 **قولبة النفخ بالمط (الشد)** (Stretch Blow Molding)

وهي طريقة مشابهة لقولبة النفخ بالحقن، فهي تتضمن قولبة الباريسون بالحقن، ثم شده الى الأسفل على شكل أنبوب نفخ. ويُنفَخ الباريسون المتمدد بعد ذلك في قالب النفخ. سنحصل في هذه الطريقة على توجيه ثنائي المحاور لسلاسل البوليمر. ان هذا التوجيه السلاسلي النوعي سيمنح المنتج زيادة في الصلابة الميكانيكية والجساءة والشفافية.

من المواد الشائعة الاستخدام في هذه الطريقة هي البولي أثيلين تيريفتاليت . تستخدم هذه التقنية لإنتاج حاويات المشروبات المكربنة (الغازية).

2-9 **تشكيل الأفلام و الصفائح** (Film and Sheet Forming)

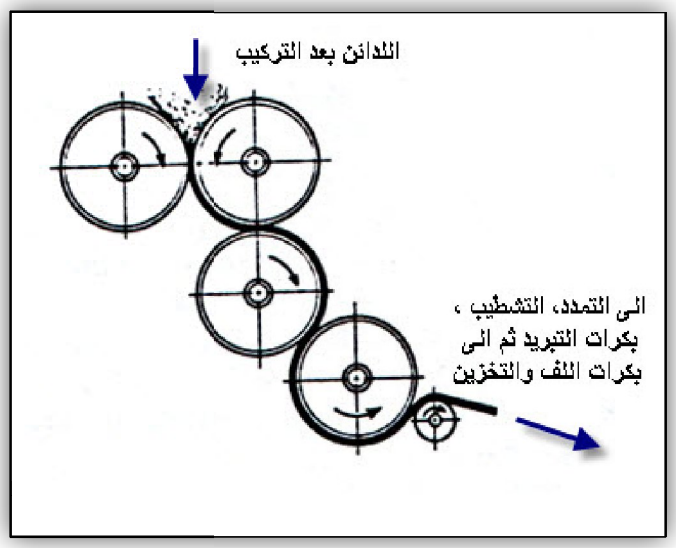
إن الطرائق الأساسية لإنتاج الأفلام أو الصفائح الرقيقة هي الرزنمة (Calendering) (الشكل2-20)، البثق، النفخ والسباكة. يعتمد اختيار الطريقة المناسبة على نوع راتنج الثرموبلاستيك المختار، بالإضافة إلى الخواص المطلوبة للمنتج. ان الرزنمة هي تكوين صفائح رقيقة بواسطة عصر المادة الثرموبلاستيكية بين درافيل، كما مبينة في الشكل(2-21). تتألف المواد من الراتنج، المُلدّن، الحشوات وصبغات الألوان، التي تُركّب وتُسخن قبل أن تُغذى إلى الرزنمة. يعتمد سمك الصفيحة المنتجة بهذه الطريقة على الفراغ بين الدرافيل التي تعمل على تمدد

اللدائن. قبل عملية لف الفلم، يتم تمريره خلال درافيل مُبرّدة بالماء. الفينيل، البولي أثيلين، أفلام أسيتات السليلوز والصفائح و البلاط الأرض الفينيلي هي من منتجات الرزنمة.

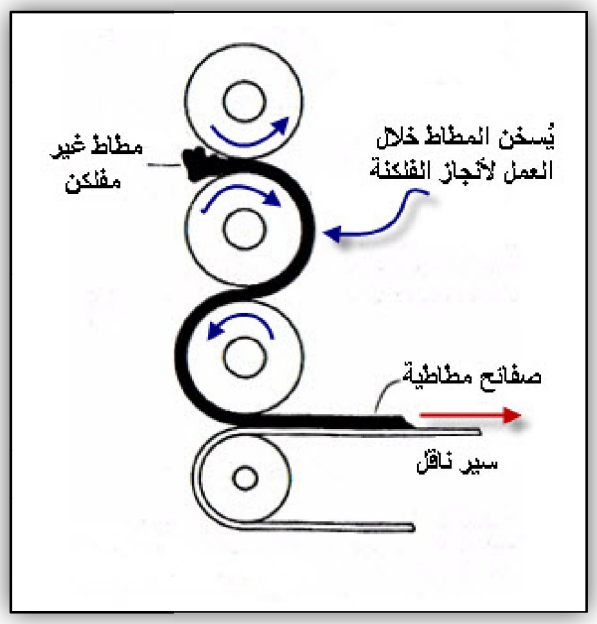
شكل(2-20) آلة الرزنمة .

تستخدم نفس العملية لدرفلة المطاط الغير الناضج (الغير المغلفن) لمخازن صناعة الإطارات كما مبين في الشكل(2-22).

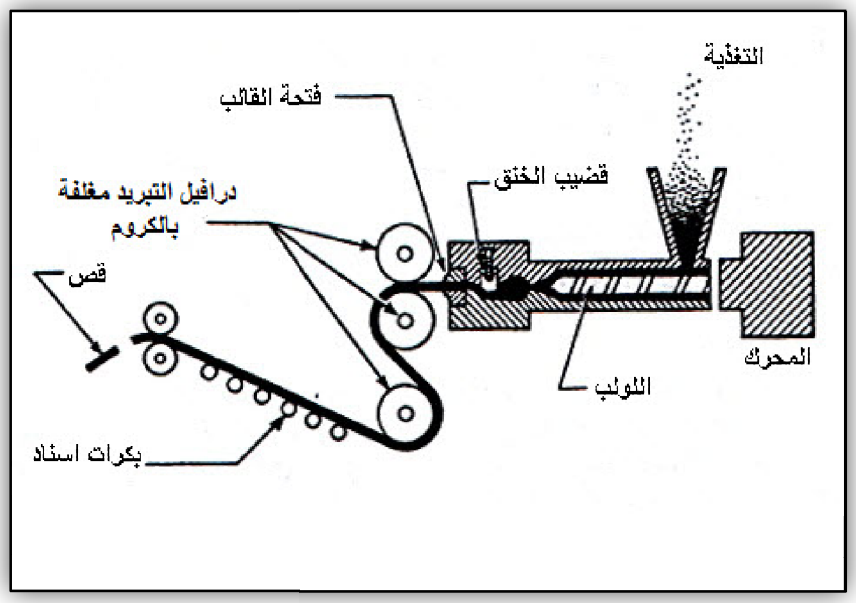
تستخدم عملية القولبة بالبثق في تصنيع صفائح البولي أثيلين، البولي بروبلين، البولي ستبرين أو (أي بي أس)(أكريلونتارال-بيوتيدين-ستيرين) (ABS)، الشكل(2-23) يبين رسم تخطيطي لهذه العملية. فبعد أن تُركّب المواد، يتم وضعها في القادوس. تُسخن إلى درجة حرارية لا تتجاوز (315 °C) و تُجبر بالدخول



شكل(2-21) تشكيل الأفلام باستخدام عملية الرزنمة.



شكل(2-22) التشكيل بالرزنمة لإنتاج صفائح مطاطية.



شكل(2-23) بثق الصفائح الرقيقة والأفلام.

إلى مساحة القالب عند ضغط يتراوح ما بين (MPa 28 – 14) بواسطة اللولب. ويمكن التحكم بسمك الصفيحة بالتوافق بين فتحة القالب وقضيب الخنق (Choker Bar). بعد عملية البثق، تمرر الصفيحة خلال درافيل مغلفة بصفائح الكروم حيث تُبرد بالزيت أو الماء قبل عملية تقطيعها إلى الأحجام المناسبة. يُوصى بالتبريد بالزيت لأن درجة الحرارة يجب أن يحافظ عليها عند حوالي (120˚C)، للإنضاج الجيد. ان الصفائح المنتجة بهذه الطريقة يتغير سمكها ما بين (0.03 - 3.18 mm).

في سباكة الأفلام، يذاب الراتنج في مذيب، ثم يُنشر على سير صقيل مستمر أو برميل كبير، حيث ينقل إلى الفرن لإزالة المذيب وللإنضاج. في عملية السباكة الخلوية (Cell Casting)، تصنع خلية من صفيحتين زجاجيتين صقيلتين،

ويفصلان عن بعضهما البعض بمسافة بحسب السمك المطلوب، ثم توضع حشية (Gasket) عند حافتيهما حتى يتم احتواء سائل المونومير المُحفّز. ثم تُرفع درجة حرارة الخلية وذلك بعد وضعها في الفرن، حيث تبقى في داخله حتى يتم الإنضاج. تُستخدم تقنية السباكة الخلوية في إنتاج معظم صحائف الأكريليك الشفافة.

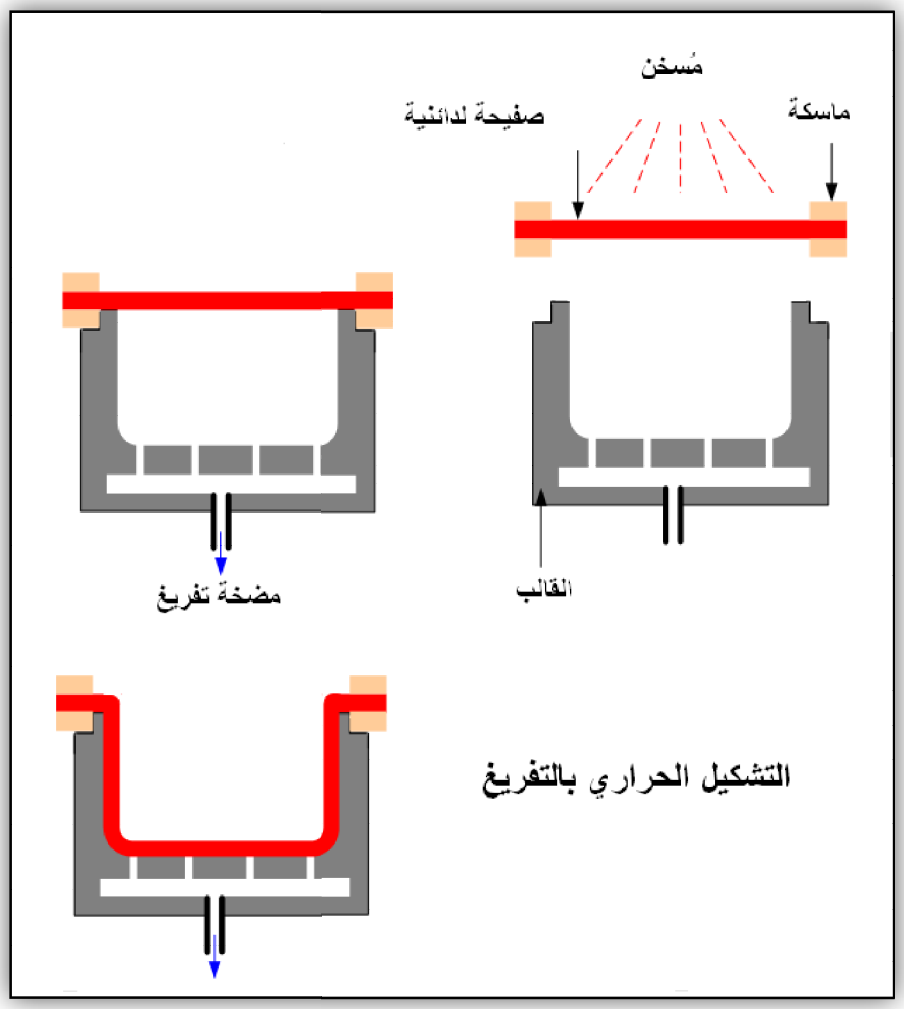
2-10 **التشكيل الحراري** (Thermoforming)

ان التشكيل الحراري هو عملية تشكيل صفيحة مستوية من الثرموبلاستيك ويتضمن ذلك مرحلتين؛ في الأولى سيتضمن تليين الصفيحة بالتسخين؛ وفي الثانية تشكيلها داخل فجوة القالب. هنالك العديد من التقنيات التي تم تطويرها لتسليط الضغط على الصفيحة، وهي أما باستخدام ضغط هوائي متغير أو بطريقة ميكانيكية.

هنالك ثلاث طرائق تستخدم في التشكيل الحراري وتختلف فيما بينها في التقنية المستخدمة في مرحلة التشكيل.

2-10-1 **التشكيل الحراري الفراغي** (Vacuum Thermoforming)

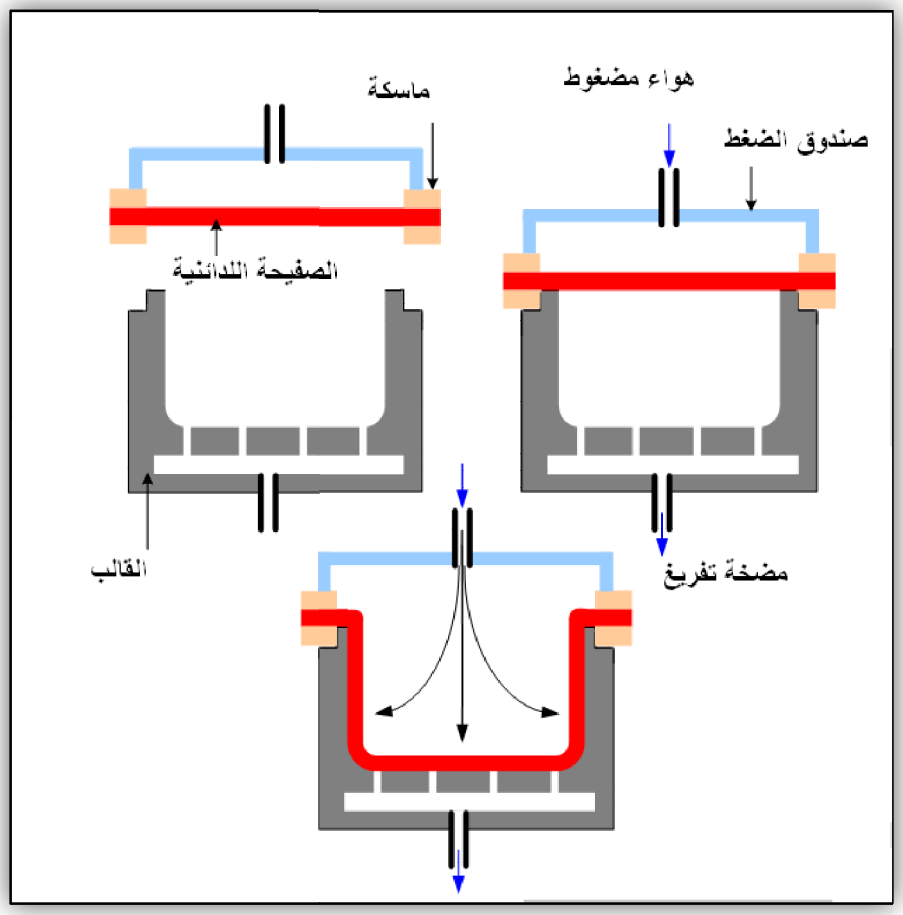
وفي هذه الطريقة يتم تشكيل صفيحة مُسخنة مُسبقاً من لدائن الثرموبلاستيك باستخدام الضغط الفراغي وذلك في مجال قرب فجوة القالب، كما مبين في الشكل(2-24). حيث سيعمل الضغط الجوي على تسليط قوة على الصفيحة مؤدياً ذلك الى تشكيلها ضمن فجوة القالب. وعندما ستكون الصفيحة في تماس مع جدران القالب ستبرد وتتصلب.



شكل(2–24) خطوات التشكيل في تقنية التشكيل الحراري الفراغي.

2-10-2 **التشكيل الحراري بالضغط** (Pressure Thermoforming)

وهذه الطريقة تتضمن تشكيل صحيفة من الثرموبلاستيك باستخدام هواء مضغوط، حيث سيعمل ضغط الهواء على تشكيل الصفيحة بحيث تأخذ شكل فجوة القالب، شكل(2–25). عندما ستلامس الصفيحة سطح فجوة القالب ستبرد وتتصلب.

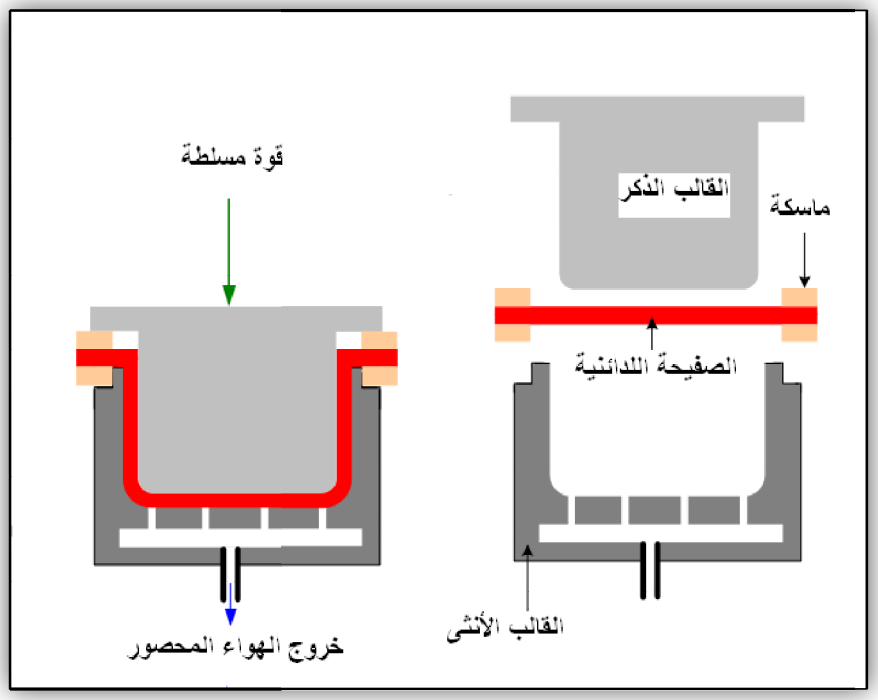


شكل(2–25) مراحل تقنية التشكيل الحراري بالضغط.

3-10-2 **التشكيل الحراري الميكانيكي** (Mechanical Thermoforming)

وفي هذه التقنية يتم تشكيل صفيحة لدائنية مُسخنة مسبقاً وذلك بواسطة قوة ميكانيكية مباشرة، شكل(2–26). حيث يستخدم القالب الذكر لإجبار مليء الصحيفة المتلينة للفراغ بين القالب الذكر والقالب الأنثى.

ان هذه الطريقة ستزودنا بسماحات بعدية دقيقة وبتفاصيل دقيقة أيضاً.



شكل(2-26) مراحل تقنية التشكيل الحراري الميكانيكي.

من المواد اللدائنية التي يمكن تشكيلها بتقنيات التشكيل الحراري هي:

- ❖ البولي بروبلين (PP)
- ❖ البولي ستيرين (PS)
- ❖ البولي فينيل كلورايد (PVC)
- ❖ البولي أثيلين المنخفض الكثافة (LDPE)
- ❖ البولي أثيلين العالي الكثافة (HDPE)
- ❖ أسيتات السليلوز
- ❖ البولي مثيل ميثا أكريليت (PMMA)

❖ الأكرولانيت–بوتيدين–ستيرين (ABS)

يستخدم التشكيل الحراري بصورة واسعة في صناعة تغليف المواد الغذائية وحاويات المثلجات والألبان وفي صناعة صواني اللحم المستخدمة في المايكروويف وتغليف السندوتشات ....الخ.

تستخدم هذه التقنية كذلك في صناعة الأدوات الكهربائية والصيدلانية والعُدد الصغيرة والمثبتات والألعاب وهياكل القوارب والمركبات.

11-2 **عمليات تشكيل المطاط** (Rubber Processes)

يتألف المطاط الخام من جزيئات طويلة وزنها الجزيئي كبير جداً لذلك تكون أشبه بالنابض و تقاوم عمليات التشكيل. فلكي نتمكن من قولبة وتشكيل المطاط يجب علينا تكسير هذه الجزيئات. لهذا الغرض يتم بثق المطاط الخام في مطواع (Plasticator) ثم يُعجن (masticated) بواسطة دوران المخفقة (Beaters) في خلاط بانبري (Banbury Mixer)، أو يُلدّن بين الدرافيل في مطحنة المطاط (Rubber Mill). الأخيرة ربما تنجز بوحدها أو بعد الأولى أو كلا المعالجتين الأخريين. في طاحونة المطاط (شكل 2–27)، يُضغط المطاط بين درفيلين يدوران إحداهما باتجاه معاكس للأخر عند المدخل. حيث ان احد هذه الدرافيل سيدور أسرع من الثاني بنسبة قد تصل إلى (1:3)، وهذا سيُحرض القص المتعدد والتأثير ألانضغاطي على المطاط. الصحيفة الخارجة من درافيل المطحنة ستعاد تغذيتها لفترة زمنية محددة إلى الخلاط لطحنها. حيث سيتم في الخلاط والمطحنة تغميس المطاط بالمواد المضافة للحصول على المنتج النهائي. حيث

جدول(2-1) عمليات تشكيل المطاط.

الطريقة	محاسنها	محدداتها
القولبة الإنضغاطية: تضاف كمية زائدة من المركّب غير الناضج إلى فجوة القالب: يغلق القالب ويُسلط ضغط مع حرارة، مُجبراً المُركب بالقوة على ملأ فجوة القالب: الحرارة ستُنضج المركّب (الفلكنة) ويفتح القالب ويزال الجزء المتصلب.	- نهاية أسطح جيدة - يمكن صنع الأجزاء في أية صلادة، شكل، وحجم - نسبياً قليلة التكلفة - الزوائد قليلة - مناسبة للعديد من المركبات.	- من الصعب الحصول على سماحات قريبة - يجب إزالة الزوائد - صعب الحصول على التعقيدات الشديدة - معدل الإنتاج بطيء.
القولبة الانتقالية والحقن: تشبه القولبة الإنضغاطية، عدا أن القالب يُغلق فارغاً ويتم إجبار المطاط بالقوة على الدخول عن طريق المصب والقنوات والبوابات.	- أبعاد المنتج دقيقة - ليس هنالك حاجة لإزالة الزوائد - جيدة للأشكال المعقدة - إنهاء جيد ومتجانس - معدل الإنتاج عالي.	- كلفة القالب العالية - ليست مناسبة لجميع المركبات - خسارة كبيرة بالمواد بسبب المصب، القنوات والبوابات.
البثق: مماثل لبثق اللدائن حيث أن المادة المُسخنة تجبر بالقوة في المرور من فتحة القالب التي تعطي شكل المقطع المطلوب. لكن الفلكنة لا تأخذ دورها في فجوة القالب:يتم إنضاج الأطوال المبثوقة في المفلكن البخاري وأما يستخدم كما هو أو يُقطع إلى أجزاء	- كلفة التشغيل منخفضة - أنواع عديدة من الأشكال المعقدة يمكن إنتاجها - معدل الإنتاج سريع.	- صعب الحصول على التسامحات القريبة - ممكن فقط إنتاج المقاطع المتجانسة (على الطول) - الفتحة يجب أن تكون باتجاه البثق.
قالب القطع: يتم ختم الأجزاء أو قطعها بأشكال من الصفائح المفلكنة أو تسطحها باستخدام قوالب من الصلب عالية التكلفة.	- مناسبة لأي مادة مطاطية - قليلة التكلفة - اقتصادية للأجزاء الصغيرة.	- سمك الأجزاء محدود جداً - مناسبة فقط للأجزاء المسطحة.

تستخدم هنا طرائق عديدة مشابهة للعمليات التي تستخدم في قولبة بعض أنواع اللدائن، و أحد هذه الأمثلة هي الرزنمة والتي تستخدم للحصول على صحائف الفينيل المستخدمة في الديكورات و الأفلام. إن غالبية المطاط الاصطناعي (الإلاستومرات) لا يستجيب إلى العجن أو التشكيل ويجب أن يُركّب لكي يستجيب لذلك.

المرحلة الثانية هي قولبة أو تشكيل المطاط بالشكل المطلوب ثم فلكنته. غالباً ما يكون الكبريت هو العنصر المُفلكن للحصول على الروابط المستعرضة بين جزيئات المطاط. وهذا ما سيجعل المطاط مرناً، غير دبق، قوي، ومقاوم أكثر للحرارة والمذيبات. ان بنية معظم المطاط الاصطناعي يتم تنظيمها خلال عملية البلمرة ولا تتم فلكنته. ان عمليات القولبة والتشكيل الحقيقية تنجز بطرائق مختلفة وهي مشابهة للطرائق الشائعة للمواد اللدائنية، فيمكن بثق المطاط أو ضغطه أو حقنه في قوالب وتشكيله.

هنالك العديد من التقنيات التي تستخدم لمركبّات الثرموبلاستيك التي يمكن استخدامها كذلك في تشكيل المنتجات المطاطية. الجدول (2–1) يعرض مختصراً للطرائق الأربع الشائعة الاستخدام.

شكل(2–27) طاحونة خلط المطاط

12-2 **تشغيل اللدائن** (Machining Plastics)

ان القولبة والتشكيل هما الطريقتان الشائعتان في صناعة الأجـزاء اللدائنيـة، إلا انهما يتطلبان قوالب وآلات تشكيل عالية التكلفة. التشغيل من الأشكال القياسية ربما سيكون اقل كلفة للكميات و الأحجام الصغيرة: لقد تم الإشارة إلى نقطة التوزيـع المتعادل (Break-Even Point) سـتكون لغايـة (15,000 – 60,000) قطعـة باستخدام الآلات الذاتية التشغيل (المؤتمتة). ان بعض الأجزاء يمكن إنتاجها بطريقة اقتصادية أفضل بواسطة عملها كشرائح ومن ثم بثقهـا للحصـول علـى الشـكل المطلوب. ان الأشكال التي يصعب تشكيلها، كأسنان اللولب (Threads) والأبعـاد التي سماحاتها قليلة، يمكن الحصول عليها غالباً وبكلفة قليلة بالتشغيل. ان بعـض عمليات القطع هي لإزالة المواد الزائدة على شكل زوائد (Flash)، قنوات التغذيـة (Runners)، مصبات (Sprues)، وحافات ناتئة (Flange)، ..الخ، تجرى علـى غالبية الأجزاء اللدائنية المنتجة بالقولبة و التشكيل.

ويمكن استخدام غالبية التقنيات والمعدات التي تستخدم للمعادن، فـي تشـغيل اللدائن إلا أن هنالك بعض أساسيات التشغيل التي تطبّق على اللدائن وحدها، نتيجةً لاختلاف خصائص اللدائن عن المعادن. ونتيجة لوجود أنواع عديدة مـن اللـدائن، فهنالك مواصفات كثيرة لقطع اللدائن.

الشيء المهم الذي سنركز عليه هو الأساسيات التي توضح كيفية ولماذا يجـب معاملة اللدائن بصورة مختلفة عن المعادن عند إجراء عمليات القطع. هذا ما سوف نناقشه هنا.

إن خصائص اللدائن التي ستحدد قابليتها للتشغيل هي:

1. الموصلية الغير جيدة للحرارة ولكنها تتأثر بسهولة بالحرارة.
2. بعضها يحتوي على حشوات من مواد حاكة (Abrasives Fillers)

3. غالبيتها تمتلك خاصية الليونة والخضوع (Yielding)
4. بعضها هش (Brittle) و لين.

ان مواد الثرموبلاستيك تتلين و تفقد شكلها و تصبح على شكل مادة صمغية (Gummy)، تعرقل أداة القطع، بينما مواد الثرموستنك تتدهور وتتفحم (char) عند درجات الحرارة العالية. ان الحرارة المتولدة أثناء عملية القطع لا تنتشر بعيداً وبسرعة إلى جميع أجزاء المادة اللدائنية، لذلك ستعتمد النتائج الجيدة على الخبرة العملية في تبريد عملية القطع، والتي سينتج عنها قطعاً جيداً وسطحاً صقيلاً. في عمليات النشر (Sawing)، يفضل استخدام المنشار الشريطي على الدائري، لأن أسنان المنشار الشريطي ستمتلك وقتاً أطول للتبريد. ان موائع التبريد (Coolants) الشائعة الاستعمال هي الهواء، الماء، وزيت التبريد.

في حالة تشغيل المواد اللدائنية التي تحتوي على حشوات عالية الصلابة (مُركّبة)، ستبلى (Wear) أدوات القطع بسرعة أكبر، لذا سيتطلب منا استخدام عدد القطع المصنوعة من الكربيد المسمنت (Cemented Carbide)، الأوكسيد المُلبّد (السيراميك الأوكسيدي)، أو حتى من الماس. ويجب اخذ الحذر عندها لتجنب كسر الألياف المقوية للدائن في المواد المُركّبة.

ان استخدام السرعات العالية للقطع لأغلب اللدائن سيكون مناسباً لأن موادها لينة. كما في حالة أشكال عدة القطع، سنحتاج إلى زاوية قطع مُنفرجة (Obtuse Cutting Angle) لمنع حفر عدة القطع لسطوح اللدائن، كما نعمل ذلك مع تشغيل البراص (Brass) و النحاس. في الحقيقة، هنالك قانون عملي شائع يستخدم لضبط عملية قطع اللدائن كما في النحاس والبراص إذا لم تتوفر المعلومات المطلوبة. حيث تجرى عملية الضبط بالمحاولة خلال العملية للوصول إلى أفضل الظروف.

يمكن للتشغيل بالقطع أن يعمل بسماحات قليلة في قطع اللدائن، لكن في اغلب الحالات ستكون السماحات القليلة غير مجديةً لأن اللدائن لا تحافظ على حجمها. حيث تخضع العديد من المواد اللدائنية ويتغير حجمها بصورةٍ ملحوظة تحت تأثير عمليات القطع. حيث ان بعضها يمتص الرطوبة بالإضافة إلى حدوث الانتفاخ (Swell) فيها. في بعض الحالات يتم تبريد (تبريد إلى درجات منخفضة جداً) اللدائن حتى تتحول إلى مادة جاسئة (Rigid) من اجل انجاز عملية القطع.

وبعض أنواع اللدائن يكون هشاً وينتج عنه الرايّش (Chip) بطواعية، عند إجراء عملية القطع عليه. ان القص هو العملية الشائعة التي تُجرى باستخدام القوالب الصغيرة أو القواطع الحاكمة (Rule Cutters). في بعض الحالات يتم تسخين اللدائن قبل قطعه.

13-2 **المنتجات اللدائنية الخاصة** (Special Plastic Products)

وتشمل هذه مواد الطلاء كالدهان والمواد اللاصقة، الألياف، الأفلام (الأغشية) والمواد الرغوية.

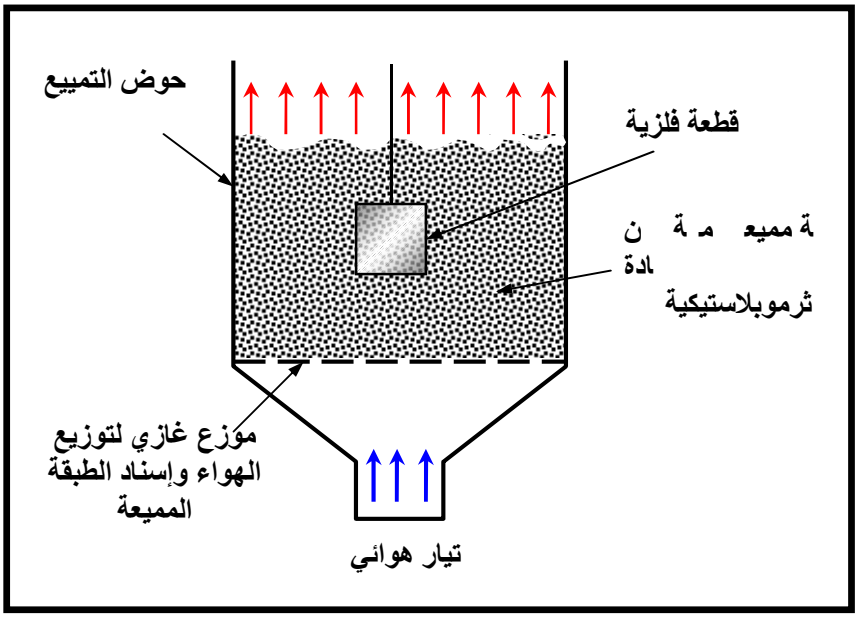
1) **مواد الطلاء** (Coating Materials)

هنالك صنفان واسعان من مواد الطلاء، اعتماداً على ما اذا كانت المادة الملدنة ستستخدم لحالها أو مذابة في مخفف سيتبخر بسرعة بعد عملية الطلاء.

ان إحدى هذه الطرائق المستخدمة هي الطلاء باستخدام الأحواض المميعة (Fluidized Bed Coating). في هذه الطريقة ستميع طبقة سميكة من حبيبات أو مسحوق المادة اللدائنية وغير الساخنة بواسطة تيار هوائي يؤدي الى سلوكها سلوك المائع. ثم يتم غمر القطعة الفلزية المراد طلائها بعد تسخينها لفترة معينة من الزمن، كما مبين في الشكل(2-28). وبهذه الطريقة تلتصق طبقة من المادة اللدنة

بالقطعة الفلزية وتنتشر فوق سطحها. يعتمد سمك طبقة الطلاء على الوقت المستغرق في غمر القطعة الفلزية في الحوض ودرجة حرارتها والى حدٍ ما نوع الفلز المستخدم.

تناسب هذه الطريقة لدائن الثرموبلاستيك ومن الممكن استخدامها مع اللدائن من نوع الثرموستنك إذا تم التحكم بدرجة الحرارة للقطعة الفلزية لتوليد تفاعل الثرموستنك.



شكل(2-28) عملية الطلاء بواسطة حوض

من الأمثلة الجيدة للنوع الأخر للطلاء (الطلاء الحاوي على مذيب) وهو الطلاء المستخدم في طلاء أبدان السيارات، حيث تحتوي مادة الطلاء هذه على راتنج الأكريلك في مذيب مُخفف (Thinner) الذي يتبخر بسرعة بعد إنجاز عملية

الطلاء. عند اختيار اللدن يجب ان تزيد درجة حرارة تحوله الزجاجي (T_g) قليلاً على درجة حرارة الغرفة لكي لا تكون طبقة الطلاء المتكونة طرية جداً. فإذا ارتفعت (T_g) أكثر فعندها لا تتمكن طبقة الطلاء من التكيف لتمدد الفلز وتقلصه عند تغير درجة الحرارة مؤدياً ذلك الى تشقق طبقة الطلاء.

2) **المواد اللاصقة** (Adhesive Materials)

يمكن تصنيف هذه المواد على النحو التالي:

1. المواد دائمة السيولة
2. المواد التي تتصلب بتأثير العمليات الفيزيائية
3. المواد التي تتصلب بتأثير العمليات الكيميائية.

من الأمثلة على النوع الأول هو الشريط الشفاف اللاصق والذي يسبب الترابط هو وجود مادة دائمة السيولة تلتصق بشريط السيلوفان الذي يلتصق بالضغط على الورق أو السطوح الأخرى. ولكي يعمل هذا النوع من المواد اللاصقة يجب أن يُرطّب السائل لتكوين روابط قوية.

من الأمثلة على النوع الثاني للمواد اللاصقة هو شمع الأختام الذي يستخدم ساخناً ثم يتصلب، أما الأمثلة على النوع الثالث فهو الأيبوكسي وهو ثرموستنك، حيث يمزج الراتنج السائل مع معجل التصليد (Hardener) الأميني ثم يستخدم المزيج قبل تصلده بفعل التفاعل الكيميائي.

3) **الألياف** (Fibres)

تنتج الألياف من مواد لدائنية كالأكرلك، أسيتات السليلوز، البولي يورثين، التفلون، النايلون والأوليفينات (البولي أثيلين والبولي بروبلين) ...الخ. أحدى التقنيات التي تستخدم في صنع الألياف الصناعية هي ببثق البوليمر المصهور من

خلال قالب ثم يحول الى شُعيرة (Filament) بفعل التبريد. بعد تصلب الشعيرة يتم سحبها عند درجة حرارية بين (T_g) و (T_m) لتوجيه السلاسل بالاتجاه المفضل.

4) عملية تصنيع الحبال

إحدى العمليات التي تستفيد من صناعة الألياف هي عمليات صناعة الحبال، حيث تمر عملية الانتاج بثلاث مراحل، كل مرحلة تكون منفصلة عن الأخرى وجميعها موضوعة بحسب الترتيب. في المرحلة الأولى يتم وضع المادة اللدائنية في قادوس كبير والذي بدوره يكون متصلاً بخزان كبير بواسطة شفاط لنقل المادة اللدائنية من القادوس الى الخزان. و تبقى المادة اللدائنية في الخزان وعند تشغيل

شكل(2-29) آلة بثق لصنع الحبال اللدائنية.

الآلة فانها ستسحب الكمية المطلوبة من اللدائن. وبعدها نصل الى الخطوة الثانية وهي عملية الخلط حيث يتم فيها خلط الصبغة مع المادة اللدائنية باستخدام خلاط، واضافة مادة مساعدة أو مقوية لتعزز من مقاومة الشد. بعد خلط المواد في الخلاط يتم امراها بالاسطوانة التي تسخن بشكل متصاعد وتدريجي الى درجة حرارة

تتراوح ما بين (150˚C - 200)، و عندها تكون المواد المختلطة قد انصهرت. تبثق بعدها عبر قالب يتألف من ثماني فتحات، تحتوي كل فتحةٍ على (20) فتحة صغيرة وظيفتها زيادة الأستطالة، تمرر بعدها في سوائل التبريد (الماء) ومن ثم عبر مسخنين حرارتهما من (50˚C - 60)،لتساعد في تمدد الشعيرات. وبعد ذلك تمرر على ثلاث مجففات و هي على هيئة أسطوانات تزيد من قوة الحبال على تحمل قوة السحب. تصل بعد ذلك الى الخطوة الاخيرة و هي عملية لفها حول أسطوانات ليتم تحويلها الى المرحلة الثانية والتي تسمى بمرحلة الغزل.

في هذه المرحلة (مرحلة الغزل) يتم فيها زيادة قطر الحبال، فأما أن تكون فردية أو زوجية، فعندما تكون فردية تستخدم أسطوانة واحدة وأما إذا كانت زوجية فتستخدم أسطوانتين. وتستخدم في هذه المرحلة آلة ذات خطوة واحدة حيث تلف في النهاية الحبال على هيئة بكرات لتنقل بعدها الى المرحلة الثالثة والأخيرة. في هذه المرحلة يتم تحديد القطر المطلوب والذي غالباً ما يكون ما بين (6-14 mm) وحسب ما يرغب فيه، حيث ان زيادة عدد البكرات تؤدي الى زيادة السمك، والآلة المستخدمة في صناعة الحبل مبينة في الشكل(2-29).

4) **الأفلام أو الأغشية** (Films)

تصنع الأفلام عادة بطريقة القولبة بالبثق (Extrusion) خلال قالب ثم يمرر المنتج وهو مازال في الحالة المرنة خلال سلسلة من الدرافيل الصقيلة لتوجيه السلاسل بالسحب. وتستخدم في نطاق واسع كاستخدامها في التغليف وصناعة الأكياس وغيرها من المنتجات.

5) **الرغويات** (Foams)

تعتبر الرغويات من المنتجات المهمة والتي تستخدم لأغراض العزل والتبطين(التحشية). فالرغوة هي عبارة عن بوليمر يحتوي على خلايا غازية تكون بنوعين مفتوحة ومغلقة محاطة بجلد أملس. المفتوحة تزيد من أسفنجية البوليمر وقدرته على العزل كما في مقاعد السيارات. أما الرغويات ذات الخلايا المغلقة فهي منتجات مرغوب فيها كما في صداري النجاة ومواد تغليف الأجهزة الكهربائية.

يتم صناعة رغويات اللدائن المسامية (Cellular Plastic Foams) بواسطة تمدد الراتنجات ميكانيكياً أو كيميائياً. حيث ان بنيتها ستزودها بخواص عزل حرارية، قابلية الطفو في الماء(Buoyancy)، ملطف الحركة (كالأسفنج) (Cushioning)، وخفة الوزن. أن نسبة المقاومة إلى الوزن يمكن أن تكون من (2 الى 5) مرات عما في المعادن المستخدمة في صناعة الهياكل. يمكن صناعة الرغويات لتكون مرنة أو جاسئة ؛ كثيفة (مغلقة) أو مفتوحة. من الممكن ان تشكل في مكان ما بواسطة رشها على مساحة معينة، ثم تتمدد (كما في الخزانات)، كما يمكن قولبتها، بثقها، وسباكتها، وهي متوفرة في المخازن بأشكال مختلفة.

من الممكن أن نجعل جميع أصناف اللدائن (ثرموستنك أو ثرموبلاستيك) كمواد لدائنية رغوية. وبالاعتماد على نوع المادة المستخدمة، فان الترغي يتم بواسطة:

1. حقن غاز مضغوط في كتلة اللدائن اللينة؛
2. إضافة مذيب ذو درجة غليان منخفضة أو مواد كيميائية، تسخن بعدها لتحرر البخار أو الغاز؛
3. جعله مشبعاً بالغاز ميكانيكياً (Mechanical Aeration) أو يرغى (Frothing) بالخلط، التحريك (Stirring) ...الخ؛

4. تضمين مواد كيميائية مع المكونات الى اللدائن لتكون الغازات عند خلطها؛ و
5. خلط دقائق معدنية صغيرة وغاز مع الكتلة اللدائنية تحت تـــأثير الضـــغط لتسبب تكون الفقاعات حول الدقائق المعدنية عند تحريرها من الضغط.

أسئلة الفصل

1. صف قولبة اللدائن بالكبس وهل تصلح هذه الطريقة لكل أنواع اللدائن؟ ولماذا؟
2. قارن بين القولبة بالكبس والقولبة الانتقالية؟
3. صف عملية القولبة بالحقن وما هي أشكال المنتجات التي يمكن الحصول عليها باستخدام هذه الطريقة؟
4. كيف يتم سباكة البوليمرات. ما هي الخواص التي يجب ان تتوفر في المواد المتبلمرة ؟ هل تصلح لكل أنواع اللدائن؟
5. ما الميزة التي تمتلكها تقنية القولبة بالبثق ولا تتوفر في بقية التقنيات؟
6. ما هي تقنية الإكساء بالبثق وما هي أنواع المنتجات التي يمكن إنتاجها باستخدام هذه التقنية؟
7. تعتبر القولبة الدوارة واحدة من التقنيات المهمة والتي تستخدم في قولبة اللدائن. ما الذي تتميز به هذه الطريقة؟ وما هي أشكال المنتجات التي يمكن الحصول عليها؟
8. ما الغرض من استخدام القولبة بالنفخ؟ وما الذي يميزها عن التقنيات الأخرى؟
9. ما هي الطرائق الأساسية لإنتاج الأفلام والصفائح الرقيقة؟ صفها باختصار؟
10. كيف تُشكل البوليمرات حرارياً؟ اذكر أهم التقنيات المستخدمة في ذلك، معززاً إجابتك بالرسم.
11. قارن بين تقنيات تشكيل المطاط المختلفة من حيث محاسنها ومساؤها؟
12. تعتبر تقنية قولبة النفخ بالبثق إحدى طرق التشكيل للدائن، صف هذه الطريقة وما هي أشكال المنتجات التي يمكن الحصول عليها؟
13. ما هي الطرائق الرئيسية للحصول على الرغوات في اللدائن؟
14. ما هي الخصائص الأساسية التي تحدد قابلية اللدائن للتشغيل؟ عددها؟