تقنيات تصنيع البوليمرات Polymers processing techniques

مرحلة تصنيع البوليمرات من المراحل النهائية والأساسية في الصناعات لأنها تحدد الكثير من الصفات الحاجيات النهائية مثل القوة , المتانة , المرونة

هناك طرق عديدة لتصنيع البوليمرات على سبيل المثال طرق تصنيع الراتنجات الحرارية تختلف عن بقية الأصناف الغير القابلة للانصهار

طرق تصنيع البوليمر تحددها طبيعة الناتج المراد تصنيعه والهيكل الخارجي على سبيل المثال: طرق تصنيع البولي اثيلين للأنابيب البلاستيكية تختلف عن الطرق المستخدمة في إنتاج الرقائق(الافلام) وتخلف عنها في الطرق المتبعة في إنتاج القناني البلاستيكية او الالياف

طرق تصنيع البوليمر تتحدد بالخصائص الفيزيائية للبوليمر مثل التبلور ودرجة الانصهار البوليمرية ودرجة الانتقال الزجاجي والثبات الحراري

هناك على سبيل المثال البولي اكريلونتريل يتفكك منصهره والبعض الاخر تكون منصهراتها عالية جدا والتي ترتبط بشكل مباشر مع

الوزن الجزيئي للبوليمر لما لهو من اهمية بالغة في اختيار طريقة التصنيع المناسبة وذلك لارتباطها بلزوجة البوليمر لان لزوجة منصهر البوليمرات تعتمد اعتمادا كبيرا على الوزن الجزيئي للبوليمر وتوزيعه.

معامل السيولة او لزوجة المنصهر Melt index or melt viscosity

معامل السيولة او لزوجة المنصهر هو وصف لسلوك الانسياب لمنصهرات البوليمرات عند درجات حرارية وضغوط محددة فكلما زادت لزوجة المنصهر قل معامل السيولة والعكس صحيح.

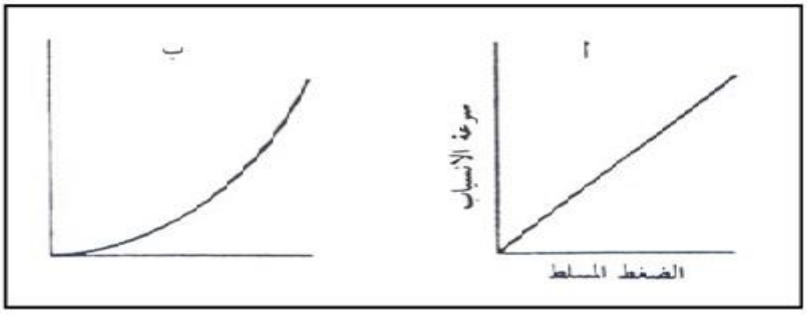
وهو يعتمد على الكثير من العوامل منها الوزن الجزيئي وتوزيعه، درجة التشابك، درجة التفرع

هذه الخاصية مهمة أساسية في تصنيع الكثير من الحاجيات مثل الرقائق (الأفلام) والأنابيب والحاويات والصفائح وغيرها.

هناك علم يتخصص بدراسة الصفات الانسيابية لمنصهرات البوليمرات يدعى علم الانسياب (Rheology)

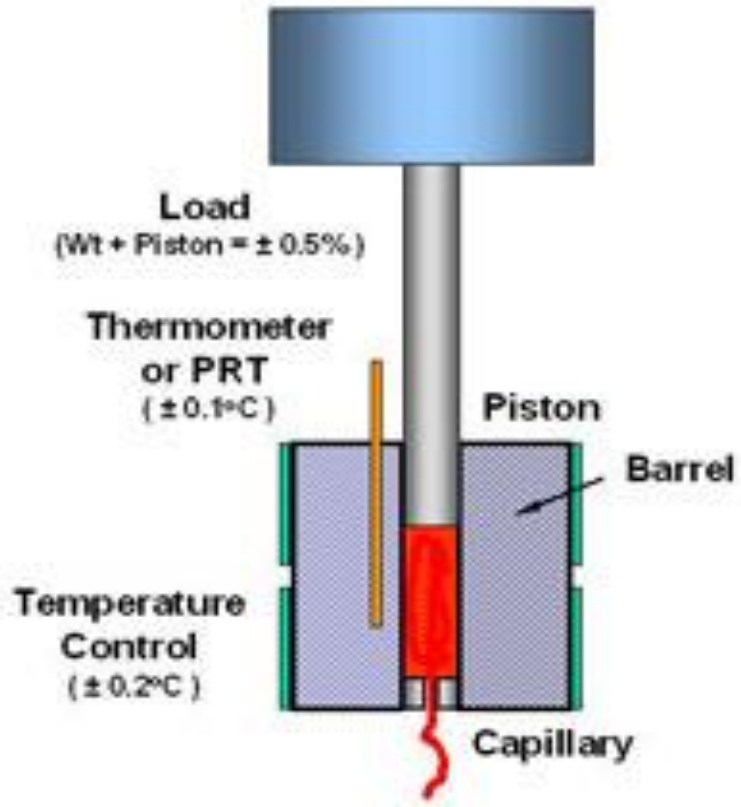
الانسياب لمنصهرات البوليمرات يختلف عن الانسياب في السوائل الاعتيادية الذي يتناسب طردياً مع الضغط المسلط عليه وهذا ما يسمى السلوك النيوتوني Newtonian flow والسوائل تسمى السوائل النيوتونية Newtonain fluid

أما الانسياب بالبوليمرات فتأخذ شكل منحني وتزداد سرعة الانسياب بتعجيل أكثر من الضغط المسلط عليه وهنا سلوك الانسياب يعتمد اعتماد كبير على ظروف التصنيع من ضغط ودرجة الحرارة وهو يختلف من بوليمر الى آخر وحتى يختلف لنفس البوليمر ولكن مختلفين بالوزن الجزيئي او التفرع او غيرها من الاختلافات.



شكل ١: العلاقة بين سرعة الانسياب والضغط المسلط
(أ) سوائل نيوتونية (ب) غير نيوتونية.

يقاس معامل السيولة بواسطة اجهزة خاصة تسمى مقياس معامل السيولة MFI وتتضمن الطريقة قياس كمية منصهر البوليمر التي تخرج من فتحة قياسية تحت تأثير حرارات وضغوط محددة حسب نوع البوليمر وبزمن 10 دقائق (gm/10min).



طرق تصنيع البوليمرات :

1- القولبة بالكبس Compression molding

وهي من الطرق الأساسية في تصنيع الراتنجات المتصلبة حرارياً Thermoset وتستخدم على نطاق ضيق لتصنيع بعض البلاستيكات البسيطة والمطاط.

من الراتنجات التي يتم تصنيعها بهذا النوع من القولبة

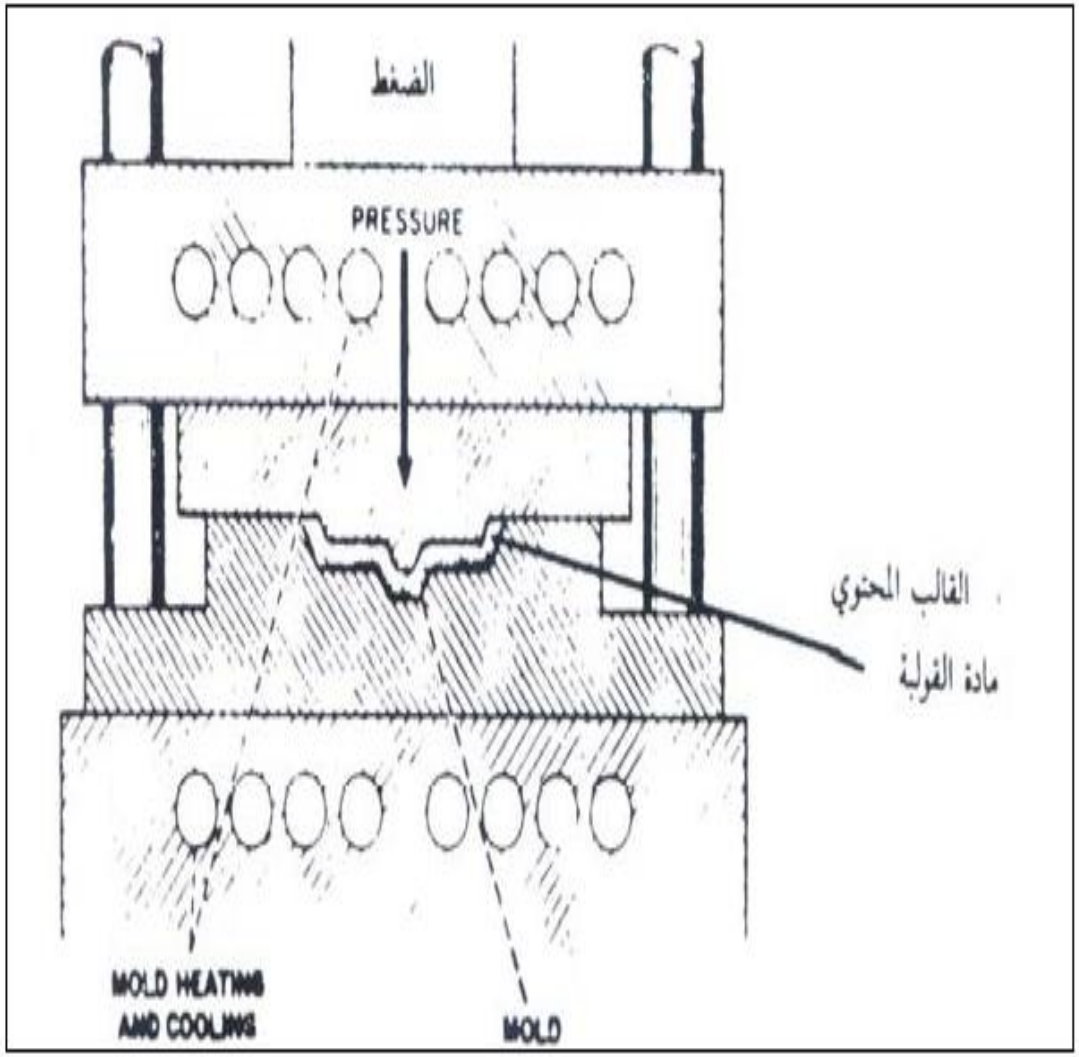
راتنجات الفينول فورمالديهايد, اليوريا فورمالديهايد, الميلامين فورمالديهايد, بعض راتنجات الالكيدات, راتنجات الايبوكسي وبعض بوليمرات السليكون.

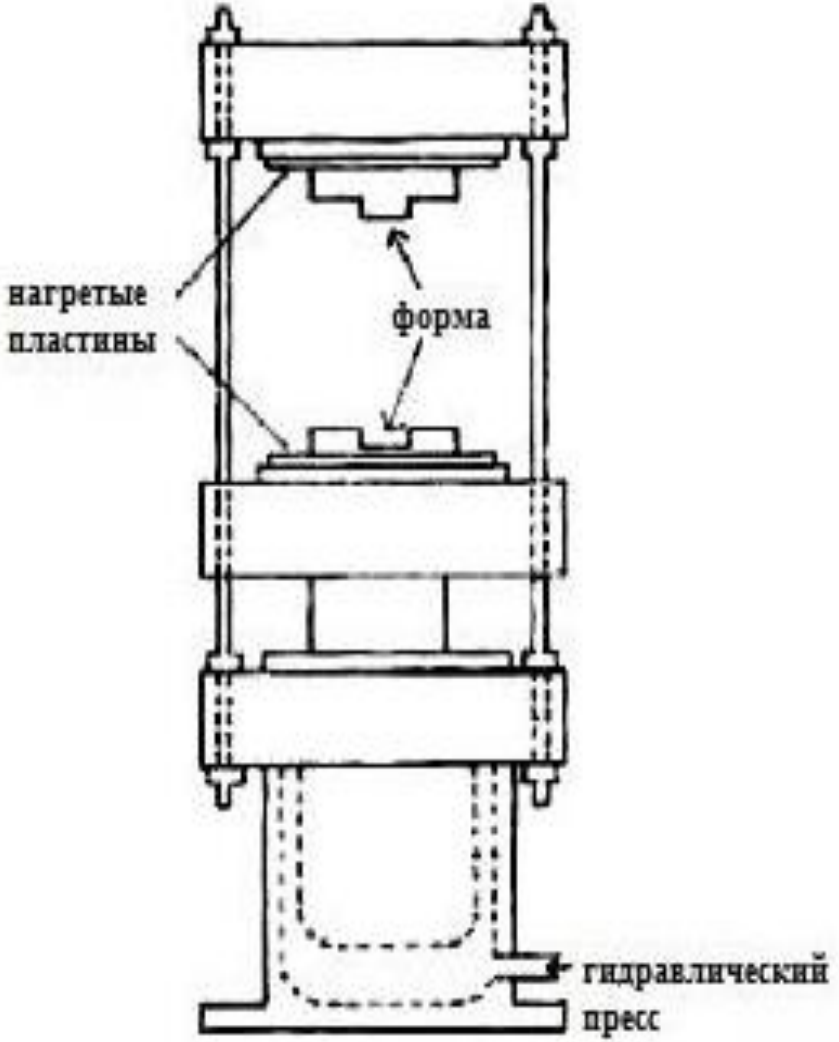
المعدات المستخدمة:

قالب يتكون من جزئين ومعدات تسخين القالب ومعدات ضغط

طريقة التصنيع:

يوضع مسحوق البوليمر في الجزء السفلي من القالب ويسخن الى ان يصبح ليناً ليتخذ شكل القالب بعدها يطبق عليه الجزء العلوي الساخن من القالب ويبقى تحت تأثير ضغط يبلغ حوالي 10 كغم/سم^2 لفترة من الزمن يعتمد على نوع البوليمر وطبيعة التفاعلات التشابكية او تفاعلات التقسية.





شكل ٢: مخطط للتصنيع بواسطة القولبة بالكبس

متطلبات التصنيع بالقولبة بالكبس :

هناك خمسة عناصر رئيسية في العملية التصنيعية وهي:

أ- **تصميم الحاجة المصنعة:** عند تصميم الحاجة التي يجري تصنيعها بواسطة القولبة بالكبس يجب التمعن في طبيعة الراتنجات المستخدمة في التصنيع وقوة المادة عند تقسيتها. ويجب أن تكون الحاجة ذات سمك مناسب وخالية من الزوايا الحادة وبسيطة الشكل. يجب أن تكون الحاجة المصنوعة قوية لكي يسمح بإخراجها من القالب دون أن تنكسر أو تتشوه.

ب- **اختيار المادة:** يجب بذل العناية الفائقة في اختيار الراتنجات المناسبة للتصنيع بهذه الطريقة، فإن للراتنجات المختلفة خواص انسيابية متباينة، وتحتاج إلى أوقات محددة للتقسية (Curing times) عند درجات حرارية مختلفة، ذات مواصفات ميكانيكية وكيميائية وكهربائية مناسبة لطبيعة استخدام الحاجة المصنوعة.

ج- **تصميم القالب:** بالرغم من أن الشكل العام للقالب يتبع شكل الحاجة المراد تصنيعها إلا أن هنالك عدد آخر من العوامل التي تؤثر على تصميم القالب وبنائه، وهي:

١- يجب أن يكون القالب قوياً ومتيناً يتحمل الضغط المسلط عليه عند درجة حرارة القولبة.

٢- يجب أن يحتوي القالب على نتوءات خاصة متحركة تسهل إخراج الحاجة من القالب.

٣- يجب أن تكون السطوح الداخلية للقالب ملساء لتسهيل عملية إخراج الحاجة من القالب ويجب أن يكون مقاوماً للتعرية (Erosion) نتيجة للاستخدام المتواصل.

٤- يجب أن يكون القالب مصمماً بحيث يمكن تسخينه وتبريده بشكل متجانس.

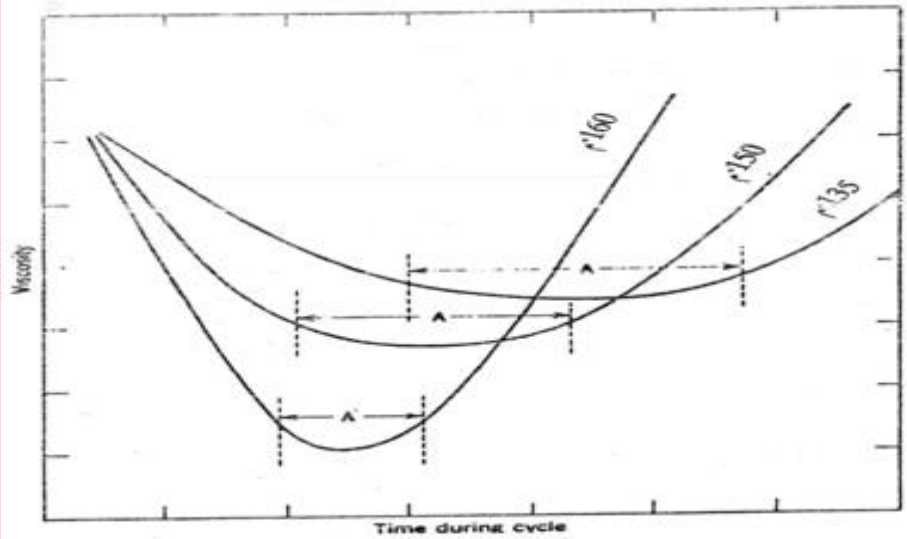
د- **مكائن التصنيع:** هنالك أنواع متعددة من مكائن التصنيع. فمنها السريعة ومنها البطيئة ومنها الكبيرة ومنها الصغيرة، والآلية واليدوية. وإن اختيار النوع المناسب من مكائن التصنيع مهم جداً ويعتمد على طبيعة الراتنج وعلى حجم الحاجة المراد تصنيعها.

ه- **المشغل:** نظراً لحدوث بعض التفاعلات الكيميائية أثناء عملية تصنيع بعض الراتنجات بهذه الطريقة ولتعدد المتغيرات التي يجب السيطرة عليها مثل درجة الحرارة وزمن التقسية والضغط اللازم لذلك يجب أن يكون المشغل ذو ممارسة جيدة ومتمرن على هذه العلميات.

العوامل المؤثرة على القولبة بالكبس

أ- مواد القولبة

الخاصية المهمة لكل المواد هو تغير صفات اللزوجة-الزمن فمعظم مواد القولبة تكون حبيبات او مساحيق تتحول الى سوائل عند تعرضها للحرارة وتقل لزوجتها مع استمرار التسخين تبدأ تفاعلات التشابك وتبدأ اللزوجة بالارتفاع ثانية الى أن تتصلب المادة



تغير لزوجة البوليمر مع الزمن أثناء عملية التصنيع لبعض الراتنجات المتصلبة حرارياً واسطة القولبة بالكبس عند درجات حرارية مختلفة (114)، حيث أن A يمثل أقل زمن و لزوجة طارئ تجويف القالب عند الدرجات الحرارية المبينة

من المنحنيات يلاحظ:

1- هناك درجة حرارة مناسبة وزمن مناسب للقولبة واكتمال حالة التصلب

صلب ⟵ سائل ⟵ صلب

2- تنخفض لزوجة المادة عند زمن معين من التسخين وتبقى اللزوجة واطئة لفترة زمنية محددة (يجب استغلالها لتسليط ضغط على المنصهر لينتشر الى جميع اجزاء القالب ضمن هذه الفترة الزمنية)

3- الزيادة بدرجة الحرارة خفضت اللزوجة (أي يمكن الانسياب تحت ضغط واطئ) بنفس الوقت درجة الحرارة العالية لا تسمح لجميع اجزاء المادة لبلوغ اللزوجة الواطئة في نفس الحقبة الزمنية بسبب التشابك.

ب- درجة الحرارة

أن لدرجة الحرارة تأثير كبير جدا على الراتنجات المتصلبة حرارياً والتي تعاني من تفاعلات تشابكية عند مدى حراري معين

درجات الحرارة العالية تسبب تصلبها قبل ان تملئ جميع اجزاء القالب وبالمقابل الدرجات الحرارية الواطئة تحتاج لفترة زمنية اطول لاكمال التقسية، لذلك هناك لكل نوع من البوليمرات وحرارة مثلى يمكن الاعتماد عليها عند التصنيع.

عادة التسخين بهذه النوع من القولبة يتم كهربائياً او بواسطة البخار اوامرار سوائل مسخنة في شبكة انابيب موجودة بتركيب القالب.

ج- الزمن

ترافق تفاعلات التشابك عادةً تحرر غازات ولكي لا تؤثر هذه الغازات على نوعية الحاجة المصنعة يجب ابقائها تحت الضغط لحين اكتمال تفاعلات التقسية او التشابك

طول زمن التقسية هو احدى نقاط الضعف في هذه الطريقة ولتقليل الزمن تسخن المواد البوليمرية مسبقاً قبل ادخالها القالب باستخدام عدة طرق منها مثلاً المصابيح الاشعة تحت الحمراء او بواسطة الهواء او تسخينها بافران كهربائية خاصة لهذا الغرض

عندما يكون زمن التقسية قصيراً أي اخراج المادة المصنوعة قبل الفترة الزمنية المحددة لها فان هذه الغازات المحصورة داخل المادة تخرج منها تاركة عيوب بالحاجة على شكل انتفاخ او تمزق.

تم تطوير هذه الطريقة وذلك بفتح القالب لفترة زمنية محددة تسمى:

زمن التنفيس Breath time وهو زمن فتح قالب الكبس للتخلص من الغازات المضغوطة ثم اعادة اغلاقه قبل اكتمال تفاعلات التشابك. وبالتالي تقليل زمن التشابك او التقسية التي تحدث بسرعة أكبر في حالة غياب الغازات المتحررة والتي تكون بحالة توازن مع البوليمر المتشابك.

د- الضغط

استخدام الضغط لهذا النوع من القولبة مهم لسببين:

الأول- ضمان ملئ جميع تجاويف القالب بالبوليمر وبالتالي تمنع جميع الغازات الموجودة من تكوين فقاعات أي إن جميع أجزاء الحاجة المصنوعة متجانسة.

الثاني- زيادة الضغط تسبب زيادة سرعة التسخين لان زيادة الضغط تزيد من قابلية التوصيل الحراري للقالب. من جانب آخر الزيادة المفرطة بالضغط قد تسبب بتشوه أجزاء القالب.

مساوئ ومزايا القولبة بالكبس:

يمكن تلخيص **المزايا** بالنقاط التالية:

1- تحتاج الطريقة الى معدات بسيطة ورخيصة الثمن مقارنةً مع الطرق الاخرى
2- النماذج المصنعة تكون خالية من اي توتر ولذلك تفضل في تحضير نماذج الفحوصات المختبرية.

اما **المساوئ** التي تحد من استخدام تصنيع البوليمرات بهذه الطريقة:

أ- الطاقة الانتاجية للتصنيع بهذه الطريقة واطئة نسبياً مقارنة بالطرق الاخرى للتصنيع والسبب يعود الى الفترة الزمنية الطويلة للكرة الواحدة (cycle).

ب- يجب ان تكون السيطرة على التصنيع دقيقة ومضبوطة لتجنب تكون الفقاعات الهوائية على النموذج نتيجة عدم كفاية الضغط المسلط او عدم الاحتفاظ بالضغط عند التبريد.

ج- التكاليف الاقتصادية التي تحتاجها العملية من معدات تسخين وتبريد وضغط.

2- القولبة بالحقن Injection molding

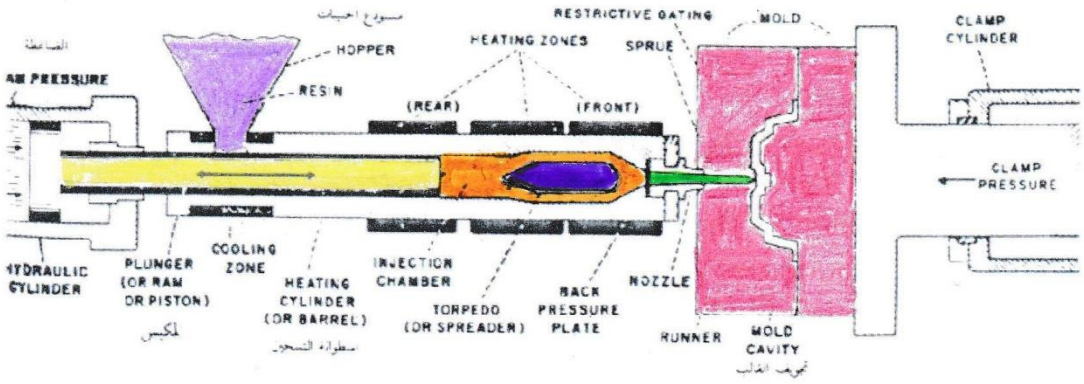
في هذه الطريقة يصهر البوليمر ثم يحقن المنصهر اللزج داخل قالب بارد نسبياً ذا تجويف يمثل الحاجة المراد تصنيعها فيبرد المنصهر اخذاً شكل القالب ويتصلب.

تتميز هذه الطريقة بالسرعة والدقة التصنيعية العالية الا انها تحتاج الى معدات معقدة نسبياً مقارنةً بالقولبة بالكبس لان العملية تتم بشكل الي ودوري تبتدئ بانطباق جزئي القالب على بعضهما ثم يقوم المكبس او الحلزون بدفع منصهر البوليمر تحت ضغط عالي الى القالب عبر مجرى ضيق يسمى Runner يتبعها فتح جزيء للقالب ويرمى الجزء المصنوع للخارج وتدعى هذه الفترة الزمنية بزمن دورة الحقن Inection cycle time التي تتراوح بين 10-30 ثانية وحسب الحاجة المراد تصنيعها وحسب وزنها بين عدة غرامات الى عدة كيلوغرامات.

تصنع بهذه الطريقة العديد من الحاجيات مثل هيكل الثلاجة الداخلي او هيكل التلفزيون الخارجي او الراديو وغيرها.

هذا النوع من القولبة يكون على نوعين حسب المعدات المستخدمة:

1- القولبة بالحقن المكبسية Plunger injection molding



تتألف المعدات من خزان Hopper لحبيبات البوليمر التي تنزل على شكل وجبات Batches محددة مسبقاً اما على شكل وزن او على اساس حجم اسطوانة التسخين Heating chamber

تبدأ دورة الحقن باندفاع المكبس للامام دافعاً البوليمر الى داخل اسطوانة التسخين التي تحتوي على طوربيد Torpedo الذي يساعد على مزج وتجانس منصهر البوليمر واثناء مرور المنصهر بين الطوربيد واسطوانة التسخين تصهر حرارته مقاربه الى درجة حرارة الاسطوانة.

عندما يصل المنصهر الى فوهة الحقن Nozzle يكون قد بلغ اللزوجة المناسبة للتصنيع.

2- القولبة بالحقن الحلزونية Spiral injection molding

في هذه الطريقة يستخدم تركيب حلزوني بدل المكبس. يقوم هذا الحلزون بالضغط ومزج للبوليمر فيندفع المنصهر تدريجياً للإمام.

ان تصميم التركيب الحلزوني مهم جداً حيث يعتمد على عمق النتوءات للحلزون فكلما كانت بارزة تزيد من كمية البوليمر المنتقلة او المتحولة الى المنصهر وتقلل من سرعة التسخين.

مقارنة بين طرق القولبة بالحقن (المكبسية والحلزونية):

الطريقة المكبسية :

1- يحصل تبذير كبير في الضغط المسلط على المكبس المتحرك بالاسطوانة فقد وجد بان الضغط المستغل فعلياً هو اربعة اخماس الضغط المسلط والسبب يعود الى الاحتكاك الهائل بين حبيبات البوليمر الصلبة والتي تنحصر بين الاسطوانة والمكبس. النقصان بالضغط يزيد من الزمن داخل الاسطوانة.

2- عملية التسخين تتم من خلال اسطوانة التسخين أي من الخارج الى الداخل بالاعتماد على التوصيل الحراري الرديء أصلا للبوليمرات مما قد يتسبب بتفكك البوليمر أو الأجزاء القريبة من سطح الاسطوانة التي يكون فيها البوليمر بشكل كتلة كبيرة. يمكن اختيار درجات حرارة معتدلة للتخلص منها الا انه يكون على حساب زمن وسرعة التصنيع.

3- وسيلة المزج هي الطوربيد الذي يقوم بتوزيع المنصهر حوله فيكون المزج غير جيد مقارنة بالطريقة الحلزونية.

إضافة إلى ذلك تمتاز الطريقة المكبسية بمجموعة من الميزات:

1- رخص المعدات المستخدمة مقارنةً بالطريقة الحلزونية
2- ملائمة لتصنيع الحاجيات الصغيرة الحجم والتي يقل وزنها عن كيلوغرام
3- مفضلة لتصنيع البوليمرات التي تحتاج الى فترة زمنية طيلة للتصلب.

الطريقة الحلزونية:

1- ضغط الحقن اعلى بكثير من الطريقة المكبسية.
2- عملية تسخين وصهر البوليمر تعتمد على حرارة الاسطوانة المعتدلة والحرارة الناتجة عن الاحتكاك بسبب حركة الحلزون. ومما يعجل من سرعة التسخين بهذه الطريقة هو وجود البوليمر على هيئة طبقة رقيقة محصورة بين التركيب الحلزوني واسطوانة التسخين.
3- عملية المزج تعتمد على الحلزون الذي يمزج البوليمر جيداً مما يؤدي الى تجانس البوليمر.

إضافة إلى ذلك تمتاز الطريقة الحلزونية بمجموعة من الميزات:

1- سرعة الحقن عالية نسبياً وبزمن اقصر نسبياً
2- الطاقة التصنيعية تفوق الأخرى بحوالي 50%
3- الطريقة الحلزونية مفضلة للحاجيات التي يفوق وزنها 2 كيلوغرام
4- تكون عملية المزج وخاصة مع الألوان أكثر تجانساً من الطريقة المكبسية
5- للمواد المصنوعة خواص فيزيائية أفضل
6- طريقة الاستخدام والسيطرة عليها تكون أسهل مما في الطريقة المكبسية رغم كلفة وتعقيد المعدات المستخدمة
7- ظاهرة الانكماش أو التقلص Shrinkage في المواد المصنوعة بهذه الطريقة اقل من الطريقة المكبسية لكون درجة الحرارة المستخدمة في التصنيع أوطأ.
8- ملائمة للبوليمرات التي تحتاج إلى كمية حرارة اكبر من الحرارة للتصنيع مثلاً HDPE , PP تحتاج لحرارة تصنيعية أعلى من LDPE

التطورات فى عملية القولبة بالحقن:

لأهمية الطريقة ولتقليل العيوب فيها أدخلت عدة تحويرات من شأنها تطوير الطريقة ومن هذه التحويرات هي إدخال مرحلة التليين المسبق Preplasticisation في معدات التصنيع حيث يتم تجزئة العملية التصنيعية إلى وحدتين وحدة تليين وصهر البوليمر والأخرى لحقن منصهر البوليمر.

على الرغم من إن إضافة وحدة التليين تزيد من تعقيد المعدات وتزيد الكلفة إلا إن إدخال هذه المرحلة او وحدة التليين المسبق والتي قد تكون بوضع مائل او موازي او متعامد مع الوحدة الثانية, لها أهمية كبيرة من الناحية التصنيعية منها:

1- تختصر زمن القولبة من خلال تقليل زمن الحقن مع امكانية زيادة زمن التسخين وزيادة المساحة السطحية المعرضة للتسخين.
2- منصهر البوليمر يكون اكثر تجانساً ويكون عند درجات حرارية معتدلة مما يقلل من احتمالية تفككه, وتكون الحاجيات المصنعة بهذه الطريقة ذات جودة عالية

القوالب المستخدمة فى هذا النوع من القولبة:

تكون من المعادن والسبائك المكلفة نسبيا لما تمتاز بها سطوح داخلية ملساء وقادرة على تحمل الضغوط العالية ويجب ان تكون مجهزة بتراكيب خاصة تسهل من دفع الحاجة المصنعة للخارج بعد اكمال تصنيعها.

فوهة الحقن Nozzles :

وهي تمثل وحدة الاتصال بين المنصهر وبين المجرى المؤدي الى تجويف القالب وعادة ما تصنع من سبائك النحاس والبريليوم او الفولاذ التي لها قابلية تحمل للضغوط العالية وتمتاز بكتلتها الكبيرة القادرة على المحافظة على حرارة المنصهر وتمنع تصلبه.

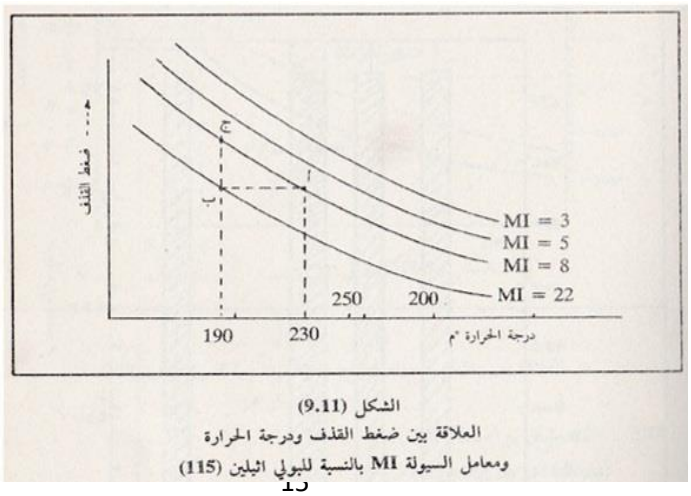
العمليات التكميلية للقولبة بالحقن:

1- **تجفيف حبيبات البوليمر**: تمتاز بعض البوليمرات مثل النايلونات والمشتقات السليلوزية والبولي كاربونات بقابيلة امتصاص الرطوبة والتي تسبب مشاكل تصنيعية مثل تكوين الفجوات او الفقاعات او غيرها.
2- **المزج**: وهي خطوة مهمة يجب اجرائها قبل ادخال المادة عملية التصنيع حيث يمزج البوليمر مع جميع المضافات مثل الملدنات والمثبتات والمالئات وغيرها.
3- **اعادة طحن البوليمر**: وهي تجري للمخلفات الناتجة من عملية التصنيع حيث تطحن على شكل مسحوق ويضاف مع الحبيبات الجديدة لاعادة تصنيعها.
4- **عمليات اخرى**: مثل اعمال الصيانة واستخدام المزيتات مثل زيت السليكون ومسحوق ستيرات الخارصين وغيرها.

العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة في عملية القولبة بالحقن:

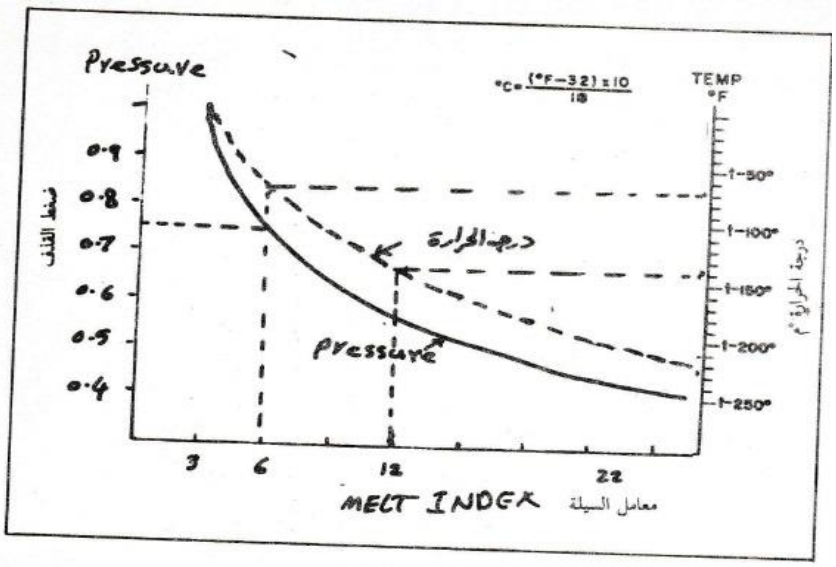
ان لدرجة الحرارة تأثير كبير على لزوجة منصهر البوليمر أي على معامل السيولة بزيادة الحرارة تقل لزوجة المنصهر وتزداد سيولته وبالنتيجة يتغير الضغط اللازم لعملية التصنيع من جانب آخر الإفراط في التسخين قد يؤدي الى تفكك البوليمر والتصنيع بدرجات حرارة منخفضة تتطلب ضغوط عالية بسبب لزوجة المنصهر العالية.

البولي اثيلين ذو MI=8 الضغط اللازم لتصنيعه النقطة (أ) عند 230 C والتي تكفي لتصنيع PE له MI=22 عند حرارة أوطأ 190 C (نقطة ب) غير إن لزوجة المنصهر تزداد أي نقصان MI عند نفس الحرارات تحتاج إلى ضغوط عالية (ج).



الشكل (9.11)
العلاقة بين ضغط القذف ودرجة الحرارة
ومعامل السيولة MI بالنسبة للبولي اثيلين (115)

وهناك علاقة بين الضغط اللازم لتصنيع البوليمر بالحقن ومعامل السيولة



الشكل (11.11)
العلاقة بين معامل السيولة وضغط القذف بالنسبة للبولي اثيلين (99)

3- القولبة بواسطة البثق Processing by extrusion

تتضمن هذه الطريقة من التصنيع صهر حبيبات البوليمر وتحويلها إلى منصهر متجانس بواسطة المزج والتسخين ثم ضخ المنصهر عبر فوهه التشكيل (Die) مكوناً تراكيب ذات أشكال منتظمة ومستمرة مثل الصفائح البلاستيكية, الأنابيب, أعمدة بلاستيكية, لأغراض الطلاء (الأنسجة, الورق, الأسلاك الكهربائية, القابلوات).

معدات الباثقة:

- ✓ مستودع حبيبات البوليمرHopper الذي يزود الباثقة بالحبيبات.
- ✓ التركيب الحلزوني Screw الذي يتحرك دورانياً داخل اسطوانة التسخين الذي يقوم بمزج وتجانس البوليمر ودفع منصهر البوليمر إلى مقدمة الباثقة. ويكون مقسم إلى ثلاثة مناطق رئيسية وهي ***منطقة التغذية*** Feed region ***ومنطقة الانضغاط*** Compression region والتي تقوم بتخليص منصهر البوليمر من الفقاعات الهوائية الموجودة فيه والتي على نوعية

الإنتاج , وفي هذه المنطقة قد يتأكسد المنصهر بسبب ارتفاع درجات الحرارة نتيجة التلامس والاحتكاك بين المنصهر واسطوانة التسخين في هذه المنطقة, ***ومنطقة القياس*** Metering region التي تتأثر بشكل كبير بتصميم الحلزون من جانب عمق النتوءات التي تزيد من درجة الحرارة وتزيد من كفاءة مزجه وتجانسه وتقوم بدفعة إلى فوهة التشكيل.

- ✓ المصفاة Screen التي تقوم بترشيح المنصهر من الأجسام الصلبة الموجودة فيه والتي تؤثر على نوعية الإنتاج.
- ✓ فوهة التشكيل Die تقوم بشكيل البوليمر على شكل صفائح أو أنابيب اوغيرها

من الأمور الأساسية في هذه الطريقة هو الحفاظ على منصهر البوليمر يسير بسرعة ثابتة ومنتظمة عبر فوهة التشكيل وبالتالي الحصول على الحاجة المصنوعة بشكل منتظم وتجانس ويتم ذلك من خلال:

- السيطرة الدقيقة على درجة حرارة الاسطوانة والتي تزداد حرارتها تدريجياً باتجاه فوهة التشكيل (بعض الأحيان يحصل انسداد في المنطقة المقابلة لمستودع التجهيز لكون هذه المنطقة اقل حرارة).

-إضافة وحدة أخرى للباثقة تسمى صمام الضغط Pressure valve تلي المصفاة Screen أهميتها السيطرة على الضغط المسلط على المنصهر.

- تصميم فوهة التشكيل بشكل يحافظ على المنصهر في درجة حرارة ثابتة وتسمح بخروج المنصهر بسرعة وأبعاد ثابتة مقاربة للحاجة المراد تصنيعها.

لقد طورت في بداية الستينات **طريقة البثق المزدوج Co-extrusion** بواسطتها يمكن بثق نوعين او اكثر من البوليمرات من فوهه واحدة ويمكن الاستفادة منها لاغراض الطلاء للاسلاك والقابلوات والاقمشة وايضاً يمكن تصنيع صفائح او انابيب من طبقتين مزدوجتين داخلية وخارجية مختلفة من

حيث النوعية والكلفة وحتى الخواص الميكانيكية والفيزيائية حسب متطلبات الحاجة المراد تصنيعها.

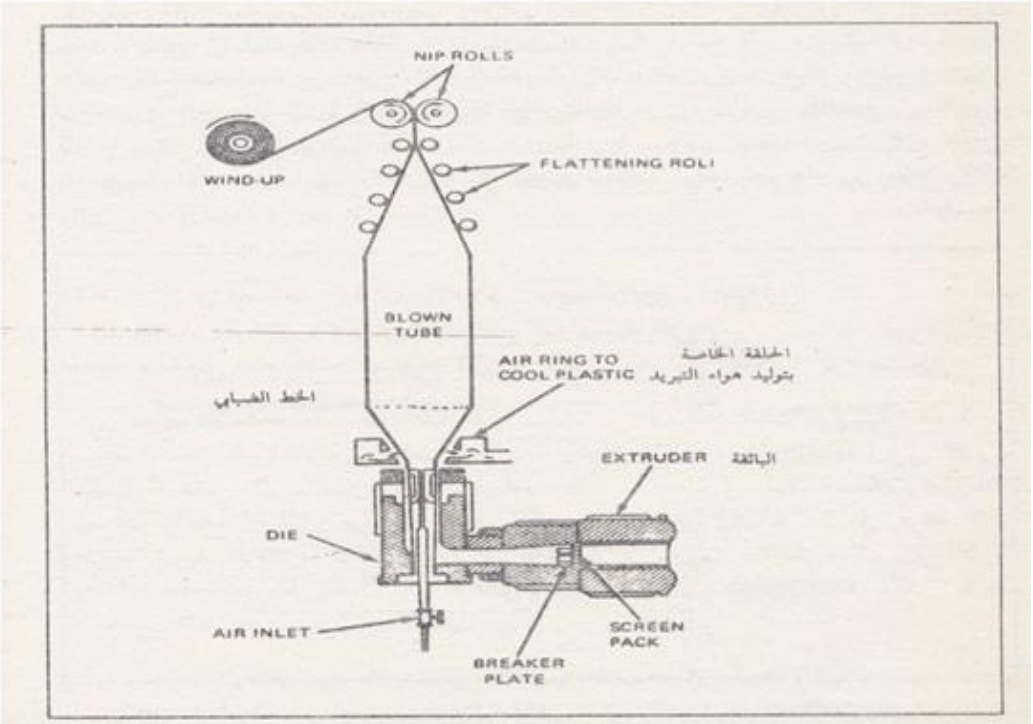
1-3- طريقة البثق لصناعة الرقائق (الأفلام) Film extrusion:

يقصد بالأفلام هي الصفائح البوليمرية التي يقل سمكها عن اقل من ربع مليمتر حيث يتراوح سمكها بين 0.001-0.01 cm

ولهذا النوع من الصفائح يستخدم العديد من البوليمرات مثل LDPE, HDPE, PP, PVC, polyamide, polyester. وهناك طريقتان لصناعة الأفلام:

أ- طريقة المنطاد أو الأنابيب المنفوخة:

تمتاز الرقائق المصنعة بهذه الطريقة بان السلاسل البوليمرية فيها تكون موجهه بالاتجاه الموازي والعمودي وهذا ما يزيد من قوة الرقائق وتزيد من تجانسها في جميع الاتجاهات.



الشكل (14.11)
مخطط يمثل مقطعاً للمراحل الانتاجية للرقائق (99)

طريقة البثق تجري بنفس الطرقة السابقة ألا أن فوهة التشكيل Die تكون على شكل حلقة Ring يتم بثق منصهر البوليمر على شكل أنبوب سميك ويبقى في الحالة المنصهرة , تغلق بداية الأنبوب ثم ينفخ من طرف واحد باستخدام هواء ساخن مكوناً تركيب منطادي ويجري تبريد المنطاد باستخدام تركيب حلقي بالأسفل بعدها يمر على سكين حادة من كل جانب مكونة طبقة الرقائق المتجانسة. سمك الرقائق الناتجة تعتمد على نسبة السحب Drew ratio فعندما يراد إنتاج رقائق أكثر سمكاً تقلل من نسبة السحب (اي تقلل من نسبة الهواء المضغوط داخل المنطاد) إضافة إلى اعتمادها على ضغط الهواء ودرجة حرارة المنصهر وسرعة التبريد.

الخط الضبابي frost line: هو المدى الذي يبلغ عنده المنطاد قطره النهائي وهو يمثل الخط الذي يبدأ المنطاد عنده بالظهور باللون الضبابي وذلك لانخفاض درجة الحرارة دون درجة تليين البوليمر وارتفاعه عن فوهة التشكيل او البثق مهم جداً من الناحية التصنيعية للسيطرة على التوجيه الجزيئي وهو يحدد الكثير من الخواص الفيزيائية والميكانيكية للرقائق. ويتأثر بعدة عوامل:

1- سرعة البثق : بزيادة سرعة البثق يزداد ارتفاع الخط الضبابي الذي يفسح وقت أكثر للرقائق لكي تتصلب مما يزيد من نعومة سطح وشفافية ولمعان الرقائق من جانب آخر ارتفاع الخط الضبابي أعلى من الحد المطلوب يسبب زيادة تلاصقية الأفلام بعضها البعض الآخر عند طيها .
2- سرعة ارتفاع المنطاد إلى الأعلى
3- حجم الهواء المستغل في تبريد المنطاد حيث يقل ارتفاع الخط الضبابي بزيادة كمية الهواء الموجه للمنطاد.

من العوامل المهمة الأخرى المؤثرة هي **نسبة الانتفاخ** Blow-up ratio حيث وجد إن الخواص الضوئية مثل الشفافية واللمعانية تتحسن بزيادة نسبة الانتفاخ

كما إن لهذه النسبة تأثير طردي على الخواص الميكانيكية مثل قوة الشد والاستطالة والذي يعود إلى زيادة التوجيه الجزيئي.

ب-**صناعة الرقائق المسطحة بواسطة البثق:**

في هذه الطريقة تكون فوهة التشكيل أو البثق على شكل حرف T وتكون الرقائق المصنوعة بهذه الطريقة قوية فقط باتجاه محور التصنيع وضعيفة بالاتجاه الآخر والذي يعود إلى توجيه السلاسل البوليمرية التي تكون فقط باتجاه محور التوجيه فقط.

هناك طرق أخرى لتصنيع رقائق بعض البوليمرات منها:

✓ **بثق الرقائق ذات الاسطوانات المبردة** Chill roll film extrusion

بهذه الطريقة يتم إمرار منصهر رقائق البوليمر خلال اسطوانتين مبردتين بالماء تدوران بعكس الاتجاه وتمتاز بعدة مزايا:

أ- للرقائق الناتجة خواص ضوئية محسنة مثل الشفافية واللمعانية.
ب- ذات طاقة تصنيعية عالية نسبياً
ج- للبوليمر الناتج خواص ميكانيكية جيدة

من العوامل المؤثرة على هذه الطريقة من التصنيع هي:

أ- درجة حرارة المنصهر المبثوق: فقد وجد إن الخواص الضوئية للرقائق تتحسن بارتفاع درجة الحرارة
ب- المسافة بين فوهة البثق والمزدوج الأول لاسطوانات التبريد: فقد وجد إن لهذه المسافة تأثير ملحوظ على الخواص الضوئية للرقائق.
ج- درجة حرارة اسطوانات التبريد: فقد وجد إن انخفاض درجة حرارة اسطوانات التبريد تحسن الصفات الضوئية للرقائق وتقلل من قوة الوهن

Yield strength وقوة التمزق Tear strength وتزيد من قوة التصادم Impact strength.

د- معامل السيولة: فقد وجد إن زيادة معامل السيولة للمنصهر يحسن الخواص الضوئية للرقائق المصنوعة.

✓ **بثق الرقائق في وسط سائل** Film extrusion in tanks

بهذه الطريقة يمرر منصهر البوليمر عبر شق يمرر خلال وسط سائل لتبريدها بعدها تمرر بين سطوح اسطوانية مزدوجة تدور باتجاه معاكس لتجفيفها.

2-3- صناعة الصفائح البوليمرية بواسطة البثق Polymeric sheet extrusion

هذه الطريقة مفضلة لإنتاج الصفائح القليلة السمك (الأكثر سمكاً تنتج بالقولبة بالكبس) ولهذه الصفائح تطبيقات متعددة في مجالات الحياة المختلفة كالبيوت الزجاجية ولإغراض البناء وصناعة السيارات

الباثقة المستخدمة بهذه الطريقة لا تختلف عن الباثقات السابقة عدى شكل فوهة البثق او التشكيل حيث يمكن استخدام باثقة الصفائح المسطحة عدا ان هنا الفوهة تكون كبيرة ويمكن استبدالها حسب الطلب ويكون كبر الفوهة اكبر من سمك الصفائح بحدود 10%

تكون وحدة الاستقبال في هذا النوع من التصنيع تتألف من ثلاثة تراكيب اسطوانية موضوعة عمودياً بعضها مطلي بالكروم والتي يكون التباعد منها اكبر من سمك الصفائح المطلوبة والنوع الآخر مطلي بالمطاط ويكون التباعد بينها اقل من سمك الصفائح المطلوبة

وظيفة هذه الاسطوانات هي للتبريد (يجري الماء بدخلها) وضبط سمك الصفائح وتزيد من نعومة سطوح الصفائح وعملية التبريد هذه لها تأثير كبير على عملية التصنيع فاذا كانت عملية التبريد غير كافية تتموج الصفائح الناتجة بالاتجاه الافقي

اما اذا كانت الصفائح باردة جداً فأن الصفائح تتموج بأتجاه التصنيع وبالنتيجة تنتج سطوح منقرة.

3-3- صناعة الانابيب بواسطة البثق Pipe extrusion

وهنا تكون فوهة البثق او التشكيل على شكل حلقي وتكون ابعاد الباثقات المستخدمة بحدود 1:20 نسبة الطول الى القطر للحصول على طاقة إنتاجية عالية

تحصل عملية التبريد داخل احواض طولية (12-3 متر) تحوي على الماء حيث تمرر الأنابيب خلال الماء باستخدام عجلات لحين تصلب السطح الخارجي للأنبوب بعدها تدخل وحدة السحب لغرض تحديد الابعاد من حيث القطر الخارجي والداخلي باستخدام معدات سحب خاصة.

3-4- الطلاء بواسطة البثق Coating by extrusion

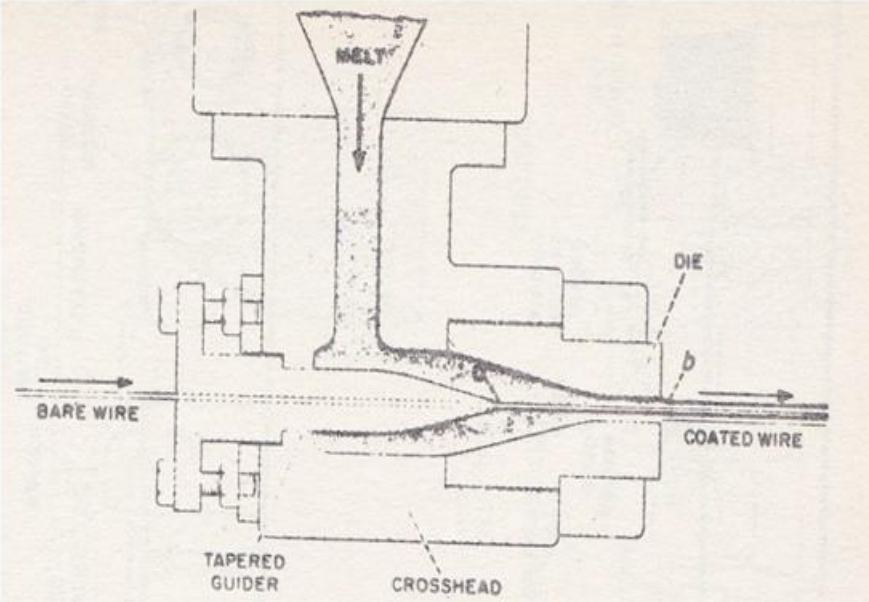
يقصد بالطلاء تغطية سطح ما بطبقة رقيقة من منصهر البوليمر بسمك حوالي جزء من المليمتر وتستخدم هذه الطريقة لطلاء العديد من الأغراض مثل الأقمشة , الأسلاك والقابلوات, الورق المقاوم للماء والرطوبة والمناسب لعمل الأكياس او لتجليد الكتب

تتم العملية من خلال إمرار السطح المراد طلائه بمنصهر البوليمر الذي ينبثق من فوهة على شكل حرف T بين اسطوانتين متحركتين ومتعاكستين فيرتبط السطحين مع بعضهما البعض بسبب قوة الضغط المسلط على الاسطوانتين.

وهناك عوامل عديدة تؤثر على جودة هذا النوع من الطلائات منها ما يتعلق بدرجة الحرارة او تبريد المنصهر او الضغط المسلط

اما بالنسبة لطلاء او تغليف الاسلاك والقابلوات فهي تختلف عن الطريقة السابقة حيث يتعرض السلك قبل طلائه الى تسخين مقاربة لحرارة المنصهر لتسهيل عملية التلاصق وذلك لان السلك الساخن يقلل من سرعة تبريد منصهر البوليمر وبذلك

يقلل من ظاهرة الانكماش Shrinkage التي تحدث عادة عند التبريد المفاجئ للمنصهر. كما ان عملية تسخين السلك المسبق تساعد على تنظيفه والتخلص من الرطوبة ومواد التشحيم التي قد يكون السلك ملوثاً بها.



(ج) مقطع يوضح تركيب فوهة البثق الخاصة باكساء الأسلاك والقابلوات (99)

الشكل (19.11)

مخطط يمثل المراحل المتبعة في اكساء الأسلاك والقابلوات بواسطة البثق (114)

اما بالنسبة لتغليف القابلوات Cables فتختلف بعض النواحي عن طلاء الاسلاك حيث يتم تغليفها بطبقة رقيقة من الالمنيوم او الفولاذ بعدها يتم تلحيم هذا الغلاف قبل دخوله فوهة التشكيل وعند خروجه تغطى بطبقة من منصهر البوليمر حيث يتم تبريده وفحصه بمعدات خاصة.

تغليف القابلوات تحتاج الى بوليمرات خاصة لها مواصفات مقاومة للظروف البيئية مثل تأثير الحرارة والاوكسجين والاشعة فوق البنفسجية وغير ذلك. فقد توضع تحت الارض او معرضة للشمس او داخل مجرى مائي.

4- القولبة بالنفخ Blow molding

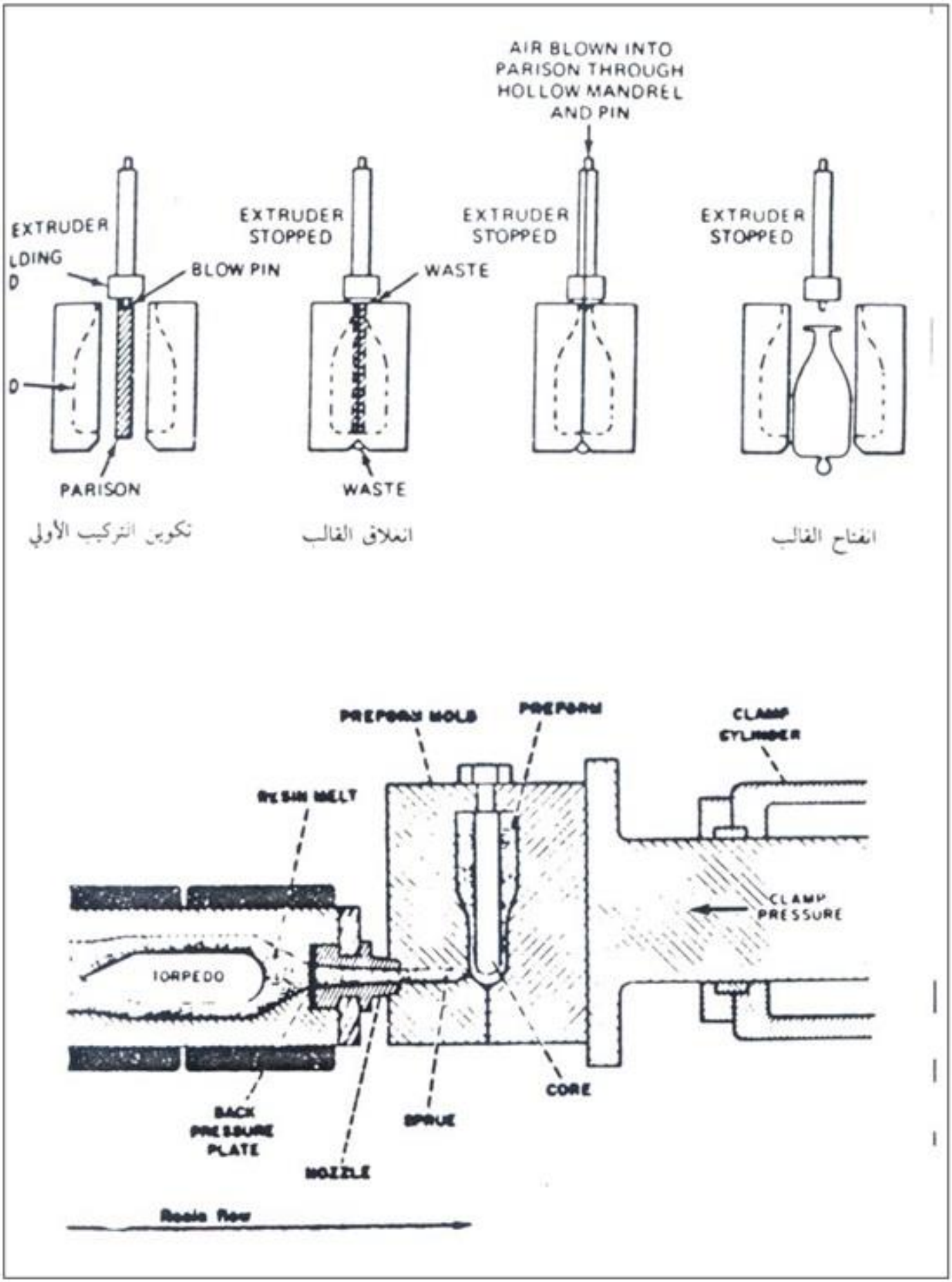
تستخدم هذه الطريقة مع البوليمرات التي يمكن نفخ منصهراتها مثل الزجاج وتستخدم لإنتاج الحاجيات المجوفة مثل قناني الماء والحاويات ولعب الأطفال وبعض الحاجات البيتية الأخرى وتتم عملية التصنيع على ثلاثة مراحل:

1- صهر البوليمر أو تليينه
2- تكوين التشكيل الأولي والذي يسمى Perform or Parison في القالب وهو عبارة عن تركيب أنبوبي يجري تكوينه بواسطة الحقن أو البثق.
3- نفخ التشكيل الأولي ليأخذ شكل القالب

وهناك نوعين من الطرق تستعمل لبثق منصهر البوليمر الأولى تسمى القولبة بالنفخ الحقنية Injection blow molding والثانية تسمى القولبة بالنفخ البثقية Extrusion blow molding

القولبة بالنفخ البثقية Extrusion Blow Molding	القولبة بالنفخ الحقنية Injection Blow Molding
طاقة التصنيع أعلى نسبياً وخاصة للحاجيات الصغيرة والمتوسطة الحجم.	الحاجيات المصنوعة لا تحتاج إلى تهذيب أو صقل والسيطرة على سمك وأبعاد الحاجة المصنوعة يكون أدق نسبياً.
عملية الإنتاج سريعة ومستمرة.	
تحتاج إلى قالب واحد بسيط نسبياً لكل قطعة.	يمكن بهذه الطريقة تصنيع حاجيات عديمة التناظر.
تكاليف المعدات أقل.	
يمكن تصنيع الحاجيات الكبيرة الحجم.	إن هذه الطريقة أقل تبذيراً لمنصهر البوليمر لذلك فهي لا تحتاج إلى وحدة إعادة طحن مخلفات البوليمر.
الحاجيات المصنوعة بهذه الطريقة تكون قليلة التوتر.	يكون للحاجيات المصنعة بعض الخصائص المرغوبة مثل اللمعان .
انتشار المواد الملونة يكون أحسن	

ينزل المنصهر بين نصفي القالب ثم يغلق القالب على التشكيل الأولي بعدها يتم نفخه ليأخذ شكل القالب بعد فترة من الزمن يبرد منصهر البوليمر بعد أخذه شكل القالب المطلوب. يفتح نصفي القالب وتؤخذ الحاجة المصنوعة.


AIR BLOWN INTO
PARISON THROUGH
HOLLOW MANDREL
AND PIN
EXTRUDER
LDING
D
BLOW PIN
D
PARISON
EXTRUDER
STOPPED
WASTE
WASTE
EXTRUDER
STOPPED
EXTRUDER
STOPPED
تكوين التركيب الأولي
انغلاق القالب
انفتاح القالب
CLAMP
CYLINDER
CLAMP
PRESSURE
TORPEDO
CORE
SPRUE
NOZZLE
Resin flow

إن الغاية الأساسية للقولبة بالنفخ هو صناعة نواتج ذات مواصفات جيدة بسرعة عالية وبتكاليف اقل باستعمال معدات بسيطة للتصنيع.

هناك عوامل رئيسية في هذا النوع من القولبة قسم منها متعلق **بالخصائص التصنيعية والتشغيلية** مثل الخواص الانسيابية , درجة حرارة القالب, زمن الدورة الواحدة, سرعة التبريد

والأخرى متعلقة **بخواص الحاجة المصنوعة** بهذه الطريقة مثل الصلادة ومرونة الحاجة المصنعة, نوع البوليمر ومواصفاته الضوئية مثل اللمعان, تجانس السمك ومدى الانكماش الحاصل بسبب التبريد المفاجئ.

القوالب المستخدمة هنا تكون من النوع الرخيص ولا تحتاج إلى تحمل قوة كبيرة مثل سبائك الالمنيوم أو الخارصين وتجب إن تجهز بمنظمة تبريد مبنية ضمن تركيب القالب.

أدخلت العديد من التحويرات على هذه الطريقة ولعل من أهمها تقليل زمن دورة التصنيع Cycle time أيضا أدخلت فكرة القوالب المتعددة الفجوات Multy cavity molds حيث يتم بثق التشكيل الأولي Parison في عدد من تجاويف القوالب في آن واحد قد تكون هذه القوالب بشكل ثابت أو متحرك حول فوهة الحقن أو البثق.

5- التصنيع بواسطة القولبة الدورانية Processing by rotational molding

وهي من اهم الطرق المستخدمة لتصنيع البولي اوليفينات ويمكن من خلالها تصنيع حاجيات الحجم بكلفة اقل وكل مل تحتاجه هذه الطريقة هو معدات تسخين مثل الافران ومعدات لتدوير القالب ومحتوياته Mold spindles وقوالب بسيطة مصنوعة من مواد رخيصة.

تتضمن الطريقة وضع مسحوق البوليمر في تجويف القالب وهو في حالة تسخين مع تدوير القالب بالاتجاه العمودي والأفقي ليأخذ منصهر البوليمر شكل القالب (الساخن) ويبرد وهو بحالة الدوران. يكون القالب بشكل نصفين يسهل فتحه وإخراج المادة المصنعة.

تمتاز هذه الطريقة من التصنيع بعدة ميزات:

أ- امكانية استخدام مسحوق البوليمر بدلا من حبيبات البوليمر. في ذلك ربح كثير لعدم تحويل البوليمر الى حبيبات.

ب-البوليمر ينصهر بنفس القالب وبالتالي لايحتاج الى معدات خارجية لتسخين او صهر البوليمر قبل تحويله الى القالب.

ج- في هذه الطريقة تستخدم معدات رخيصة الثمن وقوالب بسيطة لانها لا تحتاج الى تحمل ضغوط عالية او قوالب مجهزة بمعدات تبريد

د- لا ترافق هذه الطريقة اية مخلفات بوليمرية

ه-الحاجيات المصنعة بهذه الطريقة تكون خالية من اي تعكر.

و-يمكن بهذه الطريقة انتاج حاجيات مزدوجة الجدران.

6- التصنيع بواسطة التشكيل الحراري تحت الضغط المخلخل:

Processing by thermal and vacuum forming

تتسم هذه الطريقة بالسهولة وبساطة المعدات اللازمة للتصنيع وهي مناسبة لصناعة بعض الحاجيات مثل بطانة الثلاجات ومعدات التغليف والحفظ ولإنتاج الصحون البلاستيكية ذات الاستعمال الواحد أو كؤوس الألبان والمثلجات وغيرها.

تحتاج هذه الطريقة إلى معدات التسخين الشعاعي Radient heaters ومعدات للضغط المخلخل.

تتلخص الطريقة بوضع صفائح البوليمر (المحضرة مسبقاً بطرق أخرى) تحت المسخن الشعاعي الى ان يبلغ درجة التليين عندها يسلط ضغط مخلخل على الصفيحة البوليمرية فتأخذ شكل القالب المطلوب بعدها يبرد القالب وتستخرج الحاجة المصنعة ويجب السيطرة على عملية التسخين والضغط المخلخل.

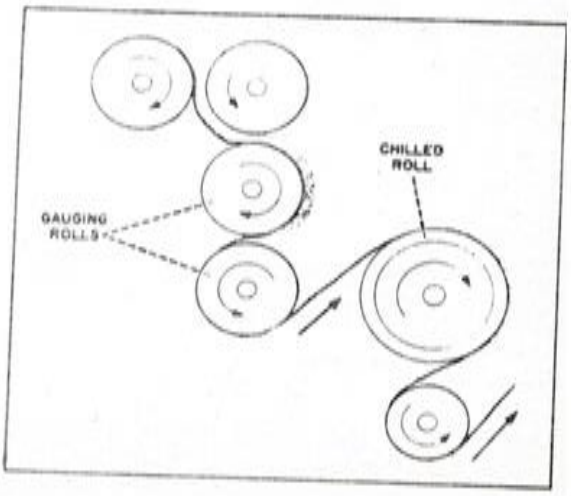
ولهذه الطريقة عدة مساوئ منها:

1- التبذير في البوليمر نتيجة عد الاستفادة من الصفائح بأكملها
2- تحضر الصفائح المستخدمة في هذا النوع من التصنيع بطرق تصنيع أخرى مما يزيد من الكلفة.
3- النماذج المصنعة تحتاج إلى صقل وتهذيب.
4- صعوبة الحصول على سطوح ملساء ولماعة.

7- التصنيع بواسطة الصقل:

تستخدم هذه الطريقة في بعض الأحيان بدلاً من طريقة البثق لإنتاج الصفائح وتستخدم بكثرة في صناعة المطاط.

تتلخص الطريقة بوضع أو ضغط حبيبات البوليمر بين عدة مزدوجات اسطوانية ساخنة تتحرك باتجاه معاكس حيث يبدأ البوليمر بالتليين تدريجياً متحولاً إلى صفائح ذات سمك محدد. بعدها تمرر الصفائح على سطوح تراكيب اسطوانية مبردة لتبريدها فبذلك تتصلب وتقطع حسب الطلب.



الشكل (25.11)
خطط يمثل المعدات المستخدمة لتكوين الصفائح بواسطة الصقل
(114) Calendering