



هندسة البلاستيك



القسم : التصميم الميكانيكي

السنة : الخامسة



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

هندسة البلاستيك

الدكتور المهندس

معتز جاويش

أستاذ في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

١٤٢٨ - ١٤٢٩ هـ

٢٠٠٧ - ٢٠٠٨ م

جامعة دمشق



الصفحة	المحتوى
٩	مقدمة
١١	الباب الأول :
١٣	الفصل الأول: أهمية المواد البلاستيكية وتطورها
٢٥	الفصل الثاني: تصنيف المواد البلاستيكية
٣١	الفصل الثالث : الخواص الكيميائية للمواد البلاستيكية
٣٩	الفصل الرابع: الخواص الفيزيائية للمواد البلاستيكية
٥٥	الباب الثاني:
٥٧	الفصل الأول: السلوك الريولوجي للمواد البلاستيكية وطرق التصميم باستخدام منحنيات التشوه.
٥٧	١-مقدمة عامة
٦٠	٢-السلوك الريولوجي للمواد البلاستيكية والنماذج الريولوجية.
٧٤	٣- مبدأ التراكيب
٨٣	٤-تأثير درجة الحرارة في سلوك المواد البلاستيكية
٨٧	٥-طرق تصميم البلاستيك باستخدام منحنيات التشوه
٨٩	٦- أمثلة محلولة
١٠٣	الفصل الثاني: الاحتكاك الداخلي أو القدرة على التخميد
١٣٧	الباب الثالث: الطرق الرئيسية لتصنيع البلاستيك
١٣٩	مقدمة
١٤٣	الفصل الأول: القولبة بالحقن
١٨٣	الفصل الثاني: القولبة بالبتق

٢٢٩	الفصل الثالث: التشكيل الحراري
٢٥٩	الفصل الرابع : الصب والتضمين - اللحام والإصاق
٢٧٣	الفصل الخامس : تصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) بالضغط والتحويل والحقن ومواصفات الآلات المستخدمة.
٣٠٧	الفصل السادس: الصقل
٣١٧	الفصل السابع: القوالب الرغوية
٣٣٩	الفصل الثامن: القوالب بالنفخ
٣٥٩	الباب الرابع : الدراسة التحليلية لجريان البوليمير المصهور
٣٦١	مقدمة
٣٦١	١- السلوك العام للبوليمير المصهور.
٣٦٥	٢- الجريان الإيزوترمي للسوائل النيوتونية
٣٧٠	٣- الجريان الإيزوترمي في القنوات للسوائل اللانيوتونية
٣٧٥	٤- الجريان الأيزوثيرمال في الأقنية المتغيرة المقطع
٣٨٢	٥- السلوك المرن لمصهور البوليمير
٣٨٧	٦- زمن الإقامة والاسترخاء
٣٩٣	مسائل الدراسة التحليلية لجريان البوليمير (محولة)
٤١٣	الباب الخامس : البلاستيكية المسلح :
٤١٥	١- مقدمة
٤١٧	٢- مواد التسليح وأنواعها
٤٢١	٣- المواد البلاستيكية المستخدمة لإنتاج البلاستيك المسلح
٤٢٣	٤- مساوي البلاستيك المسلح
٤٢٣	٥- مزايا البلاستيك المسلح
٤٢٤	٦- القوالب المستخدمة في صناعة البلاستيك المسلح

٤٢٤	٧- ميكانيزم التسليح
٤٣٨	٨- طرق تصنيع البلاستيك المسلح
٤٦٠	٩- تطبيقات الفاير كلاس
٤٦٥	١٠- بعض عيوب الناتجة عن إنتاج البلاستيك المسلح GRP
٤٦٧	١١- تطبيق عملي مخبري
٤٧٥	الباب السادس : القوالب
٤٧٧	١- قوالب تصنيع البلاستيك الحراري (Tp) بالحقن
٤٨٤	٢- قوالب تصنيع البلاستيك الحراري بالتشكيل (Tp)
٤٨٦	٣- قوالب تصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts)
٥١٦	٤- القواعد العامة المتبعة لتصنيع القوالب
٥١٩	الباب السابع :
٥٢١	الفصل الأول : اختبارات المواد البلاستيكية
٥٤٧	الفصل الثاني: المواد الإضافية
٥٦٥	الفصل الثالث : معلومات عامة :
٥٦٦	الجزء الأول: التأثيرات البيئية وإعادة تدوير المواد البلاستيكية
٥٧٨	الجزء الثاني: الجديد في المواد البلاستيكية
٥٩١	الباب الثامن :
٥٩٣	الفصل الأول: العوائل البلاستيكية - جداول وخواص
٦٧٥	الفصل الثاني: مصطلحات علمية
٦٧٥	المصطلحات
٧٠٧	المراجع



المقدمة :

وأنا أسجل هذه المقدمة أشعر بالسعادة والغبطة والفخر وأنا أرى في مكتبتي العديد من الكتب التي تتناول المواد البلاستيكية وتقنياتها والتي أستعين بها أحياناً وعليها أسماء مهندسين لامعين كان لي شرف الإشراف على خطواتهم الأولى في هذا المجال في الجامعة.

أعد هذا الكتاب ليغطي منهاج مقرر هندسة البلاستيك للسنة الخامسة - هندسة التصميم الميكانيكي في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق. وأتمنى أن يكون مرجعاً متواضعاً لكل من يهيمه الأمر.

لقد أصبحت هندسة البلاستيك تمثل علماً قائماً بذاته بين العلوم الأخرى، كما أنه يمثل صناعة عملاقة دخلت كل مجالات الحياة، حيث أخذ بالتطور والنمو وبسرعة مذهلة. فظهرت أنواع وتركيب جديدة لمواد أعطت نتائج مذهلة في حقول الصناعة كافة، كما تطورت أساليب وتقنية تصنيعه. ونظراً لحدائث هذا العلم نسبياً (انطلاقته الفعلية بعد الحرب العالمية الثانية) فإن مصطلحاته ورموزه قد تتغير من مرجع إلى آخر وهذا أمر طبيعي يجب ملاحظته.

إن ما يهم المهندس وبصورة خاصة مهندس الميكانيك أو طالب الهندسة ليس شق طريقه في هذا المجال هو معرفة عامة بالمواد البلاستيكية ومواصفاتها وسلوكها وطرق تصنيفها والتقنيات المستخدمة لذلك. وهذا ما أدرجناه في هذا الكتاب الجامعي، وكما هو ملاحظ لا يخوض في التفاصيل الكيميائية وتعقيدها إلا بالقدر اللازم والكافي وإنما يركز على التفاصيل العامة والتطبيقات الواسعة التي تهتم المهندس.

يحتوي هذا الكتاب على ثمانية أبواب خصصنا الأول منها لبيان أهمية المواد البلاستيكية وتصنيفها وموجز عن بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية لها. يتضمن الباب الثاني دراسة في الخواص الميكانيكية للمواد البلاستيكية من خلال فصلين الأول عن السلوك الريولوجي لهذه المواد وطرق التصميم باستخدام منحنيات التشوه، والثاني عن الاحتكاك الداخلي وقياسه ومخططات تزودنا بالمجالات الحرارية لإمكانية التصنيع وتغير معامل الصلابة (Gp) لهذه المجالات.

يتضمن الباب الثالث الطرق الرئيسية لتصنيع المواد البلاستيكية من خلال ثمانية فصول: الحقن، والبيثق، والتشكيل الحراري، السكب والتضمين واللحام والإصاق، والضغط والتحويل والحقن للمواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (Ts)، الصقل، القولية الرغوية، النفخ. لقد بينا لكل طريقة مبدأ القولية المتبع والتطبيقات مع الآلات المستخدمة ومواصفاتها ما أمكن.

أما الباب الرابع فهو دراسة تحليلية لجريان البوليمير المصهور وقد زودناه بالعديد من الأمثلة التطبيقية المحلولة. في حين أن الباب الخامس فهو شرح لمبادئ مواد تسليح البلاستيك والطرق التكنولوجية المتبعة في الإنتاج. يتضمن الباب السادس دراسة مختصرة عن قولبة التشكيل الحراري بصورة عامة لإنتاج المواد البلاستيكية وهو من الأبحاث الهامة التي يحتاجها المهندس في مجالات متعددة.

يحتوي الباب السابع عدة مواضيع هامة هي محور الدراسات والأبحاث في الوقت الحاضر وقد وجدنا من الضروري مناقشتها ولو بشكل موجز لوضع المهندس المهتم بصورة ما هو حديث وهام وهي: اختبارات المواد البلاستيكية - المواد الإضافية - المخلفات البلاستيكية وإعادة تدويرها وتأثير المواد البلاستيكية على البيئة والصحة العامة وأخيراً كل ما هو جديد ويتعلق بالمواد البلاستيكية وتثبت أن البحوث والدراسات على قدم وساق وتقدم كل يوم ما هو جديد.

وأخيراً خصصنا الباب الثامن والمتضمن لفصلين: الأول لدراسة العوائل البلاستيكية الأساسية مع جداول المواد الموافقة لهذه العائلات. أما الفصل الثاني فهو مخصص للمصطلحات العلمية المتعلقة بعلم هندسة البلاستيك.

لا بد من التنويه أن كل هذه المواضيع يحتاج إلى كتاب خاص به، وجمعها أو إدراجها في كتاب واحد أمر في غاية الصعوبة. التوسع هنا والاختصار هناك كان أمراً لا بد منه.

نأمل أن نكون قد وفقنا ولو جزئياً لما سعيينا له، كما نأمل أن يحمل لنا المستقبل الكثير من التحسين والتطور والاهتمام في هذا المجال على أيدي أبنائنا المهندسين بكافة الاختصاصات. والله ولي التوفيق.

المؤلف

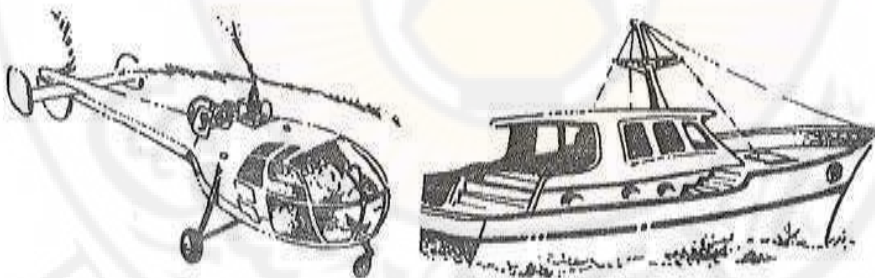
الباب الأول

١- الفصل الأول : أهمية المواد البلاستيكية وتطورها.

٣- الفصل الثاني : تصنيف المواد البلاستيكية.

٣- الفصل الثالث : الخواص الكيميائية للمواد البلاستيكية.

٤- الفصل الرابع : الخواص الفيزيائية للمواد البلاستيكية.





الفصل الأول

أهمية المواد البلاستيكية وتطورها.

قبل البدء بالحديث عن المواد البلاستيكية لننأمل الدراسة العلمية التي قام بها معهد البحث العلمي Stanford بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٦٧ حول تطور استخدام المواد البلاستيكية في المستقبل ولقد كانت النتائج باختصار على النحو التالي:

- عام ١٩٧٠ الإنتاج العالمي سيكون أكثر من ٢٧/ مليون طن (في الحقيقة أن الإنتاج العالمي تعدى ٣١/ مليون طن).
- عام ١٩٧٥ الإنتاج العالمي سيكون أكثر من ٣٨/ مليون طن (في الحقيقة أن الإنتاج العالمي تعدى ٤٥/ مليون طن).
- عام ١٩٨٠ الإنتاج العالمي سيكون أكثر من ٨٠/ مليون طن (في الحقيقة أن الإنتاج العالمي تعدى هذا الرقم بكثير رغم الهبوط الذي أصاب إنتاج المواد البلاستيكية بسبب تعاظم مشكلة البترول عالمياً بالإضافة لارتفاع أسعاره).
- عام ١٩٨٥ يتوقع أن تتقارب الأرقام بين إنتاج المواد البلاستيكية والفولاذ (هنا تجدر الإشارة إلى أن بعض الإحصائيات الحالية تدل على أن استهلاك المواد البلاستيكية في الوقت الحاضر تجاوز استهلاك الفولاذ - حجماً -).
- عام ٢٠٠٠ المواد الاصطناعية (بلاستيك + كاوتشوك) ستشكل (80%) (حجماً) من الاستخدامات الكلية مقابل (20%) لأجل جميع المعادن الأخرى مجتمعة (هناك تنبؤ آخر يشير إلى أن إنتاج المواد البلاستيكية عام ٢٠٠٠ سيتجاوز إنتاج الفولاذ وزناً).

البلاستيك مادة تركيبية الصنع يهتم بتحضيرها الكيميائيون الذين يحولوها بطرق البلمرة Polymerisation وبمساعدة الوسائط الكيميائية إلى مركبات على شكل بودرة أو حبيبات أو صفائح أو مواع، وهناك ينتهي دورهم ليأتي دور المهندسين الذين يقوموا بتحويل هذه النواتج إلى منتجات مختلفة وذلك بإيجاد التقنية المتطورة علمياً واقتصادياً. سنتجنب بقدر الإمكان الخوض في علم الكيمياء المتعلق بالمواد البلاستيكية إلا في حدود الضرورة.

مقارنة هذه الأرقام بالواقع الحالي تشير إلى أن هذا التنبؤ كان صحيحاً في بعض الجوانب وأقل من الواقع الحالي في جوانب أخرى.

في الحقيقة أن هذا التطور خرج عن كل وصف وتعبير وتنبؤ فقد أصبح الأمر بعيداً عن التطور الذي يجري اليوم، والاطلاع على الفصل الثالث من الباب السابع من هذا الكتاب يؤكد ذلك. وهذا التطور دفع بالكثير من جامعات (وخاصة الفروع التي تهتم بالكيمياء والهندسة التقنية) إضافة إلى المؤسسات العلمية والتجارية والصناعية ومراكز البحوث إلى الاهتمام الجاد بدراسة هذه المواد وخواصها والقيام بالأبحاث العلمية لتطور استخدامها وتصنيعها على أفضل سبيل. ويؤسفنا القول إن الغرب احتكر هذه الصناعة لاقتصاديتها المتناهية رغم الارتفاع المضطرب بأسعار موادها الأولية (البترول ومشتقاته) والجدول التالي يلقي بعض الضوء على أماكن تركز صناعة وإنتاج المواد البلاستيكية في دول العالم المتقدم بشكل تقريبي.

البلد	الإنتاج %
أوروبا الغربية	36
أميركا الشمالية	33
اليابان	15
أوروبا الشرقية	10
بقية دول العالم	6

هذا ما يؤكد علينا الحاجة الماسة للسير في هذا الطريق وتقديم بعض المعلومات المتعلقة بالمواد البلاستيكية لمهندسينا - بناء الوطن - بوصفها خطوة أولى حتى لا يجدوا أنفسهم أقل من غيرهم، ومن ثم التطوير والبحث فغيرنا ليس منا.

لماذا المواد البلاستيكية؟

إن ميزات المواد البلاستيكية جعلتها تزيح المواد الأخرى المختلفة عن كثير من مجالات الاستخدام وتحل محلها، فهي مواد خفيفة الوزن، سهلة التصنيع، قليلة الهدر الصناعي، اقتصادياً جداً...، يمكن تحسين أصناف كثير منها (بإضافة بعض المواد الإضافية Adjuvants، وكذلك بإضافة مواد التسليح المختلفة) لتلائم كل الاحتياجات والخواص المطلوبة: فمنها القاسي والمتين ومنها المرن.... إلخ. هذا لا يعني بالتأكيد خلوها من العيوب، إنما مقارنة الميزات مع المساوئ جعل العالم كله يتجه إليها دون تردد، والجدول يبين كل من مزايا وعيوب المواد البلاستيكية.

مزايا وعيوب المواد البلاستيكية	
المزايا	العيوب
١- يجمع بين خصائص متعددة فضلاً عن التفوق في كل خاصية على حدى (مرن، خفيف، قوي، وشفاف في نفس الوقت).	١- صعوبة الإصلاح.
٢- سهولة تصنيعه.	٢- عدم ثبات في درجات الحرارة العالية.
٣- مقاومة الاحتراق (حسب النوع).	٣- عدم ثبات الأبعاد.
٤- عازل كهربائي.	٤- مرتفع التكاليف (لبعض الأنواع).
٥- عازل للحرارة والبرودة.	٥- قابل للفساد (خاصة الريزين السائل).
	٦- رائحة كريهة وغازات سامة.

٦- مجال تلويثه واسع.	٧- تأثيرات سلبية على البيئة في حال الحرق والطمر بباطن الأرض.
٧- مقاومة التآكل والصدأ.	٨- تأثيرات سلبية على الصحة في حال استخدامها في المجالات الغذائية (بعض الأنواع من المواد البلاستيكية).
٨- رخص التكاليف.	٩- لا يمكن إعادة تصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts).
٩- يمكن إعادة تصنيع البلاستيك الحراري (Tp) والاستفادة منه مجدداً. (إعادة التدوير).	١٠- خفة الوزن (وزن نوعي منخفض).
١٠- خفة الوزن (وزن نوعي منخفض).	١١- قليلة الهدر أثناء التصنيع.
١١- قليلة الهدر أثناء التصنيع.	١٢- يمكن تحسين خواصها بإضافة مواد أخرى (الإضافات).
١٢- يمكن تحسين خواصها بإضافة مواد أخرى (الإضافات).	١٣- أغلب المواد البلاستيكية غير ضارة فيزيولوجياً.
١٣- أغلب المواد البلاستيكية غير ضارة فيزيولوجياً.	١٤- القدرة على التحكم بالتركيب الجزيئي وبالتالي بالخواص حسب الحاجة.

لقد أصبح استهلاك الفرد الواحد من المواد البلاستيكية مقياس اقتصادي لدرجة تطور بلد ما مثال:

الاستهلاك السنوي الكلي لبلد ما من المواد البلاستيكية مقسوماً على عدد السكان يعطي الاستهلاك السنوي للفرد الواحد، مثلاً: وفق الدراسات الإحصائية لبلد متطور صناعياً فإن استهلاك الفرد الواحد من المواد البلاستيكية يفوق (200 kg) سنوياً.

الجدول التالي يبين نسبة الزيادة المئوية في العام لإنتاج المواد البلاستيكية بالمقارنة مع بعض المواد الأخرى، نلاحظ أن نسبة زيادة إنتاج المواد البلاستيكية بالنسبة للفولاذ هي خمسة أضعاف تقريباً.

المادة	نسبة الازدياد المئوي لكل عام
الفولاذ Steel	3-5 %
الألمنيوم Al	5-10 %
كاوتشوك Rubber	10 %
بلاستيك Plastic	15 - 16 %

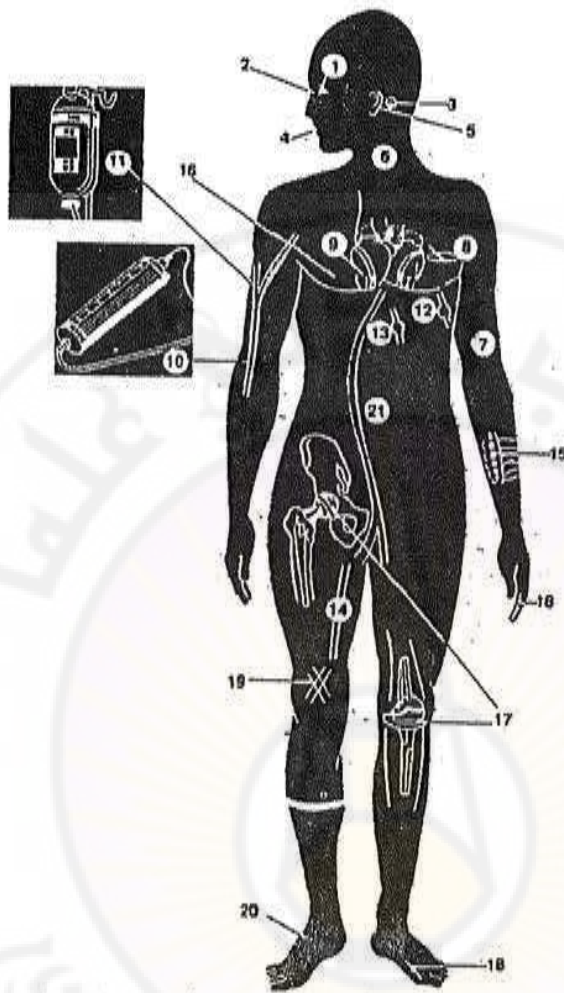
ماذا يعني هذا؟

لا نجد ما نجيب به إلا أننا أمام مستقبل جديد بكل معنى الكلمة. قد يتساءل أحدنا أن المواد البلاستيكية مرتبطة بصورة عامة بالبترول وهذا مصيره غير معلوم، هنا لابد من الإشارة إلى أن إنتاج المواد البلاستيكية في العالم كافة لم يستهلك أكثر من (4%) من الاستهلاك العالمي للبترول، بالإضافة لذلك فهناك اتجاه لخفض استهلاك المواد الأولية وذلك بالتوسع باستخدام مواد التسليح المختلفة (التي تعطي في الوقت نفسه خواص ووفقاً للمتطلبات)، إذن ربط مستقبل المواد البلاستيكية بالبترول وتوقعاته غير دقيق، إلا من ناحية ارتفاع الأسعار وهذا بدوره يؤثر بشكل أو بآخر بكل المجالات الإنتاجية وليس بالمواد البلاستيكية فقط.

في أي مجال تستخدم المواد البلاستيكية؟

بالتأكيد لا نبالغ إذا قلنا إنه في معظم المجالات وبنسب متفاوتة أنها ليست فقط آلة حقن صغيرة تنتج قطع استهلاكية متنوعة، أنها تكنولوجيا جديدة بآلاتها وطرقها وقواعدها تساهم وستساهم في الصناعة بكل أشكالها وفي الزراعة وكل جوانب الحياة.

إن حصر الاستخدام غير ممكن إطلاقاً وأكبر شاهد على ذلك جسم الإنسان نفسه، حيث يبين الشكل (1) تطبيقات استخدام المواد البلاستيكية في جسم الإنسان.



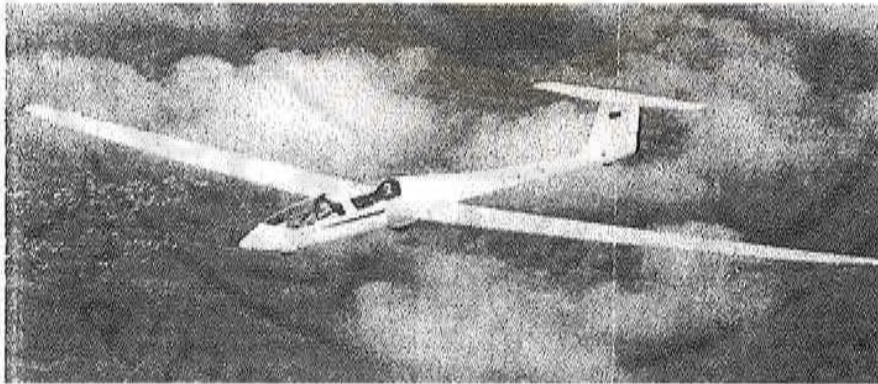
الشكل (1) من تطبيقات البلاستيك في جسم الإنسان

- 1- زرع عدسات العين. 2- العدسة اللاصقة. 3- نظام سمع صناعي. 4- تعويضات الأسنان. 5- جهاز سمع. 6- حنجرة صناعية. 7- جلد صناعي. 8- صمامات القلب. 9- القلب الصناعي. 10- نظام فصل المواد شبه الغروية للكلية. 11- الدم الصناعي. 12- بالون وتيني. 13- قنطرة قلبية. 14- تطعيم أوعية دموية. 15- الخيوط الجراحية. 16- تعويض الثدي. 17- حوض وركب. 18- إبهام وسلاميات. 19- تعويضات الأربطة الممزقة. 20- قدم أو ساق صناعية. 21- ما يستخدم اليوم من مواد في التجميل والتشويه (بدون تعليق).

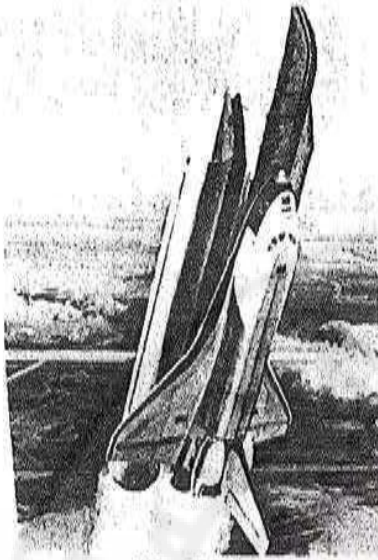
قبل ذكر مجالات الاستخدام للمواد البلاستيكية لابد من الإشارة إلى ملاحظتين:

١- استخدمت المواد البلاستيكية في مجالات دقيقة جداً وحلت الكثير من المشاكل التي كانت تعيق التقدم في بعض المجالات لخواصها المتميزة والقدرة على التحكم، إلى درجة ما، بهذه الخواص.

٢- إن ما سنذكره من استخدامات هو على سبيل المثال لا الحصر، وينطبق هذا كذلك على ما سيرد في هذا الكتاب من تطبيقات مختلفة. في مجال الطيران : تستخدم هذه المواد، خاصة المسلحة منها، في صناعة الكثير من القطع المختلفة لا مجال لتعدادها ولكن يمكن الإشارة إلى أن كتلة المواد البلاستيكية المستخدمة في طائرة للخطوط الجوية تتراوح بين (5-30%) من كتلتها، أما الطائرات المروحية (الغير عسكرية) والخاصة فإن كتلتها تحتوي نسبة عالية جداً من المواد البلاستيكية، في حين أن الطائرات الشراعية فتصنع بشكل كامل تقريباً من المواد البلاستيكية المسلحة.



الشكل (2)



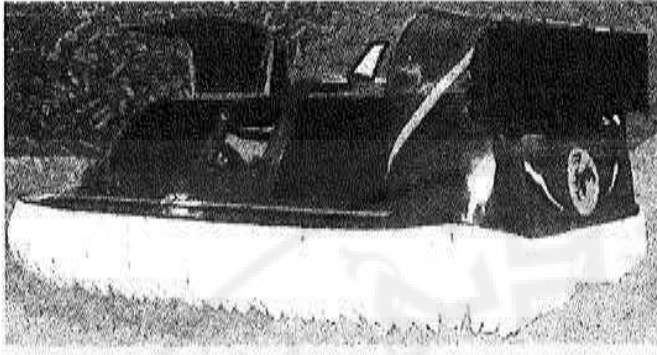
الشكل (3)

في مجال الفضاء: التغليف، العزل الكهربائي والحراري وإكساء بعض النماذج الإلكترونية.. إلخ، كما أن هناك بعض التطبيقات التي لها طابع فضائي خاص (قمره الرواد، المسابر، غلاف القاذف، بالونات الأرصاد الجوية...) ، يضاف لذلك استعمالها لصنع غلاف الصواريخ ومواسير إطلاق الصواريخ والخزانات. سعر المواد المستخدمة لهذا المجال يكون مرتفع جداً ، أما خواصها

فتكون محددة بدقة وتعتمد بصورة أساسية على الإجهاد الذي سيقع على المادة عن الاستعمال.

الاهتمام باستعمال البلاستيك في مجال الطيران والفضاء. وفي المجال العسكري كبير، وهناك العديد من مراكز البحوث المدنية والعسكرية خاصة في الدول المتقدمة صناعياً تقوم بالدراسات والأبحاث المختلفة. وقد تم إيجاد العديد من الأنواع الجديدة من المواد البلاستيكية التي تستخدم لبعض الاستعمالات الخاصة وهي غالية الثمن وغالباً غير معروفة تجارياً ولها من الخواص المميزة والدقيقة ما يناسب استعمالها.

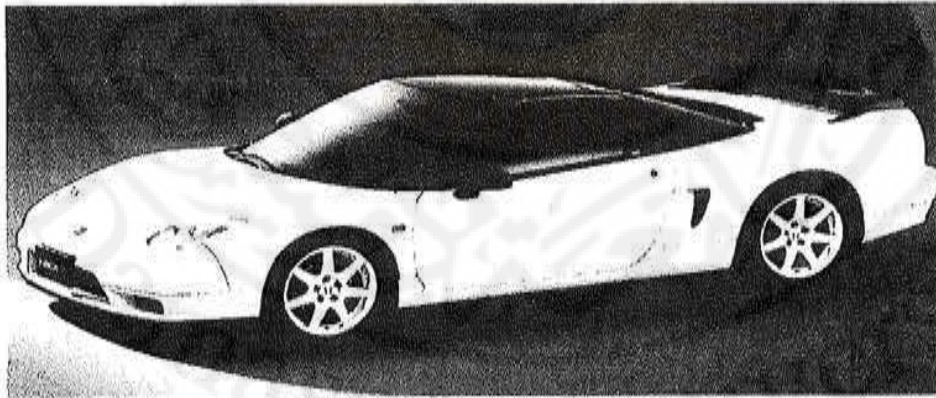
في المجال البحري: تستخدم المواد البلاستيكية المسلحة على نحو واسع جداً في صناعة القوارب الصغيرة والشخصية، والمراكب الصغيرة والمتوسطة الحجم واليخوت وفي الطوافات البرمائية كما بالشكل (4). كما تساهم هذه المواد بنسب عالية جداً في البواخر السياحية بالدرجة الأولى وكذلك التجارية.



نشاهد كذلك على
شواطئ البحار وضاف
الأنهر زوارق الألعاب
المائية بأشكالها وتقنيات
مختلفة وكلها مصنعة
من مواد البلاستيك
المسلح.

شكل (4)

تصنع كذلك من البلاستيك المسلح المسابح على نحو كامل مع الأرضيات
والسقوف الثابتة والمتحركة.
في المجال البري (النقل): لا يحتاج الأمر لكثير من الجهد والعناء لملاحظة
أن هياكل السيارات الصغيرة الحديثة وسيارات السباق مصنوعة من
البلاستيك المسلح (الفايبر كلاس)، بالإضافة إلى الاستخدامات الداخلية من
فرش وتابلو وبللور وخزان وقود وقطع كثيرة قد يصل وزنها لأكثر من
(150 kg) من المواد البلاستيكية.



شكل (5)

ويجب أن ننسى دور المواد البلاستيكية في القطارات وعربات النقل التابعة لها، هياكل عربات المترو السريعة وكذلك الكرافانات والشاحنات الكبيرة والصغيرة والصهاريج، وكلها تحتاج للعزل الحراري لحفظ المنتجات التي تنقلها.

في مجال البناء: ويمكن أن تشكل (8-18%) من الإنتاج الكلي للمواد البلاستيكية ومعظمها على شكل بروفيلات صفائحية مختلفة (شفافة ببعض الأحيان) للغطاية والوقاية والعزل، نوافذ، أبواب، بلاط، مطابخ، شاليهات، بيوت سكن بلاستيكية، أنابيب ماء بارد وساخن، أنابيب صرف صحي. في المجالات العامة: تستخدم المواد البلاستيكية في كل المجالات تقريباً نذكر منها:

- في المجال الزراعي: نسبة الاستخدام في المجال الزراعي ازدادت مؤخراً بشكل كبير بسبب انتشار استخدام البيوت البلاستيكية الزراعية بعد ثبات نجاحها، وكذلك مخازن المحاصيل البلاستيكية العادية والمطمورة. وكذلك الصناديق بأشكال وأنواع مختلفة لتعبئة المحاصيل وتسويقها.
- الأنابيب والتغليف والصفائح عرفوا تطوراً كبيراً في السنوات الأخيرة.
- القطاع الصناعية المختلفة تقريباً ضعف الاستهلاك المتنوع، في حين أنه كان الاستهلاك المتنوع يحتل المرتبة الأولى وهذا يبين مقدار الثقة المتزايدة للصناعة بالمواد البلاستيكية.
- في مجال المفروشات والأثاث والاستعمالات المنزلية.
- في الملابس والأقمشة.
- في الملاعب والأدوات الرياضية.
- في الشوارع والحدائق وألعاب الأطفال.

مثال: الجدول التالي يبين توزيع استخدام المواد البلاستيكية في مختلف المجالات المعروفة لدولة أوروبية.

من الإنتاج الكلي	مجال الاستخدام
31%	قطع صناعية مختلفة
24%	صفائح وأنابيب
18%	تغليف
16%	استهلاك متنوع
8%	البناء
2%	الدعاية
1%	الزراعة

ملاحظة: هذه النسب للاطلاع ولكنها تختلف من دولة إلى أخرى.



الفصل الثاني

تصنيف المواد البلاستيكية

في الحقيقة هناك العديد من التصنيفات لهذه المواد كل منها يتبع الأساس المختار للتصنيف. ويجب الملاحظة سلفاً أن أي تصنيف يبين وبسرعة حدوده الضيقة وبالتالي يؤخذ كتابع للتطبيقات المستعمل من أجلها. من أسس التصنيف:

١- التصنيف المعتمد على مصدر البوليمير بوصفه أساس:

I- البوليميرات الطبيعية.

II- البوليميرات الصناعية.

III- هناك تركيب وسطي بين الاثنين (البوليميرات الطبيعية المحورة).

٢- التصنيف المعتمد على الطبيعة الكيميائية للبوليمير كأساس:

I- البوليميرات العضوية.

II- البوليميرات الغير عضوية.

٣- التصنيف المعتمد على تجانس البوليميرات كأساس:

I- البوليميرات المتجانسة.

II- البوليميرات غير المتجانسة.

٤- التصنيف المعتمد على شكل بناء جزيئات البوليمير كأساس:

I- البوليميرات الخطية (البلاستيك الحراري T_p).

II- البوليميرات الثلاثية الأبعاد (البلاستيك المتصلب حرارياً T_s).

III- لكن هناك تركيب وسطي بين الاثنين كالبوليمير المتشعب أو البوليمير الصفائحي اللذين لا يمكن إلا بصعوبة تصنيفهما لأحد النوعين السابقين.

٥- التصنيف المعتمد على نموذج عملية البلمرة كأساس:

I- البلمرة بالإضافة (ترابط طولي): يتم كسر الرابطة المزدوجة بين ذرتي الكربون لتصبح أذرعتها الأربعة حرة في جذب أذرة حرة لذرات أخرى.

II- البلمرة بالتكثيف (ترابط عرضي): وتنتج البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) ويحدث تغير كيميائي بتأثير الحرارة، وتتكون جزيئات طويلة ترتبط كيميائياً بواسطة جسور قصيرة قوية وصلبة.

III- البلمرة بالتجميع: اتحاد عدة مونوميرات مع بعضها بعملية البلمرة حيث يتم الحصول على الصفات المميزة المرغوبة من النقاء والقابلية للكسر ومقاومة المواد الكيميائية.

٦- التصنيف المعتمد على الحرارة والضغط كأساس:

بما أن الحرارة والضغط من المؤثرات الأساسية في سلوك المواد البلاستيكية بشكل عام وخلال عمليات التصنيع التي تهمنا بالدرجة الأولى، لذا يمكن تقسيم المواد البلاستيكية إلى قسمين كبيرين يمكن فهمهما من خلال النموذجين التاليين:

I- من أجل المحافظة على الشكل الجديد المكتسب بعد رفع درجة الحرارة يجب تبريد المادة قبل إزالة الضغط. ويدعى هذا النوع من المواد بالبلاستيك الحراري Thermoplastic ورمزه (Tp).

يمكن مقارنة هذه المواد بشمع العسل حيث إن هذا الشمع صلب بدرجة الحرارة العادية لكن بتأثير الحرارة فإنه يلين ويمكن أن يوضع بقالب. بالتبريد يعود ويصبح صلباً ويحافظ على الشكل الجديد المعطى له وهذه العملية يمكن تكرارها مرات غير محدودة. مواد البلاستيك الحراري يمكن أن تسلك نفس هذا السلوك أي أن دورة التحويل بوساطة الضغط والحرارة قابلة للانعكاس.

II- الشكل يحافظ على نفسه حتى إذا أوقفنا بصورة متزامنة فعل الحرارة والضغط . وتدعى المواد من هذا النموذج بالبلاستيك المتصلب حرارياً Thermoset ورمزها (Ts).

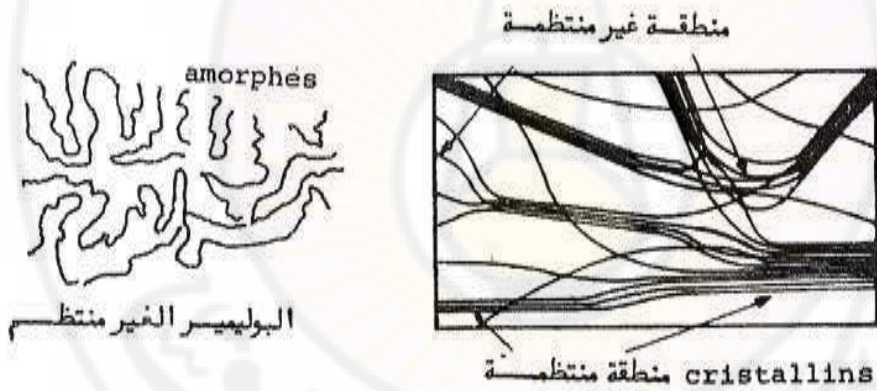
يمكن تمثيل هذه المواد بالبيتون، الذي هو عبارة عن مزيج الاسمنت والرمل والذي يتصلب نتيجة تفاعل كيميائي مع الماء، الاسمنت يُعدّ هنا واصلًا بين حبيبات الرمل. الرمل هنا مثل الحمل لتخفيض السعر وتحسين الخواص الميكانيكية للمجموعة. التعديل الذي يطرأ بلحظة التفاعل الكيميائي مع الماء هو نهائي، بالنتيجة جسم صلب يحافظ على الشكل الجديد المصبوب. إن دورة التحويل بوساطة الضغط والحرارة غير قابلة للانعكاس.

المقارنة مع البيتون تهيئ وسيلة ممتازة لفهم سلوك المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً مثل البيكاليت Bakelite (مادة بلاستيكية تصنع منها أفلام الحبر والمقايض..)، مخصصة للقولبة (القولبة: عملية التشكيل ضمن القالب) تتركب بوساطة وصل ناتج من تفاعل جزيء من الفينول وآخر من الفورفول ممزوجين بشدة مع حمل من دقيق الخشب مثلاً. عندما يصب هذا المزيج داخل قالب وتحت تأثير فعل الحرارة والضغط يصبح بلاستيك بملأ جميع أجزاء القالب ومن ثم يستمر التفاعل بين الفينول والفورمول، الكتلة تتصلب، الشكل ثابت، هذا التحول نهائي، الكتلة الناتجة لا يمكن أن تذاب مرة ثانية

بواسطة الحرارة والضغط وتقاوم المحاليل الكيميائية التي تحاول تحليلها كالسابق.

هذا التصنيف للمواد البلاستيكية: بلاستيك حراري (Tp) وبلاستيك متصلب حرارياً (Ts) مهم جداً، وبحكم شروط العمل والاستعمالات الرئيسية لمختلف المواد.

بالعودة إلى التصنيف (4) يبين أن مواد الـ (Tp) ذات تركيب جزيئي خطي منتظم جزئياً Particellement cristallins أو غير منتظم (عديم الشكل) Amorphous، في حين أن شكل الجزيئات للبلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) يكون دائماً غير منتظم Amorphous ثلاثي الأبعاد (غير خطي) والشكل التالي يبين هذه المناطق:



- مفهوم الخطية هنا هو المعنى الهندسي للكلمة. المقصود في الحقيقة مواد جزيئاتها الكبيرة تتطور في اتجاه رئيسي مع تشعبات ثانوية أحياناً.
- في الحقيقة لا يوجد مركب جزيئاته منتظمة تماماً، نفس الجزيئات الكبيرة يمكن أن تشارك في منطقة منتظمة ومنطقة غير منتظمة، من هذه المواد على سبيل المثال لا الحصر: PA, PP, PE.

البنية العشوائية : Amorphous structure

تعطي البنية العشوائية الخواص التالية:

- ١- تعطي نقاءً جيداً.
- ٢- تحطمها أقل بسبب التبريد.
- ٣- تزداد سهولة التشكيل.
- ٤- البوليمير هش.
- ٥- بعض البوليميرات ذات التركيب العشوائي PS ، PVC ، الأكريليك ، السللوزات.

البنية البلورية (كريستالية):

هذه البنية تعطي بعض المواصفات :

- ١- ضبابية في البوليميرات (PE) درجة بلورته حوالي 85%.
 - ٢- نقطة انصهار واضحة حيث تقلل من المجال الحراري لانصهار البوليمير.
 - ٣- في أثناء عملية القولة يحدث تحطم في الحواف أثناء التبلور أو التبريد.
 - ٤- تستخدم البوليميرات عالية التبلور للعمل في درجات حرارة أعلى من البوليميرات الغير متبلورة.
 - ٥- تزداد الكثافة بازدياد نسبة التبلور.
 - ٦- بعض البوليميرات المتبلورة : PA ، PP ، PE (وتشارك بمنطقة عشوائية).
- لا بد من ذكر بعض المواد التي يطلق عليها أحياناً اسم بوليميرات ولكنها ليست دائماً مواد بلاستيكية:

١- البوليميرات المرنة مطاطياً (Elastomers) :

للبوليميرات المرنة المتمثلة بالمطاط صفات متميزة كالاستطالة (Elongation) وقابليتها على التمدد والتقلص (Resilience).

٢- الألياف (Fibers):

يتميز هذا الصنف من البوليميرات بمواصفات خاصة كالقوة والمتانة وقابليتها على التبلور مثال لها النايلون (البولي أميدات) والبولي أسترات وغيرها.

٣- اللواصق والمواد الطلائية:

تستخدم نسبة كبيرة من البوليميرات كمواضع لاصقة وكمواد طلائية ومن الأمثلة على البوليميرات المستخدمة كـلواصق: البوليميرات الطبيعية مثل الصمغ العربي والصمغ الحيواني والمطاط الطبيعي وغيرها. تجدر الإشارة هنا أن جميع أنواع البلاستيك يصنف على أنه بوليمير ولكن ليس كل بوليمر مادة بلاستيكية.

الفصل الثالث

الخواص الكيميائية للمواد البلاستيكية.

إن المواد البلاستيكية هي مواد تركيبية يتم تشكيلها كيميائياً بأخذ بعض العناصر كالفحم والماء والهواء والنفط والحجر الكلسي.. على نحو منفصل ووضعها مع بعض في ظروف مختلفة، أي إن هذه المواد منتج صناعي ذو وزن جزيئي كبير يتأثر عادة بالضغط والحرارة.

لفهم تركيب المادة Structure of Matter لابد من فهم التعريفات التالية:

* الذرة: أصغر جزء من العنصر، أي أصغر جزء من المادة والذي لا يمكن أن يجزأ إلى أجزاء أصغر أو أن يتم تغييره.

* العنصر: هو مادة تحوي ذرات من نوع واحد ولكنها يمكن أن ترتبط مع عناصر أخرى لتشكيل مادة أخرى.

* المركب: هو مادة مكونة من عنصرين أو أكثر، وله خواص تختلف عن خواص كل من العناصر المكونة له.

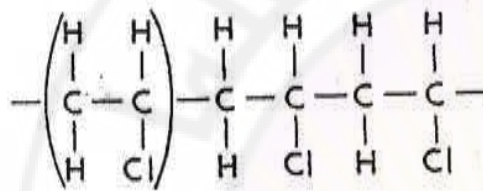
* الجزيء: هو أصغر جزء من المادة أو المركب وهو قابل لأن تتغير هويته بالتفاعل الكيميائي مع بقاء كتلته ثابتة.

* البوليمير Polymer: أو الريزين Resine: مصطلح يعبر عن مركب كيميائي أو مزيج من المركبات المشكلة بعملية البلمرة (Ppolymerization) (وهي عملية كيميائية يتحد فيها مركبين أو أكثر لتشكيل مركباً أو جزيئاً ضخماً).

وهنا لابد من الإشارة إلى أن اكتشاف الجزيئات الكبيرة (Standinger جائزة نوبل) يعتبر نجاح كبير قد يعادل إلى حد ما عملية تحليل الذرة إلى أجزاء والذي يؤدي إلى تحرير طاقة هائلة (الطاقة الذرية).

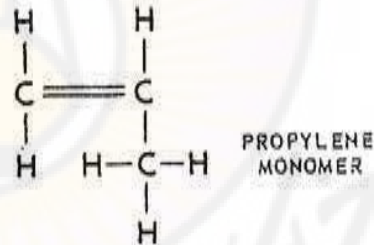
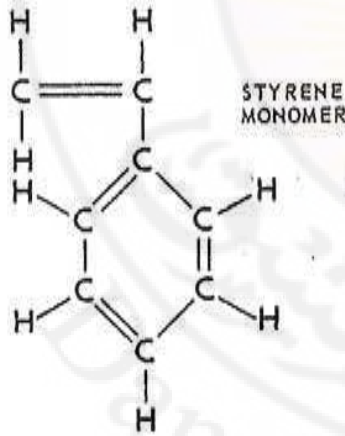
تتوفر البوليميرات على شكل حبيبات وسوائل ومساحيق، وصفائح ومعاجين وقشور وخيوط..

* **المونومير Monomer**: هو نقطة بداية كل أنواع المواد البلاستيكية ويعني جزءاً واحداً، ويكون عادة غازاً أو سائلاً. إنه المادة التي يستخدمها الكيميائيون للبدء في عمليات بناء المادة البلاستيكية، ويحوي كل العناصر التي ستظهر في المادة النهائية. والمونوميرات مركبات بسيطة ستفاعل تحت ظروف خاصة لتشكل البوليمير.



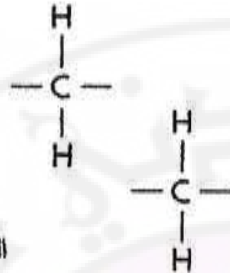
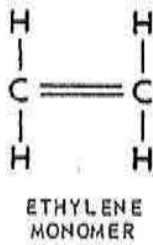
وبين الشكل (1) الوحدة البنوية
الواحدة والمتكررة. أما الشكل (2)
فيوضح بعض الأمثلة عن
المونوميرات بإظهار واحد من
الجزئيات من كل مركب.

الشكل (1)



الشكل (2)

مثال: غاز الإيثيلين (C_2H_4): من أبسط المونوميرات، عديم الرائحة واللون، وهو عبارة عن جزيء مكون من ذرتي كربون وأربع ذرات هيدروجين



الشكل (3)

روابطه مضاعفة بين ذرتي الكربون وضعيفة يمكن أن تتحطم بسهولة مما يسمح للأذرع الأربعة لكل من ذرتي الكربون أن تعود لوضعها الطبيعي الثابت كما بالشكل (3) .

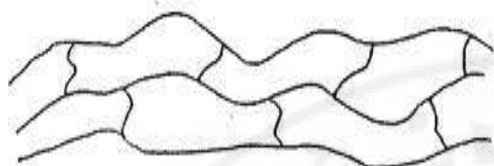
* **البلمرة Polymerization:** هو تفاعل كيميائي لصنع المادة البلاستيكية حيث تربط سلاسل من المونوميرات إلى بعضها لتشكل سلسلة أكبر الوزن الجزيئي أضعاف الوزن الجزيئي الأصلي. ويمكن أن تتم البلمرة تحت تأثير الحرارة أو الإشعاع الفوق بنفسجي أو بالوسائط المطعّمة (المسرّعة). كما يمكن أن تتم بصورة طبيعية من دون فعل خارجي ولكن الأمر سيحتاج إلى وقت أطول بكثير.

لا يحدث أي تغيرات ذرية للمونومير أثناء البلمرة، فهو يحصل على كامل ذراته التيملكها بدون ذرات جديدة تضاف، وببساطة فإن الذرات ترتبط بالأذرع التي تمتلكها جيرانها بقابلية أكثر من أن تبقى منفردة.

إن المادة البلاستيكية (اللدائن الحرارية Thermoplastic) الناتجة من خلال عملية البلمرة تكون مكونة من سلاسل طويلة وغير منفصلة من الجزيئات المربوط بعضها ببعض. إن هذه المادة البلاستيكية تصبح طرية بالتسخين (لا يتغير تركيبها الكيميائي) وقاسية بالتبريد أي أن تفاعلها عكوس.

* **البلمرة التكاثفية:** إنها تشبه تماماً عملية البلمرة إلا أنها تغير من خواص المونومير الكيميائية، حيث تقوم أولاً بزيادة الروابط التي تحتاجها للوصل

بين الذرات، وثانياً التخلص من بعض الذرات من المونومير مما يسمح لبعض الذرات في السلسلة أن ترتبط بأذرع من سلسلة مجاورة كما بالشكل (4).



ينتج عن هذه العملية إلغاء جسم بسيط من التركيب غالباً يكون الماء H_2O أو مركبات أخرى.

الشكل (4)

إن الربط الكيميائي لسلسلتين طويلتين من الجزيئات مع بعضها يعطي شبكة ثلاثية الأبعاد تدعى بالربط المختلط، وتدعى البوليميرات البلاستيكية المشكّلة بهذه التفاعلات بالمواد المتصلبة حرارياً (thermoset) والتي لا يمكن إعادة تليدينها بالحرارة أي أن تفاعلها غير عكوس.

قواعد الارتباط ضمن وبين الجزيئات:

١- قوى ضمن الجزيئات:

يوفر صلابة هيكل السلسلة بواسطة قوى التكافؤ الموجودة ضمن الجزيئات الكبيرة الخطية والفراغية. هذه القوى التي تعاكس تشوه المجموعة الجزيئية لها طاقة بين الذرات بحدود (100-200 Kcal/mole). هذه الروابط الكيميائية قليلة التأثير بدرجات الحرارة ومستقرة جداً من الناحية الكيميائية وأنواعها:

١- روابط بسيطة.

٢- روابط مزدوجة.

٣- روابط ثلاثية (نادرة جداً).

طاقة روابط التكافؤ بين الذرات المذكورة أعلاه تعني مقاومة للانهايار تعادل 20/ ضعف للمقاومة المقاسة لمعظم المواد البلاستيكية وهذا معناه أن

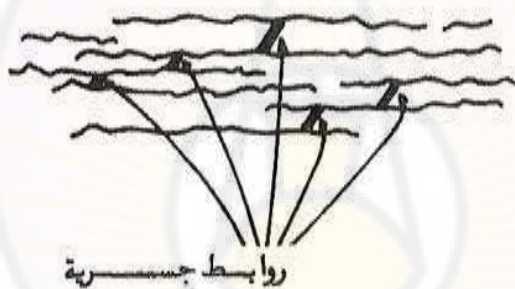
الانهيار لا يرتبط مباشرة بقوة الارتباط ضمن الجزيئات ولكن يرتبط بالقوى بين الجزيئات.

بالمقابل، فإن الانحطاط التدريجي لمركبات الجزيئات الكبيرة يؤدي إلى إنهيار روابط التكافؤ.

٢- قوى بين الجزيئات :

هي قوى بين مجموعات الجزيئات. معظم الخواص الميكانيكية للمواد البلاستيكية في الحالة الصلبة تعتمد بصورة أساسية على هذه القوى التي لها عدة أنواع.

١- تكافؤية أو ذات خواص تكافؤية: حالة الكاوتشوك مثلاً، إذ تتشكل جسور بالنفخ بين مختلف السلاسل كما بالشكل (5).



الشكل (5)

٢- روابط Van Der Waals: أو قوى انتشار وقدرتها (1-7Kcal/mole) تبعاً لمهام سلاسل للكربون الموجودة. هذه الروابط موجودة في كل البوليمرات.

٣- روابط الهيدروجين: تنتج من التفاعل بين الجزيئات الحاوية على (H) متحرك وذرات سالبة (O, N, ...)، وقدرة الروابط (5-10 Kcal/mol).

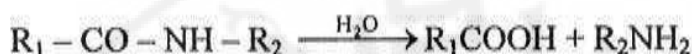
٤- روابط تأين ionique.

بعض الخواص المرتبطة بالتركيب:

١- تأثير الوسائط الكيميائية :

تأثير الماء: بعض المواد البلاستيكية تستطيع أن تتحلل بالماء جزئياً، مثل حالة البوليأميد والبوليستر. هذا التحلل يكون أسرع في الماء الساخن حيث تتحطم السلاسل الجزيئية وتتناقص الخواص الميكانيكية للمادة من جراء ذلك.

مثال: Polamides



البوليأميد كذلك ماص للرطوبة ويحتفظ بها، مقدار الرطوبة الممتصة يعتمد بصورة أساسية على مجموعات الـ CO-NH. البوليأميد PA-11 أقل قابلية لامتصاص الرطوبة من PA-6/6.

تأثير أكسجين الهواء: يستطيع أكسجين الهواء أن يؤثر على المواد البلاستيكية بتأثير هام وهو خلق مجموعات الـ Carbonyles. هذا التأثير واضح مع (PE) و (PP) ويرتبط بالجزء غير المنظم من التركيب الجزيئي. يمكن الحماية من هذا التأثير بإضافة مضادات للأكسدة Anti-oxydants .
تأثير الحموض والقواعد القوية: (القواعد: ما يتفاعل مع حمض ليتشكل ملحاً). ونميز حالتين:

١- الحمض أو القاعدة يؤثر مباشرة على المواد البلاستيكية.

٢- الشوارد H^+ أو OH^- تكون محفزة على التحلل للمادة كما في الحالة التي رأيناها سابقاً.

مثلاً: البوليستر Polyester يتأثر جداً بالقواعد القوية التي تسبب التصبن (تحول المادة الدهنية إلى صابون).

البوليأميد (PA) يتأثر جداً بالحموض التي تولد تحلل مجموعات الأميد. المركبات ذات التركيب الجزيئي المنتظم تتحطم بالحموض.

لا مجال للخوض كثيراً في التفاصيل الكيميائية ولكن يمكن الاستفادة من الجداول بالفصل الأول الباب الثامن من هذا الكتاب التي تعطي الخواص والتي تبين تأثير الحموض الضعيفة والقوية والمحاليل العضوية على العديد من المواد البلاستيكية سواء الحرارية أم المتصلبة حرارياً.

٢- الاحتراق :

هذا الموضوع هام جداً حيث تتبادر للذهن فوراً قابلية الاحتراق عند ذكر خواص المواد البلاستيكية. وحيث أنه ليس من اختصاصنا، لذا سنذكر فقط بعض المصطلحات العائدة للاحتراق.

* Fire: وتعني النار عموماً.

* Ignition: وتنهى الحرق، أي القدرة على حرق مادة أخرى.

* Flame: وتعني لهب، أي قدرة المادة على إصدار لهب لدى احتراقها.

* Combustion: وتعني الاحتراق، أي المادة قابلة للاحتراق إذا تعرضت للهب.

* Self-Extinguish: وتعني إطفاء ذاتياً، أي تلتهب طالما هي ملامسة لمصدر اللهب، وتطفئ حال إبعاده عنها.

* Fire Resistance: وتعني مقاومة النار، أي قدرة المادة البلاستيكية على مقاومة الاشتعال أو الاحتراق لدى اقتراب مصدر ناري منها.

* Fire Resistance index: وتعني قرينة مقاومة النار، وهي عبارة عن واحدة دولية مستخدمة من أجل توصيف حالة احتراق مادة مثل الزمن اللازم لاحتراقها.

* Burning: وتعني الاحتراق بوصفه مصطلحاً عاماً، للدلالة على حرق أو احتراق أو لهب.

* Flame retardants: وتعني مانعات أو مثبطات اللهب، وهي مركبات كيميائية يمكن إضافتها للحبيبات البلاستيكية قبل قولبتها، بحيث تكون قادرة كمنتج بعد القولبة على مقاومة اللهب.

الجدول التالي يبين أسلوب تمييز المواد البلاستيكية الشائعة (حرارية ومتصلبة حرارياً) بواسطة الاحتراق:

المواد البلاستيكية الشائعة	لون اللهب	رائحة الاحتراق	سرعة الاحتراق	كيفية الاحتراق	ملاحظات
PE	أزرق بطرف أصفر	رائحة البارافين	سريع	يتقطر	-
PP	أزرق بطرف أصفر	رائحة لاذعة	بطيء	-	-
ABS	أزرق بطرف أصفر	رائحة لاذعة	بطيء	مستمر	دخان أسود
PVC	أصفر بطرف أخضر	حمضي	بطيء	إطفاء ذاتي	لا يتقطر
PA	أزرق بطرف أصفر	صوف يحترق	بطيء	إطفاء ذاتي	يعطر رغبة
PET	أصفر بطرف أزرق	مطاط يحترق	سريع	مستمر	دخان أسود
POM	أزرق	رائحة فورمالدهيد	بطيء	يتقطر	لا يوجد دخان
PS	أصفر	رائحة غاز	سريع	يتقطر	دخان كثيف
PC	برتقالي بطرف أصفر	رائحة الفينول	بطيء	إطفاء ذاتي	دخان أسود
PPO	برتقالي بطرف أصفر	رائحة الفينول	بطيء	إطفاء ذاتي	لا يتقطر
PSU	برتقالي	رائحة الكبريت	سريع	يتقطر	دخان أسود
PUR	أصفر	رائحة تفاح خفيفة	سريع	لا يتقطر	دخان عادي
نترات السيلولوز CN	أصفر باهت	رائحة كافور	سريع	لا يتقطر	احتراق كامل
بروبينات السيلولوز CP	أصفر باهت	احتراق السكر	سريع	يتقطر	دخان أسود
MF	أصفر بطرف أزرق	رائحة سمك	-	إطفاء ذاتي	ينفخ ينشقق
PF	أصفر	فينول	-	إطفاء ذاتي	-
UF	أصفر بطرف أخضر	فورمالدهيد	-	إطفاء ذاتي	ينفخ ينشقق
السيلايكون SI	أصفر فاتح	لا رائحة له	-	مستمر	-
الإيبوكسيد EP	أصفر	رائحة لاذعة	-	مستمر	دخان أسود

دليل المواد البلاستيكية

الفصل الرابع

الخواص الفيزيائية للمواد البلاستيكية

يمكن أن تكون السلاسل الجزيئية ذات تركيبه فتنظم crystalline أو نصف منتظم Semi-Crystalline أو عشوائي Amorphous. وفهم الخواص الفيزيائية لكل من هذه الأنواع لابد من ذكر الملاحظات التالية:

١- إن العوامل المؤثرة على البنية المنتظمة:

أ- سرعة تبريد المنتج.

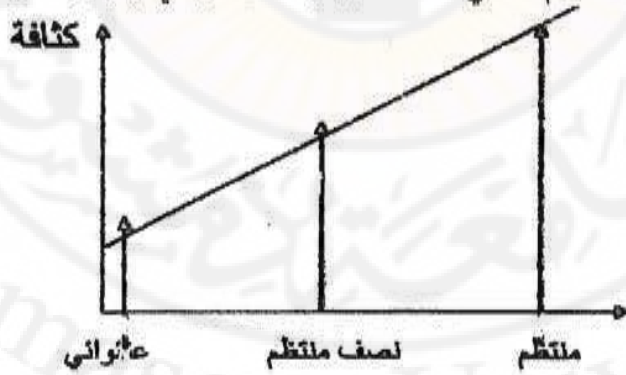
ب- درجة حرارة المادة ضمن آلة الإنتاج حيث بزيادتها تتسارع العملية لكن هذا قد يؤدي إلى تحول البنية من منتظمة إلى عشوائية أو شبه منتظمة.

ج- زيادة إجهاد الشد المطبق عند خروج المنتج من الآلة (إن كان هناك إجهاد شد) تعطي بنية عشوائية.

د- زيادة الضغط المطبق على المادة خلال عملية التصنيع يؤدي إلى زيادة انتظام السلاسل الجزيئية.

هـ- المواد الإضافية ولها دور مهم في التأثير على البنية.

٢- زيادة الانتظام تعطي كثافة أكبر والشكل البياني (1) يوضح ذلك:

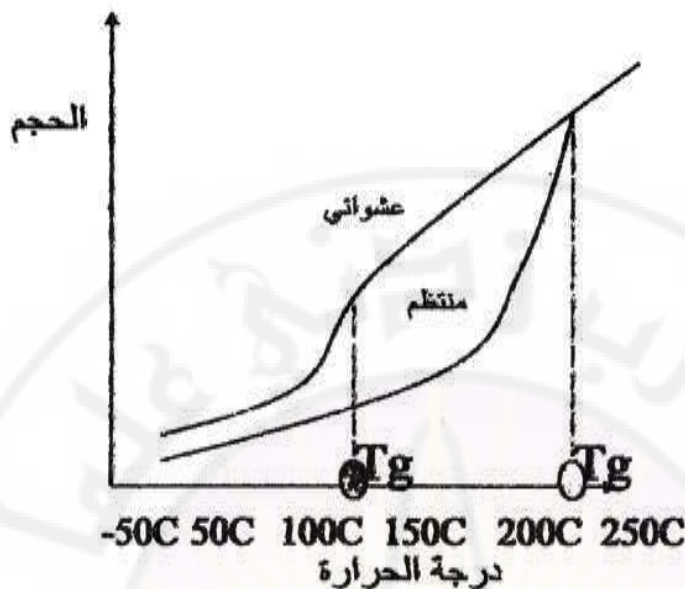


زيادة الانتظام للجزيئات

الشكل (1)

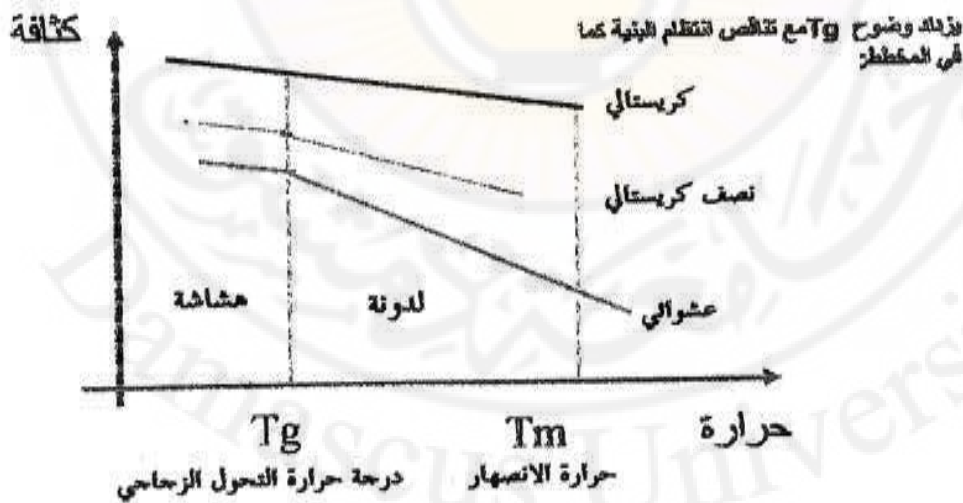
٣- السلوك الحراري للمواد البلاستيكية:

- نلاحظ نوعاً من الثبوت الحراري للمواد النصف منتظمة ثم تتدنى الخواص فجأة.
- أغلب المواد المتصلبة حرارياً هي مواد منتظمة لذلك نلاحظ ثبوت حراري لها إلى حد التحمل (حسب نوع المادة) ثم انهيار المادة واحتراقها.
- في مواد البلاستيك الحراري نلاحظ انخفاض تدريجي في البداية وتزداد حدة الانخفاض بشكل ملحوظ بعد حد معين.
- درجة حرارة التحول الزجاجي (T_g) أو (T_v): وهي درجة الحرارة التي تكون المادة البلاستيكية قبلها ذات قوام صلب وبعدها ذات قوام لين، أو تبدأ الحالة الكاونشوكية أو تفقد خواصها. لا يمكن تحديد هذه الدرجة بدقة وإنما تكون بحدود ضيقة (10°C) أي ($\pm 5^\circ\text{C}$).
- تظهر هذه النقطة في مواد البلاستيك الحراري بجميع أنواعها، لكن ظهورها يختلف من مادة إلى أخرى حيث تعرف من خلال كل من :
 - ١- درجة الحرارة التي تنخفض عندها الخواص الميكانيكية.
 - ٢- درجة الحرارة التي يزداد عندها حجم المادة.
- المواد المنتظمة لها درجة حرارة (T_g) أكبر من المواد ذات البنية العشوائية كما في الشكل (2) وذلك بسبب الحاجة إلى حرارة أكبر لتفكيك الروابط. تؤخذ زيادة الحجم دليلاً على تفكك الروابط.
- إن لدرجة حرارة التحول الزجاجي (T_g) أهمية كبيرة لأنها تعين حدود استخدام المواد البلاستيكية.
- من المهم اختيار المادة بحيث تكون درجة حرارة استخدامها أقل بوضوح من (T_g) والتي يجب أن لا تتجاوز (75%) من (T_g).



الشكل (2)

مثال: درجة الحرارة (T_g) لمادة الـ ABC هي (100°C). إذن درجة حرارة استخدام أنابيب الـ ABS يجب أن لا تتجاوز (75°C).
يزداد وضوح درجة الحرارة (T_g) مع تناقص انتظام البنية كما بالشكل (3)



الشكل (3)

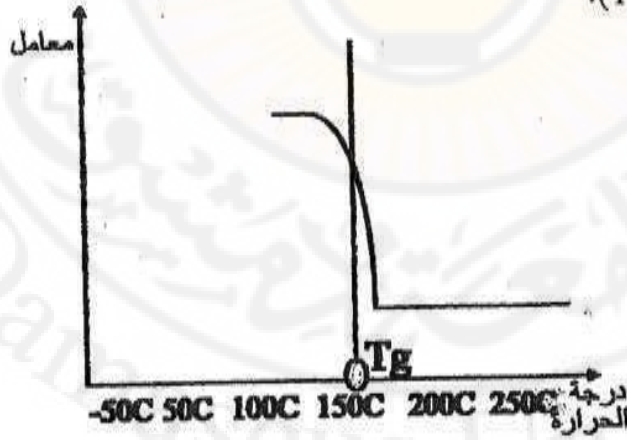
إن (T_m) أو (T_0) تمثل درجة حرارة الانصهار وهي خاصة بمواد البلاستيك الحراري.

ويمثل الشكل (4) المراحل الثلاث زجاجي (هش) ولدن ومصهور بدلالة الزمن والحالة الحرارية للبوليمير.

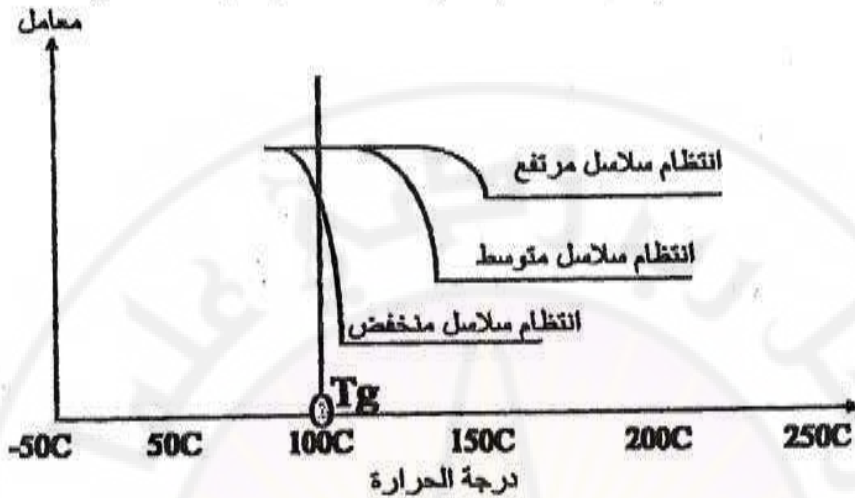


معامل المرونة Modulus وعلاقته بالتركيب الجزيئي:

يمثل الشكل (5) عامل المرونة للمواد البلاستيكية (G_p) وعلاقته بدرجة الحرارة. نلاحظ الانخفاض الكبير لعامل المرونة في مجال درجة التحول الزجاجي (T_g).



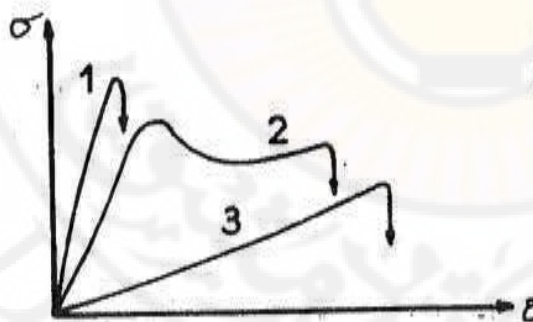
أما الشكل (6) فيمثل عامل المرونة بدلالة درجة الحرارة في حالة سلاسل الجزيئات المنتظمة (عالية الانتظام، متوسطة الانتظام، قليلة الانتظام).



الشكل (6)

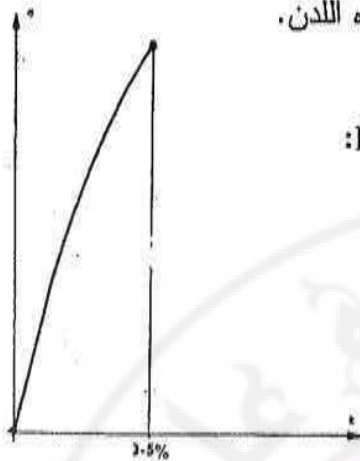
أولاً: الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمواد البلاستيكية (T_p):

١- خواص المواد البلاستيكية الحرارية (T_p) الخطية ذات السلاسل غير المنتظمة (العشوائية) بدرجة الحرارة العادية:



الشكل (7)

لو عرضنا هذا النوع من المواد لتجربة شد بدرجة الحرارة العادية لوجدنا ثلاثة نماذج من المخططات، الشكل (7):



الشكل (8)

(1) يطابق التشوه الهش. (2) يطابق التشوه اللدن.

(3) يطابق التشوه المطاطي (الكاوتشوكي).

أ- التشوه الهش: **Déformation fragile**

الشكل (8) بدرجة الحرارة العادية. مثل

هذا التشوه يوافق بعض المواد مثل:

PS, PMMA, SAN التمدد حتى

الانهيار ضعيف وبحدود (5%). معامل

المرونة يتراوح بين:

(300-500 daN/mm²).

ملاحظة: لأخذ فكرة عامة عن الخواص يمكن الاستعانة بجدول الخواص

الباب الثامن - الفصل الأول - لمواد الـ PVC و PS.

التشوه الهش يكون مصحوب بانخفاض طفيف بدرجة حرارة العينة يمكن

قياسه ولكن بصعوبة بالغة.

تشوه هذه المواد بدرجة الحرارة العادية بسبب شقوق رفيعة تبدأ بالظهور عند

النقطة الحرجة للتمدد والتي تعتمد على سرعة التحريض المؤثر.

بالنسبة لـ (PS) و (PMMA) فهذه النقطة تكون عند (0.75%). سبب تشقق

المادة يعود إلى تركيبها الجزيئي (وجود مناطق تكون فيها معظم قوى

الارتباط بين الجزيئات Intermoléculaire موازنة لمحور القوى المؤثرة).

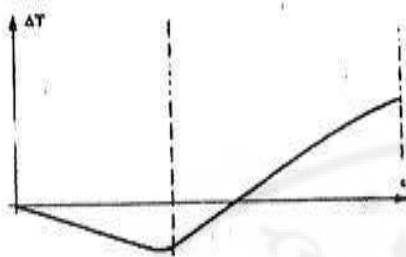
هذا التشقق يمكن أن ينتج في القطع المنتجة بالحقن أو البثق أو بالتشكيل

وتعطي إجهادات داخلية تكون سبباً للانهيار.

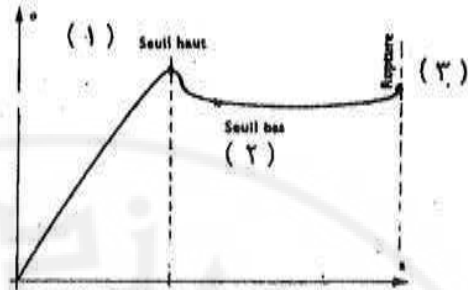
ب- التشوه اللدن **Deformation plastic**

الشكل (9) يمثل العلاقة بين الإجهاد والتشوه بهذه الحالة، ونلاحظ على

المنحني النقطة العليا (1) والنقطة السفلى (2) ونقطة الانهيار (3).



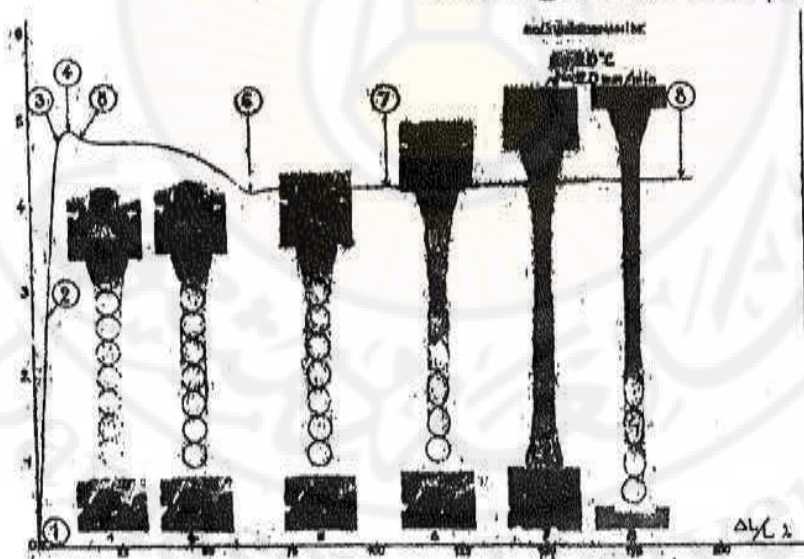
الشكل (10)



الشكل (9)

الشكل (10) يمثل التبادل الحراري خلال التجربة. معامل المرونة $(150-300 \text{ daN/mm}^2)$ الإجهاد في النقطة العليا يساوي $(3-7.5 \text{ daN/mm}^2)$ التمدد في النقطة العليا فقط $(15-30 \%)$.

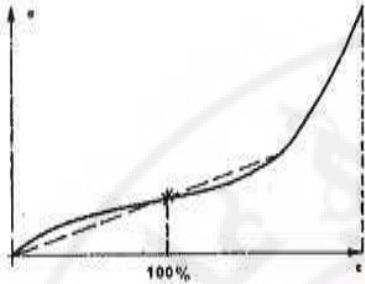
الشكل (11) يمثل صورة المراحل التي تمر بها العينة لمادة البلاستيك الحراري المنتظم (نفسها للغير منتظم Amorphus). أرقام العينات تتطابق مع أرقام النقاط الممثلة على المخطط.



الشكل (11)

ج- التشوه المطاطي (الكوتشوكي) Déformation Caoutchoutique :

بعض المواد غير المنتظمة Amorphous مثل: Ethylène-propylène لها سلوك مشابه لسلوك الكاوتشوك بدرجة الحرارة العادية.



الشكل (12) يمثل هذا السلوك. معامل المرونة ضعيف جداً وأصغر من (1 daN/mm^2) ، هذا المعامل يتناقص لثلاثي قيمته ثم يزداد عند التمدد الكبير.

الشكل (12)

المعامل يحسب غالباً عند قيمة مناسبة للتمدد، مثلاً عند (100%). مثل هذه المواد يمكن أن تتمدد نسبة (100-500%).

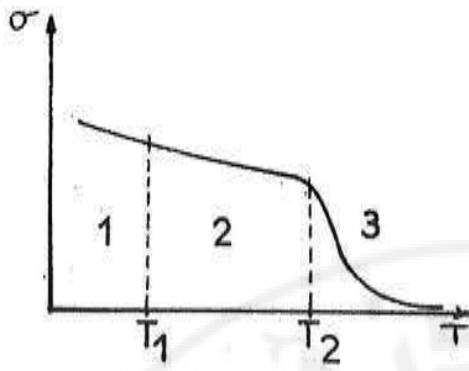
مرونة الكاوتشوك هذه ناتجة عن الدوران الحر للسلاسل الجزيئية الرئيسية حيث إن قوى الارتباط بين الجزيئات ضعيفة جداً. لا مجال للدخول بتفاصيل أكثر لأنه موضوع مستقل بذاته لن نتطرق له.

تأثير درجة الحرارة على الخواص الميكانيكية للبلاستيك الحراري (T_p) ذو

السلاسل الغير منتظمة Amorphous :

إذا مثلنا تغير درجات الحرارة على محور السينات وتغير الإجهاد في النقطة العليا (1) الشكل (9) الذي هو إجهاد الانهيار على محور العيّنات، فإننا نحصل على الشكل (13)، الذي يبين تغيرات إجهاد الانهيار كتابع لدرجة الحرارة حيث يمكن أن نميز ثلاث مناطق:

- (1) : منطقة انهيار هش.
- (2) : منطقة تشوه لدن.
- (3) : منطقة تشوه كاوتشوكي.

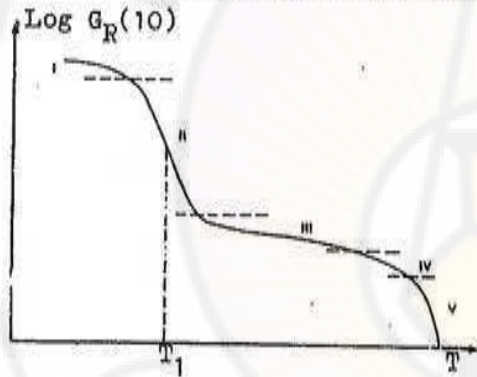


الشكل (13)

حيث إن إجهاد الانهيار يتغير خطياً حتى (T_1) مع سلوك هش، ثم حتى (T_2) مع سلوك لدن وتكون درجة الحرارة هذه قريبة من درجة حرارة التحول الزجاجي (T_g) أو (T_v) ومن ثم يصبح السلوك كاوتشوكي.

(T_v) : هي درجة الحرارة المنخفضة التي يتم عندها تحولاً في المادة ندعوه بالتحول الزجاجي (كما أشرنا إليه بالبداية).

معامل الارتخاء (الصلابة): $G_R(t)$ Module de Relaxation



الشكل (14)

قام Tobolsky بدراسة معامل الارتخاء، حيث الزمن ($t=10 \text{ sec}$) وترمز له بـ $G_R(10)$. الشكل (14) يوضح المنحني الذي يبين سلوك البلاستيك الحراري غير المنتظم عند تغير درجة الحرارة.

على هذا المنحني $\text{Log}G_R(10)-T$

يمكن تمييز خمس مناطق لدرجة الحرارة:

I : منطقة حيث المادة Vitreux صلب وهش

$5 \times 10^9 \text{ N/m}^2 > G_R > 10^9 \text{ N/m}^2$ (الحدود العليا 90°C).

II : منطقة التحول Transition حيث $10^9 \text{ N/m}^2 > G_R > 700 \times 10^3 \text{ N/m}^2$

(الحدود الحرارية هي $90-120^\circ \text{C}$).

III: المنطقة الكاوتشوكية $400 \times 10^3 \text{ N/m}^2 < G_R$ (الحدود $120-150^\circ\text{C}$ للبولي ستيرن PS). المادة ذات سلوك مطاطي Elastomère .

IV : منطقة حيث معامل الارتخاء $400 \times 10^3 > G_R > 50 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ (الحدود $150-177^\circ\text{C}$)، حيث المادة ذات سلوك Viscoélastique .

V : منطقة حيث المعامل أقل من $(10 \times 10^3 \text{ N/m}^2)$ وحيث المادة تقريباً مائع مجرد من إمكانية عودة المرونة.

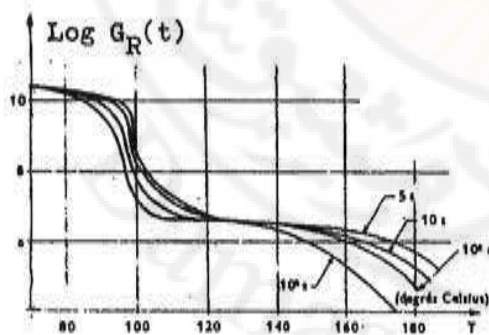
المناطق الخمسة منفصلة عن بعضها بأربع درجات حرارة مبينة بالجدول التالي لبعض المواد البلاستيكية:

المادة	I	II	III	IV
Polystyrène	-90°C	120°C	150°C	177°C
Polysulfone	-60°C	-40°C	180°C	230°C
Caoutchouc	-60°C	-40°C	190°C	220°C

من أجل المطاط Elastomères، فإن شكل المنحني هو نفسه ولكن المنطقة الكاوتشوكية تكون ممتدة أكثر.

تأثير الزمن:

المجالات الحرارية التي تحدد المناطق ذات السلوك Viscoélastique تعتمد على الزمن المختار (مثلاً ١٠ ثانية في مخطط Tobolsky).



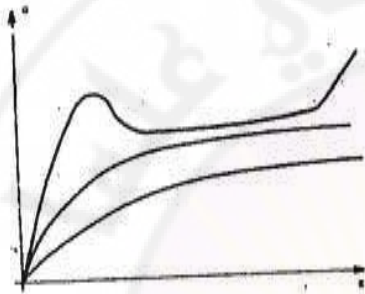
إذا رسمنا منحنى معامل الارتخاء كتابع لتغير درجة الحرارة ولأزمنة مختلفة (5 sec, 10 sec, 100 sec, 1000 sec) نلاحظ أن حدود درجات الحرارة تتزاح نحو درجة الحرارة الأقل عندما يكون الزمن أكبر، الشكل (15).

الشكل (15) $G_R(t)$

٢- خواص المواد البلاستيكية (Tp) الخطية ذات السلاسل المنتظمة (المتبلورة) Cristallins بدرجة الحرارة العادية:

هذه المواد تكون نصف شفافة (شفافة في الطبقات الرقيقة)، الكتلة الحجمية لهذه المواد تكون بحدود $(0.9-2.3 \text{ gr/cm}^3)$ ، تكون بحدود الواحد لأجل Polyoléfines القيمة العظمى تكون لـ Polytétrafluoréthylène.

معامل التمدد الخطي يكون بحدود $(12-30) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.



الشكل (16)

منحنيات تجارب الشد لهذه المواد بدرجة الحرارة العادية تعطي فقط مخططات بنقطة بدء (النقطة العليا) تكون واضحة أو غير واضحة تبين تمدد كبير قيمته بحدود 100-

(500% الشكل (16).

معامل المرونة يكون بحدود $(50-350 \text{ daN/mm}^2)$.

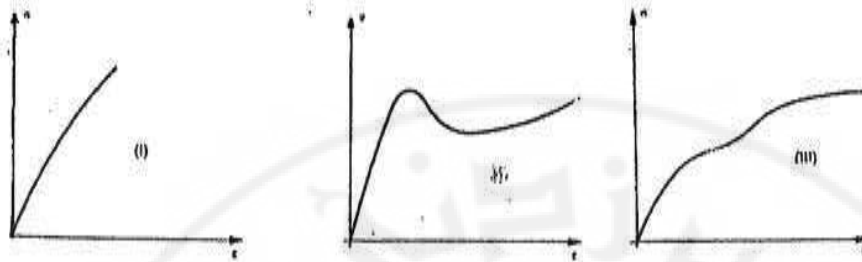
المخططات التي بدون نقطة بدء الجريان (النقطة العليا) توافق المواد الأقل انتظاماً. من أجل المواد المنتظمة فمنحنى الشد يعط نقطة عليا ونقطة سفلى، الفرق بين الإجهادات لهاتين النقطتين يتناقص حتى يختفي في عدة حالات:

- الانتقال من بوليمير معاد التسخين إلى البوليمير مبلل.
- الانتقال من PA الجاف إلى PA الرطب.
- عندما تقلل سرعات التحريض المؤثر.

تأثير درجة الحرارة على الخواص الميكانيكية للبلاستيك الحراري (Tp) ذو السلاسل المنتظمة Cristalline:

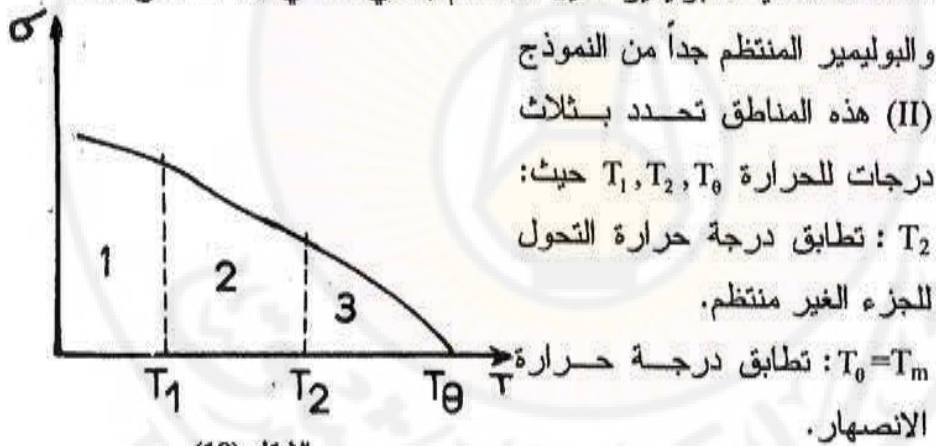
إن تجارب الشد لهذه المواد بدرجات حرارة مختلفة تعطي منحنيات من نماذج مختلفة كما بالشكل (17). في درجة الحرارة المنخفضة نحصل على

المنحني (I)، ثم منحنيات من النموذج (II) ثم غالباً وليس دائماً منحنيات النموذج (III).



الشكل (17)

إذا مثلنا إجهاد النقطة العليا (إجهاد الانهيار) على محور العينات كتابع لتغير درجة الحرارة (محور السينات) الشكل (18) حيث يمكن أن نحدد على المنحني منطقة السلوك حتى (T_1) ، منطقة سلوك لدن حتى (T_2) ، وهناك منطقة ثالثة حيث البوليمير القليل الانتظام يعطي منحنى من النموذج (III)

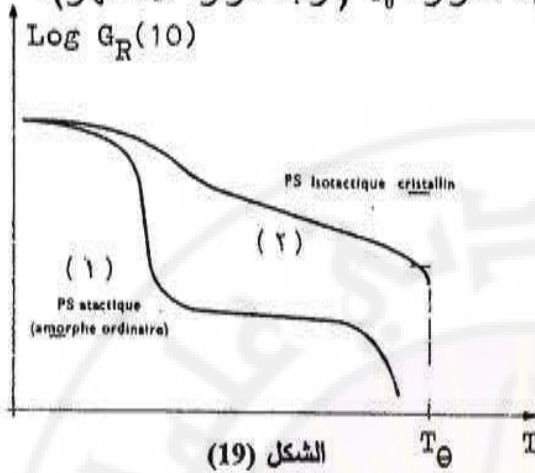


الشكل (18)

معامل الارتخاء (الصلابة): G_R (Module de Relaxation)

إن المنحني الذي يمثل $\log G_R(10)$ بوصفه تابعاً لدرجة الحرارة للمواد ذات السلاسل الجزيئية المنتظمة يكون مسطح أكثر بكثير من المنحني

المماثل للمواد غير المنتظمة (رأيناه سابقاً بالشكل 14)، ولكنه مع ذلك يهبط بشدة على نحو مفاجئ عند درجة الحرارة T_0 (درجة حرارة الانصهار).



لملاحظة الفرق بين المنحنيين وتغيراتها بالنسبة لدرجة الحرارة نأخذ مثلاً الشكل (19) الذي يمثل تغير $\text{Log } G_R(10)$ كتابع لدرجة الحرارة لمادة PS' .

(1) : PS atactique (amorphe) : (غير منتظم).

(2) : PS isotactique (cristallin) : (منتظم).

إن خلق نقاط تثبيت داخل التركيب الجزيئي، وذلك بإنشاء روابط كيميائية بين السلاسل بالتعرض للإشعاع مثلاً يولد بعد T_0 ظهور الحالة الكاوتشوكية، لهذا السبب فإننا نعرض للأشعة أحياناً برفيلات البولي إيثيلين PE المبنوقة خصوصاً عند تغليف الكوابل الكهربائية. في الحقيقة أن البوليمير المنتظم يبدأ بإعطاء خواص كاوتشوك قبل T_0 أي ابتداء من T_2 حيث يبدأ بالانصهار تدريجياً.

البوليمير المنتظم غير الشبكي الشكل Non reticules يمر من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة في مجال حراري صغير (خلال بضع درجات)، البولياميد PA مثلاً.

عملية تصنيع البوليمير المنتظم بطريقة التشكيل والتي تتم بدرجة حرارة قريبة من T_0 أكثر صعوبة من تصنيع البوليمير غير المنتظم.

إن دراسة توابع خصائص المواد البلاستيكية المنتظمة صعبة جداً، حيث أننا غالباً نجد أنفسنا أمام مواد ذات تركيب منتظم وغير منتظم في الوقت نفسه وعملية التمييز ليست بالبساطة التي نتصورها.

الجدول التالي يعطي قيم كل من T_1 , T_2 , T_0 لبعض المواد المنتظمة:

المادة	T_1	T_2	T_0
PE	-101 , - 97 °C	10 °C	100 °C
PEhd	-21 , +5 °C	60 °C	125 °C
PP	-20 , -1 °C	60 °C	150 °C
PA-6/6	-73, -66 °C	51 °C	250 °C
PA-6	0 , +18 °C	46 °C	220 °C
PA-6/10	-32 °C	50 °C	220 °C
PA-11		50 °C	175 °C
PTFE	-100 , -82 °C	28 °C	300 °C

تقاس درجة الانصهار (T_0) Temperature de fusion بالاعتماد على خاصية أن البوليمير يصبح شفافاً عند الانصهار.

ثانياً - الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمواد البلاستيك المتصلب حرارياً (T_s):

الخواص بدرجة الحرارة العادية:

سلاسل الجزيئات للمواد المتصلبة حرارياً تكون غير منتظمة (عشوائية التركيب) Amorphe وبالتالي فعندما لا تكون محملة أو ملونة فإنها تكون شفافة. تحضر غالباً بعملية التحام الأجسام Polycondensation وأحياناً تستخدم عملية البلمرة بالمشاركة أو عملية الإضافة Polyaddition (وهي عملية إضافة مونومير على سلسلة الجزيئات الكبيرة).

الكتلة الحجمية (ρ) ومعامل التمدد الخطي (λ) لهذه المواد متقاربين مع البلاستيك الحراري الغير منتظم.

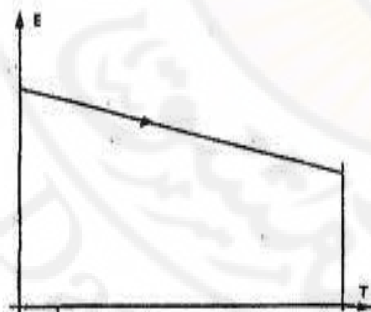
الشكل (8) يمثل العلاقة بين الإجهاد (σ) والتشوه (ϵ) لهذه المواد. والتشوه قابل للانعكاس حتى الانهيار.

الجدول التالي يعطي قيم إجهاد الانهيار في الشد (σ_t) والضغط (σ_c) مع معامل المرونة (E) لبعض مواد البلاستيك المتصلب حرارياً:

المادة	PF	MF	UF	EP	Poly-Ester
E	320-500	700-1000	700-1000	300-400	450
σ_t	5.5	4-8	4-8	6-7	2.5-7
σ_c	15-30	28-30	17-35	12	15
$\epsilon\%$	1-1.5%	0.5-1%	0.5-1%	5-8%	5-7%

واحدة قياس القيم المعطاة بالجدول للاجهادات ومعامل المرونة هي (daN/mm²). لأخذ فكرة عامة عن الخواص يمكن الاستعانة بجدول الخواص الباب الثامن الفصل الأول. لمواد الـ PE, EP, MF.

تأثير درجة الحرارة في الخواص الميكانيكية للبلاستيك المتصلب حرارياً: الروابط ضمن الجزيئات التي تؤمن التحام المجموعة تتأثر قليلاً بالحرارة بحيث أن كل الخواص الميكانيكية تتغير قليلاً كتابع لدرجة الحرارة وذلك حتى درجة حرارة التحلل Temperature de decomposition والتي تكون بين 300-400 °C.



الشكل (20)

معامل المرونة يتناقص بشكل خطي عند ارتفاع درجة الحرارة كما يبينه الشكل (20)، وكذلك إجهاد الانهيار، وبالعكس فإن التمدد حتى الانهيار يزداد قليلاً.

تصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً بالضغط والتحويل تتضمن بعد رفع درجة حرارة الريزين، إنجاز عملية التشبيك الحراري Réticulation

لسلاسل المادة المقولبة. إذا تمت هذه العملية بشكل سيء فالمادة تحفظ بهذه الحالة لدونة حرارية Thermoplasticité تبقى مرافقة لها.

تأثير الزمن:

نتائج تجارب الشد تختلف تبعاً لاختلاف سرعة التحريض المؤثر، منحنيات النتائج التي نحصل عليها تطابق دائماً تشوهات هشّة (ق) بين أن إجهاد الانهيار يتغير خطياً بوصفه تابعاً للو غاريتم سرعة التحريض المؤثر.



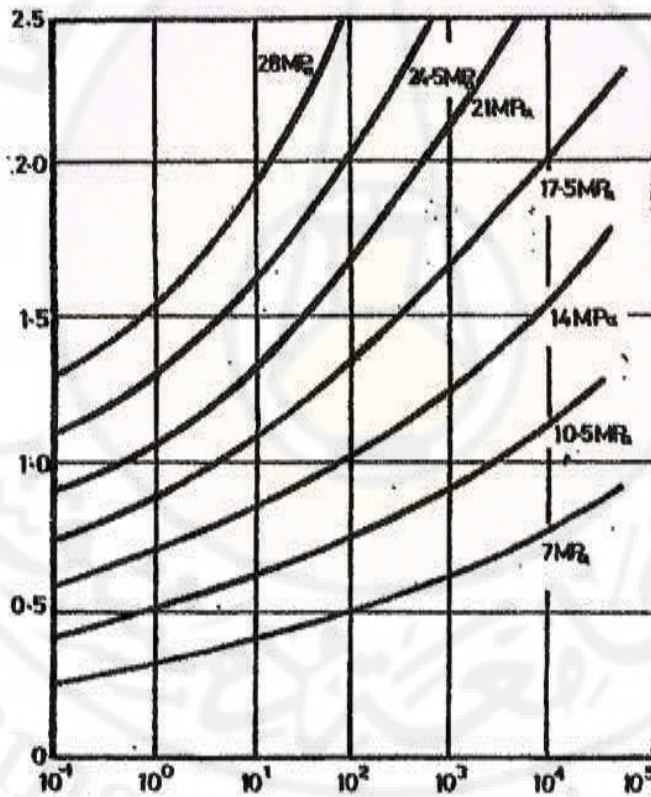
الباب الثاني

الخواص الميكانيكية للمواد البلاستيكية

الفصل الأول : السلوك الريولوجي للمواد البلاستيكية وطرق

التصميم باستخدام منحنيات التشوه

الفصل الثاني : الاحتكاك الداخلي أو القدرة على التخماد





الفصل الأول

السلوك الريولوجي للمواد البلاستيكية

وطرق التصميم باستخدام منحنيات التشوه

1- مقدمة عامة:

إن الميزات التي تدهيها العناصر البلاستيكية هي:

- القوة العالية نسبة للوزن.
- القساة .
- مقاومة التآكل والحك.
- انخفاض الاحتكاك.
- المقاومة الكهربائية العالية.
- سهولة التصنيع.

وبالنتيجة: فإن هذه الميزات جعلتها من المواد المعدة للاستخدام في التطبيقات الهندسية والصناعية.

ولذلك فإنه من الضروري للمصمم الذي يملك خبرة جيدة في التعامل مع المواد الأساسية المعروفة مثل المعادن والخشب أن يكون لديه الاطلاع الكافي على ميزات الأداء وعلى عمليات التصميم للمواد البلاستيكية وخواصها.

هناك مرحلتان قبل أن تصبح مطلعاً جيداً على البلاستيك:

المرحلة الأولى: هي الأكثر عمومية وتتعلق بالتعريف بالمواد المتوفرة وإدراك أن التركيب الجزيئي الفريد للمواد البلاستيكية له تأثير ملحوظ في خواصها الميكانيكية، وعلى سبيل المثال إن قوة الربط بين الجزيئات الطويلة

ضعيفة نسبياً (بالمقارنة مع المعادن) ولذلك تنتشوه المواد البلاستيكية على نحو أكبر من المعادن.

المرحلة الثانية: وهي أكثر دقة حيث تهتم بدراسة التفصيلات للخواص الميكانيكية وعمليات التصميم الحسابية (الكمية) التي يمكن أن تستخدم لهذه المواد. هذه المرحلة (الثانية) أصبحت هامة جداً في أيامنا الحالية بسبب ارتفاع ثمن المواد وبذلك فإنه من الضروري أن تكون المواد المستخدمة في أي تصميم بفعاليتها العظمى قدر الإمكان، حيث إن استخدام التصميم بعوامل أمان كبيرة لم يعد قابلاً للتطبيق من وجهة النظر الاقتصادية.

يوجد لهذه المواد البلاستيكية عدد من السمات الغريبة لسلوك هذه المادة التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار. ومن هذه الخواص والتي يمكن أن تعتبر الأكثر أهمية وهو أن خواص هذه المواد (بشكل مغاير لجميع المعادن) في درجة الحرارة العادية تتغير مع الزمن.

وبضاف إلى ذلك تأثير الإجهاد المؤثر ودرجة حرارة المادة وتركيبها (وبشكل خاص وزنها الجزيئي وكثافتها).

فمثلاً : من أجل البولي بروبيلين (PP) فإن التغير في الحرارة من (20°) إلى (60°) سيخفض مقدار الإجهاد المسموح به إلى النصف، وبالإضافة إلى ذلك فإن كل تغير في الكثافة يعادل (1 Kg/m^3) سيتوافق مع تغير مقداره (40%) للإجهاد التصميمي.

ولتوضيح الصورة على نحو كامل فإنه ربما يحدث تفاوت في الخواص ضمن المادة نفسها، وهذا ما يدعى بعدم انتظام الخواص وهو أمر مرغوب إذا كان ناتجاً عن خطأ في طريقة التشكيل، ومع ذلك من الممكن دراسة هذا الأمر والتحكم به.

إن المصممين الخبراء سيدركون مدى تأثير شكل القالب على استطالة الجزيئات أثناء جريان المادة ضمن القالب، وسيسخرون هذا للحصول على الميزات المطلوبة.

كذلك إن التدعيم بالألياف الزجاج يعطي بنية متباينة الخواص حيث ستمتلك المادة قوة زائدة باتجاه الألياف ولكن لسوء الحظ فإن هذا يترافق مع ضعف الاتجاه العرضي.

إن مفهوم تباين الخواص حديثاً تماماً حيث يعرف العديد من المصممين أن خواص الخشب تختلف بين الاتجاه الطولي والعرضي للكلياف.

إن جميع العوامل الإضافية التي تؤثر في سلوك البلاستيك تبين أنه بقدر ما يتعلق التصميم بها فإنه لا فائدة من الحصول على الخواص كقيم مستقلة عن الظروف التي نحصل عليها عندها لأن هذه الخواص لا يمكن الاستفادة منها إلا عند العمل في ظروف مشابهة، وبما أن الاختبارات القياسية مثل (BS2782) توصي بشروط اختبار دقيقة ومحددة فإنها يمكن أن تعد مفيدة كوسيلة للتحكم بمستوى الجودة.

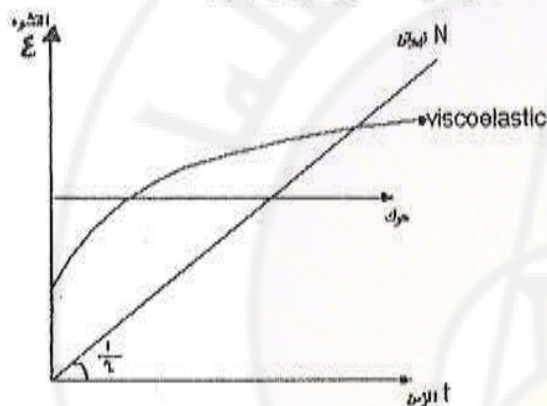
ويمكن أن تتضح هذه النقطة بشكل جيد من خلال الحقيقة التي تقول إنه من أجل استخدام نفس عينات الاختبار في الستاندر الأمريكي فإن القيم الناتجة ستكون مختلفة عن قيم (BS2782) وذلك يعود ببساطة إلى اختلاف ظروف الاختبار.

لكي نصمم عنصراً بلاستيكياً فإنه من الضروري أن يكون لدينا المعلومات الكاملة عن ظروف عمل هذه المادة وخاصة درجة الحرارة التي يعمل عندها العنصر والتي يعتمد عليها سلوك المادة مع تقدم الزمن ضمن مجال الإجهاد الذي تتعرض له هذه المادة البلاستيكية، حيث يتم استخدام هذه المعلومات في عملية التصميم والتي تجرى بناءً على نفس الطرق التقليدية المعروفة مع

الأخذ في الحسبان تنفيذ بعض المتطلبات الخاصة، وبالتالي فإن طرق التصميم للمواد البلاستيكية ليست أصعب منها للمعادن ولكنها تحتاج إلى بيانات شاملة.

في تصميم المواد البلاستيكية من الضروري وصف السلوك الميكانيكي بشيء من التفصيل مع أمثلة عديدة لتوضيح كيفية استخدام البيانات التي تبين تأثير الزمن في عمليات التصميم لهذه المواد.

2- السلوك الريولوجي للمواد البلاستيكية والنماذج الريولوجية:



إن نظريتي المرونة (هوك) واللدونة (نيوتن) غير ملائمة تماماً لدراسة السلوك الميكانيكي للمواد البلاستيكية من كل الوجوه. والمخطط يبين علاقة الانفعال (التشوه) كتابع للزمن ويوضح سلوك Viscoelastic وهو يمثل

السلوك الميكانيكي للمواد البلاستيكية، وحدوده:

* في المواد المرنة الخاضعة لقانون هوك يتناسب الإجهاد (σ) مع الانفعال (ϵ) كالتالي:

$$\sigma = \text{const.} \epsilon \quad (1)$$

والثابت هنا يمثل معامل المرونة لهوك E .

* في المواد اللزجة الخاضعة لقانون نيوتن يتناسب إجهاد القص (τ) مباشرة مع سرعة الانفعال ($\dot{\epsilon}$) كالتالي:

$$\tau = \text{const.} \dot{\epsilon} \quad (2)$$

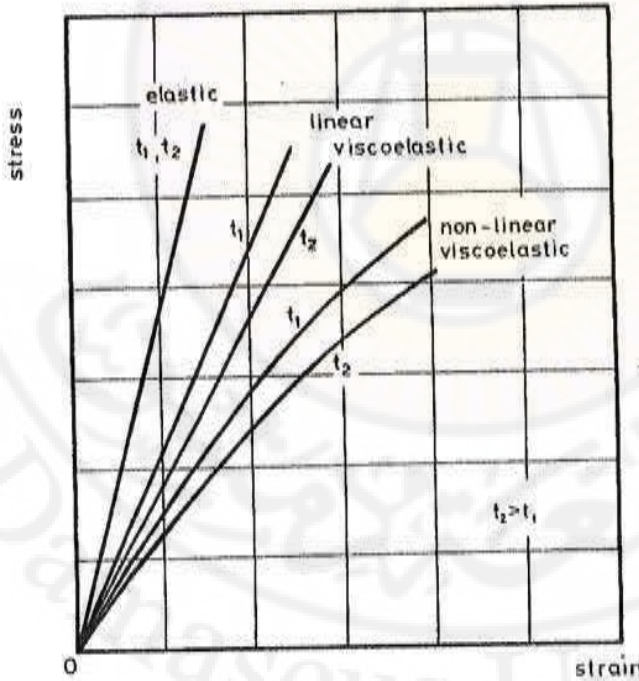
والثابت هنا يمثل اللزوجة الحركية (η).

إن سلوك البوليمير (المواد البلاستيكية) يقع بين الحالتين، وتم الاصطلاح على تسميتها بالسلوك الريولوجي، حيث أن الريولوجيا هو اسم مؤسسة علمية اهتمت بهذه الدراسات.

في المواد الريولوجية يكون الإجهاد تابع للانفعال والزمن، أي:

$$\sigma = \epsilon \cdot f(t) \quad (3)$$

وهذه المعادلة تمثل القاعدة الأساسية للمواد ذات السلوك الريولوجي الخطي. يمثل الشكل (1) تناسب الإجهاد (σ) مباشرة مع الانفعال (ϵ) لمادتين، الأولى مرنة Elastic والثانية ريولوجية Viscoelastic من أجل قيمتين مختلفتين للزمن t .



الشكل (1) مخطط الإجهاد والانفعال لمادتين الأولى مرنة والأخرى ريولوجية من أجل قيمتين مختلفتين للزمن t_1, t_2 .

إن أكثر الملامح المميزة للمواد الريولوجية أنها تبدي تغيراً للانفعال مع الزمن مع ثبات الإجهاد (الزحف Creep)، وتغيراً في الإجهاد مع الزمن مع ثبات الانفعال (الاسترخاء Relaxation)، بالإضافة إلى ذلك فإنه عند إزالة الإجهاد المطبق فإن المادة تمتلك قابلية لأن تعود ببطء إلى وضعها الأصلي بعد مدة من الزمن (الاسترجاع Recovery).

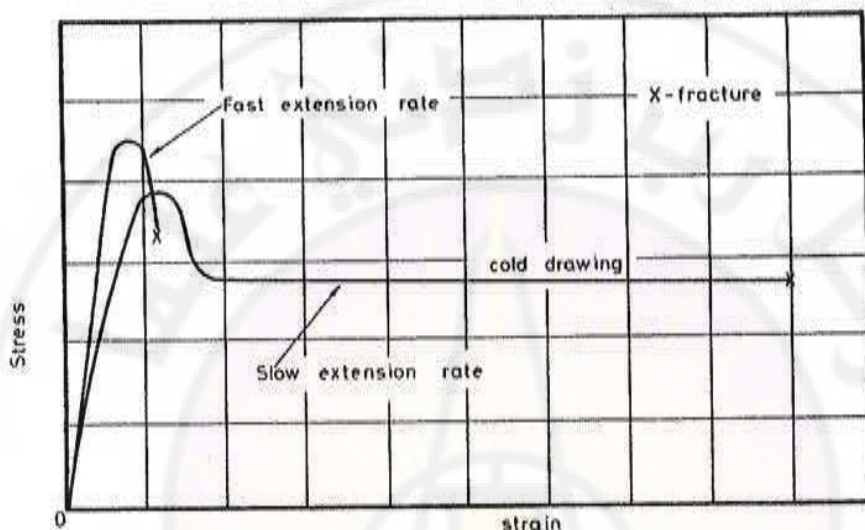
إن هذه التأثيرات يمكن مشاهدتها في المعادن ولكن عند درجات الحرارة العالية جداً، أما في المواد البلاستيكية ففي درجة حرارة الغرفة. إن الدراسات الريولوجية تستخدم عناصر كهربائية (مقاومات، مولدات، ساحة مغناطيسية .. إلخ) أو عناصر ميكانيكية (كالكوابض، المخمدات) وهي الأكثر شيوعاً إذ يمثل النابض (هوك) والمخمد (نيوتن).

ترتبط هذه العناصر على التسلسل أو على التفرع أو كليهما معاً حيث نحصل من دراسة هذه العناصر كما سنرى على معادلة تفاضلية تمثل سلوك المادة إضافة إلى توابع الزحف (التشوه البطيء) والاسترخاء والاسترجاع. اختبار الشد للمواد البلاستيكية:

يعدّ هذا الاختبار أكثر طرق الاختبار المميزة للمعادن، أما بالنسبة للمواد البلاستيكية فيستخدم هذا الأخبار بشكل واسع وبشكل دقيق، والنتائج تكون خاصة بظروف الاختبار، أنها يمكن أن تستخدم للتحكم بخواص المادة ضمن ظروف معينة فقط وليس كبيانات تصميمية، وذلك لأن المواد البلاستيكية مواد ريولوجية تبدي تشوهات حساسة جداً لعدة عوامل مثل سرعة الشد وقيمة الإجهاد ودرجة الحرارة.. إلخ. لذا يمكن أن نحصل على نتائج مختلفة تماماً للمادة نفسها بتغيير ظروف الاختبار.

يمثل الشكل (2) أنه من أجل سرعات الشد العالية (أكبر من 1 mm/sec) لمادة الـ PVC فيكون السلوك هشاً نوعاً ما مع عامل مرونة ومثانة جيدين

نسبياً، أما من أجل سرعات شد منخفضة (أقل من 0.05 mm/sec) فإن المادة نفسها تعطي عامل مرونة ومطانة أقل، ولكن مع لدونة عالية جداً، لذلك فإن تطبيق نتائج الاختبار في معادلات التصميم لظروف عمل مغايرة لظروف الاختبار سيعطي نتائج خاطئة تماماً .

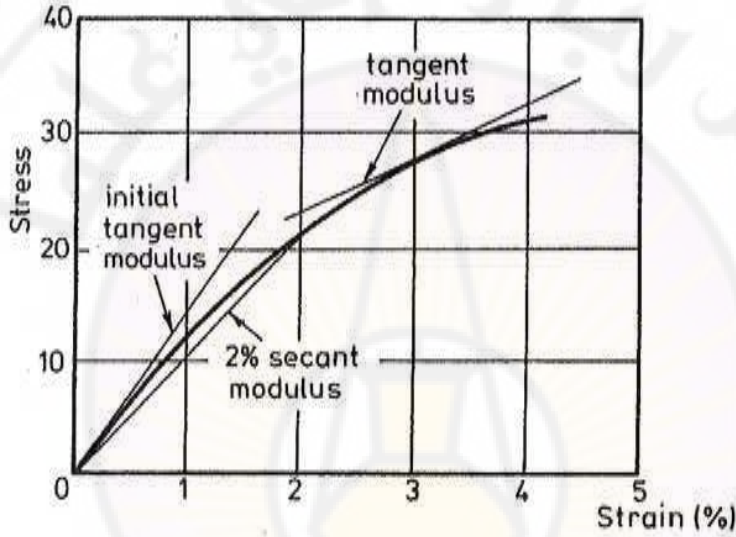


الشكل (2) مخطط الشد المثالي لمادة P.V.C الغير ملدن.

كما يبين هذا الشكل ظاهرة السحب على البارد Cold Drawing والتي تحدث عند سرعات الشد المنخفضة حيث يكون لدى السلاسل الجزيئية للمادة البلاستيكية الوقت الكافي لتصطف تلقائياً تحت تأثير الإجهاد المطبق وبالتالي تكون المادة قادرة على الانسياب بالنسبة نفسها كما لو أنها معرضة للانفعال. تختبر المواد على الشد أحياناً بتطبيق الحمل بشكل متزايد، فإذا تم استخدام هذه الطريقة للمواد البلاستيكية فهناك احتياطات خاصة يجب اتخاذها لأنه في أثناء مدة التأخر الحاصلة بين لحظة الحمل ولحظة تسجيل الانفعال يحدث زحف Creep للمادة، فإذا كانت هذه المدة غير منتظمة فيحصل تبعثر زائد في القيم وبالتالي نحصل على منحنيات لا خطية للمادة إضافة إلى أن طريقة تطبيق الحمل يمكن أن يؤثر على أداء المادة.

في الاختبارات التي يكون فيها تزايد الحمل كبيراً فإنه من المحتمل كثيراً أن تعطى نتائج تختلف بشكل كبير عن تلك النتائج التي نحصل عليها من أجل تزايد صغير أو متنوع.

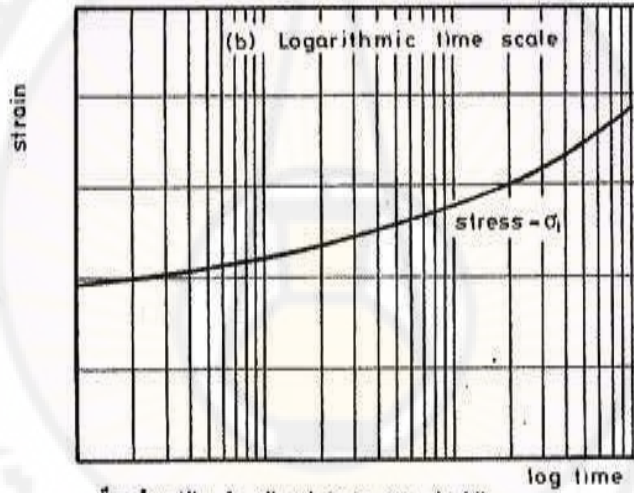
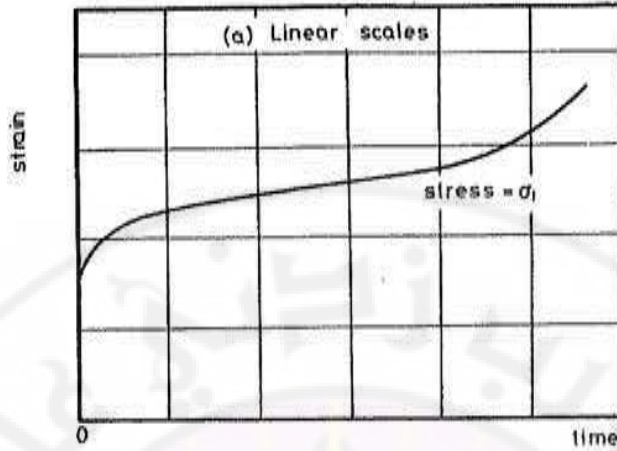
نتيجة عامة: إنه من غير المقبول تحديد خواص المادة مثل المرونة، إجهاد حد الخضوع بوصفها قيمة مجردة من دون تحديد تفاصيل طريقة الاختبار.



الشكل (3) قيم نموذجية لمعامل المرونة للبلاستيك.

الزحف: Creep

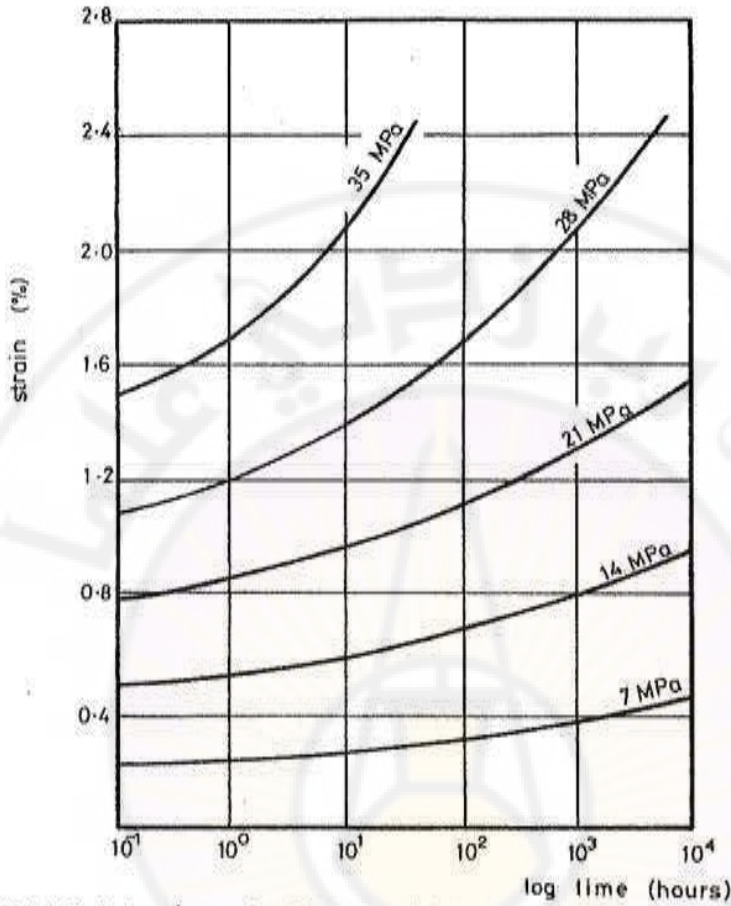
بما أن اختبار الشد للبلاستيك له مساوئ عديدة ما لم يتم إجراؤه بدقة، لذا ينصح باستخدام اختبار الزحف على نحو كبير لوصف التشوهات الحاصلة في البوليميرات. في هذا الاختبار يتم تطبيق حمل ثابت على المادة ويتم تسجيل تغير الانفعال مع الزمن كما في الشكل (4-a) ويؤخذ عادة الزمن بمقياس لوغاريتمي (4-b).



الشكل (4) منحنيات الزحف النموذجية.

نلاحظ من هذا الشكل وجود تزايد سريع في الانفعال في البداية ويتبعه تزايد تدريجي (طردي تقريباً) مع الزمن.

إن هذا النمط من السلوك الخطي يمكن ملاحظته في البلاستيك من أجل نسب الانفعال المنخفضة وفترات زمنية قصيرة، ولكن معظم الحالات يكون السلوك لا خطي كما في الشكل (5). الذي يبين منحنيات الزحف لمادة (PMMA) عند درجة حرارة (20 °C) ولعدة قيم لإجهادات ثابتة.



الشكل (5) منحنيات الزحف لمادة (PMMA) عند درجة حرارة (20 °C).

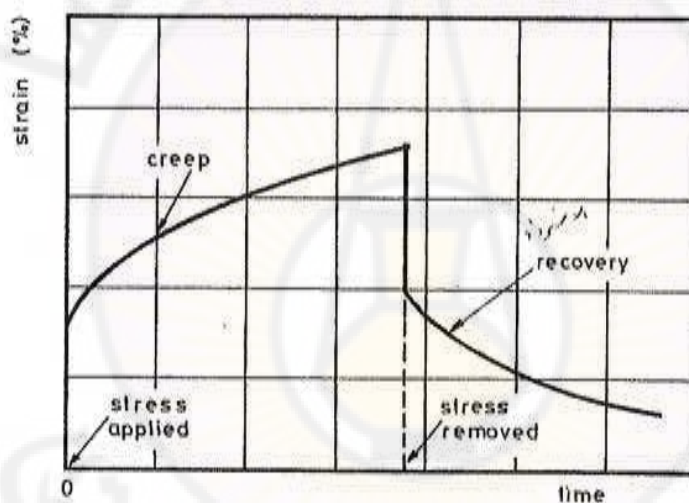
يمكن شرح بعض سمات ميكانيزم الزحف بالاستناد إلى معرفتنا بالتركيب الكيميائي، وكمثال:

البلاستيك الزجاجي (المشابه للزجاج بخواصه). تكون الذرات مقيدة وتمنع من تغير موقعها بتأثير قوى الجذب والتنافر فيما بينها (قوى Van Der waals) والتي تنتج بين الذرات من نفس السلسلة أو الذرات في سلاسل متجاورة. عموماً لكي تغير الذرات مواقعها يجب التغلب على الطاقة المعيقة لها، ويزداد احتمال الحصول على هذه الطاقة اللازمة لذلك عند تطبيق الإجهاد.

في البلاستيك المتبلور (الكريستالي) جزئياً تقع مناطق التبلور ضمن نسيج غير متبلور (عشوائي) وحركة الذرات يمكن أن تحدث في كلتي المنطقتين ولكن يفضل أن تحدث في الجزء العشوائي بين الذرات وهذا يؤدي إلى كون هذه المناطق أقل انفعالاً.

الاسترجاع : Recovery

تمتلك المواد البلاستيكية قابلية لأن تعود إلى وضعها الطبيعي عند إزالة الإجهاد المطبق وهذا يمكن عدّه بتقريب أولي عبارة عن محو لآثار الزحف، والشكل (6) يوضح هذه الخاصية.



الشكل (6) منحنى الزحف والاسترجاع النموذجي.

إن عمليتي الزحف والاسترجاع يمكن أن يمثلهما نموذج ماكسويل (Maxwell Model).

نموذج ماكسويل : (Maxwell Model)

يتألف نموذج ماكسويل من نابض ومخمّد مربوطين على التسلسل كما في الشكل (7).

ويمكن تحليل هذا النموذج كالتالي:

* العلاقة بين الإجهاد والانفعال: يعتبر النابض مرناً ويخضع للمعادلة:

$$\sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1 \quad (1)$$

أما المخمد فهو عبارة عن عنصر لزج يخضع للمعادلة :

$$\sigma_2 = \eta \cdot \dot{\varepsilon}_2 \quad (2)$$

حيث:

$(\sigma_1, \varepsilon_1)$: هما الإجهاد والانفعال للنابض.

(E) : عامل أو ثابت المرونة.

(η) : ثابت يمثل اللزوجة الحركية.

* معادلة التوازن :

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 \quad (3)$$

حيث (σ) : الإجهاد المطبق .

* التشوه الكلي (الانفعال الكلي ε):

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (4)$$

من المعادلات (1) و (2) و (4) يكون :

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (5)$$

تمثل هذه المعادلة التفاضلية نموذج ماكسويل حيث:

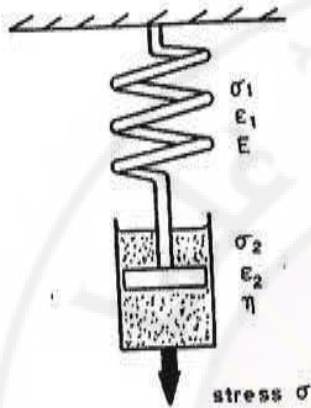
$(\dot{\sigma})$: سرعة الإجهاد.

$(\dot{\varepsilon})$: سرعة تغير الانفعال.

من هذا النموذج وبإدخال عامل الزمن يمكن دراسة كل من الزحف والاسترخاء والاسترجاع لهذا النموذج:

* الزحف:

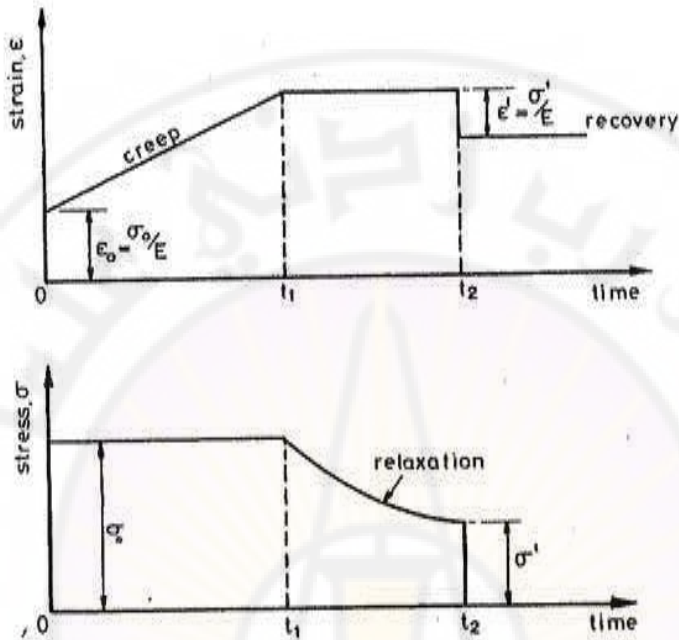
تطبيق إجهاد ثابت $\dot{\sigma} = 0$ تصبح المعادلة (5) كالتالي:



الشكل (7) نموذج ماكسويل

Maxwell Model

$$\dot{\epsilon} = \frac{\sigma}{\eta} \quad (6)$$



الشكل (8) حالات الاستجابة لنموذج ماكسويل.

والشكل (8) يبين ذلك.

* الاسترخاء :

الانفعال ثابت، وتصبح المعادلة (5) كالتالي:

$$0 = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{\eta}$$

وبحل هذه المعادلة التفاضلية مع أخذ الشروط الابتدائية ($\sigma = \sigma_0$) عند

$t = t_0$ يكون :

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{\left(\frac{E}{\eta}\right)t} \quad (7)$$

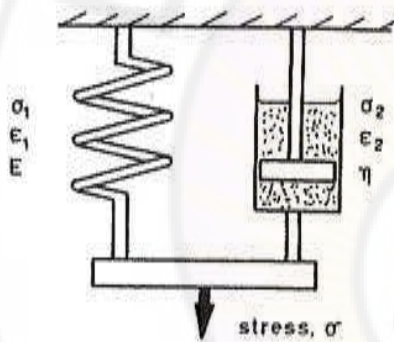
وهذا يبين أن الإجهاد يتناقص أسياً بثابت زمني مقداره $\frac{E}{\eta}$ ، كما بالشكل (8)

* الاسترجاع :

عند إزالة الإجهاد (الحمل) تحدث عملية استرجاع فوري للانفعال (ϵ_1) ويعود إلى الصفر كما هو مبين بالمعادلة (5). أي ليس هناك ظاهرة استرجاع، الشكل (8).

ملاحظة: يمكن قبول حالة الاسترخاء لهذا النموذج كتقريب أولي إلا أنه غير ملائم للتنبؤ باستجابة المادة في حالة الزحف والاسترجاع.

نموذج كالفن (Kelvin Model):



هذا النموذج عبارة عن نابض ومخمّد مربوطين على التفرع كما في الشكل (9).

ويمكن تحليل هذا النموذج كالتالي:

* العلاقة بين الإجهاد والانفعال هي

نفسها المعطاة بنموذج ماكسويل:

$$\sigma_2 = \eta \cdot \dot{\epsilon}_2 \quad \sigma_1 = E \cdot \epsilon_1$$

* معادلة التوازن للإجهاد :

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (8)$$

* التشوه الكلي:

في هذه الحالة فإن الانفعال الكلي يساوي كلاً من الانفعالين :

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 \quad (9)$$

من المعادلة (1) و (2) و (9) يكون:

$$\sigma = E \epsilon_1 + \eta \dot{\epsilon}_2 \quad (10)$$

$$\sigma = E \epsilon + \eta \dot{\epsilon}$$

تمثل هذه المعادلة التفاضلية نموذج كالفن حيث:

(ε): سرعة تغير الانفعال.

ومن خلال تأثير الزمن ندرس كلاً من الزحف والاسترخاء والاسترجاع كالتالي:

* الزحف :

عند تطبيق إجهاد ثابت σ_0 تصبح المعادلة (10) كالتالي:

$$\sigma_0 = E\varepsilon + \eta \dot{\varepsilon}$$

وبحل هذه المعادلة من أجل الانفعال الكلي (ξ) يكون:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \left[1 - e^{\left(-\frac{E}{\eta}\right)t} \right] \quad (11)$$

وهي تبين التزايد الأسّي للانفعال من الصفر إلى القيمة $\left(\frac{\sigma_0}{E}\right)$ والتي يمكن أن يصل إليها النابض في حال عدم وجود مخمد كما بالشكل (10).
* الاسترخاء :

عندما يكون الانفعال ثابتاً، تصبح المعادلة (10) كالتالي:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

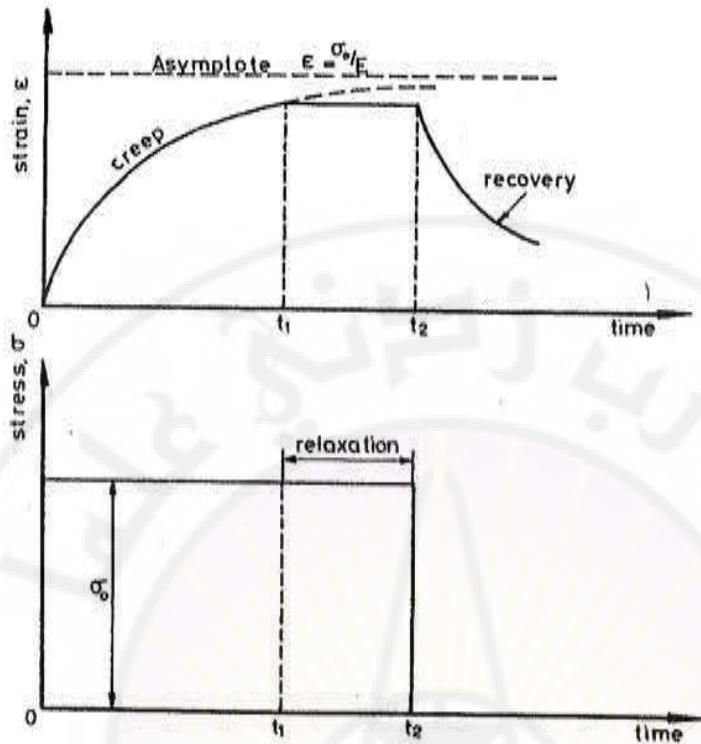
وهذا يعني أن الإجهاد ثابت وهو ناتج عن النابض وبالتالي فإن الاستجابة مطابقة لاستجابة العناصر المرنة، أي لا يوجد أي استرخاء.
* الاسترجاع :

عند إزالة الإجهاد (الحمل) فإن المعادلة (10) تصبح كالتالي:

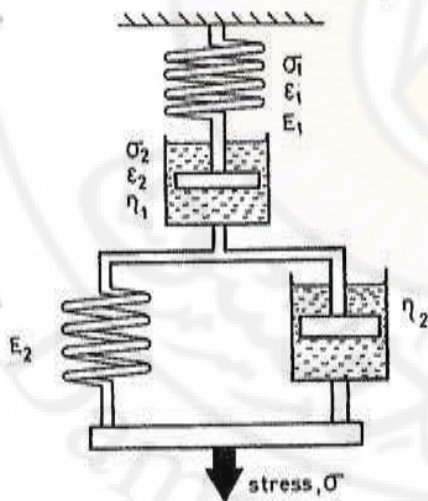
$$0 = E\varepsilon + \eta \cdot \dot{\varepsilon}$$

وبحل هذه المعادلة التفاضلية باعتبار الشروط الابتدائية ($\xi = \xi_0$) بعين الاعتبار عند لحظة إزالة الإجهاد نحصل على العلاقة التالية:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot e^{\left(-\frac{E}{\eta}\right)t} \quad (12)$$



الشكل (10) مخططات الاستجابة لنموذج كالفن.



الشكل (11) نموذج ماكسويل ونموذج كالفن
مربوطين على التسلسل.

وهذا يمثل عملية استرجاع أسية
للالفعال، وهي معاكسة لعملية
الزحف الحاصل وبناءً عليه فإن
هذا النموذج يعطي تقريباً أولياً
مقبولاً للزحف والاسترجاع ولا
يعطي وصفاً لحالة الاسترخاء،
بينما نموذج ماكسويل يعطي
للاسترخاء ولا يعبر عن الزحف
والاسترجاع. بجمع هذين
النموذجين ماكسويل وكالفن كما
في الشكل (11) يمكن الحصول

على نموذج يعبر عن الحالات الثلاثة (الزحف والاسترخاء والاسترجاع).
للمodel السابق يطلب ما يلي:

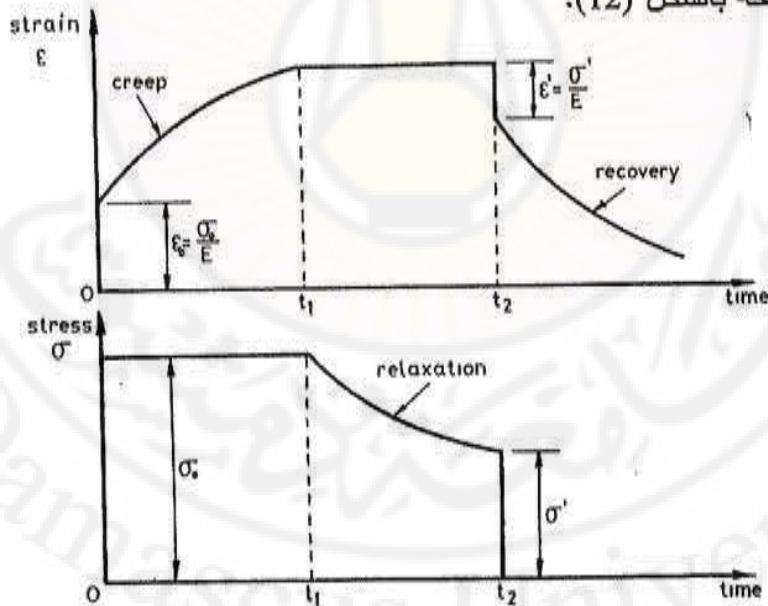
* أثبت أن:
$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{\eta_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_2} e^{\left(\frac{-E_2}{\eta_2}\right)t}$$

* ارسم المخططات الممثلة لكل من الزحف والاسترخاء والاسترجاع.
الحل:

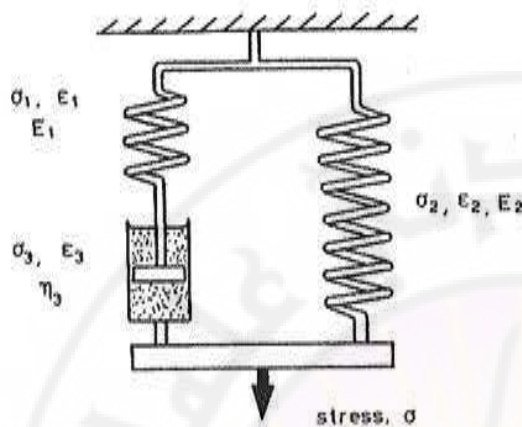
من المعادلات (1) و (2) و (11) نجد:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0 t}{\eta_1} + \frac{\sigma_0}{E_2} \left[1 - e^{\left(\frac{-E_2}{\eta_2}\right)t} \right]$$

وباشتقاق المعادلة نحصل على علاقة سرعة الانفعال المطلوبة.
أما استجابة هذا النموذج في حالات الزحف والاسترخاء والاسترجاع فهي
عبارة عن مجموعة التأثيرات التي تم وصفها في النموذجين السابقين، وهي
موضحة بالشكل (12).



الشكل (12) مخططات استجابة نموذجي ماكسويل - كالفن.



هناك نموذج مشابه يتألف من عناصر مربوطة على التسلسل وأخرى على التوازي ويسمى بالزئير (Zener) ويعرف بالنموذج القياسي الخطي المستمر (Standard linear solids) وهو موضح في الشكل (13).

للمنموذج السابق أثبت أن: الشكل (13) النموذج القياسي الخطي المستمر.

$$\eta_3 \dot{\sigma} + E_1 \sigma = \eta_3 (E_1 + E_2) \dot{\epsilon} + E_1 E_2 \epsilon$$

في النظريات الحديثة الخاصة بالسلوك الريولوجي يفضل استخدام الشكل العام للمعادلة السابقة والمبين بالعلاقة:

$$a_n \frac{d^n \sigma}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} \sigma}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 \sigma = b_m \frac{d^m \epsilon}{dt^m} + \dots + b_0 \epsilon$$

والمعادلات السابقة حالة خاصة لهذه المعادلة.

3- مبدأ التراكيب : (Superposition Principle)

إن النماذج النظرية يمكن أن تكون مفيدة في تحديد استجابة المادة عند تطبيق برنامج تحميل محدد، ويعتبر مبدأ بولتزمان في التراكب من أبسط المبادئ المستخدمة وأكثرها انتشاراً.

إذ يقول إن الانفعال للمواد ذات السلوك الريولوجي الخطي والنتائج من برنامج تحميل معقد هو عبارة عن المجموع الجبري للانفعالات الناتجة عن كل خطوة تحميل، وهذا المبدأ يتضمن فكرة كون سلوك المواد البلاستيكية تابع لكامل برنامج التحميل المعرضة له.

ويمكن شرح هذا المبدأ رياضياً كما يلي:
إذا تم الحصول على معادلة الانفعال كتابع للزمن من أجل إجهاد ثابت، عندئذٍ
يمكن التعبير عن علاقة المرونة مع الزمن كالتالي:

$$E(t) = \frac{\sigma}{\varepsilon(t)} \quad (23)$$

إذا تم تطبيق الإجهاد (σ_0) عند لحظة الصفر فعندئذٍ يمكن تحديد الانفعال
الناتج من الزحف في أي لحظة (t) بالعلاقة:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E(t)} \quad (24)$$

إذا استعصنا عن الإجهاد (σ_0) بإجهاد (σ_1) يتم تطبيقه عند زمن وسطي
(u) فعندئذٍ من أجل أي زمن لاحق (t) فإن الإجهاد سيكون قد طبق لمدة
زمنية قدرها ($t-u$) وعندئذٍ سيكون الانفعال الناتج

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E(t-u)} \cdot \sigma_1 \quad (25)$$

الآن لنفترض أن الإجهاد تم تطبيقه بعد فترة زمنية من تطبيق (σ_0) عند
لحظة الصفر وبعد تطبيق الإجهاد الإضافي (σ_1) عند اللحظة (u) فإن مبدأ
بولتزمان للتراكب يقول أن الانفعال الكلي عند الزمن (t) هو عبارة عن
مجموع جبري لكلا الاستجابتين كلاً على حدى، أي:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E(t)} \cdot \sigma_0 + \frac{1}{E(t-u)} \cdot \sigma_1 \quad (26)$$

وهذه المعادلة يمكن تعميمها من أجل زيادة مستمرة في الإجهاد إلى الشكل:

$$\varepsilon(t) = \sum_{u_1=-\infty}^{u_1=t} \sigma_1 \frac{1}{E(t-u)} \quad (27)$$

وقد تم وضع الحد الأدنى للمجموع ($-\infty$) لأن كامل برنامج تطبيق الإجهاد
يساهم في حدوث الانفعال.

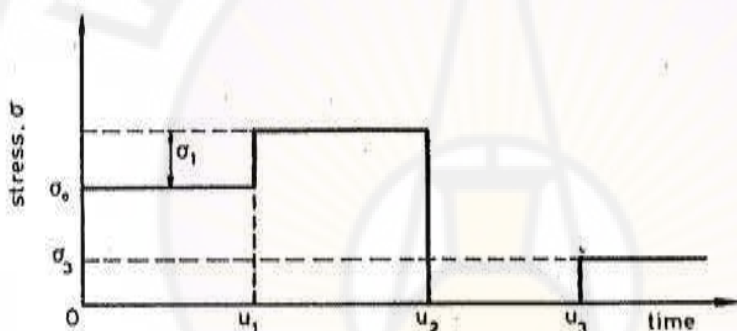
يمكن تعميم المعادلة السابقة بشكل أكبر لتطبق في عمليات الحساب من أجل دورات التحميل المستمرة:

$$\varepsilon(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{E(t-u)} \cdot \frac{d\sigma(u)}{du} du \quad (28)$$

والطريقة بنفسها تماماً تغير الإجهاد بسبب تغير الانفعال مع الزمن يمكن أن يشتق للحصول على العلاقة:

$$\sigma(t) = \int_{-\infty}^t E(t-u) \cdot \frac{d\varepsilon(u)}{du} du \quad (29)$$

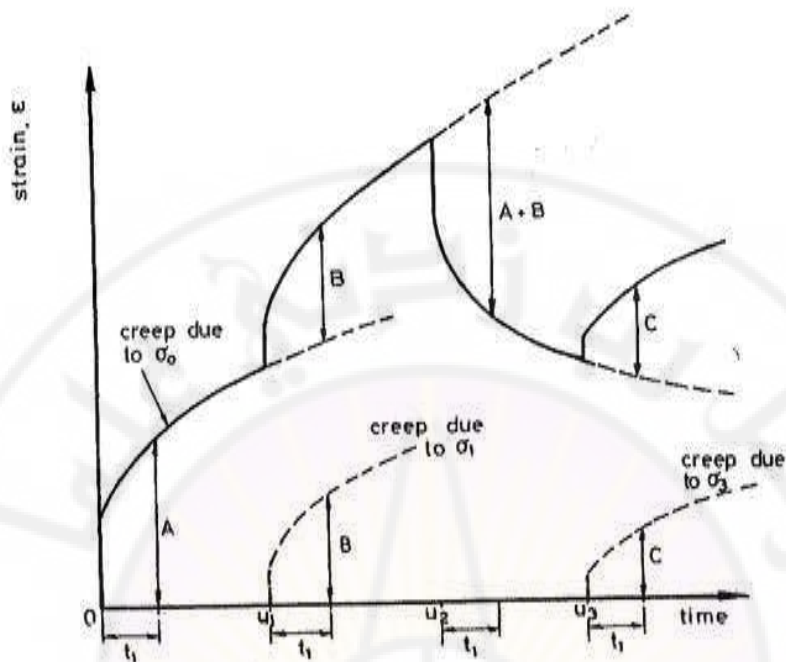
الاستجابة التي يمكن أن نتنبأ بها بهذا النمط يمكن أن تُبين بيانياً، والتسلسل الزمني لتغير خطوات تطبيق الإجهاد مبين في الشكل (14-a).



الشكل (14-a) زمن تطبيق الإجهاد،

إذا تم تطبيق الإجهاد (σ_0) في لحظة الصفر فإن منحنى الزحف سيكون عبارة عن تابع انفعال للزمن المعبر عنه بالمعادلة (24). عند إضافة إجهاد آخر (σ_1) فإن منحنى الزمن الجديد سيتم الحصول عليه بإضافة الزمن الناتج عن (σ_1) إلى الزمن السابق عندما كان الإجهاد مطبقاً وحده، وهذا موضح في الشكل (14-b).

فيما بعد إذا تم إزالة كل الإجهادات فهذا يوافق إزالة انفعالات الزحف الناتجة من كل من (σ_0, σ_1) على نحو مستقل كما هو مبين في الشكل السابق، ويتم تكرار العملية من أجل أي تغيرات في قيم الإجهاد.



الشكل (14-b) الانفعال المتوقع عند استخدام مبدأ التراكب.

إذا كان برنامج الإجهاد أكثر تعقيداً فيمكن استخدام المعادلة (28) كما يلي:
نعتبر برنامج تطبيق الإجهاد كما هو مبين في الشكل (15) وهو مطبق على مادة بلاستيكية ذات معامل مرونة تابع للزمن ومعطى بالعلاقة:

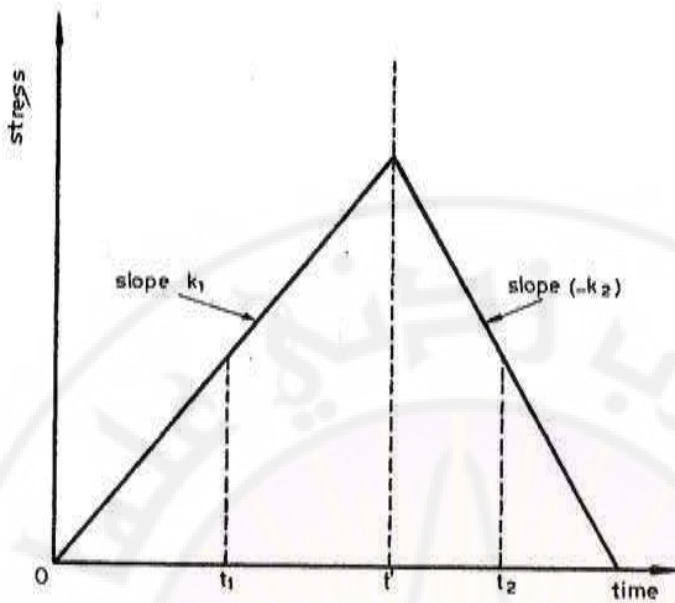
$$E(t) = \frac{E_0 \cdot \eta}{\eta + E_0 \cdot t}$$

حيث :

(E_0) : هو العنصر المرن.

(η) : تعبر عن العنصر اللزج.

لنفترض أننا نريد الانفعال عند (t_1) ، (t_2).



الشكل (15) زمن تطبيق الإجهاد المراد تحليله.

الحالة الأولى (t_1) :

يمكن تعريف الإجهاد كما يلي:

$$-\infty < t < 0 \quad \sigma(t) = 0$$

$$0 < t < t_1 \quad \sigma(t) = k_1 \cdot t$$

وبالعودة إلى المعادلة (28) نجد:

$$\varepsilon(t_1) = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{E(t-u)} \cdot 0 \cdot du + \int_0^{t_1} \frac{(\eta + E_e \cdot t_1 - E_e u)}{E_e \eta} \cdot k_1 \cdot du$$

وبالمكاملة :

$$\varepsilon(t_1) = \frac{k_1}{E_e \cdot \eta} \left[\eta \cdot u + E_e \cdot t_1 \cdot u - \frac{E_e u^2}{2} \right]_0^{t_1}$$

$$\Rightarrow \varepsilon(t_1) = k_1 \cdot t_1 \left(\frac{1}{E_e} + \frac{t_1}{2\eta} \right)$$

الحالة الثانية (t_2) :

وفي هذه الحالة يمكن تعريف الإجهاد كما يلي:

$$-\infty < t < 0 \quad \sigma(t) = 0$$

$$0 < t < t' \quad \sigma(t) = k_1 \cdot t$$

$$t' < t < t^2 \quad \sigma(t) = k_1 \cdot t' - k_2(t - t')$$

وبالعودة إلى المعادلة (28) نجد:

$$\begin{aligned} \varepsilon(t_2) = & \int_{-\infty}^0 \frac{1}{E(t-u)} \cdot 0 \cdot du + \int_0^{t'} \frac{(\eta + E_e \cdot t_2 - E_e u)}{E_e \eta} \cdot k_1 \cdot du \\ & + \int_{t'}^{t_2} \frac{(\eta + E_e \cdot t_2 - E_e u)}{E_e \eta} \cdot du \end{aligned}$$

وبالمكاملة :

$$\varepsilon(t_2) = (k_1 \cdot t' + k_2 t') \left[\frac{1}{E_e} + \frac{t_2}{\eta} - \frac{t'}{2 \cdot \eta} \right] - k_2 \cdot t_2 \left(\frac{1}{E_e} + \frac{t_2}{2 \cdot \eta} \right)$$

إذا كان الإجهاد يزال فجأة عند الزمن (t') بدلاً من التناقص التدريجي فيمكن الحصول على الانفعال في أي زمن لاحق بإجراء تحليل مشابه لما سبق، وهو كما يلي:

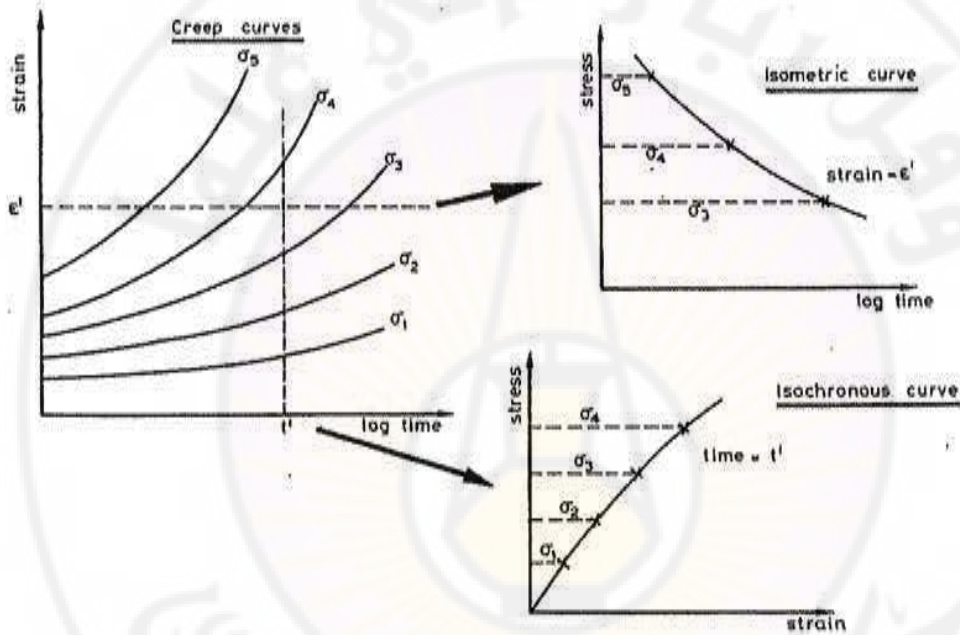
$$\begin{aligned} \varepsilon(t_2) &= k_1 \cdot t' \left(\frac{1}{E_e} + \frac{t_2}{\eta} - \frac{t'}{2 \cdot \eta} \right) - \frac{\Delta \sigma}{E(t_2 - t')} \\ \varepsilon(t_2) &= k_1 \cdot t' \left(\frac{1}{E_e} + \frac{t_2}{\eta} - \frac{t'}{2 \cdot \eta} \right) - \frac{k_1 \cdot t' \cdot [\eta + E_e(t_2 - t')]}{E_e \cdot \eta} \end{aligned}$$

المنحنيات عند ثبات كل من الزمن والانفعال :

(Isochronous and Isometric curves)

إن أكثر الطرق شيوعاً لعرض العلاقة بين كل من الزمن والانفعال والإجهاد هي استخدام منحنيات التزحف، كما توجد أيضاً طرق أخرى والتي يمكن أن تكون أكثر فائدة لبعض التطبيقات الخاصة، إحدى هذه الطرق يتم الحصول عليها بأخذ قيمة ثابتة للانفعال تقطع المنحنيات على مخطط التزحف ومن ثم يتم إعادة رسم مخطط الإجهاد مع الرسم، شكل (16)، المنحني الناتج يدعى بمنحني ثابت الانفعال (أي من أجل قيمة ثابتة للانفعال)، وهو يبين استرخاء

الإجهاد في المادة عند ثبات الانفعال، وهذا المخطط يستخدم عادة لإعطاء قيم تقريبية لاسترخاء الإجهاد في المادة لأنه يحتاج لعمليات تجريبية أقل مما هو عليه للترحف، كما يمكن الحصول على منحنى آخر بأخذ قيم ثابتة للزمن تقطع منحنى الإجهاد في منحنى الترحف، ومن ثم يتم رسم مخطط الإجهاد الانفعال كما في الشكل (16).



الشكل (16) مخططات ثبات الزمن وثبات الانفعال المستخرجة من مخطط الترحف.

وقد اصطلح على تسميته بمخطط ثبات الزمن، كما يمكن الحصول عليه تجريبياً بإجراء سلسلة من اختبارات الترحف والاستعادة من أجل فترات زمنية قصيرة على المادة المدروسة.

في هذه التجربة يتم تطبيق الإجهاد على عينة من المادة وتسجل قيمة الانفعال الناتج بعد زمن معين (t) وليكن مثلاً 100(sec)، ثم يزال الحمل ويُسمح

للمادة بأن تستعيد شكلها خلال فترة زمنية قدرها (4t) عادة، ثم يتم تطبيق إجهاد أكبر على العينة نفسها، وتكرر العمليات السابقة إلى أن نحصل على عدد كاف من النقاط لرسم منحنى ثبات الزمن.

تعدّ المنحنيات السابقة ذات أهمية خاصة عندما يتم الحصول عليها تجريبياً، لأنها تعطي النتائج أسرع، وتحتاج العينات فيها إلى تحضير أقل من عينات اختبار التزحف.

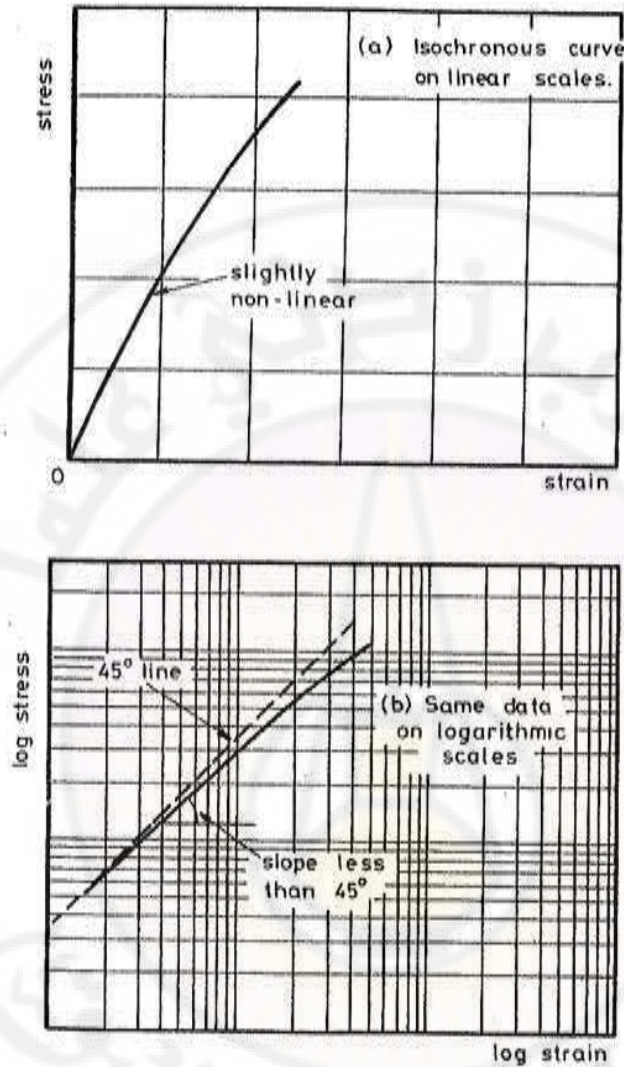
يمكن أن تستخدم منحنيات ثبات الزمن من أجل فواصل زمنية قدرها (t) لبناء منحنيات التزحف ومن أجل تحديد المناطق التي يتركز فيها التزحف على نحو رئيسي.

كما أنها مستخدمة بشكل كبير لتقييم التشوهات الحاصلة لأن البيانات الناتجة مشابهة لتلك التي نحصل عليها من اختبارات الشد التقليدي.

من المهم أن نلاحظ أن طريقة الاختبار من أجل لحظة زمنية ثابتة تختلف عن اختبار الشد التقليدي ذو الحمل المتزايد مع الزمن بناحيتين:

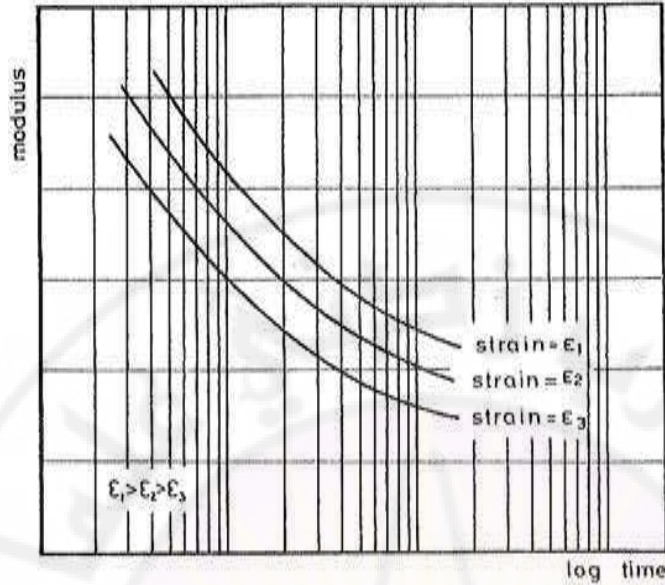
- يتم أخذ الزحف في الحسبان.
- ذاكرة المادة لبرنامج التحميل (أي التشوهات الناتجة من التحميل السابق) يتم التغلب عليها من خلال مدة الاستعادة.

يمكن تمثيل منحنيات ثبات الزمن على مخطط بمحاور لوغاريتمية، وأحد الأسباب الداعية لهذا التمثيل أنه من أجل الإحداثيات العادية (الخطية) فإن اللاخطية الطفيفة لهذا المنحني لا يمكن ملاحظتها بوضوح وبينما باستخدام المحاور اللوغاريتمية سيقترّب هذا المنحني من المستقيم، وسيعبر عن اللاخطية من خلال كون ميل المستقيم أقل من الواحد، ويظهر ذلك من الشكل (17) حيث تم رسم المخطط على محاور لوغاريتمية وعادية.



الشكل (17) طريقة تقديم المخطط الإيزوكروني.

أما الطريقة الثالثة التي يمكن أن تستخدم لتمثيل سلوك المواد البلاستيكية لمدد زمنية طويلة فهي منحنيات تغير عامل المرونة مع الزمن، حيث يمكن اشتقاق هذه المنحنيات من منحنيات التزحف بطريقة مشابهة لعملية اشتقاق منحنيات ثبات الانفعال، وهذه المنحنيات موضحة في الشكل (18).



الشكل (18) التغير النموذجي للمعامل مع الزمن.

4- تأثير درجة الحرارة في سلوك المواد البلاستيكية :

تستخدم المواد البلاستيكية في مجال واسع من درجات الحرارة، وعليه فإن تأثير درجة الحرارة يجب أن يؤخذ في الحسبان منذ المراحل التصميمية الأولى للمنتج.

إن السلوك الريولوجي للمادة البلاستيكية يجعل لتأثير درجة الحرارة في البلاستيك أهمية كبيرة.

الروابط الدائمة في البلاستيك تكون متينة وقوية والروابط التساهمية على طول السلسلة الجزيئية لن تتأثر كثيراً بتغير درجة الحرارة ما لم تتجاوز هذه الدرجة درجة حرارة انهيار المادة.

أما الروابط الثانوية التي تربط السلاسل بعضها ببعض، تحدد الحركة النسبية لها وأوضاعها النسبية أيضاً، فإنه يتم التغلب عليها بسهولة بزيادة درجة الحرارة، مما يزيد في حركة الذرات ويظهر أثر ذلك من خلال تغير الخواص الفيزيائية للبلاستيك.

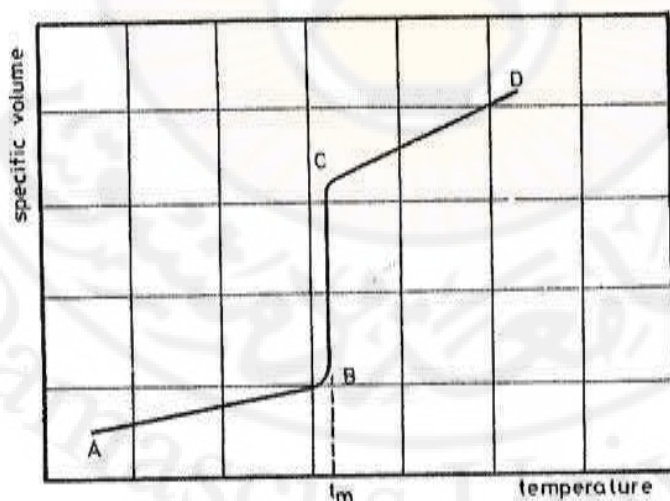
وهكذا فإن تأثير درجة الحرارة في الخواص الميكانيكية للبلاستيك يجب أن يحدد قبل أن يتم الشروع في العمليات التصميمية للعناصر.

يمكننا استخدام منحنيات التزحف المعبرة عن مجال واسع لتغير درجة الحرارة، ولكن هذه العملية نادرة الاستخدام بسبب الوقت الكبير اللازم لها وبسبب الكلفة العالية للحصول على هذه المنحنيات.

عملياً تستخدم علاقات مبسطة مع تغير كل من عاملي الزمن ودرجة الحرارة إلى جانب استخدام منحنيات تزحف لدرجات حرارة خاصة.

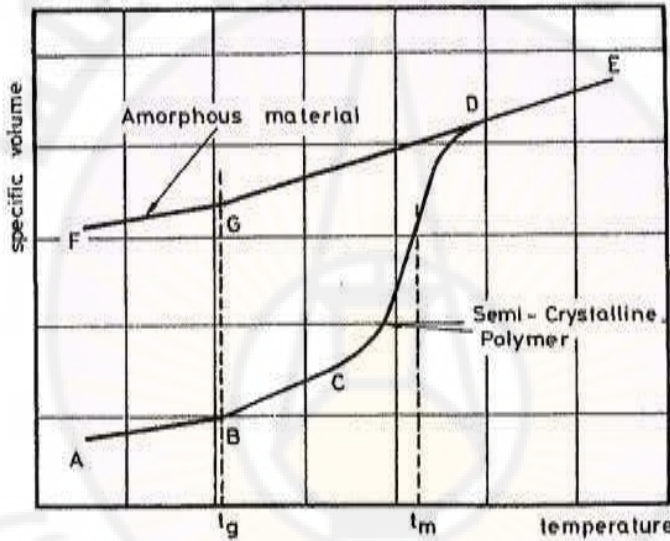
التأثيرات النسبية لارتفاع درجة الحرارة على مواد بلاستيكية مختلفة تعتمد على بنية كل من هذه المواد، وخاصة فيما إذا كانت هذه المواد متبلورة أو عديمة التبلور.

إذا تم رفع درجة حرارة مادة كاملة التبلور، وتمت مراقبة بعض خواص هذه المادة (كالهجم النوعي مثلاً) فإننا سنحصل على المنحني المعبر عن سلوك المادة كما في الشكل (19).



الشكل (19) منحني تغير الحجم النوعي مع درجة الحرارة للمواد القابلة للتبلور.

إن التغير الحاد في الحجم النوعي الممثل بالجزء (BC) يحدث عند مجال حراري صغير يعرف اصطلاحاً بدرجة حرارة الانصهار، من ناحية أخرى إذا تم إجراء الاختبار نفسه على مادة عديمة التبلور، فلن يكون هناك نقطة انصهار معينة، وإنما مجال تحول في الحالة الصلبة إلى الحالة العجينية للمادة، ويظهر ذلك على الجزء FGDE من المنحني البياني الموضح بالشكل (20)، حيث تدعى نقطة بدء التحول بدرجة حرارة التحول الصلب.



الشكل (20) تغير الحجم النوعي مع درجة الحرارة للمواد عديمة التبلور والمواد النصف متبلورة.

كثير من أنواع المواد البلاستيكية مكون من نوعي البلاستيك المتبلور وعديم التبلور، وعليه إن سلوكها سيكون بين الحالتين كما في الشكل السابق. وعلى الجزء ABCDE حيث أنه عند الجزء DE يكون الجزء عديم التبلور من المادة في حالته المنصهرة، ومع تناقص درجة الحرارة فإن الجزء البلوري من المادة يبدأ بالتبلور عند نقطة تعرف بدرجة حرارة الانصهار

(Tm) أو (T₀) عند النقطة (C) تكون البنية عبارة عن سلاسل منتظمة (مرتبة) في مزيج غير متبلور وعجيني. عند درجة حرارة التحول الصلب (T_g)، يتحول المزيج إلى بنية زجاجية صلبة.

إذا كان البلاستيك في غالبيته عديم التبلور (مثل البوليستيرين والبولي ميثيل ميتا أكريل) فعندها تكون درجة حرارة التحول الصلب هي التي ستحدد درجة حرارة الخدمة العليا، أما إذا كان البلاستيك بلوري بدرجة كبيرة (كالبولي إيثيلين والبولي بروبيلين) فإن منطقة عدم التبلور تكون صغيرة وبالتالي تكون درجة حرارة التحول الصلب ثانوية الأهمية، وعندها فإن درجة حرارة الانصهار هي التي ستحدد درجة حرارة الخدمة الأعظمية. إن درجة حرارة الخدمة الدنيا والتي يمكن العمل عندها وتحكمها القصفة (الهشاشة) التي تظهر في المادة عند هذه الدرجة من الحرارة.

والجدول التالي يعطي درجات حرارة التحول الصلب ودرجات الانصهار ودرجات الحرارة العملية للخدمة لعدة أنواع من البلاستيك، ودرجة حرارة الخدمة من أجل العمليات المستمرة، وتعطي كدليل (كمؤشر) فقط، لأنها تتأثر بعدة عوامل كنوع الحمل (التعب، الصدم، إلخ...)، ومستوى الإجهاد، والظروف البيئية.

MATERIAL	T _g (°C)	T _m (°C)	Maximum Temperature under stress (°C)	Lowest Temperature under stress (°C)
Polyethylene	-105,-20	115	85	-50
Polypropylene	-20	150	95	-25
Polystyrene	100	-	70	-50
Polymethyl methacrylate	100	-	70	-50
Polyvinyl chloride	80	-	70	-30
Polyoxymethylene (acetal)	-13	160	90	-50
PTFE	127	327	150	-150
Nylon 6	50	215	110	-40
Nylon 66	60	260	110	-30
Polycarbonate	149	225	110	-70
Natural Rubber	-75	-	-	-

إن سلوك المواد البوليميرية في درجة حرارة الغرفة متعلق بدرجة حرارة تحولاتها الصلبة، مثلاً على ذلك إن البولي ميثيل ميتا أكريل عند درجة حرارة الغرفة يكون دون درجة الحرارة (Tg) الخاصة به والتي تفسر صلابته وسلوكه الهش (القصيف).

من ناحية أخرى فإن البولي إيثيلين يكون عند نفسي درجة الحرارة فوق (Tg) الخاصة به وبالتالي فإنه يكون ذا طبيعة مرنة وقابل للانحناء.

5- طرق تصميم البلاستيك باستخدام منحنيات التشوه:

من وصف السلوك الريولوجي للبلاستيك يتضح أن التشوهات تعتمد على عوامل عديدة كزمن التعرض للإجهاد ودرجة الحرارة، وعليه فعند تصميم العناصر التركيبية باستخدام البلاستيك يجب أن نتذكر العلاقات الكلاسيكية المستخدمة في تصميم النوايض والجوائز والصفائح والأسطوانات وغيرها. لكن يجب أخذ الافتراضات التالية بالحسبان:

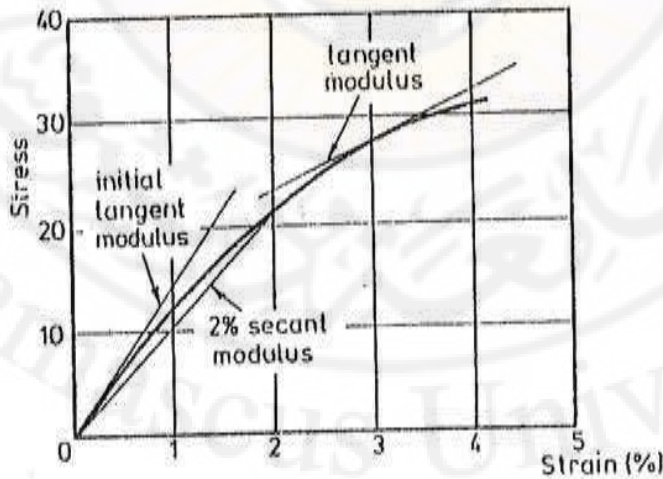
- الانفعالات صغيرة.
 - المعاملات ثابتة.
 - الانفعالات مستقلة عن معدل الحمل وقابلة للتغير بسرعة.
 - تتصرف المادة بالطريقة نفسها سواء عند الشد أم الضغط.
- بما أن هذه الافتراضات غير متوافرة دائماً بالبلاستيك، لذا فإن هذه المعادلات لا يمكن أن تستخدم لجميع الحالات، وكل حالة يجب أن تؤخذ بالحسبان وتدرس حسب وظيفتها، ويعلل ذلك من خلال عدة عوامل كشكل التشوه ودرجة حرارة الخدمة وطريقة التصنيع والظروف والبيئة وغيرها من العوامل. تستخدم المعادلات الكلاسيكية على النحو التالي:

$$\text{الإجهاد} = \text{الانفعال} \times \text{ثابت}$$

$$\sigma = \text{const} \times \epsilon$$

حيث يمثل الثابت معامل معيناً، والحقيقة كما لاحظنا أن معاملات البلاستيك غير ثابتة، وقد استخدمت عدة تقريبات من أجل استخدام هذه المعاملات وأعطى بعضها نتائج دقيقة (هذه الطرق متعددة وتشكل عقبة أمام المصممين). إن الطريقة المقبولة والتي تستخدم على نطاق واسع هي طريقة التصميم بالمرونة الغير حقيقية (الوهمية)، حيث إن بهذه الطريقة ترتبط العوامل بالزمن (كمعامل المرونة مثلاً) حيث يتم اختيارها واستبدالها في العلاقات الكلاسيكية (التقليدية). وهذه الطريقة تعطي دقة كافية في معظم الحالات. إضافة إلى أن قيمة عامل المرونة تأخذ في الحسبان عمر الخدمة للعنصر والانفعال المسموح به للبلاستيك. وهنا نفرض بالتأكيد أن الانفعال الحدي للمادة معلوم.

إن هذا الرقم (الانفعال الحدي) لا يمكن الحصول عليه ببساطة لكافة أنواع البلاستيك ولا حتى لنوع واحد منه بحيث يشمل كافة التطبيقات، ويتم اختياره غالباً بشكل عشوائي رغم وجود عدة طرق لاختياره وفق قيمة مناسبة، وإحدى هذه الطرق هي رسم وتر المعامل الذي يمثل (85%) من ميل المماس الأولي كما بالشكل التالي، وملاحظة الانفعال الذي يتقاطع مع كل من الإجهاد والانفعال المميزين عنده.



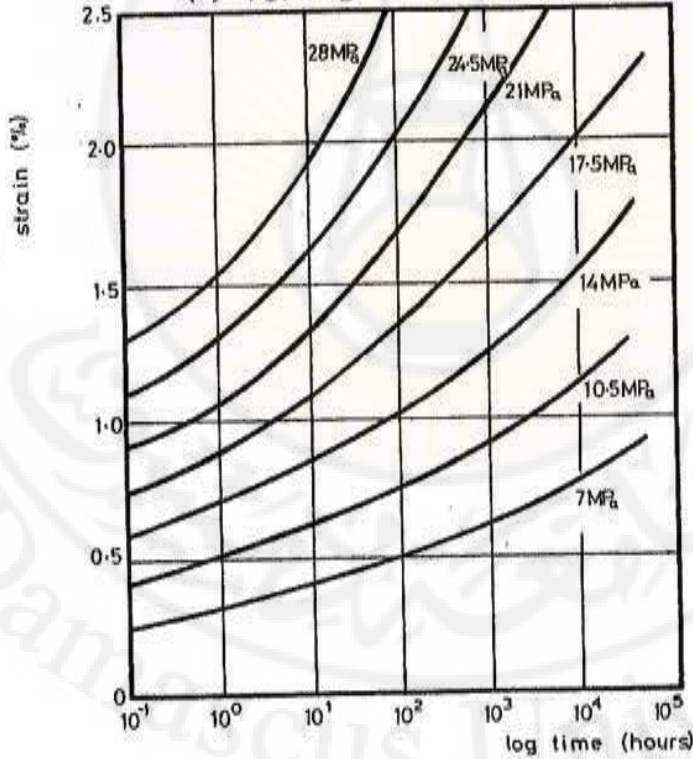
يوجد كثير من القيود حول هذه الطريقة خاصة للمواد الكريستالية. في كثير من الحالات يتم تقرير قيم الانفعال الحدي من خلال المشاورات بين المصمم والمصنع.

عند تحديد قيم الانفعال الحدي، فإن طريقة التصميم تطبق على منحنيات التزحف الخاصة ببساطة، والأمثلة المحولة التالية توضح ذلك:

6- أمثلة محلولة:

مثال ١:

يتعرض جدار داخلي لأنبوب بلاستيكي لضغط داخلي قدره (0.7 MPa) تظهر منحنيات الزحف لمادته على الشكل (21)، ويعين عمر الأنبوب (20000 ساعة عمل)، وبانفعال أعظمي قدره (2%)، فإذا كان قطر الأنبوب (150mm) فاحسب السماكة المناسبة لجدار الأنبوب (h).



الشكل (21) منحنيات الزحف للمادة المستخدمة في المثال المذكور.

الحل :

الإجهاد المحيطي في جدار الأنبوب (σ) والناتج من الضغط الداخلي في

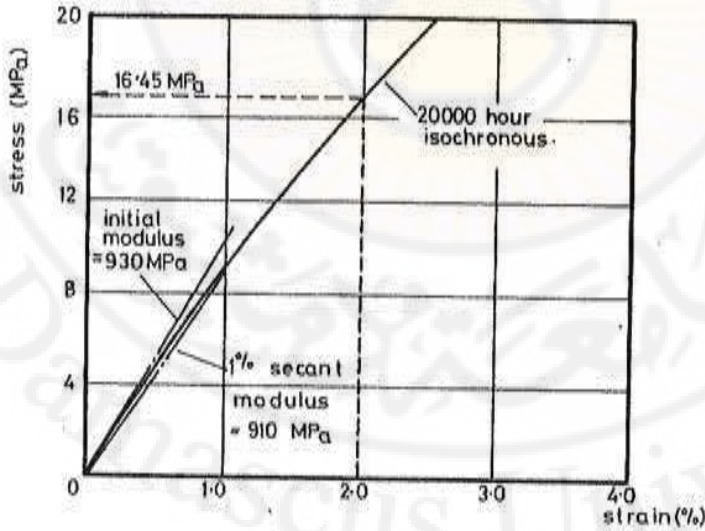
$$\sigma = \frac{P.d}{2.h} \Rightarrow h = \frac{P.d}{2.\sigma} \quad \text{الأنبوب (P) يعطى بالعلاقة:}$$

يتم الحصول على الإجهاد المناسب للتصميم من خلال منحنيات التزحف، وذلك بتحديد المنحني المعبر عن عمر قدره (20000 ساعة عمل)، كما في الشكل (22)، فالإجهاد المسموح به عند انفعال قدره (2%) سيكون (16.45 MPa) وبالتعويض في العلاقة السابقة نجد:

$$h = \frac{0.7 \times 150}{2 \times 16.45} = 3.19 \text{ mm}$$

بالعودة إلى منحنيات التزحف يظهر لدينا أنه عند الضغط الأولي فإن الانفعال يكون دون (1%)، وبعد أن تبدأ المادة بالتزحف فإن الانفعال يزداد على نحو ثابت ليصل إلى القيمة (2%) وذلك عند (20000 ساعة عمل).

لاحظ أنه يمكننا الحصول على النتيجة نفسها بتعيين (2%) بثبات الانفعال وقراءة الإجهاد الموافق عند (20000 ساعة عمل).



الشكل (22) المنحني الإيزوكروني عند (20000 ساعة عمل).

مثال ٢ :

جائز بلاستيكي طوله (200 mm) ويتوضع على مساند بسيطة من الطرفين، ويتعرض لحمولة (P) مركزة في منتصفه، فإذا كان الانفعال الأعظمي المسموح به لمادته قدره (1%)، فاحسب الحمل الأعظمي الذي يمكن للجائز أن يتحمله، علماً أن الانحراف الأعظمي المسموح به يجب ألا يزيد عن (5mm) وزمن الخدمة (20000 ساعة عمل).

يعطى الانحراف (δ) بالعلاقة:

$$\delta = \frac{P.L^3}{48EI}$$

حيث أن:

(L) : طول الجائز.

(E): معامل المرونة الأول لمادة الجائز .

(I) : عزم العطالة السكوني للمقطع العرضي للجائز، ويعادل 2800mm^4

يظهر منحنى التزحف لمادة الجائز على الشكل (21) .

الحل :

من علاقة الانحراف السابقة نجد أن الحمل يعطى بالعلاقة:

$$P = \frac{48EI.\delta}{L^3}$$

إن المجهول الوحيد في الطرف الأيمن من هذه العلاقة هو معامل المرونة E. من أجل المواد البلاستيكية يوجد علاقة للزمن، ويمكننا الحصول على القيمة المناسبة بالعودة إلى منحنيات التزحف في الشكل (21)، وعند (20000 ساعة عمل) نستخدم المنحنى الموضح بالشكل (22)، وعند انفعال قطره (1%) يكون عامل المرونة بالقيمة (915 MPa).

بالتعويض في علاقة (P) نجد:

$$P = \frac{48 \times 910 \times 2800 \times 5}{(200)^3} = 76.4 \quad N$$

وكما في المثال السابق يمكن الحصول على قيمة مشابهة بأخذ القيمة المقابلة لانفعال (1%) على منحنيات التزحف، وبأخذ القيمة عند ثبات الانفعال، وبالتالي نحصل على قيمة المرونة عند (20000 ساعة عمل).

لقد افترضنا في هذا المثال أن قيمة درجة الحرارة هي (20 °C)، فإذا لم تكن الحالة كذلك فإن منحنيات التزحف المستخدمة يجب أن تلائم الدرجة قيد الدراسة، فإذا لم تتوافر هذه المنحنيات فإننا نلجأ لعملية التقريب الخطي للحصول على القيمة المطلوبة من خلال منحنيات درجات الحرارة المتوافرة لدينا، ونحصل في هذه الحالة على دقة كافية للنتيجة في معظم التطبيقات.

ملاحظة:

إذا ثبت الجائز من طرفيه بشكل جاسئ وعند درجة حرارة (20 °C)، ثم تعرض للعمل في درجات حرارة متعددة، فإنه يجب أن نترك تسامحات محددة من أجل الانفعالات الحرارية التي سيتعرض لها الجائز، ويتم حسابها من خلال معرفة معاملات التمدد الحرارية لمادة الجائز.

من أجل بعض المواد وبخاصة النايلون، فإن متحوى الرطوبة في المادة يكون له أثر في سلوك التزحف للمادة، وتتوافر عادة منحنيات التزحف للمواد في الحالة الرطبة والجافة، والمعلومات المتوافرة عن ظروف العمل تمكننا من استخدام المنحنيات البيانية المناسبة.

مثال ٣ :

خزان بلاستيكي أسطواني بقطر (1m) يتعرض لضغط داخلي قدره (0.4 MPa) فإذا كان الانفعال الأعظمي لمادة الخزان لا يتجاوز (2%) وزمن الخدمة له قدره (20000 ساعة عمل)، فحدد السماكة المناسبة لجدران الخزان، وما نسبة الإجهاد المحيطي إلى الإجهاد المحوري في الخزان؟

ملاحظة: استخدم منحنيات التزحف المبينة بالشكل (21).

الحل :

الانفعال الأعظمي في الأسطوانة المعرضة للضغط الداخلي (P) هو الانفعال المحيطي ويعطى بالعلاقة الكلاسيكية التالية:

$$\varepsilon_0 = \frac{P.R}{2.h.E} (2 - \nu)$$

حيث:

(E) : معامل المرونة الأول.

(R) : نصف قطر الخزان (الأسطوانة).

(h) : سماكة جدار الأسطوانة.

معامل المرونة في هذا المثال يمكننا الحصول عليه بالطريقة نفسها الموضحة في المثال السابق، لكن الاختلاف هنا هو وجود (ν).

من أجل المواد ذات المرونة الخطية تدعى (ν) بنسبة بواسون وهي نسبة الانفعال المحيطي إلى الانفعال المحوري، ومن أجل المعادن فإن قيمتها ثابتة، وتكون واقعة في المجال (0.28-0.35).

أما من أجل البلاستيك فإن قيمتها متغيرة، وذلك لتعلقها بكل من الزمن ودرجة الحرارة، الإجهاد المطبق وغيرها من العوامل، ولذا تُعطى اسماً بديلاً هو إنكماش الزحف أو نسبة الانفعال الجانبي.

المعلومات المتوافرة عن هذه النسبة ما تزال قليلة من أجل المواد البلاستيكية، ولكنها غالباً ما تكون في المجال الواقع بين (0.3) من أجل البلاستيك القاسي (كالأكربليك مثلاً) و (0.5) من أجل البلاستيك المطاطي (كالبلاستيك من النوع PEbd - LDPE).

من أجل حالتنا في المثال السابق نفرض أن $(\nu = 0.4)$ وبالتالي فإن معادلة

$$h = \frac{P.R.1.6}{2\varepsilon_0.E} \quad (h) \text{ تصبح على النحو التالي:}$$

ومن الشكل (22) نجد :

$$E = \frac{16.45}{0.02} = 822.5 \text{ mm}$$

وبالتالي فإن قيمة (h) تصبح :

$$h = \frac{0.4 \times 0.5 \times 10^3 \times 1.6}{2 \times 0.02 \times 822.5} = 9.78 \text{ mm}$$

من أجل الخزان الأسطواني فإن الانفعال يعطى بالعلاقة:

$$\varepsilon_v = P.R. \frac{1-2.\nu}{2.h.E}$$

$$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_v} = \frac{2-\nu}{1-2.\nu} = \frac{1.6}{0.2} = 8 \quad \text{وبالتالي فإن:}$$

لاحظ أن نسبة الإجهاد المحيطي (PR/H) إلى الإجهاد المحوري $PR/(2h)$ هو فقط (2)، ومن المعلومات الواردة في هذا المثال سيكون الإجهاد المحيطي (20.55 MPa) .

مثال ٤ :

جائز بلاستيكي طوله (200 mm) ويستند إلى مساند بسيطة من طرفيه، ويتعرض لحمولة مركزة في وسطه قدرها (100 N) ، فإذا كان عرض الجائز (12 mm) ، فاحسب العمق المناسب بحيث يكون الانحناء المركزي الأعظمي (10 mm) بعد (20000 ساعة عمل) .

استخدم منحنيات التزحف في الشكل (21).

الحل :

في هذا المثال لم يعط الانفعال الحدي، وبالتالي يمكننا افتراض القيمة الفعلية، ولكن الحل الآخر هو استخدام طريقة التكرار في عملية الحل كما يلي:

معادلة المرونة الخطية للتشوه المركزي (δ) للجائز تعطى بالعلاقة:

$$\delta = \frac{P.L^3}{48.E.I}$$

حيث إن عزم عطالة المقطع يعطى بالعلاقة:

$$I = \frac{b.d^3}{12} = \frac{12.d^3}{12} = d^3$$

من المعادلة السابقة لـ (δ) نجد :

$$d^3 = \frac{P.L^3}{48.E.\delta}$$

وباستخدام المنحنيات في الشكل (22) ومن أجل (20000 ساعة عمل) يكون معامل المرونة الأول قدره (930 MPa) وبذلك يكون:

$$d^3 = \frac{100 \times (200)^3}{48 \times 930 \times 10} \Rightarrow d = 12.15 \text{ mm}$$

إذا كانت المادة مرنة أو ذات سلوك ريولوجي خطي، فإن الحل سيكون كما سبق، لأن الإجهاد المحسوب على عمق مقطع الجائز يتماشى مع قيم معامل المرونة المستخدم.

لاختبار الحل السابق يتم حساب الإجهاد من علاقة نظرية الجوائز:

$$\sigma = \frac{M.y}{I}$$

وذلك من ($M = \frac{P.L}{4}$) (القوة مركزة في الوسط)، حيث أن:

(M): عزم الانحناء.

(y): نصف عمق الجائز، أي ($y=d/2$).

وبالتالي يكون :

$$\delta = \frac{P.L.y}{4.I} = \frac{100 \times 200 \times 12.15}{8 \times (12.15)^3} = 16.94 \text{ MPa}$$

ولكن من أجل قيمة الإجهاد هذه فإن قيمة عامل المرونة ستكون (791.8MPa) (انظر الشكل 22) وعليه إن عمق الجائز يجب أن يعاد حسابه، وسيكون :

$$d^3 = \frac{100 \times (200)^3}{48 \times 791.8 \times 10} \Rightarrow d = 12.15 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{100 \times 200 \times 12.8}{8 \times (12.8)^3} = 15.22 \text{ MPa}$$

ويبين الشكل (22) أن عامل المرونة الآن هو (879.8 MPa). إذا تمت العملية مرتين آخرين فإن قيمة (d) التي سنحصل عليها تكون قريبة جداً من الواقع وهي:

$$d = 12.53 \text{ mm}$$

والإجهاد الموافق سيكون :

$$\sigma = 15.9 \text{ MPa}$$

إن هذا النوع من المسائل مناسب على نحو خاص للحل باستخدام الحاسب، حيث تتم عمليات إعادة الحساب والاختبار بسرعة كبيرة.

مثال ٥ :

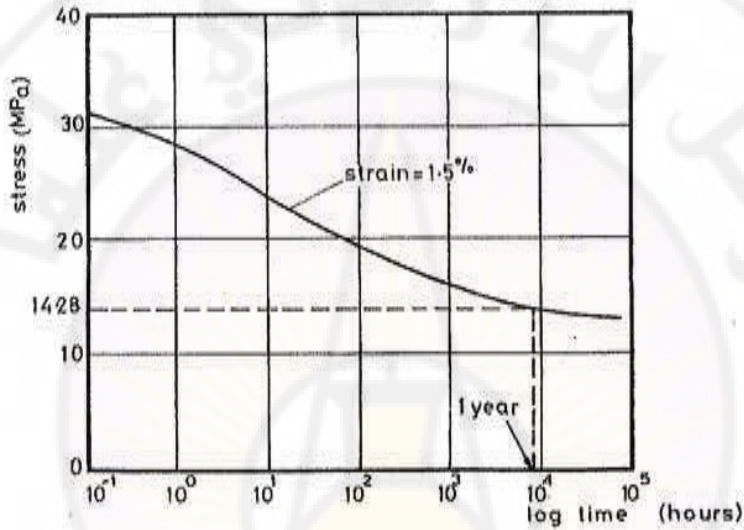
في مضخة صغيرة، الفلنشة البلاستيكية على صفيحة الغطاء تكون بسماكة (2mm)، وعندما يتم شد البراغي الجاسئة المستخدمة للربط فإن سماكة الفلنشة تنقص بمقدار (0.03 mm)، والمطلوب حساب الإجهاد الابتدائي في بلاستيك الفلنشة والإجهاد بعد سنة واحدة.

الحل :

يعطى الانفعال في المادة بالعلاقة:

$$\epsilon = \frac{0.03 \times 100}{2} = 1.5\%$$

هذه المسألة عبارة عن حالة استرخاء الإجهاد، ويمكننا استخدام منحنيات استرخاء الإجهاد بدقة، وعلى كل يمكننا أن نحصل على منحنيات ثبات الانفعال من خلال منحنيات التزحف وبدقة مقبولة. وبأخذ منحنى ثبات الانفعال لقيمة (1.5%) الموضح في الشكل (23)، نلاحظ أن الإجهاد الأولي هو (30.8 MPa) والإجهاد بعد سنة (14.28 MPa).



الشكل (23) منحنى أيزوميتري 1.5%.

يمكن أن نلاحظ أيضاً لهذه الحالة أن المادة المستخدمة في حالة ضغط مع أن المنحنيات المستخدمة هي لحالة الشد. إن الانتشار الواسع لمنحنيات التزحف والمتوافرة لدينا هي لحالة الشد بشكل رئيس، وذلك لأن هذه الحالة هي الأبسط والأكثر ملائمة لحالات الاختبار، ولكن يجب ألا ننسى أن المادة ستملك سلوكاً مختلفاً في حالات التشوه المغايرة.

في حالة الضغط فإن المادة تنتشوه بشكل أقل منه في حالة الشد، مع أن التأثير في الانفعال يكون قليلاً حتى قيمة (5%)، فإذا لم تتوافر لدينا منحنيات الضغط فإن يمكننا استخدام منحنيات الشد لأن معامل المرونة المنخفض للحالة الأخيرة سيعطينا تصميمياً مقاومة للتغير.

أما إذا تعرضت المادة لعزم فتل فإننا نحتاج لمعامل مرونة القص (G) والذي يحسب من خلال معامل المرونة للشد من خلال العلاقة:

$$G = E/2(1 + \nu)$$

مثال ٦ :

قطعة مقولبة من البولي بروبيلين بسماكة (12 mm) مشكلة على شكل نواة رغوية (فوم) وقشرتين صلبتين بسماكة (2 mm)، يتم اقتطاع جائز بعرض (12 mm) من هذه القطعة، ويتعرض الجائز لحمل مركز في منتصفه حيث يرتكز الجائز على مساند بسيطة من طرفيه، والطول الكلي له (200 mm). احسب عمق جائز صلب يملك المقاومة نفسها وعندما يتم تحميله بنفس الطريقة السابقة، واحسب التوفير في الوزن عند استخدامنا للبلستيك الرغوي (الفوم).

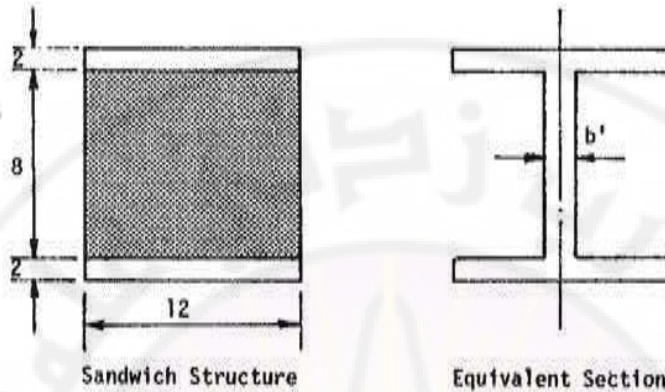
علماً أن كثافة البولي بروبيلين الصلب (909 kg/m^3) وكثافة النواة الرغوية (600 kg/m^3).

الحل :

إن المصبوبات الرغوية غدت شائعة الاستخدام في الوقت الحاضر، وذلك لأنها تملك نسبية مقاومة إلى الوزن أكبر من المصبوبات الصلبة، (أي أن هناك توفيراً في الوزن).

الخطوة الأولى التي يجب ملاحظتها لحالة الحشوة الرغوية هي حساب عزم عطالة المقطع العرضي للجائز، ويتم ذلك من خلال المقارنة بين المقطع

العرضي للنواة ومقطع عرضي مكافئ من البلاستيك الصلب، ويتضح ذلك من خلال الشكل التالي:



المقطع المكافئ للفلنشة في المقطع ذي الشكل (I) يعطى بالعلاقة:

$$b' = \frac{E_c \cdot b}{E_s}$$

حيث: (E_c) ، (E_s) تشير إلى معاملات المرونة الأولى كل من النواة والقشور الصلبة على الترتيب.

في أغلي الأحيان لا تتوفر معلومات عن معاملات المرونة للمواد الرغوية، ولكن لسوء الحظ فإنه يمكننا استخدام العلاقات التجريبية التي تربط بين نسب معاملات المرونة والكثافات، وهذا يعني:

$$\frac{E_c}{E_s} = \left(\frac{\rho_c}{\rho_s} \right)^2$$

ومن المقطع المكافئ يمكننا حساب عزم عطالة المساحة بالشكل التالي:

$$I = \frac{12 \times (12)^3}{12} - \frac{12 \times (8)^3}{12} + 12 \left(\frac{600}{909} \right)^2 \times \frac{(8)^3}{12} = 1493 \text{ mm}^4$$

الجائز المصنع من البولي بروبيلين الصلب والذي يملك نفس المتانة عند التحميل بنفس الطريقة يجب أن يكون له عزم العطالة نفسها لمساحة المقطع، وعليه إن عمق المقطع (d) يحسب من :

$$\frac{12 \cdot d^3}{12} = 1439 \Rightarrow d = 11.3 \text{ mm}$$

وسيكون وزن وحدة الطول من الجائز الصلب:

$$W_g = 12 \times 11.3 \times 10^{-6} \times 909 \times 0^3 = 123 \text{ gr}$$

أما وزن واحدة الطول من الجائز الرغوي فستكون :

$$W_f = 909 \times 2 \times 12 \times 2 \times 10^{-3} + 600 \times 12 \times 8 \times 10^{-3} = 101.2 \text{ gr}$$

وبالتالي سيكون نسبة التوفير في الوزن (17.7%).

مثال غير محلول:

- جائز بلاستيكي طوله

(200 mm) ويستند إلى

مساند بسيطة من طرفية،

ويتعرض لحمولة مركزة

في وسطه قدرها (100 N)

فإذا كان عرض الجائز

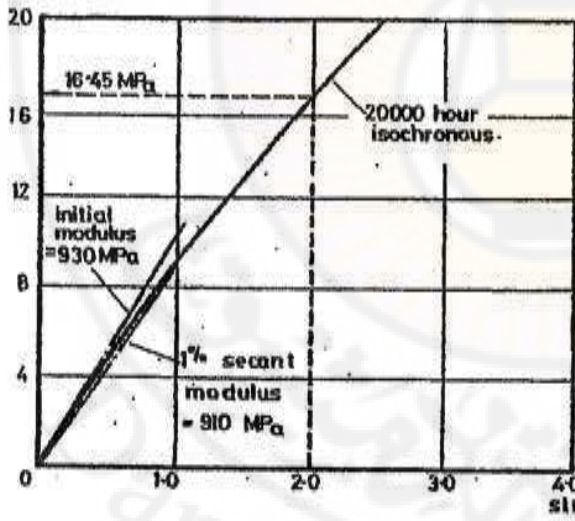
(b=12mm). أحسب

العمق المناسب (t) بحيث

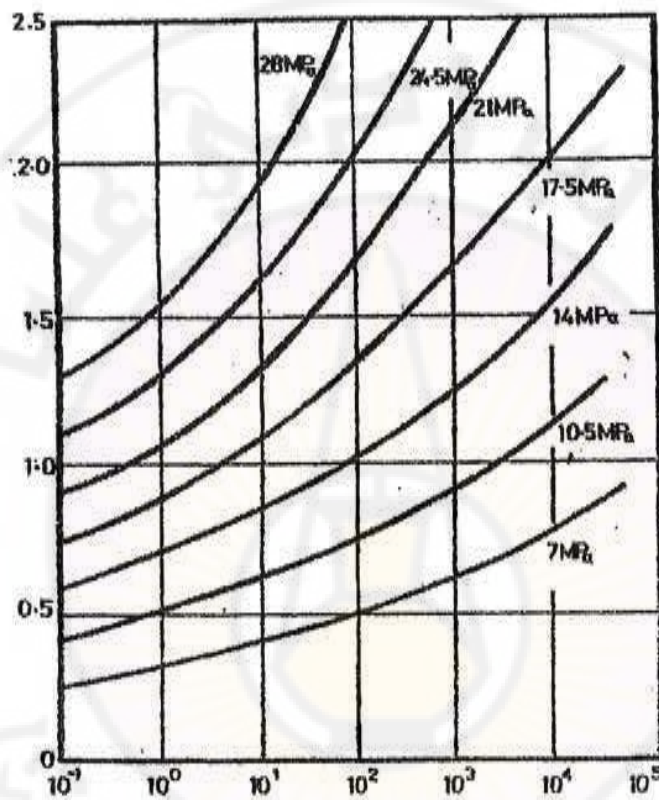
يكون الانحناء المركزي

الأعظمي ($\delta = 10\text{mm}$)

بعد (20000) ساعة عمل.



- يتعرض جدار داخلي لأنبوب بلاستيكي لضغط داخلي قدره (0.75 MPa)
 عمر الأنبوب يجب ألا يقل عن (500) ساعة عمل والانفعال الأعظمي
 (1.5%). أحسب سماكة جدار الأنبوب (t) إذا كان قطر الأنبوب (150 mm)





الفصل الثاني

الاحتكاك الداخلي أو القدرة على التخميد

Internal friction – Dampen capacity

مقدمة :

إن المواد البلاستيكية حساسة جداً للحرارة، لذا فدراسة سلوكها بوصفها تابعاً لتغير درجة الحرارة من الأمور الهامة جداً لمعرفة التحولات التي تحدث بالمادة عند كل درجة حرارة وما إمكانية استخدامها في التطبيق والإنتاج عند درجة الحرارة هذه.

عامل الصلابة (Gp)، ولأجل زمن محدد (تردد معين)، يتناقص تدريجياً بازدياد درجة الحرارة (هناك عدد من الحالات الاستثنائية بالنسبة فقط للبلاستيك المتصلب حرارياً)، المنحني البياني الممثل لهذا التناقص يعطي عدد من نقاط الانعطاف (بعضها يكون واضح جداً وبعضها الآخر أقل وضوحاً)، عند درجات حرارة تمثل نقاط التحول (تغير التركيب من حال إلى حال)، حيث إن معرفة هذه التحولات ودرجات حرارتها يسهل بل يحدد إمكانية استخدام هذه المواد في الصناعة والإنتاج على الشكل الصحيح استناداً إلى خواصها.

كيف نحدد درجات الحرارة للتحولات التي تتم بالمادة؟

هناك العديد من الطرق التجريبية لقياس الاحتكاك الداخلي أو القدرة على التخميد نذكر منها:

١- طريقة الاهتزاز القسري: Vibrations forcées : 10^{-3} - 10^3 Hz

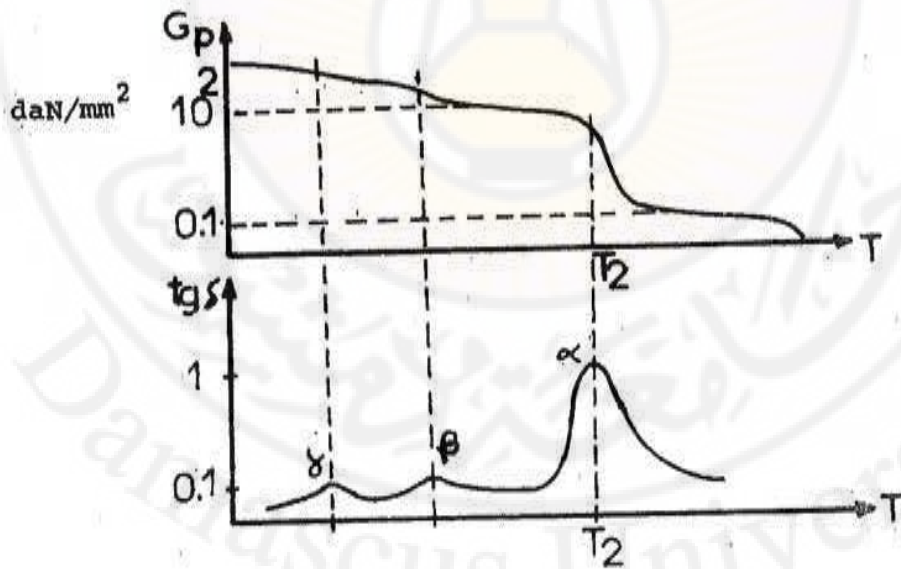
٢- طريقة التذبذب الحر: Oacillations libres : 10^{-1} - 10^{+1} Hz

٣- طريقة الرنين: Résonance : 10^{+1} - 10^{+4} Hz

٤- طريقة انتشار الموجات: $10^4 - 10^8$ Hz : propagation d'ondes

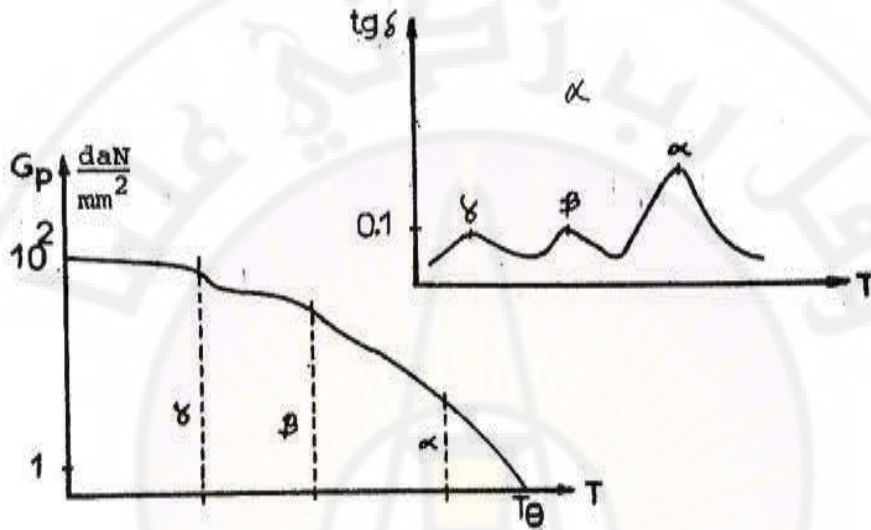
إن المنحنيات الناتجة التي تمثل تغير الاحتكاك الداخلي أو القدرة على التخميد كتابع لتغير درجة الحرارة تكون ذات تغير غير مستمر، حيث تظهر قمم (نهايات عظمى) عند درجات حرارة التحولات للمواد المدروسة ونرمز لهذه القيم بالرموز (γ, β, α) وذلك تبعاً لظهور وفوق درجات الحرارة المتناقصة. إذن لهذه القمم معاني ودلائل حيث إن كل قمة تدل على تحول في مستوى التركيب الجزيئي للمادة، وهذا يؤدي بدوره إلى تغيراً كبيراً وصغيراً في الخواص عموماً.

الشكل (1) يبين تغير معامل الارتخاء (الصلابة) G_p للمواد البلاستيكية الحرارية ذات التركيب الغير منتظم Amorphe وكذلك منحنى الاحتكاك الداخلي $(tg\delta)$ كتابعين لتغيرات درجة الحرارة، كما نلاحظ امتداد العتبة الكاوتشوكية التي تنتهي بمنطقة جريان للجزيئات توافق درجات حرارة التصنيع لهذه المواد.



الشكل (1)

يبين الشكل (2)، تغير معامل الصلابة (G_p) للمواد البلاستيكية الحرارية ذات التركيب المنتظم Cristallin وكذلك منحنى الاحتكاك الداخلي ($\tan \delta$) بوصفهما تابعين لتغيرات درجة الحرارة، ونلاحظ عدم وجود عتبة كاوتشوك بل أن المعامل ينخفض إلى الصفر حيث يتم الانصهار عند (T_0).



الشكل (2)

ويجب أن نلاحظ أن طرق القياس المختلفة التي ذكرناها سابقاً قد تعطي بعض الإزاحات الصغيرة في المنحنيات الناتجة إنما في حدود درجات حرارة قليلة.

قياس الاحتكاك الداخلي أو قدرة التخماد بالتذبذب الحر:

في حالة التذبذب الحر (النوسان) Oscillations libres لمادة بلاستيكية (تجربة قتل بواسطة نواس مركب حيث نحرض العينة المختبرة ونتركها تتخمد حرة)، نلاحظ أن السعة تتناقص مع الزمن في كل دورة وبشكل مختلف من مادة بلاستيكية إلى أخرى. إذن هناك فقد بالقدرة في كل دورة، لأسباب خارجية وداخلية. الأسباب الخارجية يمكن إهمالها (خصوصاً عند

إجراء التجارب بالفراغ (Sous vide)، أما الأسباب الداخلية والتي هي نتيجة للخواص العامة للمادة فتدعى بالاحتكاك الداخلي أو قدرة التخميد وتقاس بتقدير كمية القدرة الضائعة (Δw) بالنسبة للقدرة العظمى المعطاة (w) بكل نصف دورة ($\frac{\Delta w}{2w}$) وتساوي :

$$\frac{\Delta w}{2w} = \delta = \pi Q^{-1} = \tan \phi$$

حيث :

δ : هو التناقص اللوغارتمي للتخميد الميكانيكي الداخلي للمادة البلاستيكية ويساوي إلى :

$$\delta = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}}$$

A_n, A_{n+1} : هما السعات المتناقصة لذبذبتين (نوستين) متتابعتين من نفس الجهة.

ϕ : هو زاوية الطور بين الإجهاد والتشوه (الانفعال).

Q^{-1} : عامل النوعية بالمقارنة مع الدارات التحريضية بالتيار المتناوب.

والشكل (3) يبين رسم تخطيطي لجهاز نواس مركب ذي سلكين (4) و (7) بينهما قرص عطالة (6) يمكن بواسطة هذا الجهاز قياس الاحتكاك الداخلي (القدرة على التخميد) ويمكن أن نلاحظ التالي:

١- يستخدم الغطاء (1) ليكون إجراء التجارب بدون تأثير الهواء

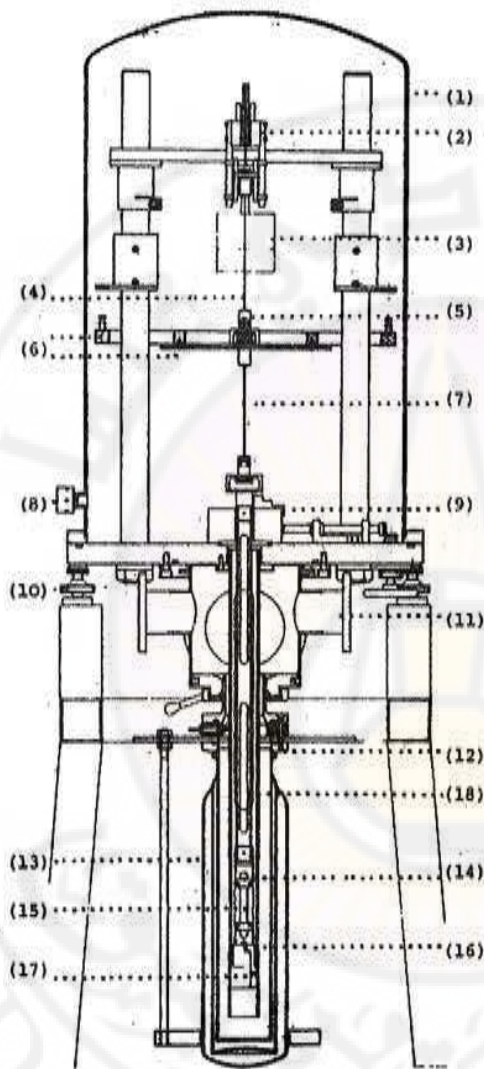
(بالفراغ) الذي يتم شفطه عن طريق مضخة التفريغ (11).

٢- تستخدم البكرة (2) حيث يلف السلك العلوي (4) عليها ويحمل في

الطرف الآخر وزن معادل (3). تحصل الموازنة بين الطرفين قبل

تركيب العينة البلاستيكية (15) وذلك حتى لا يحصل تشوه مسبق

على العينة.



- (1) - غطاء
- (2) - بكرة
- (3) - وزن معادل
- (4) - سلك علوي
- (5) - سطح عاكس
- (6) - قرص عينة
- (7) - سلك سفلي
- (8) - دخول الهواء
- (9) - ممسك
- (10) - منظم السوية
- (11) - مدخل لمضخة التفريغ
- (12) - مدخل و مخرج الأتوت السائل
- (13) - وعاء خارجي اسطواني
- (14) - ممسك متحرك
- (15) - العينة
- (16) - مزدوجة حرارية
- (17) - ممسك ثابت
- (18) - أنبوب صلب

الشكل (3)

٣- الوعاء الخارجي الأسطواني (13) يحوي أزوت سائل يدخل ويخرج عبر الفتحة (12)، حيث أن مهمة الأزوت خفض درجة حرارة العينة إلى حوالي (-197°C).

٤- تثبت العينة البلاستيكية (15) بممسك ثابت (17) وآخر متحرك (14) حيث يتصل هذا الممسك بأنبوب مفرغ (18) يمتد من الأسفل ويرتبط بالسلك (7).

٥- يحيط بالعينة البلاستيكية مزدوجة حرارية (16) تؤمن رفع درجة الحرارة للعينة بشكل متجانس قدر الإمكان وكذلك بشكل بطيء حتى يتاح وقت لإجراء الاختبار وتسجيل القراءات عند درجات حرارة مختلفة وكثيرة من (-197°C) حتى درجة الحرارة التي تتحملها المادة البلاستيكية.

٦- العنصر (10) هو منظم تسوية لتكون قاعدة الجهاز أفقية وعناصر الاختبار (15، 18، 7، 4، 3) شاقولية تماماً، وذلك حتى لا يتولد على العينة تشوهات إضافية.

إن آلية قتل العينة البلاستيكية بحوالي (3°) ومن ثم قياس تخامدها عند ترددات معينة ودرجات حرارة مختلفة ورسم المخططات وحساب المقدارين (Q^{-1}) و (Gp) يعتمد بصورة أساسية على التقنية المستخدمة وبرمج الحساب المعدة لهذه الغاية.

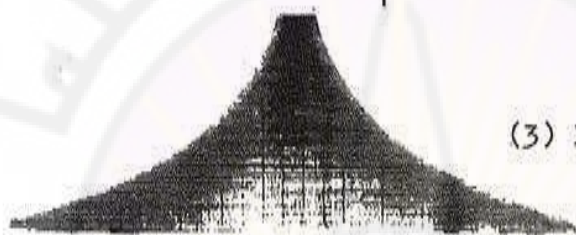
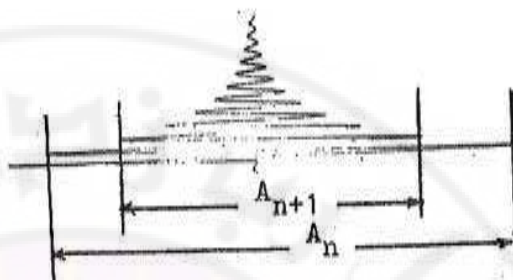
إن هذا الجهاز صالح لقياس وتحديد القدرة على التخماد لجميع أنواع المواد البلاستيكية الحرارية (T_p) والمتصلبة حرارياً (T_g).

الشكل (4) يبين التخماد المقاس عند درجات حرارة معينة (وفق الجدول المرفق) لعدد من المواد البلاستيكية ونلاحظ أن هناك تخامد كبير جداً جداً (1) للبولي كربونات عند درجة حرارة (158°C) في حين أن التخماد قليل نسبياً للـ (PI) عند درجة حرارة مرتفعة كثيراً (489°C).

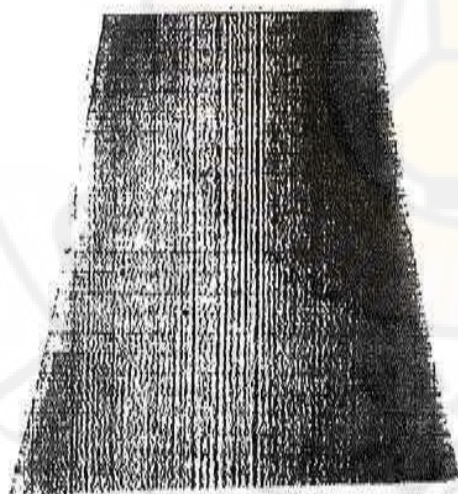


(1) Polycarbonate

(2) Polysulfone

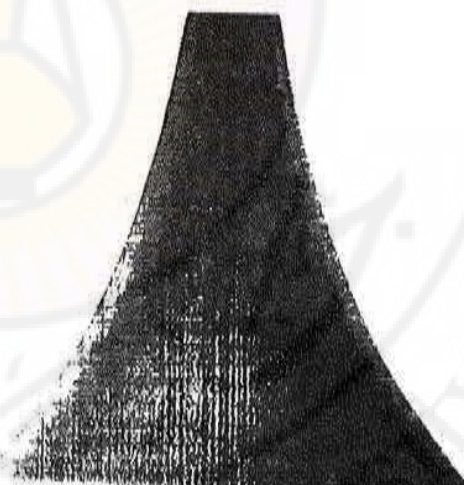


(3) Polycarbonate



(5)

Polyimides



(4)

(4) الشكل

لفهم كيفية إيجاد (δ) عملياً، نأخذ تخامد البولي سلفون على الشكل (٢٥) (2)

$$A_n = 7, A_{n+1} = 4.4 \text{ فنجد أن:}$$

$$\delta = \ln \frac{7}{4.4} = 0.47 \Rightarrow Q^{-1} = \frac{0.47}{3.14} \Rightarrow Q^{-1} = 0.15$$

المادة	التخامد	درجة الحرارة	Q^{-1}
Polycarbonate	مرتفع جداً	+158 °C	0.2000
Polysulfone	مرتفع	+200 °C	0.1500
Polycarbonate	وسط	-78 °C	0.312
Polyimides	ضعيف	+489 °C	0.0186
Polyimides	ضعيف جداً	+10 °C	0.0036

يجب الإشارة إلى أن تخامد المعادن صغير جداً عموماً ويمثل بخطوط شبه متوازية، انحرافها طفيف وتلتقي تقريباً عند درجات الحرارة المرتفعة جداً (درجات حرارة بدء الانصهار تقريباً).

أن المنحني الذي يمثل ($\tan \phi$) أو (δ) (والذي يعطي Q^{-1} بالقسمة على π) وما يطابقه من تغير في معامل الارتخاء (الصلابة) كتابع لتغير درجات الحرارة ينطبق تماماً على معظم النتائج (باستثناء الحالات الغير خطية) التي تم الحصول عليها حول التغيرات الطارئة على تركيب المواد البلاستيكية وبالتالي سلوكها وخواصها والممثلة بالقيم (γ, β, α).

يجدر الإشارة إلى أننا أوردنا في بحث الاختبارات للمواد البلاستيكية (الباب السابع - الفصل الأول رقم ١) طريقة اختيار مماثلة.

وفيما يلي نعرض بعض النتائج العملية لبعض أنواع المواد البلاستيكية (TP) و (Ts).

مع ملاحظة أنه لكل مادة أرفقنا جدولاً يبين لكل قمة من القمم (γ, β, α) كلاً من درجة الحرارة التي تقع عندها القمة وقيمة ارتفاعها مع انحراف المعامل (Gp) ونسبة كثافة الارتخاء ($\frac{\Delta G}{2G}$) مقسومة على ارتفاع القمة. ويتضمن الجدول الصيغة الكيميائية مع بعض الخواص للمادة.

البوليأמיד: (TP): Polyimides PA 11-12 الشكل (1):

مادة نصف بلورية، المنحني الممثل للاحتكاك له ثلاثة قمم (Pics) (γ, β, α) واضحة جداً. كذلك المنحني الممثل لتغير معامل الصلابة له ثلاثة نقاط انعطاف.

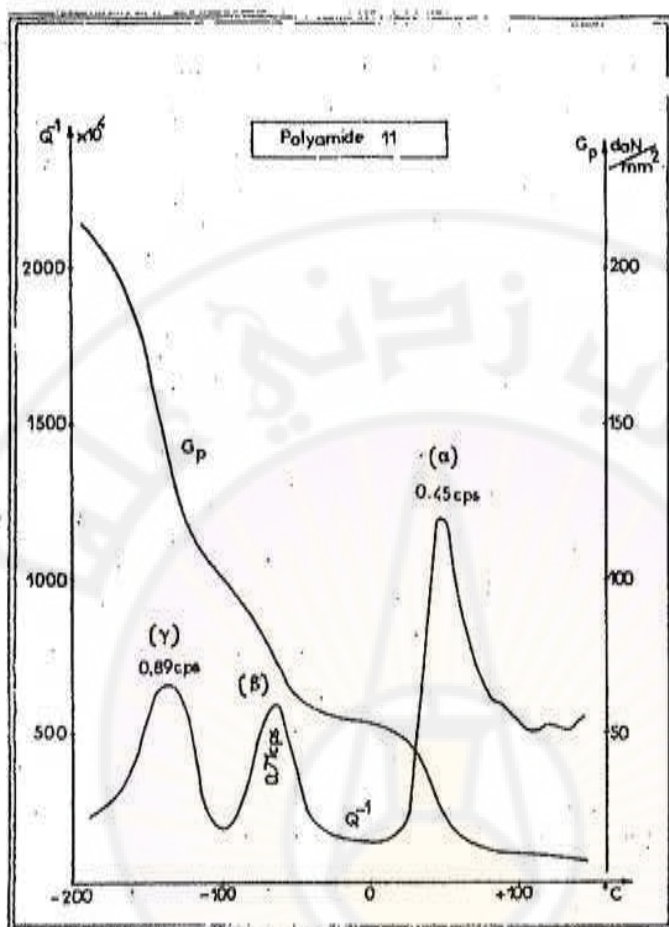
القمة (α) عند درجة الحرارة (46°C) تمثل درجة حرارة التحول الزجاجي Transition vitreuse (Tv) حيث مجموعات الـ CO-NH تتزايد حركتها في المنطقة الغير منتظمة Amorphe.

القمة (β) ناتجة من وجود الماء، هذه القمة تزول إذا قمنا بعملية تجفيف للمادة البلاستيكية.

القمة (γ) سببها وجود مجموعات -CH₂-CH₂-CH₂-tétraméthylène وطبيعة حركتها غير معروفة تماماً.

نلاحظ أن كثافة الارتخاء $(\frac{\Delta G}{2G})$ وانحراف المعامل هامة جداً للقمم الثلاثة، نفس الشيء بالنسبة لارتفاع القمم وكذلك للإزاحات الموجودة بين رؤوس القمم ونقاط الانعطاف لمنحني (G_p) .

إن امتداد القمة (α) حول درجة الحرارة العالية يشير إلى تمزق السلاسل المنتظمة الذي ينتهي بالانصهار حيث إن مجال حرارة الانصهار كبير.



(الشكل 1)
(Curve -1-)

ارتفاع القمة : $\text{tg}\phi_{\max} = \Pi Q^{-1}_{\max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $\text{tg}\phi_{\max}$
Polymaide -11- (Curve-1-)	α	+46	0.0374	0.981	2.623
	β	-64	0.185	0.310	1.676
	γ	-134	0.201	0.373	1.856
PA 11: (Tp)	$[-\text{COOH}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{NH}_2-]_n$ مقاوم جيد للصدم، مجال حراري واسع للانصهار				

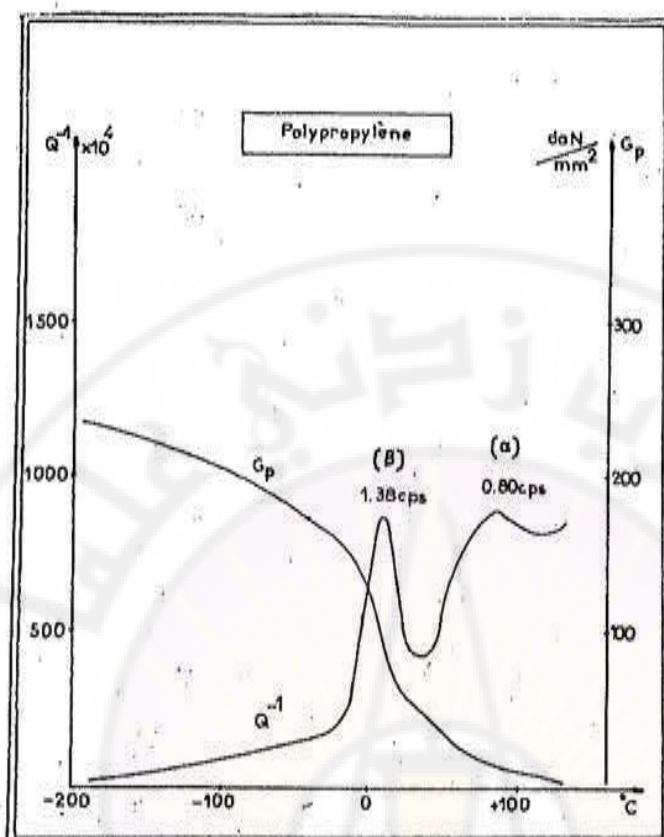
البولي بروبيلين: (PP) Polypropylène (TP): الشكل (2):

المنحني له قمتان واضحتان (β, α).

القمة (α) تمثل تحول يطابق بداية الانصهار الكريستالي. (المنتظم). هذا التحول ناتج عند دوران مجموعات الـ $\text{méthyls } \text{CH}_3$ في المنطقة المنتظمة (البلورية).

القمة (β) تمثل التحول الموافق لدرجة حرارة التحول الزجاجي (T_v) للجزء الغير منتظم، هذا التحول ناتج من دوران قطع السلاسل في المجال غير المنتظم Amorphe وهذا يطابق درجة حرارة الهشاشة Fragillité المحسوبة في حالة الشد والصدم.

بعض النتائج بينت وجود قمة ثالثة غير واضحة جيداً. إن غياب القمة (γ) في الشكل ناتج بالتأكيد من التاريخ الحراري للمادة البلاستيكية المختبرة أي نسبة وجود السلاسل المنتظمة، حيث إن السلاسل المنتظمة جداً تمنع حركة مجموعات الذرات وبالتالي فتغيرات المعامل (G_p) بدرجات الحرارة المنخفضة تبقى ضعيفة جداً.



الشكل (2)
(Curve-2-)

ارتفاع القمة : $\text{tg}\phi_{\max} = IIQ^{-1}_{\max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $\text{tg}\phi_{\max}$
Polypropylene (Curve-2-)	α	+85	0.284	-	-
	β	+10	0.272	0.645	2.371
	γ	-	-	-	-
PP: (Tp)	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ مقاوم جيد للتشوه creep والصدم، عازل كهربائي ممتاز				

البولي إيبوكسي AV138 – AV129 – EC 2216 : الأشكال (3,4,5)

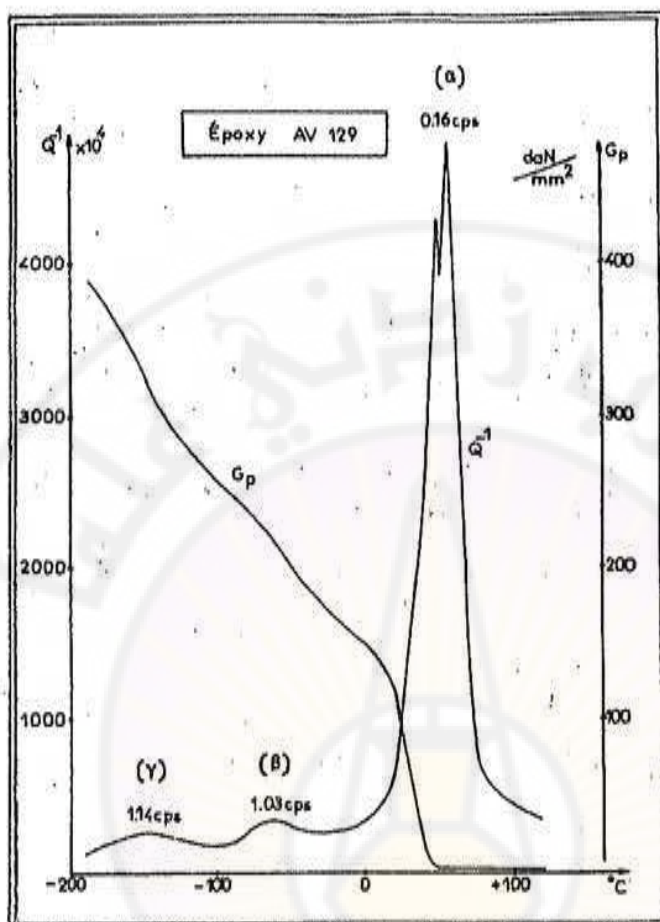
وهي مواد لاصقة عموماً، وتتألف من مركبين هما القاعدة والمسرّع، كما أن طريقة تحضير كل منها مختلف (مثال: زمن التخصن أي تشكل شبكة الجزيئات)، أو وجود المواد الإضافية (مثال: الملدنات) يؤدي دوراً في خواص كل منها.

تبين الأشكال (3, 4, 5) منحنيات $(Q^{-1} - T)$ و $(Gp - T)$ لهذه المواد. نلاحظ وجود ثلاثة قمم (γ, β, α) لكل منها.

القيمة (α) حادة جداً وتمثل عدة مركبات بدون شك وناتجة عن الخواص الثلاثية الأبعاد (الغير خطية) لهذه المادة المتصلبة حرارياً. نلاحظ أن درجات الحرارة لهذا التحول تختلف قليلاً عن بعضها البعض، في حين كثافة الارتخاء $(\frac{\Delta G}{2G})$ عند هذه القيمة هي نفسها تقريباً.

إن القيمة (α) للمواد الثلاثة تكون حادة وفي مجال حراري ضيق، ولكن شكل القمة يتغير فللمادة (AV 129) شكل (3) ومادة (EC 2216) شكل (4) تكون مرتفعة وضيقة، أما المادة (AV 138) شكل (5) فتكون منخفضة وعريضة وهذا يشير إلى حركات مختلفة ممكنة للمجموعات الجزيئية. يبين الجدول التالي إلى درجات الحرارة للقمة (α) مختلفة في المواد الثلاث ومقاربة للقمم (γ, β) .

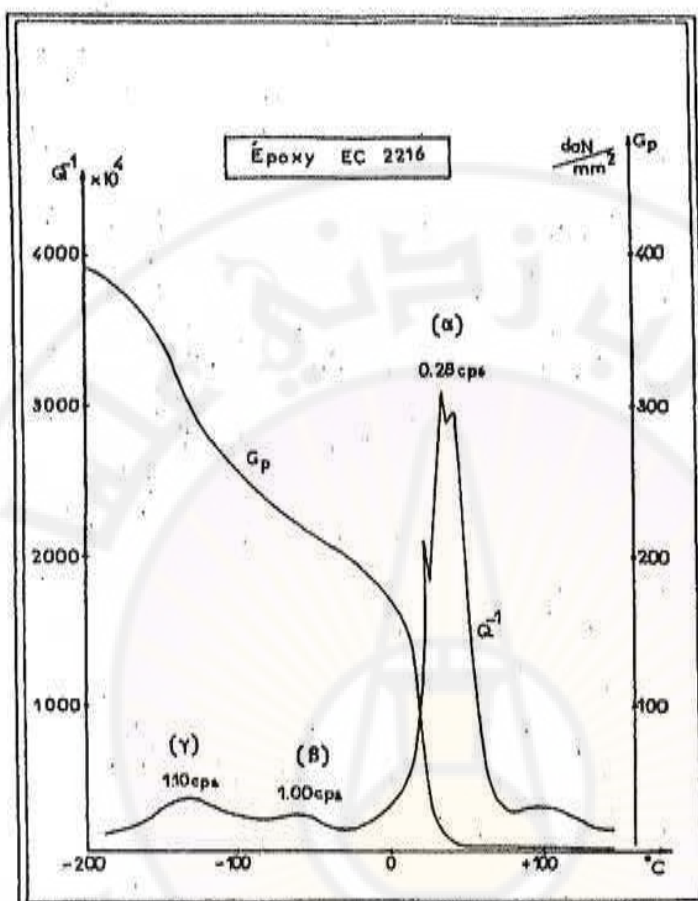
المادة	$t^{\circ}C$ (α)	$t^{\circ}C$ (β)	$t^{\circ}C$ (γ)	$Q^{-1} \times 10^4$ ($0^{\circ}C$)	$GP(0^{\circ}C)$ daN/mm^2
PE.AV 129	+56	-64	-145	4780	149
EP. EC 2216	+34	-59	-132	3100	173
EP AV 138	+100	-60	-143	200	222



الشكل (3) (Curve -3-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = \Pi Q^{-1}_{max}$

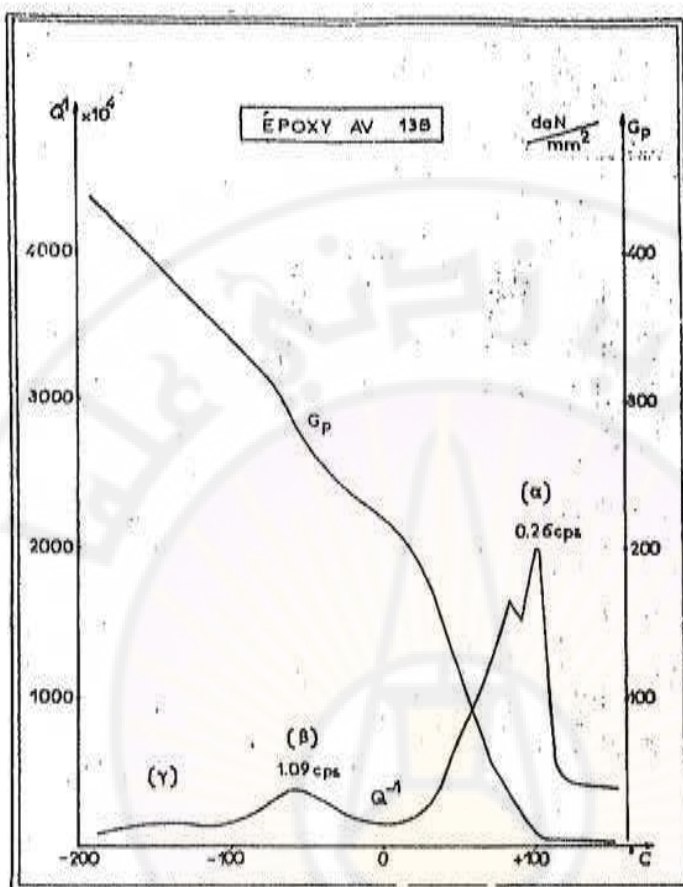
المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $tg\phi_{max}$
Epoxy AV 129 (Curve-3-)	α	+56	1.508	3.548	2.353
	β	-64	0.107	0.188	1.75
	γ	-145	0.071	0.193	2.718
EP: (Ts)	$H_2N(CH_2)_2NH_2$ ثبات بمرور الزمن، لاصق للمعادن ومواد كثيرة. ثبات حجمي ممتاز عند الاستخدام				



(Curve -4-) الشكل (4)

ارتفاع القمة : $\text{tg}\phi_{\max} = \Pi Q^{-1}_{\max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $\text{tg}\phi_{\max}$
Epoxy EC 2216 (Curve-4-)	α	+34	0.971	3.990	4.109
	β	-59	0.075	0.105	1.400
	γ	-132	0.113	0.223	1.974
EP : (Ts)					



الشكل (5) (Curve-5-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = IIQ^{-1}_{max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $tg\phi_{max}$
Epoxy AV 138 (Curve-5-)	α	+100	0.625	3.714	5.942
	β	-60	0.113	0.231	2.044
	γ	-143	0.046	0.081	1.761
EP: (Ts)					

أخيراً نلاحظ أن لهذه المواد عتبة كاوتشوكية طويلة نسبياً، حيث تنتهي هذه العتبة بصورة عامة بمنطقة جريان للجزيئات الكبيرة تطابق درجات حرارة تصنيع واستخدام المواد.

البولي سلفون والـ PPOm : كما بالشكلين (6) و (7):

لا تملك مادّتا (PPom , Polysulfone) سوى تحولين (α, γ) .

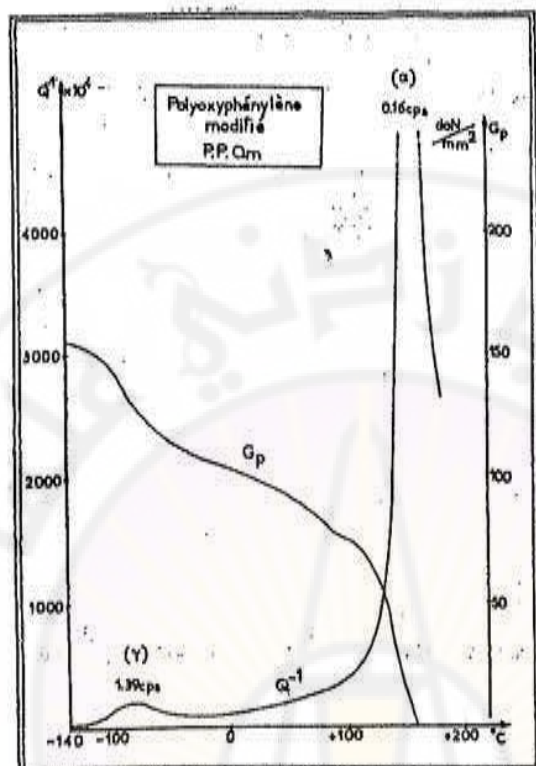
١- تحول (γ) بدرجة الحرارة المنخفضة بسببه حركات مركزية على المستوى الجزيئي.

٢- تحول (α) بدرجة الحرارة المرتفعة بسببه استرخاء السلاسل

الجزيئية الأساسية ووافق درجة حرارة التحول الزجاجي (Tv).

يمكن الملاحظة بالنسبة لهاتين المادتين أنه عند درجات الحرارة المرتفعة جداً للتحول (α) فإن هبوطاً شديداً لقيمة (Gp)، أما في درجات الحرارة الأخرى متناقص معامل الصلابة ضعيف (وخاصة لمادة Ppysulfon)، وهذا ناتج عن الاستقرار الكبير للسلاسل.

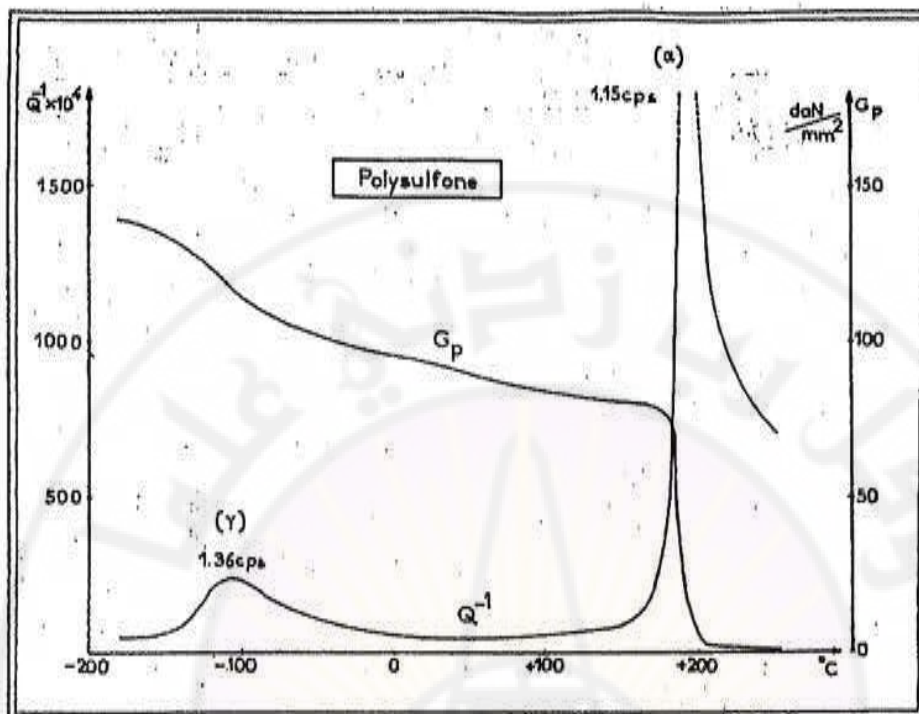
كما يمكن ملاحظة أن القدرة على التخماد في مجال التحول الزجاجي عالية وأحياناً لا يمكن تحديدها بالضبط، كذلك نلاحظ ارتفاع ضمن قيمة انحراف المعامل.



الشكل (6) (Curve -6-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = IIQ^{-1}_{max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G_{max}} = tg\phi_{max}$
Polyoxyphenylene PP0m (Curve -6-)	α	+154	>1.571	4.331	<2.757
	β	-	-	-	-
	γ	-84	0.065	0.170	2.615
P.P.Om: (Tp)	(-R-O-) n Example () n ثبات بعدي، كتلة حجمية ضعيفة، تحمل حراري جيد، قليل النفوذ للغاز، سهولة طلاؤه بالمعدن.				



الشكل (7) (Curve -7-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = IIQ^{-1}_{max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $tg\phi_{max}$
Polysulfone (Curve -7-)	α	+194	>0.628	3.083	<4.909
	β	-	-	-	-
	γ	-105	0.076	0.165	2.171
PSU: (Tp)	$(-R-O-R'-SO_2-R'-O-)n$ مقاوم للحرارة والإشعاع، ثبات بالخواص بالمجال مقاوم للنشوء البطيء. (-90 °C, 160 °C)				

البولي كربونات : Polycarbonate (PC) : الشكل (8)

بلاستيك حراري يحتوي القليل من السلاسل المنتظمة. منحني قدرة التخماد له ثلاثة قمم (α, β, γ). القمة (β) واضحة قليلاً ويشك بأمرها إن كانت تحول حقيقي أو تأثير المعامل (G_p).

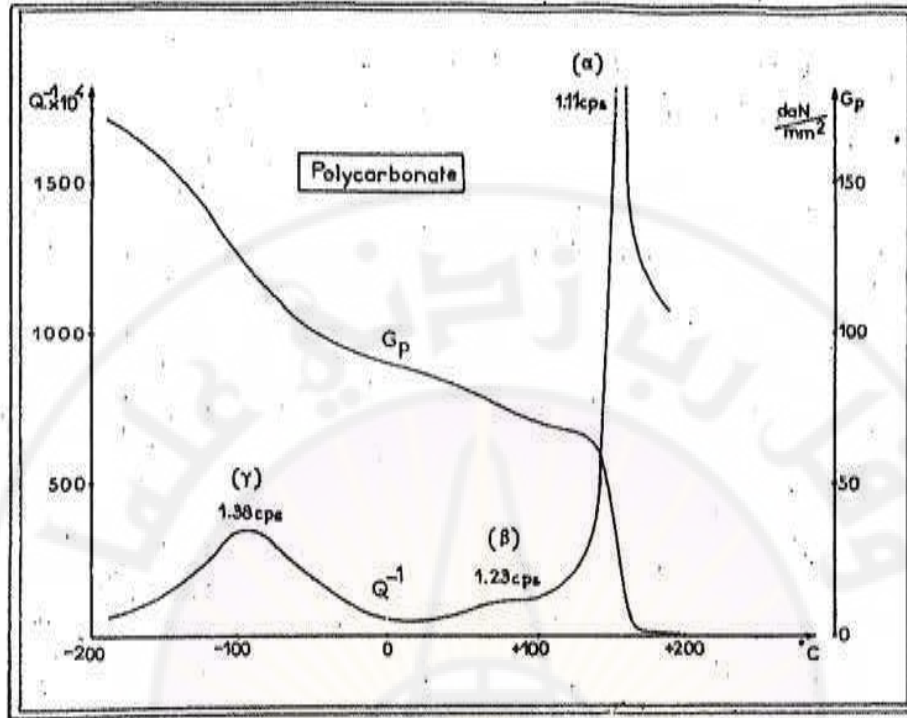
القمة (γ) تنتج من حركة السلسلة الرئيسية لكن بشكل متركز جداً لمجموعات الكربون. القمة (γ) تحدد التحول بين الحالة الهشة والحالة اللدنة. بالنسبة للمقاومة على الصدم. في درجة الحرارة العادية يكون التخماد ضعيف وكذلك التغير في المعامل (G_p).

إن سبب العرض الكبير للقمة (γ) وقيمة انحراف المعامل المرتفعة هو التنوع الكبير في الشكل.

القيمة (α) تحدد التحول بين مجال الهشاشة والمطاوعة بالنسبة لمقاومة الصدم.

في مجال الحرارة العادي يكون التخماد عادي أو ضعيف مقارنة لتغير معامل الصلابة.

إن القيمة (α) توافق التحول الزجاجي للمادة. ويترافق مع انخفاض حاد لمعامل الصلابة (G_p)، هذا الانخفاض عند القمتين (α, γ) يفسر بتأثير التركيب حيث أن المادة ذات سلاسل قليلة الانتظام (البلورة).



الشكل (8) (Curve -8-)

ارتفاع القمة : $\text{tg}\phi_{\max} = \Pi Q^{-1}_{\max}$

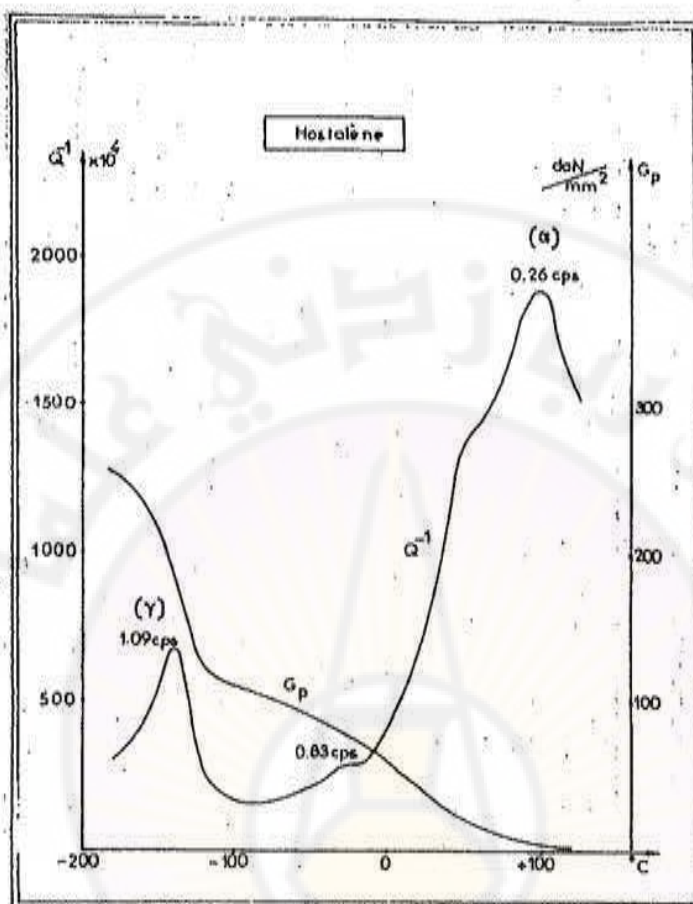
المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $\text{tg}\phi_{\max}$
Polycarbonate (Curve -8-)	α	+152	>0.628	2.830	<4.406
	β	-	-	-	-
	γ	-94	0.110	0.313	2.846
PC: (Tp)	$\left[-R-O-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\parallel}}C-O- \right], \quad R = \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C}(\text{CH}_3)_2 \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---}$ غير قابل للكسر، مقاوم للصدم، ضرورة استخدام مثبتات للاستخدام الخارجي لأن تفقر الخواص يؤدي إلى الهشاشة.				

البولي إيثيلين المنخفض الكثافة والأوستلين: الشكل (9) و (10)

إن مادة الـ PEbd والـ Hostalene لهما ثلاث قمم للتحويل (γ, β, α). كما هو موضح الشكلين (9) و (10).
إن التحول (α) مرتبط بزيادة حركة جزيئات السلاسل والمتربطة بعملية الانصهار (حرارة الانصهار (130°C) لمادة PEbd و (140°C) لمادة Hostalene). وواضح تماماً وجود أكثر من تحدب ناتج من تأثير ترتيب الشبكة الجزيئية.

إن التحول (β) غير الواضح تماماً على المنحني ناتج عن نسبة السلاسل المنتظمة (التاريخ الحراري للمادة). إن هذا التحول مرتبط بحركة قطع السلاسل الجزيئية في المجال الغير منتظم.
إن التحول (γ) مرتبط بدوران قطع السلاسل الجزيئية القصيرة جداً، وكذلك المجموعات الجانبية للسلاسل الرئيسية. يمكن توضيح ذلك بملاحظة الانخفاض الكبير جداً لمعامل الصلابة (G_p).

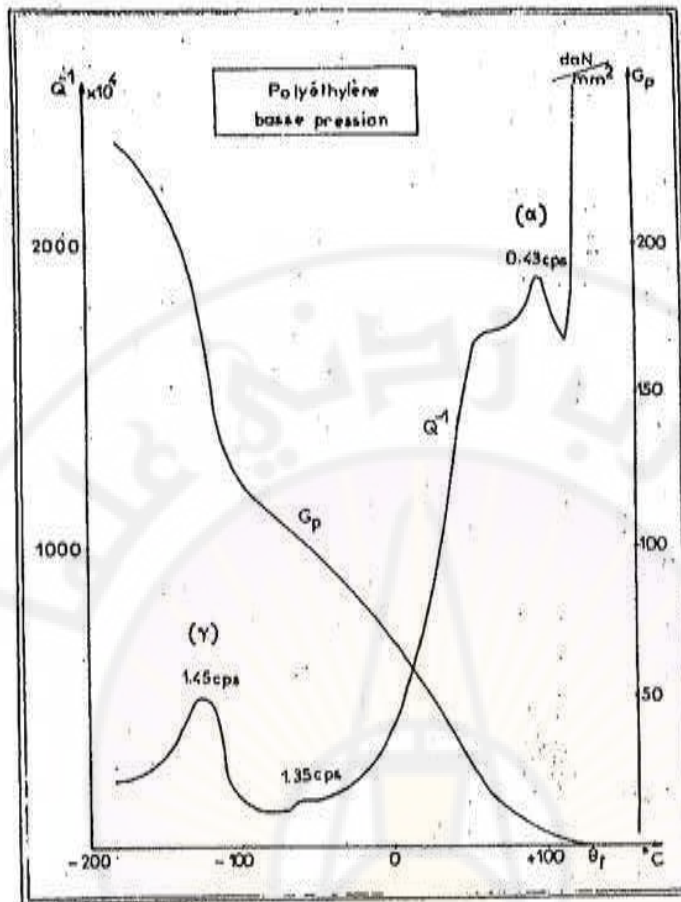
عند تحول (γ) وهذا يشير إلى أهمية المشاركة بالحركة الدورانية.
في الحقيقة أن التعليل والنقاش للتحويلات (γ, β, α) مفتوح، لأن هذه المواد هي بلاستيك حراري (T_p) نصف بلورية (منتظمة) حيث أن المجالين المنتظم والغير منتظم غير ثابتين.



الشكل (9) (Curve -9-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = \Pi Q^{-1}_{max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $tg\phi_{max}$
Hostalene (Curve -9-)	α	+97	0.592	3.589	6.063
	β	-	-	-	-
	γ	-139	0.221	0.435	1.968
Hostalene (Tp)					



الشكل (10) (Curve -10-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = IIQ^{-1}_{max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $tg\phi_{max}$
Polyethylene (Curve -10-)	α	+94	0.603	3.327	5.517
	β	-	-	-	-
	γ	-126	0.154	0.397	2.578
PE: (Tp)	$(-CH_2=CH_2)_n$ ليونة متغيرة، مقاومة للصدم (عملياً غير مقاوم للكسر) حساس للتشقق بالشد...				

البولي ستير: Polyester (Td)

الشكل (11): يمثل البولي ستير (A) : Polyester (507 L)

الشكل (12) : يمثل البولي ستير المسلح بالألياف الزجاجية:

Polyester chargé de fibre de verre (B)

منحني الاحتكاك الداخلي للبولي ستير (A) له ثلاثة قمم (α , β , γ)، أما منحني البولي ستير (B) فله قمتان فقط (α , γ). إن القمة (β) ناتجة من وجود الماء. التحول (α) ينتج من ارتخاء السلسلة الرئيسية وتطابق درجة حرارة التحول الزجاجي (Tv).

التحول (γ) بدرجة حرارة منخفضة يعزى بصورة عامة إلى حركة جانبية Locaux على مستوى الجزيئات. نلاحظ أن هذه القمم بدرجات الحرارة المنخفضة تكون عريضة ولكن انحراف المعامل نسبياً صغير جداً جداً. من جهة أخرى.

نلاحظ أن القمة (α) ضيقة وحادة ومتناظرة، وهذا يدل على أن المادة ذات تركيب غير منتظم ومميزة بكثافة عالية من الارتخاء في مجال ضيق لدرجة الحرارة أي أن هناك عدد كبير من العناصر يشارك بالحركة.

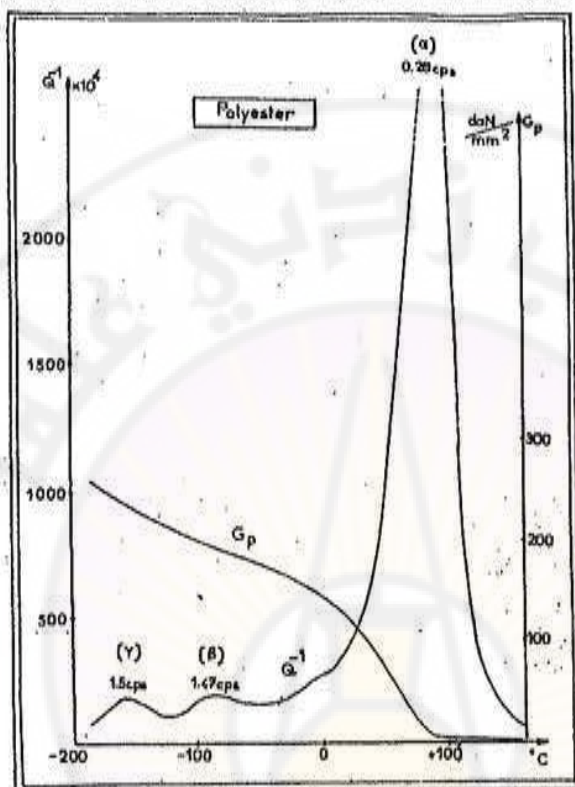
يجب الإشارة إلى أن الإزاحة بين نهايات القمم ونقاط الانعطاف لمنحنيات معامل الصلابة مهمة جداً خصوصاً عند القمة (α).

من جهة أخرى إن القدرة على التخماد أكثر ضعفاً للبوليستر (B) خاصة في مجال التحول الزجاجي.

إن تكرار الاختيار على نفس عينة البولستر المسلح حتى درجة حرارة مرتفعة (200°C) لا يحدث أي التغير بالنتائج وبالتالي بالمخطط وهذا يؤكد ثبات هذه المادة ومقاومتها الجيدة للتقادم الحراري وعدم تغير الخواص.

بمقارنة المنحنيين (A) و (B) يمكننا إيجاد تأثير الألياف الزجاجية في المعامل (Gp) وعلى قدرة التخماد.

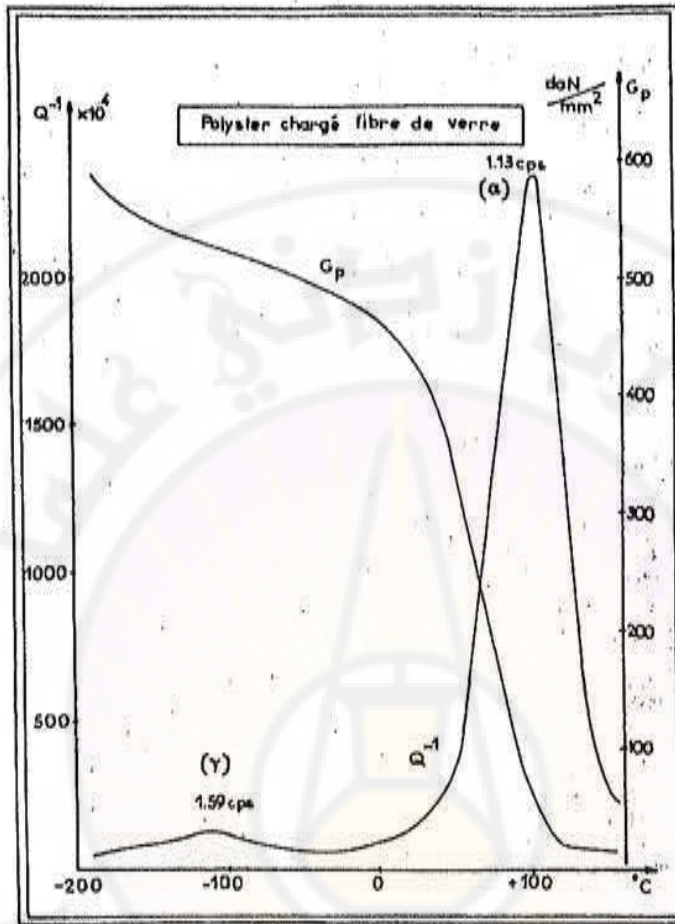
	Polyester (A)	Polyester (B)
20° C	123 daN/mm ²	435 daN/mm ²
-100 20° C	203 daN/mm ²	519 daN/mm ²



الشكل (11) (Curve -11-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = \Pi Q^{-1}_{max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $tg\phi_{max}$
Polyester (Curve -11-)	α	+88	>1.100	4.063	<3.694
	β	-84	0.057	0.065	1.140
	γ	-156	0.053	0.095	1.792
Ps: (Ts)	مادة متصلبة حرارياً نحصل عليها بتفصين (تفصيص) البوليستر الخطي باستخدام مادة محفزة تحرض على فتح روابط ثنائية. إمكانية حقنه بمادة أو أكثر للتقوية، مقاوم جيد للتقادم، صلابة كبيرة وثبات حجمي				



الشكل (12) (Curve -12-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = IIQ^{-1}_{max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $tg\phi_{max}$
Polyester F.V (Curve -12-)	α	+102	0.734	2.670	3.638
	β	-	-	-	-
	γ	-110	0.039	0.052	1.333
Ps: (Ts)	بوليستر غير مشبع مسلح بالألياف الزجاجية.				

البولي إيميد PI المسلح بالألياف الزجاجية (5504) أو بالغرافيت (5505)
والبولي إيميد كمسحوق مزجج (9000) : الشكل (13) و (14) على
الصفحات (١٣٤، ١٣٥، ١٣٦).

مادة متصلبة حرارياً (Ts)

١- لمادتي (5504 ، 5505 PI kinel) أربع قمم تحول واضحة تماماً
($\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$) كما في الشكل (13). في حين أن (PI 9000) المسحوق
المزجج ليس له إلا ثلاثة قمم (α, β, γ) كما بالشكل (14).

٢- مادة (PI kinel 5505) عند درجة حرارة 500 °C تصبح :

- هشّة تكسر بسهولة .

- تنتفخ بشكل ظاهر .

- تفقد نسبة مئوية عالية من وزنها .

- تفقد الملدنات .

- يزداد معامل الصلابة (Gp) بسرعة بعد درجة الحرارة (390 °C) بعد
انخفاض كبير لهذا المعامل (Gp) بدرجة حرارة أخفض وهذا يعتبر حالة
استثنائية مقارنة لما شاهدناه في المواد السابقة. إن سبب ذلك هو تقطع
السلاسل الجزيئية ثم تشكل جسور بينها مما يزيد الصلابة. كما أن فقدان
الملدنات بدرجات الحرارة العالية يجعل المادة أكثر صلابة أي يفقدها
المرونة.

٣- القدرة على التآخذ لمادة (PI 5504) المسلحة بالألياف الزجاجية (بنسبة
65%)، أقل من مادة (PI 5505) المسلحة بالغرانيث (بنسبة 25%)، وكذلك
بالنسبة للـ PI (9000).

القيمة (β) ناتجة من دوران المجموعات الجزيئية الجانبية حول السلسلة
الرئيسية.

القمة (γ) عريضة وغير حادة وتنتج من الحركات الجانبية لقطع السلاسل في المنطقة الغير منتظمة Amorphe.

القمتان (α_1, α_2) تمثلان التحول الزجاجي لهذه المادة. الفرق بينهما غير معروف، ولكن يعتقد أن السبب هو إعادة توجيه السلاسل الرئيسية وأن الحجم الحر (سنراه بعد قليل) يؤدي دوراً أساسياً في هذا المجال. في الشكل (13) يمكن ملاحظة الفرق في السلوك بين مادة البولي إيميد المسلح بالألياف الزجاجية (65%) والمادة المسلحة نفسها بالغرافيت بنسبة (25%).

من المؤكد أن هذه المواد تقدم خواص ميكانيكية ثابتة في مجال حراري واسع من (-90°C) لحوالي (230°C) لـ (PI-5504,5505) وحتى (270°C) . لبومي إيميد (9000)، حيث القدرة على التخامد وتغير معامل الصلابة (Gp) ضعيفين بالنسبة للمواد البلاستيكية الأخرى المدروسة.

بعد عرض هذه النتائج لبعض المواد البلاستيكية الحرارية والمتصلبة حرارياً لا نريد التوسع في هذا الموضوع رغم أهميته، إنما نود الإشارة في النهاية لبعض النقاط التي تساعدنا على استيعاب أفضل لهذه النتائج ولهذا الموضوع عموماً :

١- النتائج التي تبين القمم (γ, β, α) قد تتغير على نحو طفيف وذلك تبعاً لـ:
أ- تاريخ العينة المختبرة حيث تتأثر بعض أنواع المواد البلاستيكية بمرور الزمن.

ب- المواد الإضافية المستخدمة Adjuvants.

٢- المنحنيات التي تبين (Gp) و (Q^{-1}) كتابعين لدرجة الحرارة للمواد البلاستيكية ذات أهمية كبيرة، حيث يمكن بواسطتها معرفة ماذا يتم ضمن المادة عند ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة وبالتالي يمكن تحديد مجالات

الاستخدامات المتنوعة (وفق الخواص المطلوبة) للمادة نفسها وفق درجات الحرارة المختلفة.

٣- من المنحنيات المذكورة يمكن الحصول على الإجهاد الأعظمي (τ_{max}) أو التشوه الأعظمي (γ_{max}) عند أي درجة حرارة من العلاقة:

$$\tau_{max} = Gp \times \gamma_{max} = Gp \times k \times \frac{\psi \cdot a}{\ell}$$

حيث:

$$\frac{b}{a} = 1 \quad \text{عندما} \quad k = 0.675$$

$$\frac{b}{a} = 10 \quad \text{عندما} \quad K = 1$$

a, b, ℓ أبعاد العينة المتخبرة (a السماكة، b العرض، ℓ الطول).

ψ : زاوية الفتل (لا تتعدى 3° من كل جانب).

الجدول التالي يعطي قيم الإجهاد الأعظمي (τ_{max}) والتشوه الأعظمي (γ_{max}) عند درجات حرارة مختلفة وذلك لبعض المواد البلاستيكية والتي درسنا منحنيات القدرة التخامدية لها:

Matière	Température °C	Gp daN/mm ²	$\gamma_{max} \times 10^{-4}$	$\tau_{max} \times 10^{-4}$ daN/mm ²
المادة	درجة الحرارة	معامل الصلابة	التشوه الأعظمي	الإجهاد الأعظمي
Polycarbonate	-150	1.66	1.77	293.5
	+20	87	2.36	205.5
	+170	2.5	3.86	9.65
Polyimide (5504)	-166	840	1.164	977.5
	+20	682	1.206	822.4
	+198	571	1.379	787.6
	+368	120	1.749	210
	+490	437	1.26	548.5
Polyamide -11-	-174	201	2.902	584.5
	+20	50	3.585	178.2
	+140	7	3.879	27.15
Epoxy EC 2216	-188	387	2.574	996
	+20	66	3.553	235
	+147	1.5	3.925	5.9

٤- كثافة الارتخاء (التي رأيناها سابقاً) $\frac{\Delta G}{2G} = \frac{\Delta \tau}{2\tau}$ يجب أن تساوي طاقة التخماد الأعظمية ($\tau_{\phi_{\max}}$) نظرياً أي أن $(\frac{G}{2G}/\tau_{\phi_{\max}} = 1)$ وهذا غير ممكن عملياً.

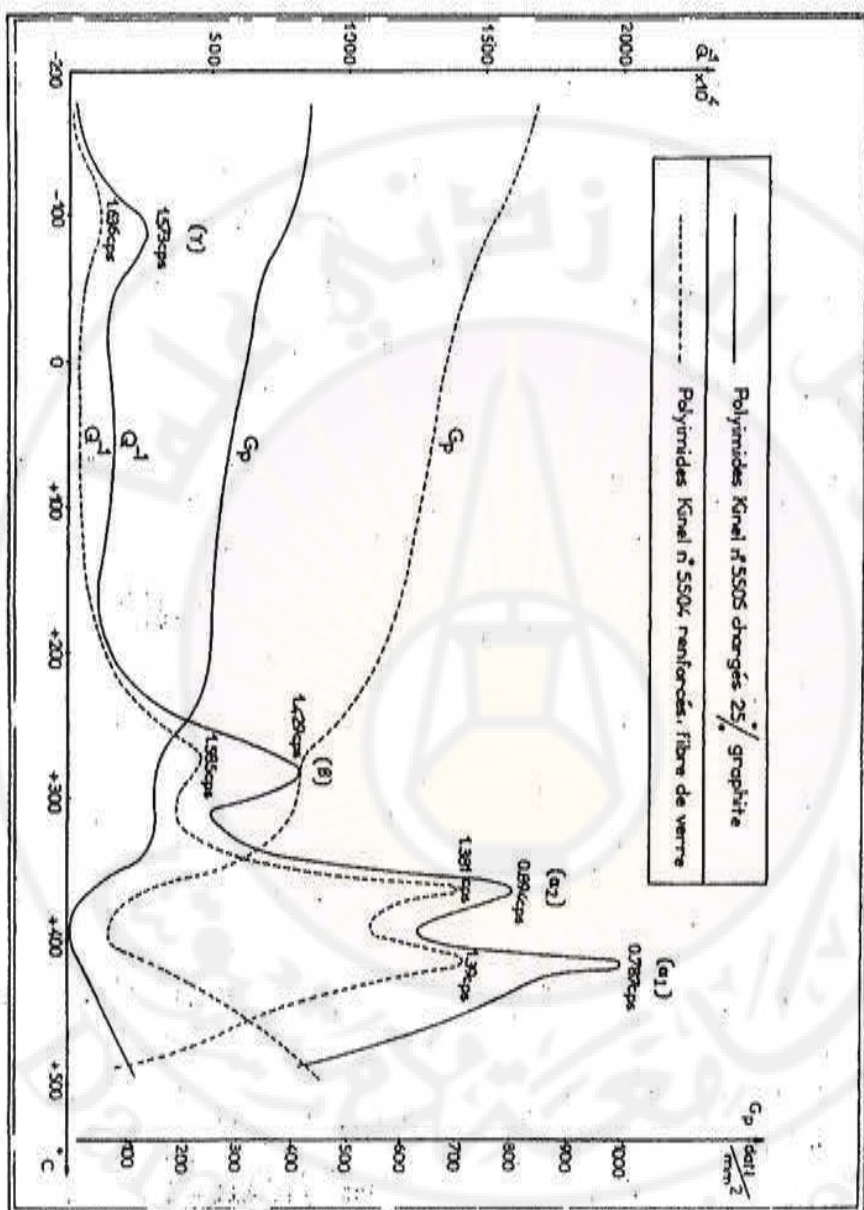
٥- الاحتكاك الداخلي أو قدرة التخماد تكون ضعيفة بدرجات الحرارة المنخفضة (القيمة γ) كما لاحظنا بمعظم النتائج، لماذا؟
إن درجات حرارة التحولات من ناحية التركيب الجزيئي توافق حركة قطع السلاسل الجزيئية ومجموعات الذرات الجانبية، سعة الحركة تعتمد على:

١- القدرة الحرارية Energie thermique.

٢- القدرة الكامنة Energie potentielle.

٣- الحجم الحر Volume libre (هو الفرق بين الحجم الحقيقي لواحدة الكتلة والحجم الذي تشغله هذه الكمية فيما لو كان البوليمير ذو تركيب جزيئي منتظم تماماً وهذا الحجم الحر هو الذي يسمح بحركة قطع السلاسل الجزيئية وهو مقياس هام جداً لتركيب المواد البلاستيكية).

في درجات الحرارة المنخفضة جداً فإن الحجم الحر يصبح صغيراً والقدرة الحرارية ضعيفة بالمقارنة مع القدرة الكامنة، لذا فحركة مجموع السلاسل الدورانية تتوقف ولا يبقى إلا حركات صغيرة اهتزازية لمجموعات الذرات. تدعى هذه الحالة الزجاجية ودرجة الحرارة الموافقة هي درجة حرارة التحول الزجاجي T_v (هي من أكثر الخواص أهمية للبلاستيك الحراري الغير منتظم). عند ازدياد درجات الحرارة نحصل على حرية متزايدة لحركة قطع السلاسل فيزداد الاحتكاك الداخلي أو قدرة التخماد ويقل معامل الصلابة (Gp).



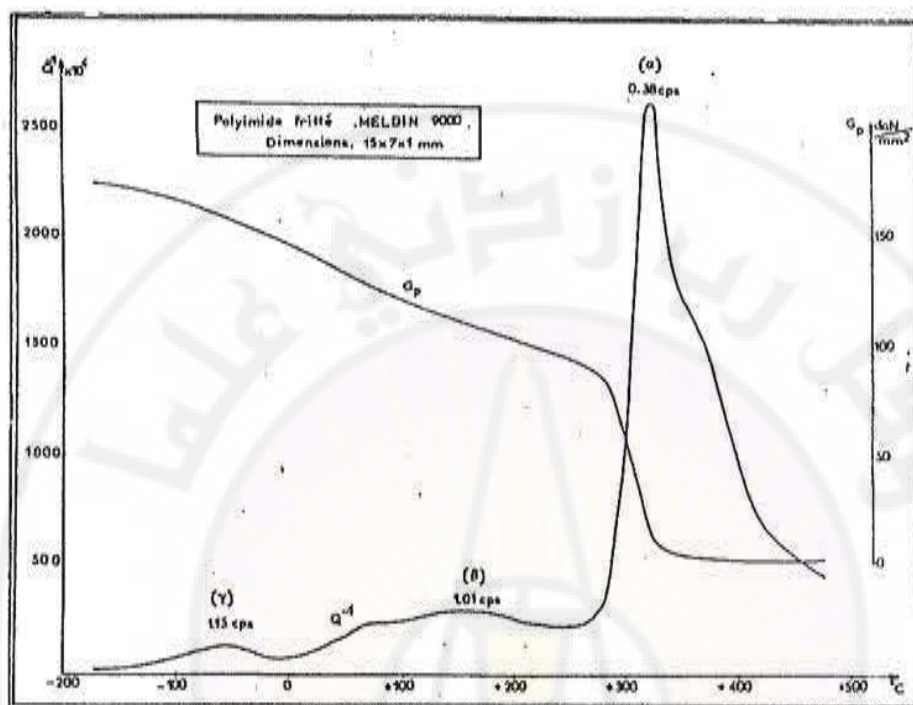
الشكل (13) (Curve -13-)

$$\text{tg}\phi_{\max} = \text{IIQ}^{-1}_{\max} : \text{ارتفاع القمة}$$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $\text{tg}\phi_{\max}$
Polyimide G 5505 (Curve -13-)	α_1	+418	0.625	-	-
	α_2	+364	0.503	2.519	5.008
	β	+280	0.262	0.225	0.859
	γ	-0.97	0.082	0.139	1.695
PI: (Ts)	$\left(-N \begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{CO} \quad \text{CO} \end{array} R \begin{array}{c} \diagdown \quad \diagup \\ \text{CO} \quad \text{CO} \end{array} N - R' - \right)_n$ خواص فيزيائية وكيميائية وكهربائية وميكانيكية جيدة بمجال (حراري كبير). يتحمل حرارة حتى 230°C بشكل مستمر، ويمكن تسخينه لفترات قصيرة حتى (600°C-800°C) مقاوم للمحاليل العضوية.				

$$\text{tg}\phi_{\max} = \text{IIQ}^{-1}_{\max} : \text{ارتفاع القمة}$$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G}$ $\text{tg}\phi_{\max}$
Polyimide F.V 5504 (Curve -13-)	α_1	+416	0.447	-	-
	α_2	+366	0.444	0.986	2.221
	β	+274	0.147	0.196	1.333
	γ	-100	0.034	0.084	2.471
PI: (Ts)	$\left(-N \begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{CO} \quad \text{CO} \end{array} R \begin{array}{c} \diagdown \quad \diagup \\ \text{CO} \quad \text{CO} \end{array} N - R' - \right)_n$ خواص فيزيائية وكيميائية وكهربائية وميكانيكية جيدة بمجال (حراري كبير). يتحمل حرارة حتى 230°C بشكل مستمر، ويمكن تسخينه لفترات قصيرة حتى (600°C-800°C) مقاوم للمحاليل العضوية.				



الشكل (14)
(Curve -14-)

ارتفاع القمة : $tg\phi_{max} = IIQ^{-1}_{max}$

المادة	القمة	درجة الحرارة °C	ارتفاع القمة	انحراف المعامل	$\frac{\Delta G}{2G_{tg\phi_{max}}}$
Polyimide fritte (Curve -14-)	α	+324	0.823	3.355	4.077
	β	+163	0.091	0.226	2.484
	γ	-55	0.039	0.082	2.103
PI: (Tp)	بولي إيميد على شكل مسحوق مزيج.				

الباب الثالث

الطرق الرئيسية لتصنيع البلاستيك

الفصل الأول: القولبة بالحقن

الفصل الثاني: القولبة بالثق

الفصل الثالث: التشكيل الحراري

الفصل الرابع: السكب واللحام

الفصل الخامس: ضغط، تحويل، حقن المواد البلاستيكية

المتصلبة حرارياً (Ts)

الفصل السادس: الصقل

الفصل السابع: القولبة الرغوية

الفصل الثامن: القولبة بالنفخ



مقدمة:

هناك العديد من الطرق المستخدمة لتصنيع المواد البلاستيكية وتحويلها من نصف منتج (البودرة، الحبيبات...) إلى منتج نهائي جاهز للاستعمال والاستهلاك. التقنيات المستخدمة بالتصنيع تختلف بوضوح حسب نوع المادة البلاستيكية، وهنا يمكن تمييز حالتين:

١- تصنيع مواد البلاستيك الحراري Thermoplastic.

٢- تصنيع مواد البلاستيك المتصلب حرارياً Thermoset.

أولاً: الطرق الأساسية المستخدمة لتصنيع البلاستيك الحراري (Tp):
الجدول (A) يبين هذه الطرق الأساسية مع بعض الخواص والمعطيات لكل منها.

- هناك تقنيات أقل استعمالاً لإعداد منتجات من البلاستيك الحراري منها:
- الصب ابتداءً من ريزين سائل يسمح بتشكيل مخططات، خرائط أو تصاميم، أغطية، أغلفة وللإكساء.
- الحقن والنفخ مجتمعين ليسمحان بإنتاج أجسام مجوفة بخواص جيدة ولكن باستطاعة ضعيفة جداً.
- الترسيب (الادخال) الذي يرافق البثق والضغط ليعطي منتجات بأشكال بسيطة.

هذه الطرق غير مكلفة كثيراً إنما تحتاج لدقة وخبرة جيدة عند التطبيق.
ثانياً: الطرق الأساسية المستخدمة لتصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts):

الجدول (B) يبين بعض الطرق الأساسية مع بعض الخواص والمعطيات لكل منها.

(A) الجدول

شكل دورة الإنتاج		الأبعاد	السماكة mm	المنتج المشتق	المنتج الأولي	العملية	Tp
مستقر	متقطع						
	X	حتى 15 Kg	0.5-5	جميع الأشكال	حبيبات	لفظن	معالجة المواد البترولية
X		عرض حتى 2.5 m	0.35-5	جميع أشكال البروفيل	حبيبات	البثق	
	X	حتى 200L	0.5-5	أجسام مجوفة	حبيبات	النفخ	
	X	حتى 300L	0.4-10	أجسام مجوفة	بوردة ناعمة جدا	الدوران	
X		عرض حتى 2.5m	0.05-0.15	منتجات مسطحة	ريزائن + إضافات	لصقل	
	X	دون 20 kg	0.1-6	أشكال للتغليف	ورق، صفائح	تشكيل حراري	معالجة المواد البترولية
X			-	غطاء بلاستيكي على شكل نسيج	عجينة PVC أو PU	الطلاء، تلميس	
	X	وسطي 0.3mm		أغطية بلاستيكية على أساس معدني	بوردة ناعمة 0.05-0.02mm	تلمين	

جدول (B)

إنتاج الدورة	الأبعاد	السماكة mm	المنتج المشق	المنتج الأولي	العملية	Ts
مقطع	يضع غزلات حتى 1kg	1-5	جميع الأشكال	بورة	ضغط	في ضغط الكبر 100kg/cm ² + طوبولاست + أمبولاست
مقطع	حتى 0.5 kg	0.7-1.2	جميع الأشكال	بورة	تحويل	
مقطع		1-10	منتجات مسطحة	ورق أو نسيج	ضغط بين صفائح	
مقطع	حتى 100 kg	1-5	مركب ذاتي القوة	رغزين + شعيرات زجاج نسيج زجاجي	ملاصمة	100 كغ في ضغط الكبر من الأسفل + سطح الكبر 100 kg/cm ²
مقطع	حتى 100kg	-	مركب ذاتي القوة	رغزين + خيوط زجاجية	قذف	
مقطع	حتى 10kg وأكثر	1-10	أشكال مطروقة	رغزين + خيوط زجاجية	عصر (ضغط)	
مقطع			أشكال بروفيلية	رغزين مع زجاج بأشكال مختلفة	تضيق	
مستمر	عرض أصغر من متر	1.2-1.4	أشكال بروفيلية	رغزين مع زجاج بأشكال مختلفة	تقطع	
مقطع			أشكال دورانية	رغزين مع زجاج بأشكال مختلفة	لف	
مقطع			أشكال دورانية	رغزين مع زجاج بأشكال مختلفة	خيوطي	

هناك كذلك طرق لتصنيع البلاستيك المسلح خصوصاً الطريقة التي تعتمد على القوة الطاردة المركزية Centrifugation وطريقة التوشيح التي تسمح بالحصول على أجسام دائرية حيث هذه الطريقة تسمح بتغليظ الأنابيب المصنوعة من البلاستيك الحراري.

نجد من خلال المجموعتين (Tp)، (Ts) أن هناك تقنيات تسمح بالوصول إلى نتائج متماثلة بالنسبة للمنتج، كما نلاحظ التطابق التالي:

Ts	Tp
ضغط، تحويل، حقن	الحقن
تنضيد مستمر	البثق
لف خيطي	نفخ، دوران
ضغط بين الصفائح	الصقل
انضغاط (تعشيق)	التشكيل الحراري

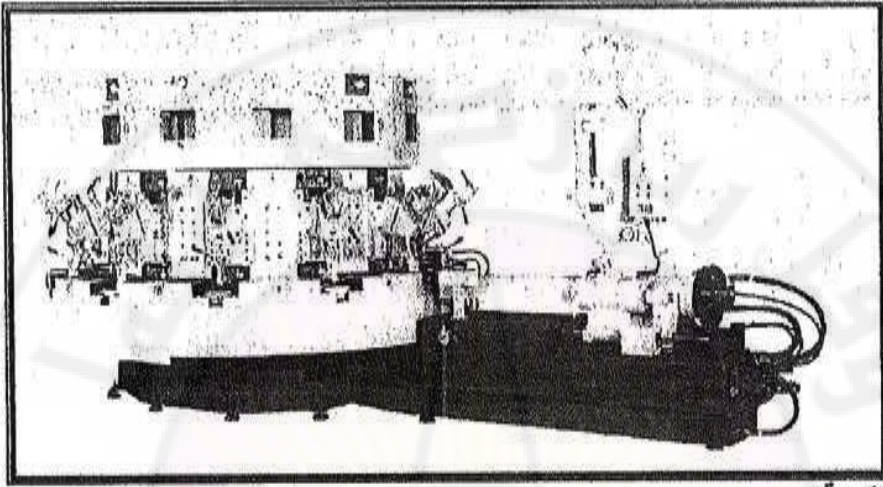
يمكن كذلك إيجاد منتجات نخروبية (ذات خلايا) بطرق التمدد أو الرغوة. في الحقيقة أن هناك عمليات لا حصر لها مشتقة من العمليات الأساسية الذي ذكرناها وذلك حسب الحاجة وحسب المنتج المطلوب.

سنقوم بدراسة عدد من عمليات تصنيع البلاستيك الحراري والبلاستيك المتصلب حرارياً مع تبيان كل منها، ميزات مساوئها وبعض التطبيقات العملية.

الفصل الأول

القولبة بالحقن

Injection Moleling



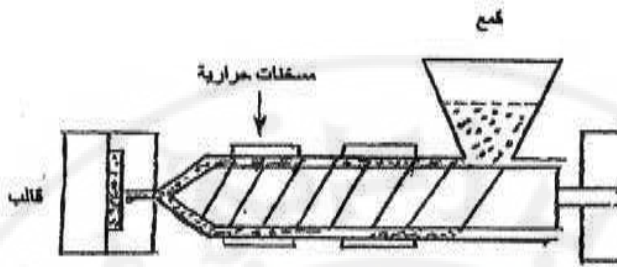
مقدمة:

تعدّ طريقة تصنيع المواد البلاستيكية بالحقن الأسلوب الأكثر شيوعاً، وهي من أقدم الأساليب في هذا المجال. تسمح هذه الطريقة بإنتاج منتجات بكميات كبيرة وبكتل وحجوم مختلفة تتغير من بضع ميلليغرامات إلى أكثر من (50kg). ويعتمد الحد الأعظمي للكتلة المنتجة على الطاقة الأعظمية لآلات الإنتاج الحالية، وهي ذات أساس اقتصادي أكثر منه تقني. في الحقيقة لو أخذنا بعين الاعتبار زيادة استخدام المواد البلاستيكية لتوقعنا إمكانية إنتاج آلات ذات طاقة أكبر بكثير مما هو موجود الآن.

مبدأ الحقن:

يعتمد الحقن بصورة موجزة على تسخين المادة (حبيبات مثلاً) على نحو يحولها إلى مائع بدرجات مختلفة من اللزوجة وذلك حسب نوع المادة ومن ثم أجبارها على الجريان تحت الضغط داخل القالب البارد.

يبين الشكل (1) رسماً مبسطاً للآلة المستخدمة في الحقن وتتألف بشكل رئيسي من قمع ولولب ومسخنات وقالب.



الشكل (1)

مراحل الحقن:

تتم عملية الحقن وفق الخطوات الأساسية التالية والتي يمكن أن تختلف حسب نوع وطراز الآلات:

- ١- ملء القمع بحبيبات الريزين المستخدم والتي تسلك طريقها إلى أسطوانة الحقن خلال فتحة اتصال.
- ٢- تسخين الريزين (مع دوران اللولب) بواسطة مسخنات حرارية إلى الدرجة التي يجعله ليناً وقابلاً للتدفق إلى جوف القالب.
- ٣- يدفع الريزين بواسطة تقدم اللولب (أو الطوربيد) داخل القالب المؤلف من قسمين عبر فتحة خاصة إلى مجاري القالب، ثم إلى التجويف الذي يمثل شكل القطعة المراد إنتاجها (الطبعة).
- ٤- عند امتلاء التجويف في القالب يتوقف تقدم اللولب وبالتالي تدفق المادة المصهورة ويظل تأثير ضغط الحقن مدة قصيرة من الزمن تسمح للمادة المحقونة بالثبات في القالب.

٥- يتراجع اللولب ويقل الضغط ويترك القالب مدة ليبرد حسب الوسيلة المتبعة للتبريد، إذ تتماسك وتتصلب المادة المحقونة بسرعة متخذة شكل القالب.

٦- يفتح القالب المؤلف من قسمين أو أكثر حيث يطرد المنتج النهائي من القسم المتحرك للقالب عن طريق اللفظ، ومن ثم يغلق القالب مجدداً لتبدأ عملية حقن جديدة.

٧- يتم إزالة الزوائد عن القطعة المنتجة وخاصة عند فجوات التغذية المتصلة مع مجاري التغذية (العقب، الجزرة). أن الباب السادس من هذا الكتاب هو دراسة للقوالب نظراً لأهميتها الكبيرة.

يبين الشكل (2) مراحل عملية الحقن.

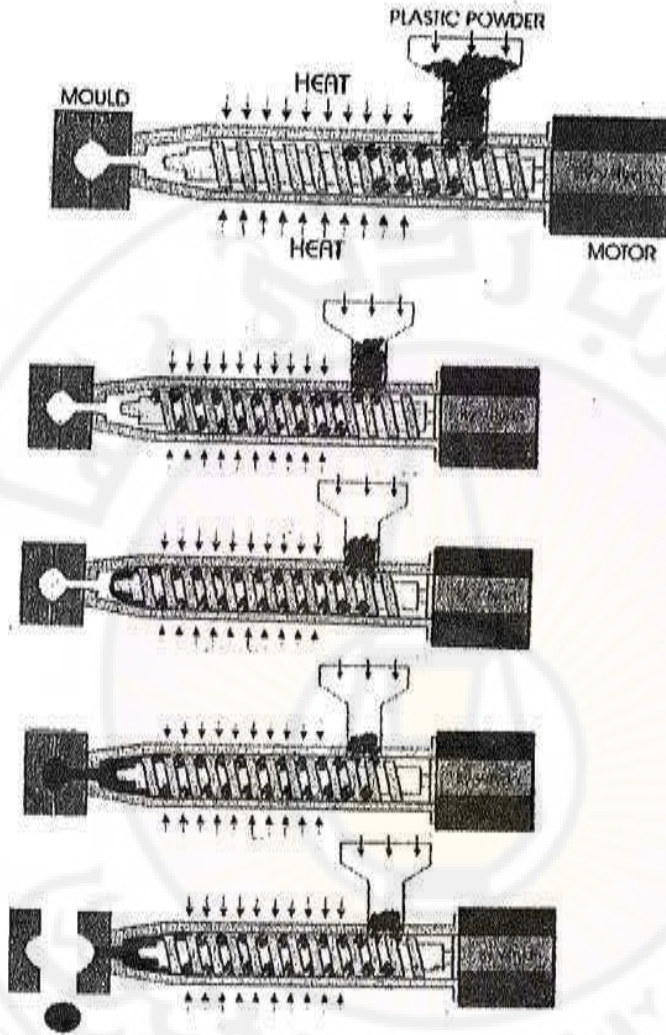
شروط الحقن:

١- تقع درجة حرارة المادة المحقونة من أجل البلاستيك ذي التركيب غير المنتظم (Amophe) ضمن المجالين الرابع والخامس من مخطط Tobolsky $[\log G_R(10)-T]$ الذي درسنا سابقاً.

٢- يجب ألا تخرج القطعة المنتجة من القالب إلا عندما تكون درجة حرارتها أخفض من درجة حرارة إمكانية التشوه.

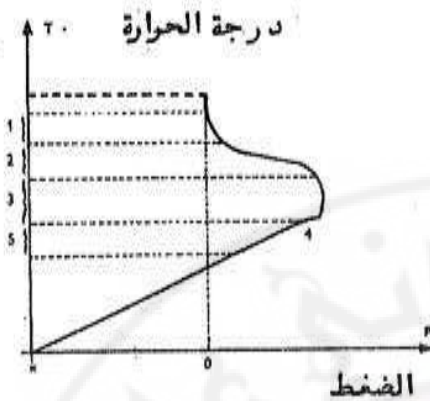
٣- من أجل البلاستيك ذي التركيب المنتظم Cristalline فيجب أن تكون درجة الحقن أكبر من درجة حرارة الانصهار (T_0) للمادة.

٤- لو وضعنا مقياس ضغط داخل القالب فإنه من الممكن رسم مخطط درجة الحرارة - الضغط كما بالشكل (3)، حيث تحدد درجة الحرارة حسابياً مع الأخذ في الحسبان التبادل الحراري الحاصل بين المادة وجدران القالب. على هذا المخطط يمكن تحديد عدد من المراحل:



الشكل (2)
مراحل عملية الحقن

- (1) مرحلة ملء القالب .
- (2) مرحلة انخفاض الحرارة وازدياد الضغط إذ يكون ملء القالب مستمراً .



الشكل (3)

(3) امتلاء مقطع قناة التغذية بالمادة التي تتصلب على طول الجدران فلا تسمح بالمزيد من المادة بالمرور للمحافظة على الضغط .

(4) التصلب لمحتويات فتحة التغذية .

(5) تبريد محتويات القالب بشكل منفصل عن التغذية، وهذا يرافقه انخفاض بكل من درجتي الحرارة والضغط. في هذه المرحلة حيث حجم معين من المادة.

ينحصر داخل حجم محدود حيث يحدث تغير بالضغط ودرجة الحرارة يكون خطي ويمكن تطبيق العلاقة التالية في حالة التركيب الغير منتظم للمادة:

$$(P + x) (V - W) = RT$$

حيث:

P : الضغط.

V : الكتلة الحجمية.

T : درجة الحرارة.

R , x , W : ثوابت تتعلق بالمادة البلاستيكية.

من أجل ضغط أكثر ارتفاعاً في النقطة (4) فإن الكتلة الحجمية يجب أن تكون أكبر.

في الحقيقة إن العامل هو المتحكم بالكتلة الحجمية للمادة خلال الحقن بسبب قابلية المادة البلاستيكية للانضغاط.

٥- تجفيف المادة: إن بعض أنواع المواد البلاستيكية شديدة لامتصاص الرطوبة من الجو وخاصة البولياميد والبولي كربونات ذات تركيب ماص للرطوبة، فإذا تمت قولبتها وهي رطبة فإن ذلك سيؤدي إلى الخواص الفيزيائية للمادة وبالتالي للمنتج كظهور فقاقيع أو خطوط أو تشوهات. من الضروري تجفيف المادة قبل وضعها في القمع وخاصة في حال إعادة تصنيع هذه المواد. في الآلات الحديثة تزود الأسطوانة بفتحة تصريف للغازات مما يسمح بتصريف الرطوبة والاستفادة من التجفيف.

٦- تلوين مسبق المادة : عندما نريد الحصول على منتج ملون فهناك عدة طرق لمزج المادة الملونة مع الريزين وأهمها طريقة المزج الصلب وهي سهلة التطبيق ويتم إما قبل وضع الريزين في القمع أو خلاله ويجب أن يكون المزج جيداً للحصول على توزيع جيد ضمن الأسطوانة. تبلغ نسبة الملونات بحدود (1-5%).

٧- تلدين المادة: ويتم في قسم التلدين بالآلة حيث تتحول المادة من شكل حبيبات إلى مادة مصهورة جاهزة للحقن. والتلدين هو انهيار في قوى ترابط الجزيئات الداخلية حيث تصبح هذه الجزيئات متحركة في المادة الملدنة. يمكن أن يكون هناك تلدين مسبق لاختصار الزمن وسنرى ذلك عند الحديث عن آلات الحقن.

مواد البلاستيك الحراري المحقونة:

كل مواد البلاستيك يمكن أن تحقن بسهولة متفاوتة بين المادة والأخرى باستثناء الـ PTFE. شروط الحقن الأساسية هي: درجة حرارة الحقن، ضغط الحقن، درجة حرارة القالب، زمن دورة الحقن...، هذه الشروط هي التي تحدد مدى صعوبة أو سهولة الحقن للمواد المختلفة.

المواد المستعملة	- عملياً كل مواد البلاستيك الحراري (Tp) - بكميات كبيرة PS , ABS , PEhd, PP - بكميات قليلة PVC الصلب (صعب الحقن)
الطاقة الإنتاجية	بضع غرامات وحتى (5kg)، بعد ذلك يعتبر حالات استثنائية قد تفوق (50kg). السماكة (5-0.4 mm)، وأكثرها.
الكمية الإنتاجية (قوالب وحيدة الطبعة)	(4-3) دورة إنتاجية بالدقيقة للقطع الصغيرة. PS: 100 g : 200-400 قطعة/ساعة 200 g : 120-240 قطعة/ساعة PEhd: 300 g : 150-200 قطعة/ساعة PP: 2000 g : 60 قطعة/ساعة

والجدول التالي يبين درجات الحرارة والضغط للحقن ودرجة حرارة القالب لبعض أنواع المواد البلاستيكية الحرارية:

المادة	درجة حرارة الحقن °C	ضغط الحقن Kg/cm ²	درجة حرارة القالب °C
PEhd	260-310	600	50-70
PEbd	160-260	500	30-70
PP	250-270	600	40-100
PS	< 250	P _{max}	50-60
PVC	140-190	1200	50

زمن دورة الحقن:

يجب أن يكون الزمن الكلي لدورة الحقن أقل ما يمكن لزيادة معدل الإنتاج، وحيث إن الحقن مخصص لإنتاج كميات كبيرة بشكل غير مستمر ومراحل دورته: إغلاق القالب - عملية الحقن - التبريد - فتح القالب - إخراج القطعة المنتجة، لذا يجب توزيع الزمن بالشكل المناسب، فإذا كانت سماكة القطعة كبيرة فمرحلة التبريد تأخذ الزمن الأكبر من الدورة، زمن التبريد يتناسب مع

مربع السماكة (البلاستيك السيء النقل للحرارة)، لذا فعملية الحقن مخصصة للسماكات القليلة (3-5 mm) وهناك حالات استثنائية.

مثال:

قطعة منتجة من الـ PP

كمية الإنتاج: قطعة/ساعة	السماكة mm
200	1.5
100	2.5
20	7.5
3	25

غالباً زمن التبريد يساوي نصف زمن الدورة الكامل.

مثال:

قطعة منتجة من الـ PS (100 g): زمن الدورة يوزع على النحو الآتي:

2	ثانية للإغلاق،	2	ثانية لعملية الحقن،
6	ثانية للتبريد،	2	ثانية لفتح القالب.

مثال:

إذا كان مثلاً زمن الدورة الكلي (60 sec) فيقسم كالتالي:

30 sec عملية الحقن

25 sec عملية التبريد

5 sec فتح وإغلاق القالب ولفظ المنتج .

ويمكن أن تختلف هذه التقسيمات حسب التقنيات المتبعة سواء بالحقن أم التبريد.

إذا كانت الدقة كبيرة بأبعاد القطعة ليست مطلباً أساسياً فيمكن خفض زمن التبريد وذلك باستخدام طريقة التبريد بالماء (هذا غير صالح لإنتاج القطع الصناعية).

جودة القوالبه : Quality of Molding

إن تعبئة القالب ليست بالعملية السهلة حيث إنها تتضمن جرياناً غير أيزوترمي (ذو درجة حرارة غير ثابتة) لسائل غير نيوتوني عبر عدة قنوات مختلفة المقاطع وحتى في فجوة القالب فإن نموذج الجريان معقد حيث إنه حالما تدخل المادة المذابة إلى القالب تنتشر من فتحات دقيقة لتأخذ شكل المنتج.

ربما يتوجب على المصهور الداخل أن يندمج مع المصهور المتدفق من فتحات أخرى أو يتوجب عليه أن يغير اتجاهه أو أن يتكيف مع تغيرات المقطع في المنتج لذلك ليس من المدهش أن نجد أن الأجزاء المقولبة نادراً ما تكون متجانسة أو متناظرة وهي ربما تحوي بعض العيوب مثل وجود خطوط الالتحام - انخفاضات - فجوات داخلية - تريش - انفعالات داخلية مغلقة وغالباً ما تكون المنتجات مشوهة إلى حد ما كما تحتوي على أخطاء ناتجة من التوجيه.

في العديد من الحالات يمكن أن نقلل من هذه المشكلات بتصميم قالب جديد والمعرفة الجيدة بالتغيرات الحادثة في أثناء القوالبه، ولكن لا يمكن تجاهل هذه المشاكل وسنناقش هذه المشاكل بإيجاز

أولاً - خطوط الالتحام : Weld Lines

تحدث خطوط الالتحام في القوالبه عند تلاقي مقدمة جريانيين من البوليمير المصهور، وهي تعدّ منطقة ضعف، ولسوء الحظ فهي تحدث على نحو متكرر في القوالبه.

وخطوط الالتحام هذه لا يمكن تجنبها في فجوات القوالب المتعددة الفتحات ولكنها يمكن أن تحدث أيضاً في الفجوات وحيدة الفتحة إذا انقسمت مقدمة

المادة المذابة لتتغلب على عائق ما. أماكن توضع الفتحات له دور في حدوث هذه الخطوط أو عدم حدوثها.

إذا كان من غير الممكن تجنب خطوط الالتحام فيمكن أن نحسن مقاومتها بأن نضمن وجود حرارة وضغط كافيين على الوجه السفلي لنسهل الالتحام. إن إحداث ثقب تنفيس عند موضع التحام معروف سيؤكد أنه لا يوجد جيوب هواء محبوسة والتي يمكن أن تسبب فراغات في المنتج.

ثانياً - التوجيه وعدم التناظر: Orientation and Anisotropy

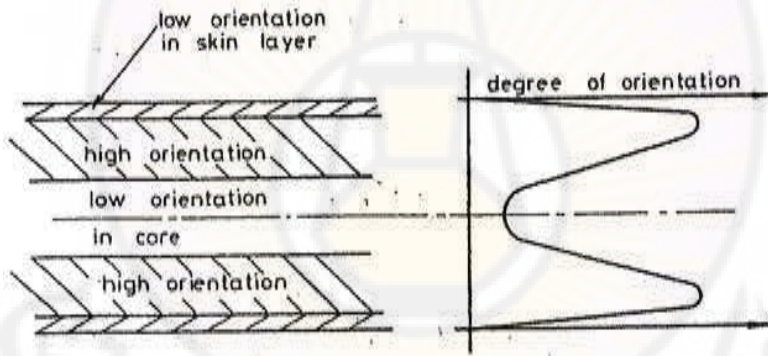
عندما يجبر البوليمير المصهور على المرور عبر القنوات إلى فجوة القالب فإن السلاسل الجزئية تميل للاصطفاف أو التوجيه باتجاه معين وتسمى هذه العملية بالتوجيه، وهي تسبب وجود عدم تناظر في المنتج، إن اصطفاة السلاسل سوف يزيد من متانة المادة بجهة الاصطفاف وتكون المتانة في الاتجاه العرضي أقل، ونادراً ما يمكن أن نضمن أن القولية لن تسبب إجهادات بذلك الاتجاه، ولذلك فإن التوجيه غير المرغوب فيه عادة ولكن نادراً ما يكون بالإمكان تجنبها.

بأخذ خواص المادة ظروف العمل وهندسة القالب في الحساب يجعل من الصعب توقع التوجيه الذي سوف يحدث في العنصر. عادة أي شيء يزيد من حركة الجزيئات ينقص التوجيه وبناءً على ذلك فإن رفع درجة حرارة المصهور البطيء تقلل من التوجيه.

إن الضغط على المادة المنصهرة يميل إلى تقليل الحركة لذا فإن تخفيض ضغط الحقن وزمن تقدم اللولب سيقلل من حدوث التوجيه وكذلك إن زيادة سماكة المقاطع وتقليل إجهادات القص وإبطاء عملية التبريد تؤدي إلى التقليل من التوجيه.

في المقاطع السمكية يوجد عادة تغير في التوجيه على طول السماكة وهذا يظهر على الشكل التالي:

عندما نحقق المادة المصهورة في قالب فإن الاضطراب الحادث يسمح باصطفاف سلاسل جزيئية قليلة وهكذا فالمادة التي تلامس القالب البارد أولاً وتتجمد هي حقيقة خالية من التوجيه وبعيداً عن الطبقة الخارجية فالسلاسل الجزيئية سوف تمتد بسبب قوى القص الناتجة من الجريان مما يسبب درجة عالية من التوجيه، على كل حال فطبقة المادة القريبة من المركز معزولة جيداً بوساطة الطبقات الخارجية وبالتالي إن التوجه الحادة لديه الفرصة للاسترخاء خلال التبريد البطيء والشكل (4) يبين تغيرات التوجيه في مادة ذات سماكة كبيرة بحسب قربها وبعدها عن السطح.

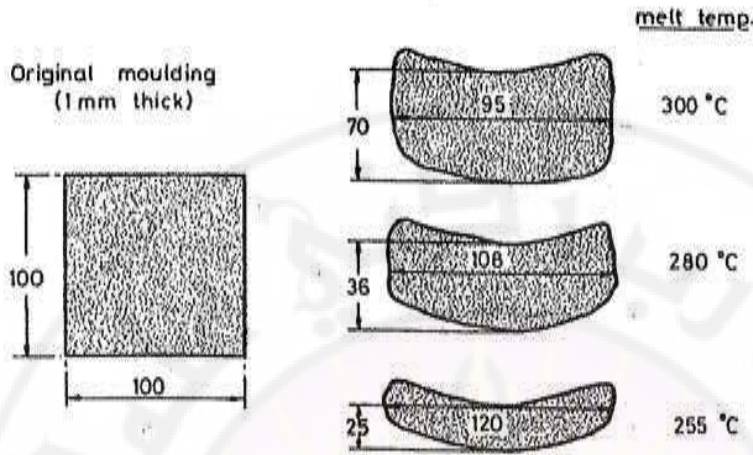


الشكل (4)

تغيرات التوجيه عبر طبقة سمكية محقونة.

كما يبين الشكل (5) أن التوجيه في القولبة يمكن أن يفحص بوساطة دراسات معينة وذلك بإظهار المقاطع بالضوء المستقطب، المقاطع المختارة تسخن في الفرن أو حمام الزيت حيث يسمح لها أن تعود إلى الوضع المفضل لديها (الأقل إجهاداً) وهكذا تعطي مؤشراً في التوجيه في القولبة.

After 30 minutes at 180 °C



الشكل (5)

تأثيرات التوجيه في المنتجات المشكلة بالحقن.

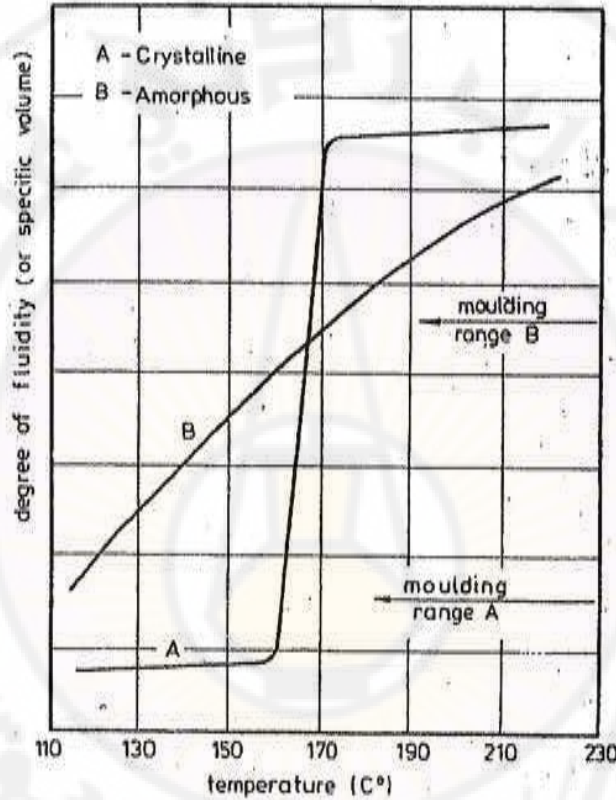
ثالثاً - الانكماش : Shrinkage

الانكماش أو التقلص وهو ربما يكون المشكلة الرئيسية في ضبط القوالب، ويعرف الانكماش بأنه الفرق بين أبعاد القالب البارد وأبعاد المنتج المبرد وهو يحدث بسبب التقلص وتغيرات الحجم عندما يتحول البلاستيك من الحالة المنصهرة إلى الحالة الصلبة.

وهناك أيضاً عدة عوامل أخرى مشاركة وعلى سبيل المثال إذا كان هناك توجيه في القوالب فالانكماش سيحدث نتيجة استرخاء الروابط الكربونية في السلسلة الجزيئية وهذا يميل لأن يكون أكبر من جهة اصطفاف السلاسل عما هو عليه في الاتجاه العرضي المتعامد معه.

وهناك عامل آخر هام يتعلق بنوع البلاستيك فيم إذا كان متبلوراً أو غير متبلور (عشوائي) ويمكن مشاهدة الفرق بين هذين النوعين بوضوح عند تسخينهما.

يبين الشكل (6) أنه من أجل البلاستيك المتبلور هناك تغيرات مفاجئة حادة وغير متوقعة باللزوجة عند درجة الانصهار، قبل هذه الدرجة المادة صلبة بشكل أساسي بينما في درجات الحرارة الأعلى فهي نسبياً سائل قليل اللزوجة.



الشكل (6)

سلوك المواد المتبلورة والغير متبلورة عند الصهر.

يمكن أن يشاهد أيضاً انحدار الصفات ما بين درجات الحرارة العالية والمنخفضة قليل حيث إن تغيرات الحرارة في المناطق البعيدة عن منطقة حرارة الانصهار لها تأثير قليل في اللزوجة.

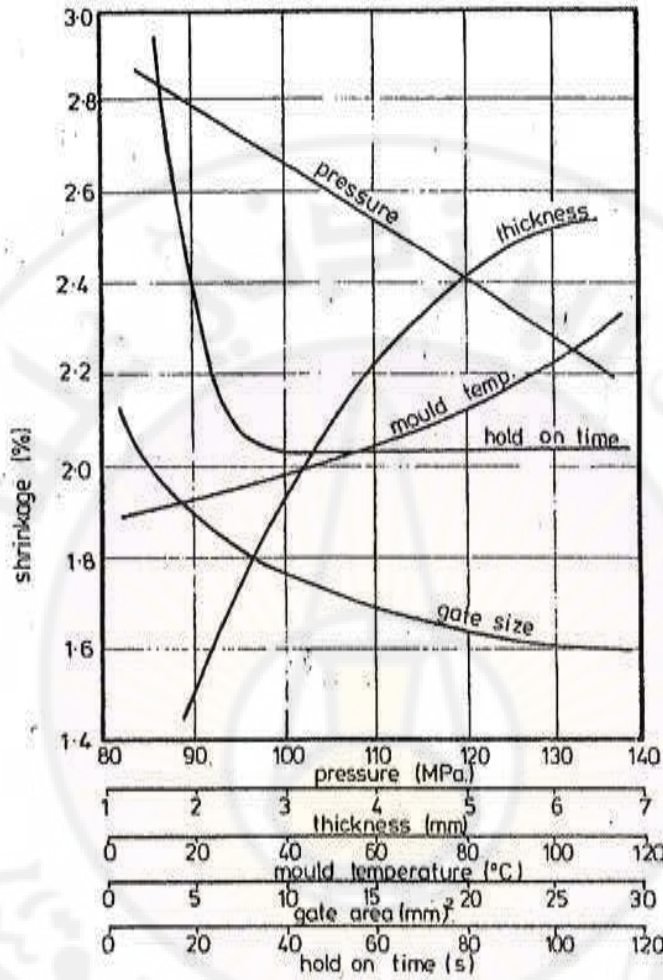
في المواد غير المتبلورة هناك تغيرات أكثر تدرجاً في الزوجة مع ازدياد درجة الحرارة ونتيجة لذلك نجد أنه بالإضافة لتأثيرات الانكماش المشار إليها سابقاً إذا كان البلاستيك متبلوراً سيكون هناك انكماش وذلك نتيجة تقارب حزم الجزيئات في الحالة المتبلورة، ومن هنا إن تقلص هذه المواد كبير نسبياً حيث يصل من (1%) إلى (4%) مقارنة مع المواد غير المتبلورة حيث يصل لـ (0.3-0.7%).

إن استخدام المواد المتبلورة يسهل الحصول على زمن دورة أقل لأنه حالما تهبط درجة حرارة المادة تحت درجة الانصهار إن التغيرات في الزوجة تكون قليلة وبالتالي يمكن نزع المنتج من القالب وهو ما يزال ساخناً نسبياً. عندما تملك المادة انكماشاً كبيراً فإنه من الصعب المحافظة على تسامحات صغيرة في أبعاد المنتج.

إن القوالب الناجحة لهذه الأجزاء تحتاج إلى خبرة كبيرة من قبل مصمم القالب ومشغل الآلة وذلك من أجل الحصول على جودة مقبولة، وهناك بعض العوامل التي تؤثر في الانكماش وأهم هذه العوامل :

١ - ضغط الحقن : Injection Pressure

إن لضغط الحقن تأثيراً هاماً في الانكماش كما يبدو في الشكل (7) حيث باستخدام ضغط عالي فإنه من الممكن أن نعوض تغيرات الأبعاد التي تظهر في المادة نتيجة التبلور والتقلص الحراري، وبهذا ينقص التقلص، على أي حال فلا يجب الاعتماد على الضغط العالي لإنقاص التقلص لأنه يمكن أن يسبب تأثيرات جانبية كالتسبب بنشوء إجهاد إضافي عالٍ في منطقة دخول المصهور ويجب أن نلاحظ أيضاً أن هبوطاً كبيراً في الضغط في البلاستيك المصهور بعيداً عن فتحة الدخول، وبما أن للضغط تأثيراً هاماً في التقلص فإنه لا يمكن تجنب وجود تقلصات متفاوتة في المنتج.



الشكل (7)

تغيرات الانكماش في البلاستيك المتبلور جزئياً.

٢- زمن الإبقاء Hold-on Times

إن زمن بقاء اللولب متقدماً له تأثير مهم في الانكماش وسبب ذلك أنه خلال تقدم اللولب فإن المادة المصهورة تحت الضغط لتملى فجوة القالب وبالتالي ستمنع حدوث أي انكماش خلال فترة التبريد الأولى وهذه واحدة من الطرق

المألوفة لتخفيض الانكماش. الشكل (7) يوضح أن زيادة صغيرة نسبياً مع زمن الإبقاء تسبب تناقصاً كبيراً في الانكماش على كل حال حالما تتجمد فتحة الدخول بعد حوالي (40) ثانية فلا توجد أي فائدة من بقاء اللولب متقدماً في الوضعية الأمامية، إذا كان ضغط الحقن مرتفعاً فإنه ربما يؤدي المنتج بسبب توليد إجهادات داخلية إضافية وبالنتيجة يؤدي إلى هشاشة في منطقة دخول المادة.

٣- حجم الفتحة: Gate Size

إن زيادة حجم فتحة الدخول يقلل من الانكماش لأنه يزيد الوقت لتجمد الفتحة وهذا بدوره يزيد الوقت المستغرق لتجمد الفتحة وبالتالي يزيد الوقت الذي يبقى خلاله ضغط الحقن قادراً على تعويض الانكماش.

٤- حرارة القالب: Mould Temperature

بازدياد درجة حرارة القالب يزداد الزمن اللازم لتجمد الفتحة ولهذا السبب فهذه طريقة للتغلب على مشكلات ملء القالب نتيجة لصغر حجم فتحات الدخول، على كل حال فإن تسخين القالب إلى درجات حرارة أعلى يعني سرعة تبريد أقل للمادة المصهورة وهذا يزيد التبلور مما يزيد من انكماش المنتج.

يبين الشكل (7) أن استخدام فتحات دخول صغيرة مع درجات حرارة القالب العالية غير مجدي لتقليل الانكماش.

٥- ثخانة الجزء: Part Thickness

إن المقاطع السميكة في المنتج تبطئ سرعة التبريد وتشجع التبلور لذا سيزداد الانكماش كلما ازدادت سماكة الجزء.

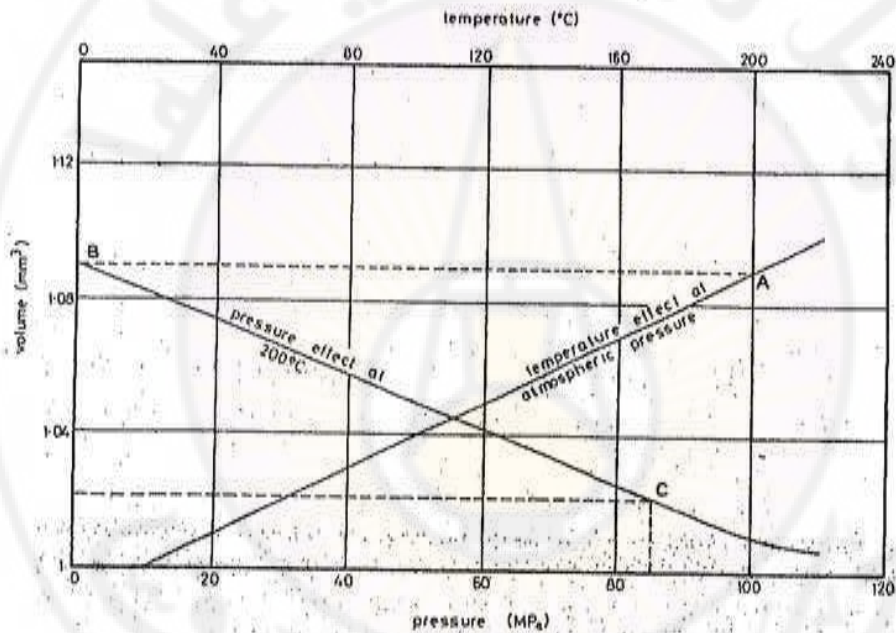
٦- درجة حرارة المادة المنصهرة: Melt Temperature

يكون عادة تأثير حرارة المصهور في الانكماش نسبياً صغير وعلاج مشكلات الانكماش عن طريق معايرة درجات حرارة المصهور غالباً غير

فعال ولا ينصح به، على كل فإن الانكماش سيكون أعلى بقليل بدرجات الانصهار الأعلى.

يمكن تحديد نسبة الانكماش الناتجة من تأثير الحرارة والضغط من خلال الطريقة التقريبية المباشرة.

الشكل (8) يظهر تغيرات الحجم النموذجية نتيجة الضغط والحرارة، ولنفرض أنه لدينا مكعب من مادة بلاستيكية كثافتها (1100 kg/m^3) وبحجم (1 mm^3) وخاضعة للشروط التالية:



الشكل (8)

التغيرات النموذجية للحجم بتأثير الحرارة والضغط

$$W = 1.1 \times 10^{-3} \text{ gr}, \rho = 1100 \text{ Kg/m}^3, V = 1 \text{ mm}^3, P = 0, T = 20^\circ \text{C}$$

- إذا سخن المكعب إلى 200°C سيزداد الحجم إلى النقطة (A) في

الشكل (8) وتصبح الشروط كالتالية:

$$W = 1.1 \times 10^{-3} \text{ gr} , \rho = 1009 \text{ Kg/m}^3 , V = 1.090 \text{ mm}^3 ,$$

$$P = 0 , T = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- إذا رفعنا ضغط المادة البلاستيكية المصهورة إلى (85 MPa) فإن حجم المادة سيتغير من النقطة (B) إلى النقطة (C) وتصبح الشروط كالتالي:

$$W = 1.1 \times 10^{-3} \text{ gr} , \rho = 1078 \text{ Kg/m}^3 , V = 1.0215 \text{ mm}^3 ,$$

$$P = 85 \text{ MPa} , T = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

حيث : T : درجة الحرارة .
P : الضغط.
V : الحجم.
W : الوزن.
 ρ : الكثافة.

في هذه الحالة سيكون طول الضلع المكعب (1.00716 mm)، إذا عاد البلاستيك إلى حرارته الأولى والضغط البدائي سيكون طول المكعب (1mm) وبالتالي الانكماش الذي حدث هو :

$$\frac{0.00716}{1.00716} = 0.0071 \text{ mm}$$

عند استخدام هذه الطريقة لتقييم الانكماش يجب أن نعرف أنه في الحالة العملية المادة المنصهرة تبدأ بالتبريد حالما تدخل القالب.

إذا أمكن الحفاظ على الضغط حتى تتشكل الطبقة السطحية المتجمدة فإن كمية أكبر من المادة المنصهرة يمكن أن تجبر على الدخول إلى القالب وذلك لتقليل الانكماش ولكن حالما تتجمد الفتحة فإن الجوف ينعزل عن ضغط الحقن لذلك يجب إجبار المادة المنصهرة على الدخول إلى القالب قبل حدوث التجمد.

٧- التلدين : Annealing

إذا كانت المادة المقولبة ذات مستوى غير مقبول بسبب الانكماش والتوجه فربما نحتاج إلى عملية التلدين والهدف من التلدين هو تسريع استرخاء المادة

وبذلك يتم إنقاص الإجهادات الداخلية في المنتج ونحصل على ثبات في أبعاده.

تتضمن العملية تسخين المنتج بالهواء أو بسائل ما إلى درجة حرارة أدنى من درجة حرارة التطرية (أي قبل الانصهار عندما تصبح المادة لينة) وإبقائه حتى نحصل على تجانس حراري ضمن المنتج ومن ثم تبريده ببطء.

عادة من المعروف أن التلدين يحسن من خواص المادة المقبولة، ولكن في معظم الحالات لا يكون التلدين اقتصادياً، وعملياً يمكن أن تتم الخطوات السابقة خلال عملية القولبة مما يجعل التلدين فيما بعد غير ضروري.

رابعاً - الانفثال أو الاعوجاج : Warpage

يحدث الانفثال نتيجة الإجهادات والانفعالات الغير متساوية في المنتج ويمكن أن تحدث كنتيجة لسوء تصميم المنتج أو القالب أو استخدام ظروف قولبة خاطئة والتأثيرات الناتجة عن التوجه والتبلور يمكن أن تحدث هذا العيب مثلاً البلاستيك المتبلور يميل لأن يستمر بالتبلور بعد نزع من القالب وكما كان تبريد المادة المصهورة أبطأ أي كلما كانت حرارة القالب أعلى كلما زاد التبلور.

في المنتجات ذات السماكات المتغيرة كثيراً هناك خطورة ناتجة من تطور التبلور بقيم مختلفة وعن نزع المنتج من القالب فإن استمرار عملية التبلور خارج القالب سيؤدي إلى تشوه المنتج، إذا كان هناك توجه في المنتج فسوف نحصل على انكماش متباين وسيكون في جهة التوجيه أكبر منه في الاتجاه العمودي وهذا سيؤدي إلى تشوه في المنتج.

خلال عملية الحقن إذا أبقى اللولب في الوضع الأمامي تحت ضغط مرتفع فهذا سيؤدي إلى الحصول على منتجات مشوهة وسبب أن المادة المحتجزة

في أجزاء جوف القلب والتي ستبقى ساخنة ستسبب اختلافاً في الإجهادات والكثافة ضمن المنتج.

إن ظهور العيوب في المنتج في القولية بالحقن أمر وارد: لذا سنورد بعض هذه العيوب وأسبابها المحتملة مع بعض الإرشادات التي يمكن أن تساهم في حل بعض المشاكل، ويجب أن نلاحظ أن هناك أحياناً عدة طرق لمعالجة كل سبب لظهور هذه العيوب. وتؤدي الخبرة الشخصية والمعرفة دوراً أساسياً في تحديد العيب وأسلوب التغلب عليه، والجدول التالي يبين ذلك:

العيب	السبب المحتمل	طرق الإصلاح المقترحة
ظهور خطوط سوداء	١- ارتفاع حرارة الاسطوانة. ٢- زوائد عالقة بالاسطوانة أو فوهة الحقن تسبب احتراق المادة.	١- الإقلال من درجات حرارة المسخنات. ٢- تنظيف الاسطوانة وفوهة الحقن.
تفاوت الأبعاد	١- شروط القولية غير منتظمة ٢- ارتفاع درجة الحرارة	١- ضبط شروط القولية (حرارة المادة، زمن الدورة، مقاييس الحرارة..). ٢- خفض درجة حرارة المادة. - خفض درجة حرارة القلب. - خفض سرعة دوران اللولب.
الاندفاع خارج القلب	١- ضرر في جزء القلب أو ضرر بالمادة المحقونة. ٢- سرعة الحقن كبيرة	١- معالجة الضرر والتأكد من المادة. ٢- تخفيض سرعة الحقن.
فقايع هوائية بالمنتج	١- ضغط الحقن ضعيف. ٢- رطوبة في المادة المحقونة. ٣- حرارة القلب غير متجانسة.	١- زيادة تغذية القلب. ٢- تجفيف المادة قبل الحقن. ٣- يعاد النظر بقتوات التبريد.
ظهور تشققات	١- القلب به مادة زائدة. ٢- درجة حرارة القلب منخفضة.	١- خفض زمن الحقن. - خفض ضغط الحقن. - خفض معدل التغذية ٢- رفع درجة حرارة القلب.

طرق الإصلاح المقترحة	السبب المحتمل	العيب
١- رفع درجة حرارة المادة. ٢- زيادة زمن دورة الحقن.	١- درجة حرارة المادة منخفضة نسبياً ٢- زمن دورة الحقن قصير	حبيبات غير ملدنة
١- مراجعة معايرة كمية المادة المحقونة. ٢- زيادة الحقن.	١- قلة المادة المحقونة. ٢- سرعة الحقن بطيئة جداً	الشروط القصير
١- رفع درجة حرارة المادة. ٢- رفع درجة حرارة القلب. ٣- زيادة ضغط الحقن. ٤- زيادة ثقوب التهوية بالسطح الفاصل للقلب. ٥- زيادة سرعة الحقن.	١- المادة باردة نسبياً. ٢- القلب بارد نسبياً. ٣- ضغط الحقن منخفض. ٤- وجود هواء محبوس بالقلب. ٥- سرعة الحقن غير كافية	المنتج ناقص
١- يعاد تصميم القلب أو زيادة ضغط الحقن. ٢- زيادة مواد التغذية. ٣- زيادة ضغط الحقن. ٤- زيادة زمن الحقن. ٥- زيادة سرعة الحقن أو توسيع فتحة الحقن. ٦- خفض درجة حرارة وشائع التسخين فوق الاسطوانة. ٧- زيادة زمن تبريد القلب.	١- المادة غير كافية في القلب وتسمح بالانكماش. ٢- التغذية غير كافية. ٣- ضعف ضغط الحقن. ٤- قصر زمن الحقن. ٥- سرعة الحقن قليلة. ٦- ارتفاع درجة حرارة المادة ٧- قطعة الإنتاج ساخنة.	تجاويف في المنتج
١- خفض ضغط الحقن. ٢- خفض معدل التغذية. ٣- ضبط أجهزة التوقيت. ٤- زيادة ضغط الإغلاق للقلب.	١- ضغط الحقن كبير. ٢- معدل التغذية كبير. ٣- زمن الدورة غير منتظم. ٤- إغلاق القلب غير محكم.	رايش في المنتج

العيب	السبب المحتمل	طرق الإصلاح المقترحة
بقع سوداء في أماكن متعددة	١- وجود بلاستيك محترق على جدران الاسطوانة	١- تنظيف الاسطوانة وإزالة الأجزاء المتجمدة من المادة. -تحاشي ترك المادة المصهورة مدة طويلة في الاسطوانة الساخنة.
بقع سوداء في أماكن محددة ثابتة	١- هواء محبوس في القلب.	١- تهوية القلب جيداً. -خفض أو زيادة درجة حرارة الاسطوانة والقلب.
التصاق بعض الأجزاء	١- ضغط الحقن عالي نسبياً. ٢- درجة حرارة الاسطوانة عالية. ٣- التغذية عالية نسبياً. ٤- زمن الحقن طويل نسبياً. ٥- فقاعات في قاع المنتج.	١- خفض ضغط الحقن. ٢- خفض درجة حرارة الأسطوانة. ٣- خفض معدل التغذية. ٤- يقلل زمن رجوع اللولب بعد الحقن ٥- إصلاح تهوية القلب.
رداءة سطح المنتج	١- القلب بارد نسبياً. ٢- ضغط الحقن ضعيف نسبياً. ٣- وجود بخار ماء متكثف على سطح القلب. ٤- كمية المادة غير كافية في القلب. ٥- سرعة الحقن بطيئة نسبياً. ٦- سطح القلب مخدوش.	١- رفع درجة حرارة القلب. ٢- زيادة ضغط الحقن. ٣- ينظف القلب ومجاري التبريد لمنع حدوث التكاثر. ٤- زيادة ضغط الحقن. -زيادة معدل التغذية. -رفع درجة حرارة القلب. ٥- زيادة سرعة الحقن. -رفع درجة حرارة المادة. -زيادة الضغط على اللولب من الخلف ٦- طلاء سطح القلب بالكروم.

آلات الحقن:

وتشمل مجموعة للتغذية وتجهيزات للتلدين، وللحقن، تغذي بالحبيبات، تسمح بالتسخين والتجانس، توفر عملية التحول تحت الضغط داخل القالب. كما تشمل آلات الحقن تجهيزات الإغلاق للقالب خلال الحقن، تسمح بفتح وإغلاق القالب، مجموعة خاصة لقذف القطعة المنتجة، تجهيزات لدواعي الأمان نظراً لسخونة القالب وللتغذية والتلدين.

خواص الآلة تحدد بالمقاييس التالية:

١- دورة من دون حمل: وتقدر بعدد الحقنات بالدقيقة، وهي دورة نظرية. أما الدورة مع الحمل فتتعلق بالمادة البلاستيكية المستخدمة وعلى الأبعاد الهندسية للقطعة المنتجة.

٢- قوة الإغلاق **Clamping Force**: وتقدر غالباً بـ (KN) وهي المميّزة لآلة الحقن، وتعبر عن القوة اللازمة لإغلاق جزئي القالب ويجب أن تكون أكبر من ضغط الحقن حتى لا يفتح القالب في أثناء القولبة. في الحقيقة إن قوة الإغلاق تعتمد على نوع آلة الإغلاق:

- ميكانيكية وهي أقل كلفة وينصح بها عندما تكون قوة الإغلاق بحدود (10000 KN). وعيبها أنها بطيئة الحركة مقارنة بالنوع الآخر.

- هيدروليكية وتحتاج إلى صيانة دائمة ولكنها سريعة الفتح والإغلاق وهذا مرغوب بالإنتاج الكبير وتستخدم للآلات ذات القوة الكبيرة.

٣- استطاعة الحقن **Injection Capacity**: وتمثل وزن المادة مقدرة بالغرام القابلة للحقن دفعة واحدة تحت تأثير ضغط حقن (1000 bar)، كما يمكن تقديرها بالحجم (Cm^3) للمادة.

٤- استطاعة التلدين **Plasticising Capacity**: وهي كمية المواد البلاستيكية التي يستطيع لولب الحقن تلدينها خلال ساعة واحدة في أثناء حركة اللولب الدورانية فقط (في الحقن أو البثق) وتقدر بـ (Kg/h).

٥- معدل الحقن **Injection Rate**: ويعبر عنها بـ (Kg/sec) وهذا يعني وزن المادة البلاستيكية المنقولة عبر لولب الحقن عند قطر وشوط محددين ولزمن معين.

يمكن أن يستعاض عن الوزن بالحجم. تعدّ مادة البوليستيرين التي وزنها النوعي (1.05 gr/cm^3) هي الأساس لتحديد معدل الحقن.

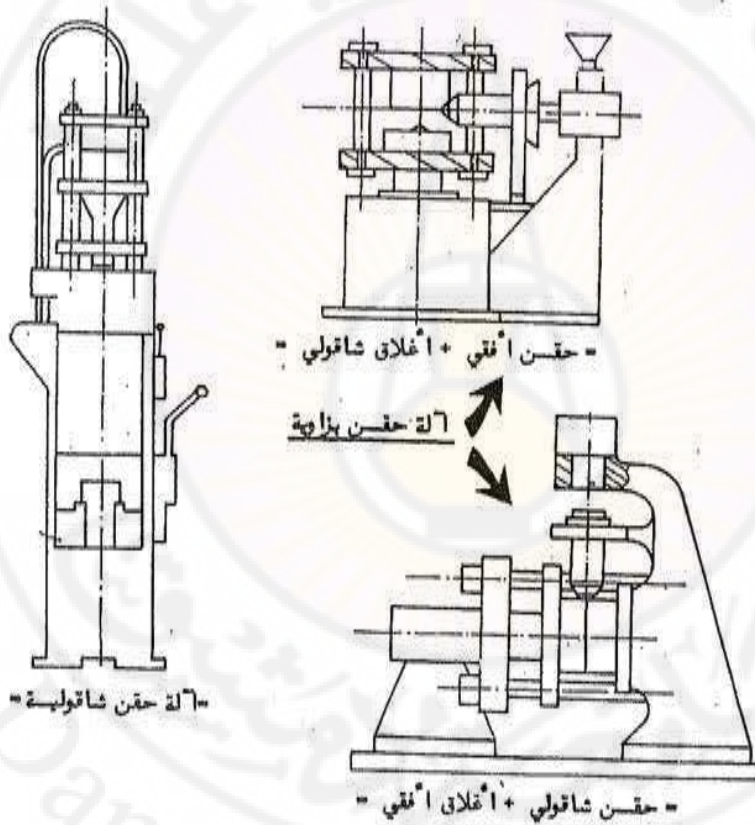
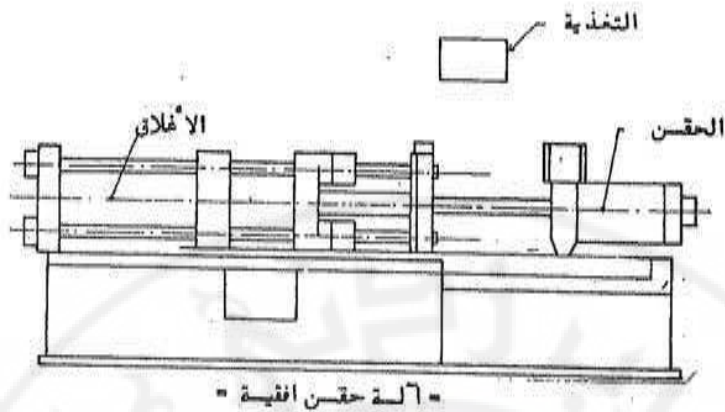
٦- قطر لولب الحقن **Screw Diameter**: من معرفة هذا القطر يمكن تحديد ضغط الحقن (القوة مقسومة على مساحة مقطع اللولب)، حيث إن هذا الضغط يقاس في مقدمة اللولب، أي قرب فوهة الحقن للأسطوانة في أثناء مدة الحقن (اللولب يعمل هنا كالمكبس في فترة الحقن).

٧- نسبة **L/D**: وهي نسبة طول لولب الحقن إلى قطره، تزداد هذه النسبة بزيادة طول اللولب ويزداد التلدين كثيراً، ولذا ينصح بتحريك اللولب للأمام والخلف حتى لا يحصل انحطاط للمادة في أثناء حقنها (إذا بقيت بالاسطوانة فترة أكثر من اللازم).

٨- طاقة التسخين **Heating Power : (KW)** وهي الطاقة اللازمة لتلدين المواد البلاستيكية ضمن أسطوانة الحقن. ويجب الانتباه إلى أن هذه الطاقة للتسخين فقط، أما اللولب فإنه يدور بوساطة محرك كهربائي مستقل (موصول بمسننات) ويحتاج لطاقة أخرى.

الآلات يمكن أن تكون يدوية أو نصف أوتوماتيكية أو أوتوماتيكية وهو الشائع استخدامه في الوقت الحاضر. يجب أن يلحظ بالآلة قدرتها على تحمل القوى التي يمكن أن تصل إلى عشرات ومئات الأطنان حسب نوع الآلة. لذا يستعمل كثيراً عمودين أو أربعة متصلة بصفائح صلبة بشكل لجاف (وصل مع المحافظة على مسافة ثابتة).

يمكن أن ترتبط مجموعات الحقن والإغلاق بعدة طرق كما بالشكل (9) :

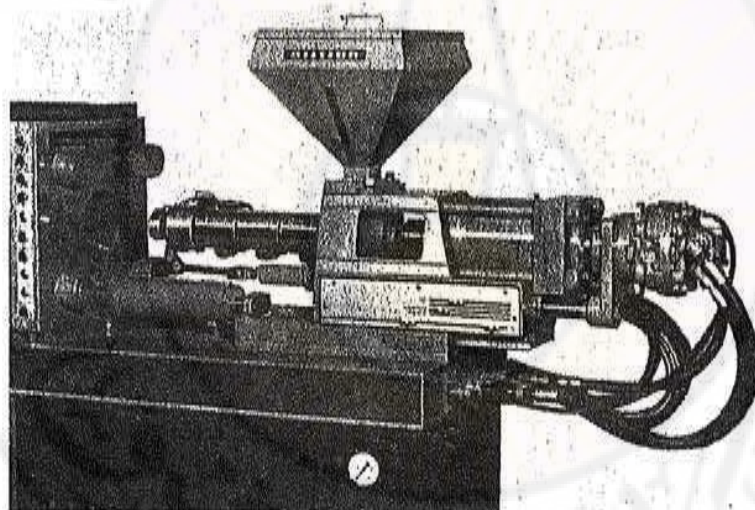


الشكل (9) أشكال آلات الحقن

١- محور مجموعة الحقن متحد مع محور مجموعة الإغلاق وعمودي على الصفائح.

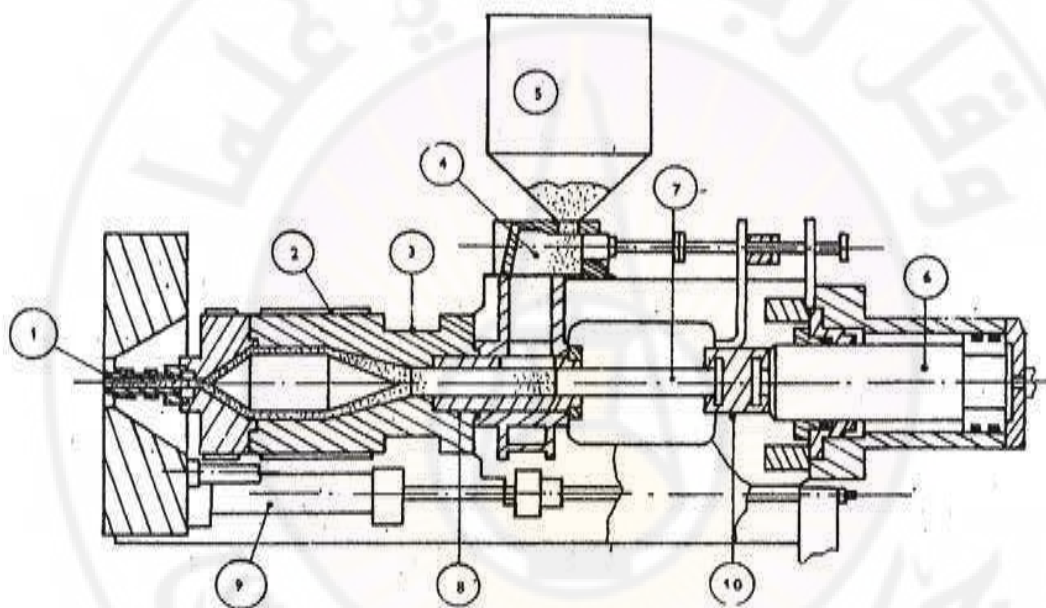
٢- محور مجموعة الحقن موازي لصفائح الآلة وهذه تدعى آلة الزاوية. يمكن أن تكون في الحالة الأولى وكما يوضحه الشكل آلات الحقن أفقية أو شاقولية والنوعين شائعي الاستعمال إلا أن الآلات الأفقية أكثر استعمالاً رغم زيادة الردم الأرضي الذي تحتاجه. بعض الآلات تسمح لمجموعة الحقن والإغلاق بالانقلاب حول محور الدوران بحيث تستطيع أن تعمل وفقاً لنموذج القالب سواء للآلات العمودية أم الأفقية أو الآلات الزاوية. بصورة عامة، يمكن تزويد هذه الآلات بمجموعتين للحقن للقيام بعملية الحقن بلونين.

مجموعة الحقن:



خلال زمن طويل كانت عملية التلدين وعملية الحقن تتم في المجموعة نفسها التي تتألف من أسطوانة معدنية مسخنة بوساطة حلقات خارجية وتنتهي بالطرف إلى أنف أو أنبوبة للنفذ. تتم التغذية بالحبيبات بوساطة مجموعة ميكانيكية معبرة تتوضع في الطرف الآخر والتي يخترقها مكبس الحقن كما

بالشكل (10). الحبيبات تسخن بواسطة التوصيل الحراري من جدران الوعاء أو الأسطوانة (3) التي يوجد بداخلها قطعة معدنية مركزية تدعى بالطوربيد وذلك لقسر الحبيبات المائعة للاقتراب من الجدران. احتكاك الحبيبات الصلبة وضغوط الحمل الهيدروليكي يولد ضياع كبير بالقدرة وبالنتيجة فإن الضغط المؤثر على المادة داخل القالب يساوي إلى ثلثي (إن لم يكن النصف) الضغط النظري المطبق على الحبيبات.



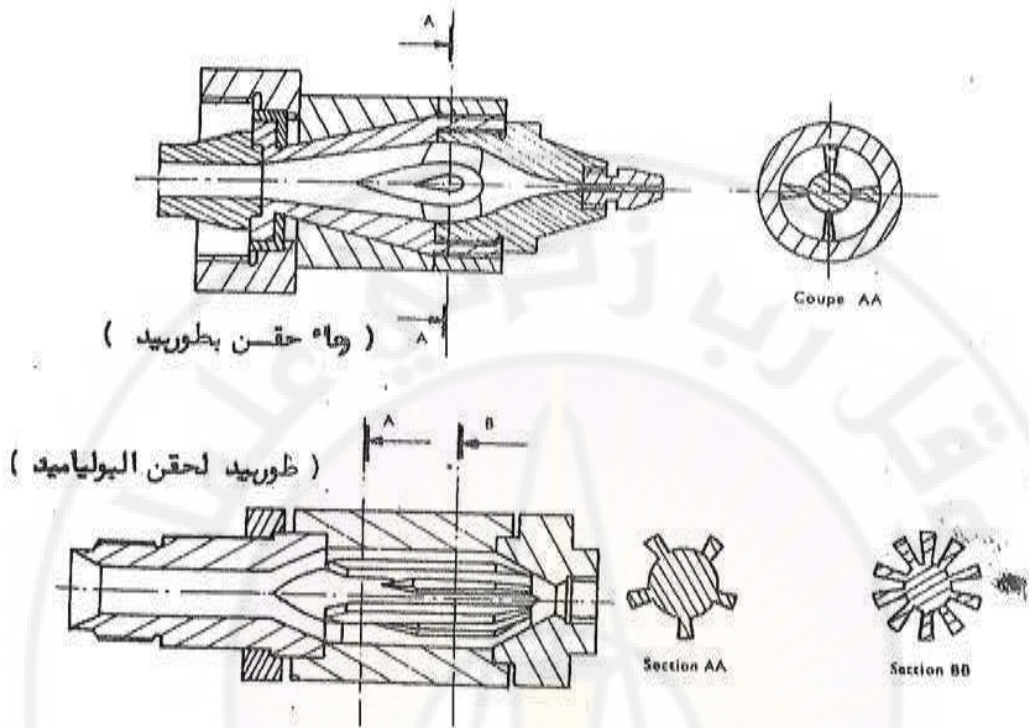
الشكل (10) آلة بوعاء - مجموعة كتلة الحقن

1- أسطوانة الحقن. 2- تسخين. 3- وعاء الحقن. 4- موزع. 5- قمع. 6- رافعة

الحقن. 7- مكبس الحقن. 8- قميص الحقن. 9- رافعة لانتقال المجموعة.

10- قارنة وصل.

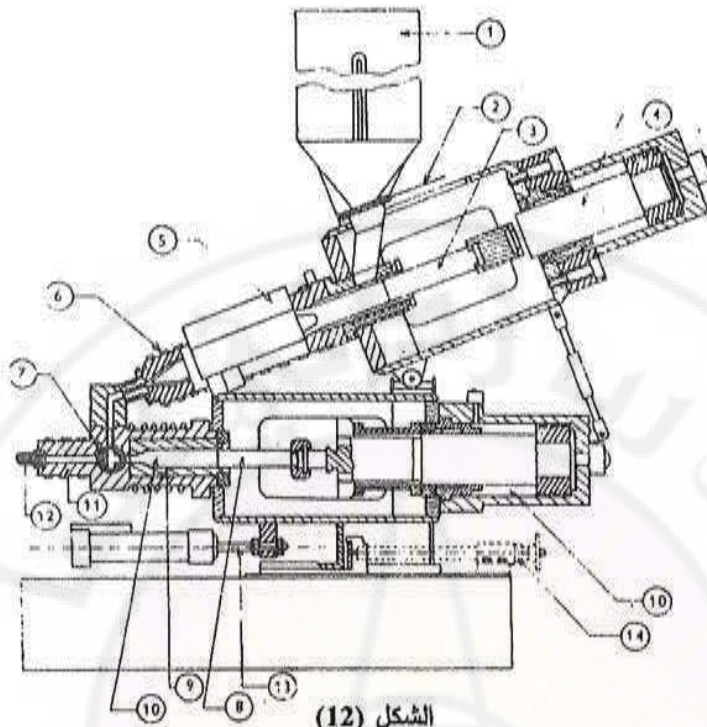
عدة حلول دُرِسَتْ بنجاح لأجل تطوير مجموعات الحقن - التلدين. في المرحلة الأولى تم تحسين الطوربيد كما في الشكل (11) لزيادة فعاليته ولتقليل الضياع المتولد.



الشكل (11)

بعد ذلك حصل تقدم جيد عندما فصلت مجموعة التلدين عن مجموعة الحقن، وفي هذه الحالة إن أسطوانة تحتوي طوربيد يسمح بتلدين المادة البلاستيكية ويقوم بعد ذلك بتغذية مجموعة مكبس وأسطوانة والتي تحقن المادة المائعة داخل القالب الشكل (12)، وفي هذه الحالة إن الاحتكاك والضياع يتناقصان بصورة جيدة خلال عملية الحقن، غير أن الأسطوانة مع الطوربيد المستعملة للتلدين هما كذلك مبادل سيء للحرارة.

في الحقيقة أن مشكلة تسخين البلاستيك نجدها في كل حالات الإنتاج لأن هذه المواد لها عازلية جيدة ولأنها بصورة عامة تدخل في آلات التحويل المختلفة بشكل دفعات متقطعة من الحبيبات.



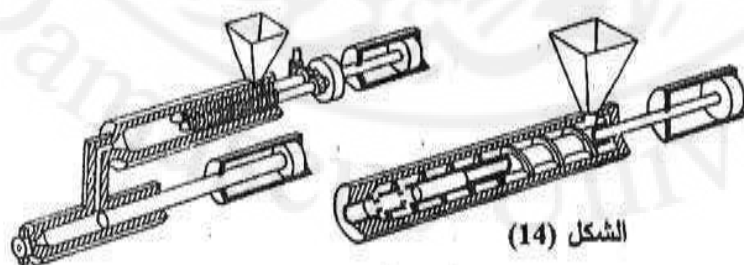
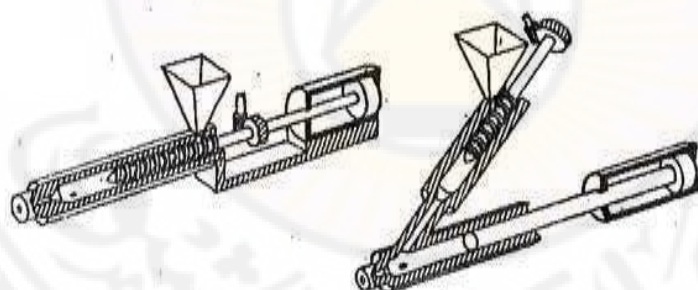
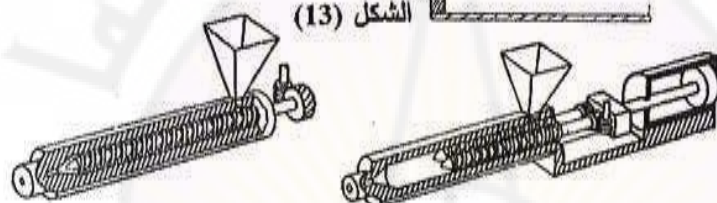
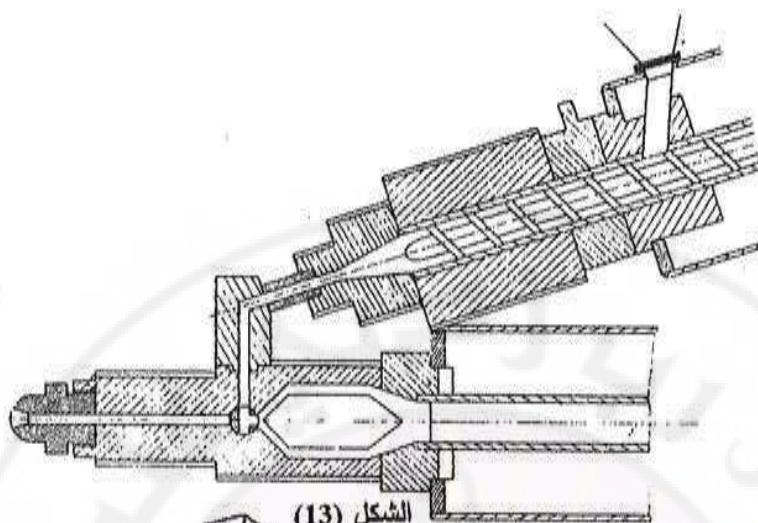
الشكل (12)

آلة حقن مواد البلاستيك الحراري ذات مجموعة التلدين منفصلة.

1- قمع. 2- مسجل. 3- مكبس التلدين المسبق. 4- رافعة التلدين المسبق. 5- غرفة التلدين المسبق. 6- حلقات التسخين. 7- صمام بثلاث فتحات لتنظيم الجريان. 8- مكبس الحقن. 9- قميص غرفة الحقن. 10- غرفة الحقن. 11- حامل الأسطوانة. 12- الأسطوانة. 13- مكبس إغلاق الأسطوانة. 14- مجموعة قطع الأعقاب (الجزرة).

هناك تطور كبير تم بالنسبة لما تقدم وذلك عندما استبدلت مجموعة التلدين بطوربيد بجسم باثق يتضمن لولب ويغذى أسطوانة الحقن كما في الشكل (13).

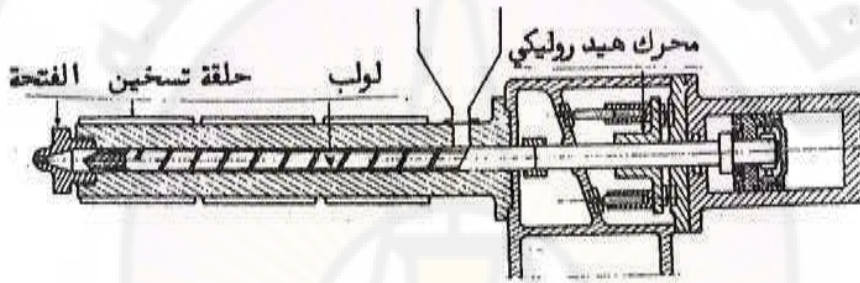
يمكن مصادفة الحلين الأخيرين في كثير من الآلات الصناعية وكل الأوضاع بالنسبة لمجموعتين التلدين والحقن قد درست جيداً واستخدمت. تدعى هذه الآلات بآلات التلدين المسبق كما بالشكل (14).



الشكل (14)

الشكل يمثل نماذج مختلفة للولب التلدين المسبق وبأوضاع مختلفة، وتستعمل في عمليات حقن القوالب حيث كل منها له ميزات مختلفة عن الآخر وغالباً يناسب أنواع معينة من المواد البلاستيكية.

تطورت مجموعة الحقن بعد ذلك بحيث تم استعمال جسم باثق حيث اللولب يكون متحرك دورانياً لتلدين الحبيبات ولا داعي لانتقاله لطررد المادة المائعة والمتجانسة داخل القالب، الشكل (15) بحيث تزويد الفتحة أو الأنبوب بجهاز للإغلاق الشكل (16) ويزود اللولب بنهايته بسداة عدم عودة لمنع المادة من الجريان بالاتجاه المعاكس داخل تجويف اللولب.

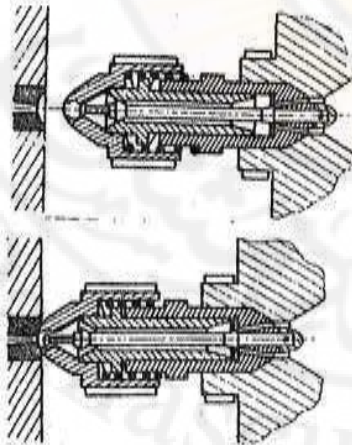


الشكل (15)

عملية الحقن تتم بالشكل التالي:

١- اللولب يدور والمادة تنتقل لمقدمة الحاقن خلال تراجع اللولب، حتى يتم تخزين الكمية المطلوبة للقالب بمقدمة اللولب.

٢- مجموعة الحقن توضع بتماس مع القالب المغلق، الرافعة الهيدروليكية الموجودة بالنهاية الثانية تدفع اللولب، مجموعة الإغلاق



الشكل (16)

للفتحة تفتح، اللولب يتقدم ويحقن المادة المصهورة، سدادة عدم العودة تغلق بشكل أوتوماتيكي خلال الحقن.

مجموعة الإغلاق:

بعض الآلات (تستخدم كذلك لتحويل المواد المتصلبة حرارياً (Ts)) تحتوي رافعة واحدة تؤمن الإغلاق والحقن بنفس الوقت. هذه الآلات تكون عمودية حيث تغلق من الأسفل للأعلى. حركة الصفيحة السفلية تسبب إغلاق القالب وتستمر بالصعود مع رفع وعاء الحقن. مكبس الحقن يثبت بالقسم العلوي للآلة حيث يخترق أسطوانة الحقن ويطرده المادة داخل القالب. تنتهي الدورة بحركة الصفيحة العكسية الشكل (17). في هذه الآلات قوة الإغلاق تعادل قوة الحقن وبالنتيجة إن سطح القطعة المحقونة يجب أن يكون أصغر أو يساوي لسطح مكبس الحقن. هذه الآلات شائعة قليلاً في الوقت الحاضر.

الشكل (17) آلة شاقولية.

a-دعامة عرضية لمكبس الحقن.

b-مكبس الحقن (ثابت).

c- المادة.

d-القمع.

e-وعاء الحقن.

f-صفيحة.

g-أعمدة.

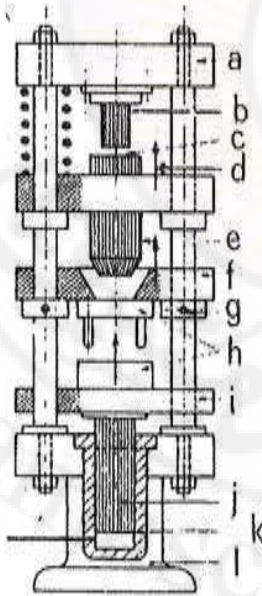
h-قالب.

i-صفيحة متحركة.

j-مكبس.

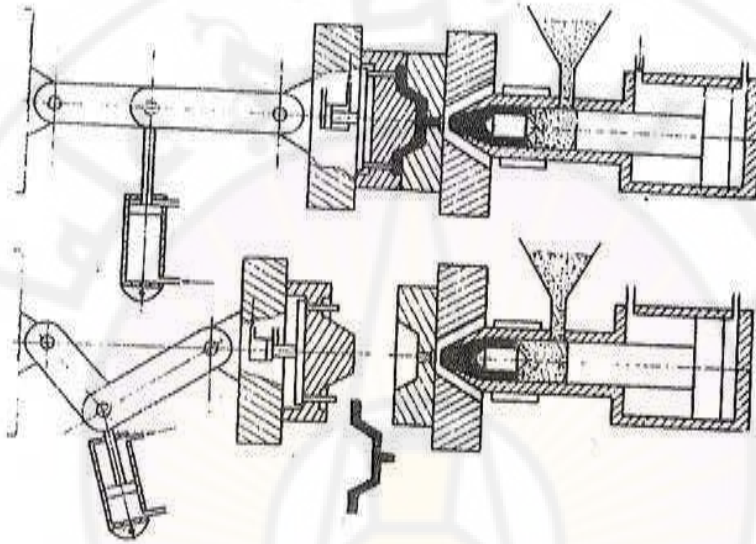
k-أسطوانة.

l-قاعدة.



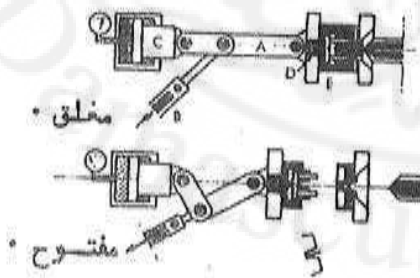
مجموعة الإغلاق تكون هيدروليكية أو ميكانيكية أو مشتركة بين الاثنين.

المجموعات الهيدروليكية تعمل بنعومة ولا تحتاج لتعبير وتستخدم لتعطي سرعة اقتراب وإغلاق بطيء.
مجموعات الإغلاق الميكانيكية تتألف غالباً من تراكيب مفصلية تتحرك بواسطة رافعة هيدروليكية الشكل (18).



الشكل (18)

مجموعة ميكانيكية للإغلاق (مفاصل متحركة برافعة هيدروليكية)
مجموعات الإغلاق المشتركة تحتوي مفاصل متحركة للتقريب وتثبت بواسطة رافعة هيدروليكية الشكل (19).



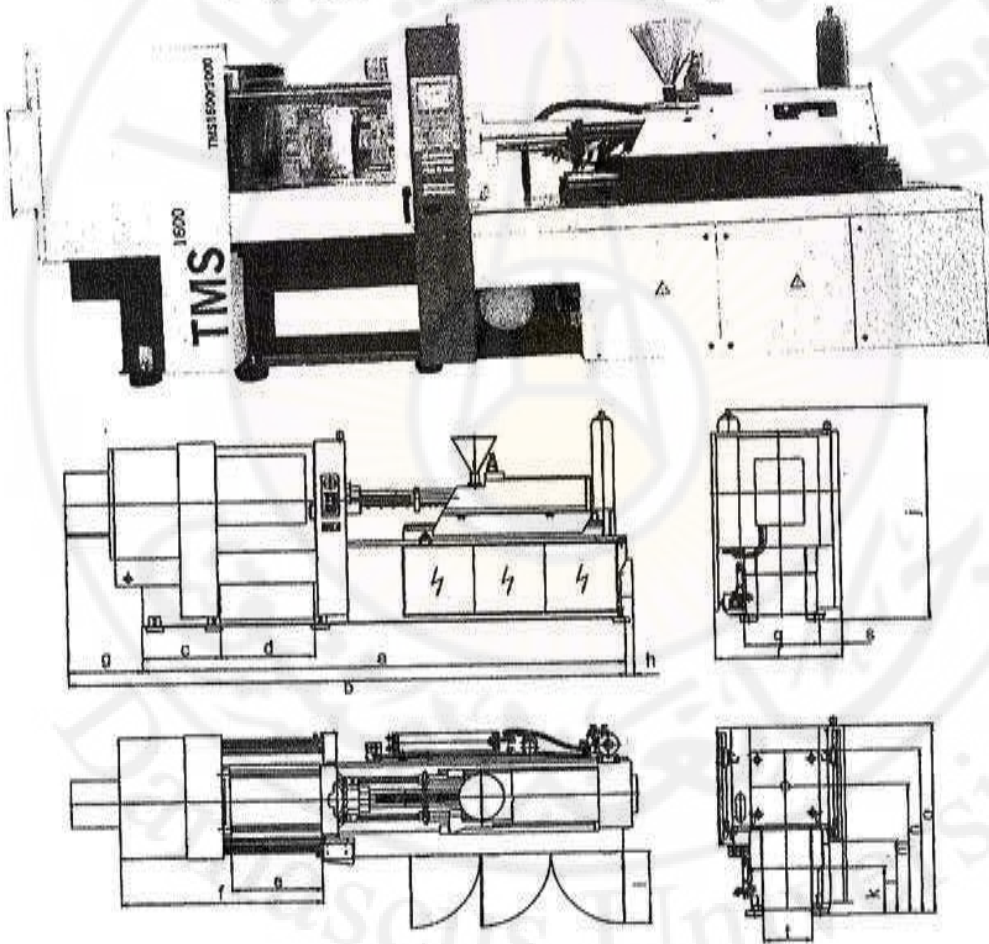
الشكل (19)

مجموعة إغلاق مشتركة: نظام تقريب
بمفاصل وتثبيت برافعة هيدروليكية.

ويبين الشكل (20) آلة حقن أفقية مع مساقطها ومواصفاتها، وهنا يجب التنويه إلى أن ذكر المواصفات يكون للأسباب التالية:

١- على المهندس أن يعرف ما المواصفات الأساسية التي يجب أن تحدد لاختيار آلة حقن لإنتاج ما.

٢- إن دراسة مبدأ الحقن ومقاييسه ومقارنة ذلك بالمواصفات العامة للآلة يعطينا فهم أعمق وأوسع لآلة الحقن وعمل الآلة.



الشكل (20)

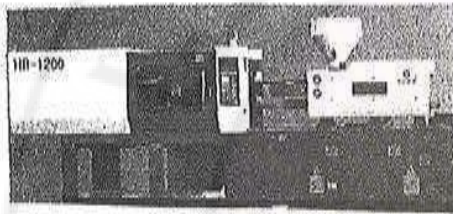
جدول تابع للشكل (20)

المواصفات	الوحدة	-
قطر اللولب	mm	55
ضغط الحقن الأعظمي	Bar	2041
استطاعة الحقن النظرية	Cm ³	653
وزن المادة المحقونة (Ps)	gr	495
وزن المادة المحقونة (PE)	gr	463
نسبة طول اللولب إلى قطره	L/D	22
عزم فتل اللولب	N.m	1420
سرعة دوران اللولب الأعظمية	m ⁻¹	366
معدل التلدين الأعظمي	gr/sec	90
طول فوهة الحقن	mm	400
قوة تماس فوهة الحقن	KN	100
طول اللولب	mm	275
حرارة أسطوانة الحقن	KW	18.2
حجم الحقن بالثانية بدون حمل	Cm ³ /sec	1425
عدد مناطق التحكم		4+1
حجم خزان الزيت	L	600
زمن العملية الجافة	Sec	1.8
قوة التثبيت الأعظمية	KN	2100
قوة الإغلاق الأعظمية	KN	2310
أبعاد الممسك	mm	85
أبعاد البلاطة	mm×mm	840×840
المسافة بين المماسك	mm×mm	570×570
أبعاد القالب قابل للضغط من إلى	mm	600-250
ارتفاع القالب	mm	500
مقدار التباعد	mm	1100
قوة اللفظ	KN	41
طول اللافت	mm	180

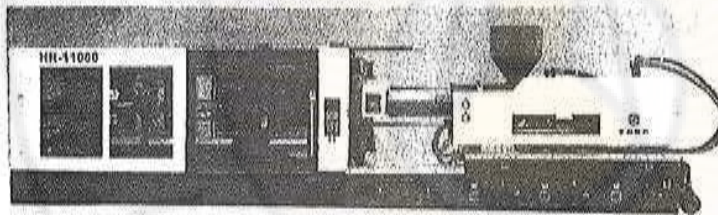
وللتأكد على أهمية المواصفات فإن الشكل (21) يمثل ثلاث حالات:

- ١- آلة حقن صغيرة نسبياً قطر اللولب (26mm) ووزن الحقنة (67gr).
- ٢- آلة حقن متوسطة نسبياً قطر اللولب (120mm) ووزن الحقنة (5455gr).
- ٣- آلة حقن كبيرة نسبياً قطر اللولب (205mm) ووزن الحقنة (27633gr).

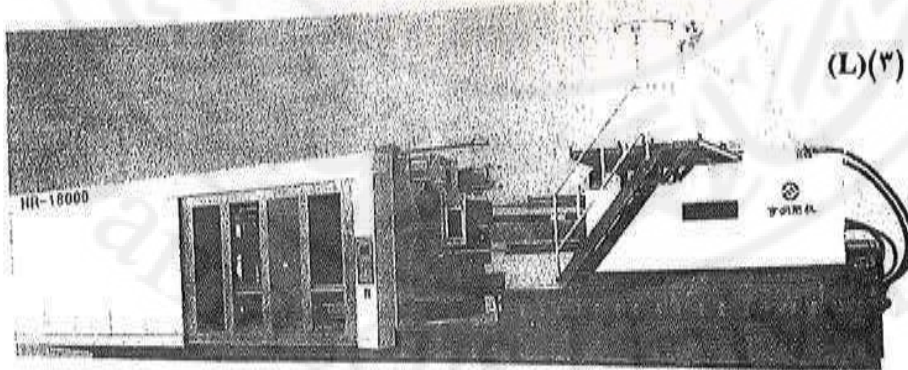
وفي الحقيقة هناك آلات للحقن أصغر وأكبر من التصنيف المذكور.



(S)(١)



(M)(٢)



(L)(٣)

الشكل (21)

	الوحدة	S	M	L
قطر اللولب	mm	26	120	205
ضغط الحقن	Kg/cm ²	2489	1495	1462
حجم الحقنة	Cm ³	74.2	5994	30366
وزن الحقنة	gr	67	5455	27633
معدل الحقن	Cm ³ /sec	38.4	976.4	2660
سرعة دوران اللولب	rpm	0-226	0-194	0-100
قوة الإغلاق	Ton	100	1000	4000
أبعاد القالب	mm	310×310	1010×1010	2400×2100
شوط الفتح	mm	285	1025	2450
سماعة القالب	mm	100-350	380-1200	800-2000
أبعاد القالب	mm	465×465	1500-1500	3350×3050
شوط اللفظ	mm	90	260	550
ثقب القالب	mm	76.2	160	200
استطاعة المحرك	HP	10	40+100	75+100+100+100
عدد مناطق التسخين	Zones	4	6	9
الاستطاعة الحرارية الكلية	Kw	5.03	50.28	195
نظام الضغط	Kg/cm ²	140	140	140
حجم الزيت	L	150	1600	4700
أبعاد الآلة	m	3.86×1×1.53	11.8×2.3×2.48	22.5×4.9×4.9
وزن الآلة	Ton	3.2	52	290

مثال تطبيقي : موضوع الدراسة التحليلية

إحدى الشركات المنتجة لآلات الحقن قدمت مواصفات آلاتها وفق الجدول التالي:

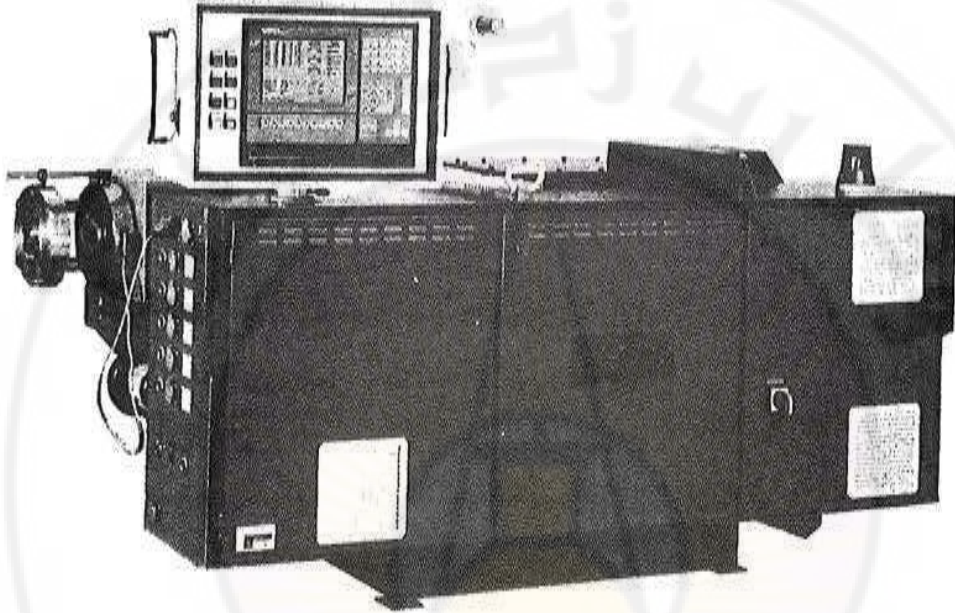
المواصفات	الوحدة	1	2	3	4	5	6	7	8
قطر اللولب	mm	32	42	48	55	60	70	80	100
النسبة L/D		22	17.6	18.4	19.1	21	20.4	22	22
ضغط الحقن	MPa	2100	1380	1320	1260	1520	1380	1750	1700
حجم الحقن	Cm ³	133	220	313	545	750	1218	2000	3800
وزن الحقنة (Ps)	gr	125	204	291	507	698	1133	1860	3500
معدل الحقن	gr/sec	87	104	127	182	185	319	425	674
معدل التدخين	gr/sec	11.4	18.3	22.2	30.3	36	46.4	60.7	72.1
سرعة اللولب	rpm	200	200	180	150	140	155	140	140
شوط اللولب	mm	155	165	175	230	266	317	400	500
قوة الإغلاق	Ton	60	80	120	180	250	350	480	800
المسافة بين المحاور	mm	330×320		430×410		570×570		760×760	
مسافة فتح البلاطات	mm	585	650	780	870	1030	1250	1480	1980

شوط فتح القالب	mm	285	320	350	385	500	600	730	1000
سمكة القالب	mm	100-300		130-430		220-530		250-980	
أكبر شوط لالقط	mm	80	90	110	125	125	160	250	320
استطاعة المحرك	KW	7.5	7.5	11	18.5	22	30	45	74
استطاعة المسخنات	KW	5.5	6	7.7	13	17.5	25	32	44.8
سعة خزان الزيت	L	180	200	250	350	500	650	1000	1800
عدد مناطق التسخين	-	3	4	4	4	4	5	6	6
أبعاد الآلة	m	3.5×1.2×1.7		4.5×1.3×1.8		5.9×1.5×2.1		9.2×2.3×2.2	
L × W × H									
وزن الآلة	Ton	3	3.2	4	5.2	8	13	24	46

لنعتبر تغير قطر اللولب هو الأساسي، لدرس وفهر أسباب تغير المواصفات الأخرى كتابع لتغير قطر اللولب ودون ملاحظتك استناداً لما سبق ودرسته في هذا الفصل.



الفصل الثاني القولبة بالبتق Extrusion Molding



مقدمة:

إن القولبة بالبتق هي الطريقة المثالية لتصنيع البلاستيك الحراري فقط وتشكل (40%) من وزن منتجات الـ (Tp) المصنفة بالطرق كافة. تستخدم هذه الطريقة لصناعة أنواع من المنتجات المستمرة وهي:

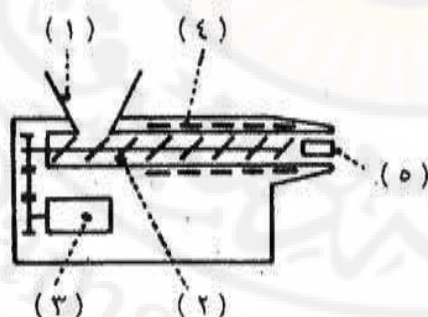
- 1- الأشكال القياسية مثل القضبان والأنابيب (القاسية والطيّرة) والصفائح والأشكال الغير منتظمة المقطع مثل البروفيلات الصلبة والليّنة (شفرات الأباجورات) والخيوط والأشرطة.

- ٢- الرقائق المفردة أو المتعددة الطبقات للاستخدام المباشر (الأكياس) أو كطبقة تغطية للورق أو الكرتون أو الأقمشة أو أي سطوح أخرى.
- ٣- تغطية الأسلاك والكابلات بمادة بلاستيكية للحماية والعزل.
- ٤- تركيب أو مزج المواد المضافة للبلاستيك وهذه المهمة غير إنتاجية.

مبدأ البثق:

هو مشابه لمبدأ الحقن إلا أنه في البثق يستخدم لولب خاص لكل مادة، كما أن القالب المستخدم في الحقن يكون مغلق (mould) حيث العملية منقطعة، أما في البثق فالقالب أو الرأس (die) مفتوح والعملية مستمرة مدة طويلة من الزمن (في بعض المراجع يشار للـ die بالأسطمة). يعتمد مبدأ عملية البثق على استخدام آلة بثق تتألف من:

- ١- قمع تغذية .
- ٢- لولب دورا داخل أسطوانة محاطة بمسخنات حرارية (يمكن أن يكون أكثر من لولب واحد).
- ٣- النموذج Die وهو قالب معدني قياسي مفتوح ويكون حجمه حسب نوع المنتج والشكل (1) يمثل رسم مبسط لهذه الأجزاء .



الشكل (1)

- ١- قمع التغذية.
- ٢- اللولب.
- ٣- المحرك.
- ٤- مقاومات للتسخين.
- ٥- المخرج die.

إن مراحل البثق هي:

- ١- ملء القمع بحبيبات مادة البلاستيك الحراري (Tp). (حبيبات أو بودرة أو بقايا مفرومة).

٢- يقوم اللولب الدوار الموجود داخل أسطوانة البثق بمزج المادة ودفعها للأمام وتتم رفع درجة حرارتها وتلينها بوساطة:

أ-المسخنات الخارجية المحيطة بالأسطوانة.

ب-الحرارة الناتجة من احتكاك الحبيبات مع جسم اللولب الدوار والبطانة الصلبة لاسطوانة البثق.

ونتيجة لذلك نحصل على مصهور متجانس ومتماسك للمادة أو مع المادة الملونة (في حالة إضافة ملونات) وهذا التجانس الجيد يمنع حدوث تموجات سطحية أو عدم انتظام المقطع النهائي في المنتج.

٣- تدفع المادة المنصهرة تحت ضغط عالي عبر شبكة ترشيح (تمنع مرور الشوائب) إلى القالب (النموذج Die).

٤- يخرج المنتج البلاستيكي من النموذج أو القالب (die) إلى وحدتي السحب والتبريد ليتصلب ويأخذ شكله النهائي، ومن ثم يتم تقطيعه بأطوال مناسبة أو يلف على بكرات ذات أحجام وسعات مختلفة.

مميزات البثق: وأهمها

١- إنتاج مستمر.

٢- معدات نسبياً قليلة الكلفة للبروفيلات الصغيرة.

٣- إنتاج بروفيلات مختلفة الليونة.

مساوئ البثق:

١- ضرورة استخدام لولب لكل مادة مبثوقة.

٢- ضرورة وجود تجهيزات إضافية للمخرج لا يمكن إهمالها.

٣- ضبط وموازنة آلة البثق يتطلب (2-8 ساعة)، لذا فالحد الأدنى للإنتاج يجب أن يكون كبيراً (إنتاج مستمر لعدة أيام على الأقل أي عدة كيلومترات من المنتج) ويكون كذلك اقتصادياً.

المواد البلاستيكية المبثوقة:

كل مواد البلاستيك الحراري (Tp) قابلة للبثق بسهولة متفاوتة، فمثلاً بعض المواد مثل الـ (PTFE) تتطلب ظروف عملية خاصة ومعدات ملائمة (آلة البثق بمكبس هي الأكثر استخداماً في هذه الحالة)، للمواد الأخرى هناك عوامل متعددة تتغير تبعاً لنوع المادة البلاستيكية مثل شكل اللولب، سرعة الدوران، درجات الحرارة... بشق المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (Ts) قليل الانتشار في الوقت الحاضر.

مواد البلاستيك الحراري الأكثر استعمالاً بالبثق هي:

(PVC اللدن)، (PVC الصلب)، (PEbd)، (PEhd)، (PMMA)، (PS) ومشتقاته، (PP) ومشتقاته، (ABS) والـ (PA).

يمكن استخدام الـ PVC بشكل بودرة أو مثل باقي المواد على شكل حبيبات. كثلة الحبيبات يمكن أن تكون ملونة، كما يمكن استخدام حبيبات غير ملونة أو بيضاء، وتضاف الملونات على شكل بودرة أو حبيبات ملونة بشكل مركز جداً قبل عملية البثق. والجدول التالي يبين بعض المواد المستخدمة القابلة للبثق مع بعض شروط القولية بالبثق.

المادة	درجة حرارة الانصهار °C	درجة حرارة القولية بالبثق °C	ضغط القولية بالبثق [bar]	نسبة الانضغاط %	معدل التدفق gr/10min
PVC	110	182-215	1-2.8	1.5-2.5	-
ABS	88-120	176-260	-	2.5-2.7	0.85-1
LDPE	98-115	121-232	0.35-1	1.8	0.25-27
HDPE	130-137	176-273	0.8-1	2	5-18
PI (Tp)	250-365	390-393	0.14-1.4	1.7-4	4.5-7.5
PP	160-175	205-260	0.7-1.4	2-2.4	0.4-38
Ps	74-105	176-260	0.35-1.4	3	-
Psu	187-190	315-371	0.35-1.4	2.5-3.5	3.5

العناصر الرئيسية لآلة البثق:

يبين الشكل (2) رسماً تخطيطياً لآلة البثق. نلاحظ أن اللولب ورؤوس البثق والـ (die) تشكل من أهم العناصر التي تحتاج إلى دراسة تفصيلية:

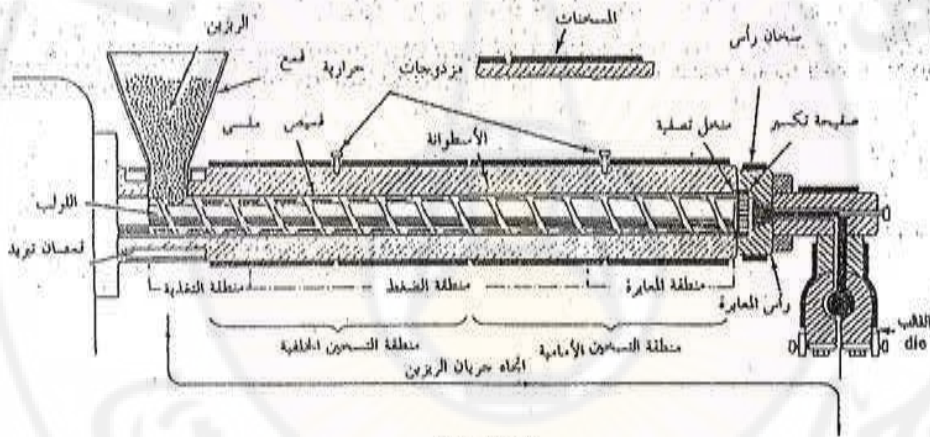
١- اللولب Screw : يقوم اللولب بالمهام التالية:

١- امتصاص المادة الخارجية من القمع.

٢- نقل هذه المادة.

٣- تهليم المادة (جعلها طرية).

٤- تمريرها عبر المخرج.



الشكل (2)

يصمم اللولب على أساس تأدية هذه المهام بأفضل الظروف مع الأخذ في الحسبان طبيعة المادة البلاستيكية المبتوقة. العمل الأكثر أهمية الذي يقوم به اللولب هو تهليم المادة الذي هو نتيجة الضغط الذي يولده اللولب، ازدياد درجة الحرارة.

نجعل الضغط المتولد يتناقص بين المدخل والمخرج للآلة بشكل منقطع أو مستمر. هناك ثلاثة حلول أساسية استخدمت لتحقيق ذلك، كما يبين الشكل (3).

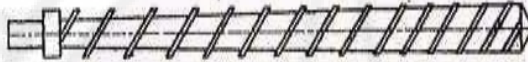
- ١- اللولب ذو خطوة ثابتة ومحور مخروطي.
- ٢- اللولب ذو خطوة متناقصة والمحور أسطواناني.
- ٣- الخطوة تكون متناقصة والمحور مخروطي.



— محور مخروطي ، خطوة ثابتة —



— محور أسطواناني ، خطوة متناقصة —



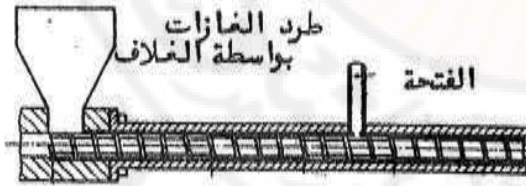
— محور مخروطي ، خطوة متناقصة —

الشكل (3) نماذج مختلفة للولب

تصميم اللولب يجب أن يأخذ بعين الاعتبار بصورة خاصة عامل الثقلص للمادة المبتوكة أي العلاقة بين الكتلة الحجمية للبروفيل والكتلة الحجمية الظاهرية للحبيبات.

— طرد الغازات:

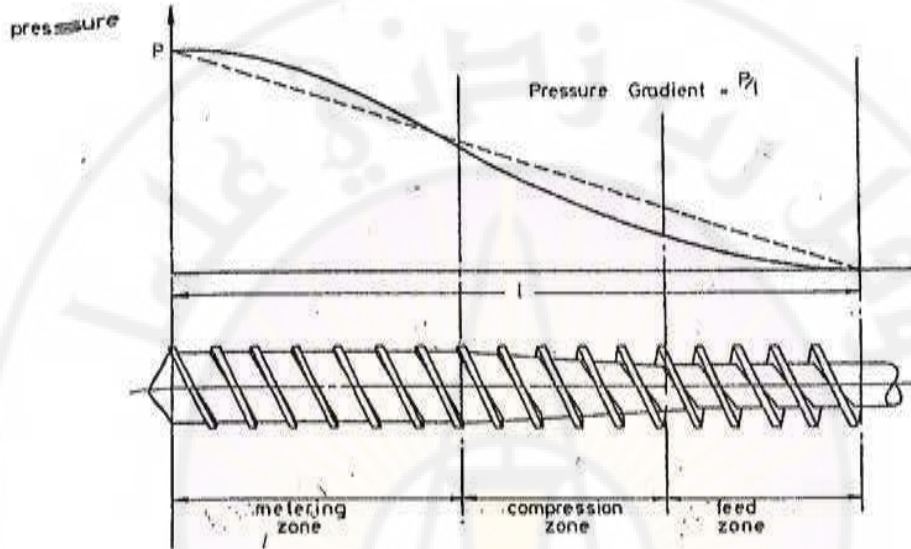
وجود آثار الرطوبة وتشكل الغاز يؤدي إلى إنتاج بروفيلات غير صالحة، ولحل هذه المشكلة صنعت نماذج مختلفة من اللولب على نحو يسمح بتخلية الغاز بفضل ثقب قطري داخل اللولب. كما بالشكل (4).



الشكل (4) طرد الغازات بواسطة الغلاف.

- مناطق اللولب: Screw Zones

إن للولب الباقث ثلاث مناطق رئيسية لكل منها مهمة محددة، ويمكن أن تكون أكثر من ذلك حسب تصميم الآلة والشكل (5) يبين ذلك.



الشكل (5) مناطق لولب البثق.

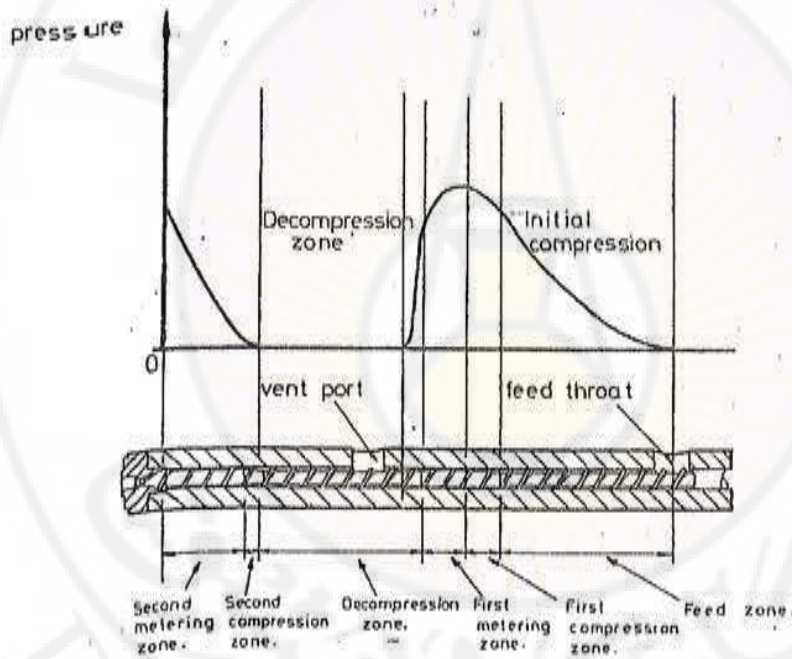
(أ) منطقة التغذية **Feed Zone**: عمل هذه المنطقة يتجلى بتسخين البلاستيك وإيصاله إلى المناطق اللاحقة. إن تصميم هذه المنطقة هام حيث أن عمق اللولب الأنفي يجب أن يؤمن مادة كافية ولكن في الوقت نفسه أن لا يزودها بالكثير ويسبب بذلك تشغيلاً زائداً. إن التصميم الأمثل تابع إلى طبيعة وشكل أنبوب التغذية هندسة اللولب وخواص احتكاك اللولب والأسطوانة بما يناسب المواد البلاستيكية. إن معامل الاحتكاك لمادة أنبوب التغذية له تأثير كبير في نسبة الانصهار التي يمكن الوصول إليها.

(ب) منطقة الضغط **compression Zone**: في هذه المنطقة يتناقص عمق اللولب تدريجياً وذلك لضغط البلاستيك. هذا الانضغاط له دور أساسي بطرد

أي فقاعات هواء محصورة إلى الوراء وإلى منطقة التغذية ويرفع الناقلية الحرارية خلال السماكة المتناقصة للمادة.

(ج) منطقة المعايرة **Metring Zone**: في هذه المنطقة يكون العمق أيضاً ثابت ولكن أقل من منطقة التغذية. في المنطقة المعايرة يتجانس المصهور ليزود بنسبة ثابتة مواد ذات درجات حرارة وضغط منتظمين للقالب *die*. هذه المنطقة هي الأفضل للدراسة والتحليل حيث أنها تحتوي على مصهور لزج ينساب على طول القناة المنتظمة.

الضغط المتنامي الذي يحدث على طول اللولب موضح على الشكل (6).



الشكل (6)

توزع الضغط على مناطق لولب البثق الحاوي على ثقب تنفيس

هذا يمثل الوضع الذي تكون فيه منطقة المعايرة طويلة نسبياً. أظهرت الخبرة أنه إذا كانت المنطقة المترية قصيرة قد يكون ذروة ضغط إلى نهاية اللولب.

إن أطوال المناطق على لولب ما تعتمد على المادة المبثوقة. النايلون مثلاً، يحدث الانصهار بسرعة وعليه يتم رفع ضغط المصهور خلال خطوة واحدة للولب فقط. يستفيد الـ P.V.C من منطقة الضغط والتي تغطي كامل طول اللولب.

بالتجربة، قد تزود مناطق إضافية لتحسين جودة الخرج. مثال على ذلك، قد يكون هناك مناطق خلط مؤلفة من أسنان لولب متناقصة أو معكوسة الخطوة. الهدف من هذه المنطقة هو التأكد من انتظام المصهور وهو موضع في نهاية المنطقة المترية. وهناك منطقة مترية أخرى قبل القالب (die) مباشرة. يوجد العديد من آلات البثق الحديثة الآن مزودة بثقوب تنفيس كما ذكرنا. هذا لأن بعض أنواع البلاستيك، خصوصاً النايلون، تمتص الرطوبة من الهواء وإذا تم بثقها بالمعدات التقليدية سوف تنقص جودة المنتج.

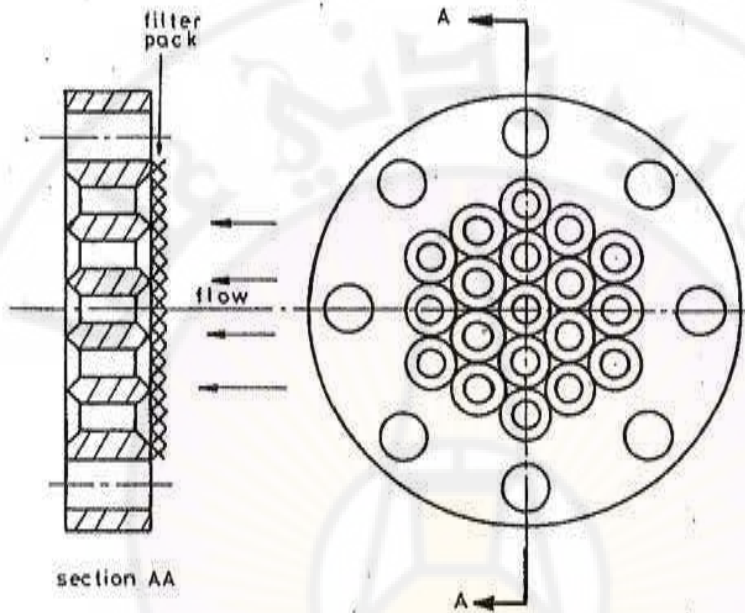
في القسم الأول من اللولب تؤخذ الحبيبات وتصهر، تضغط وتجانس بالطريقة المعتادة، ثم يخفض بعد ذلك ضغط المصهور إلى حدود الضغط الجوي في منطقة تخفيض الضغط. هذا سوف يسمح للمواد الطيارة بالهروب من المصهور خلال منفذ خاص بالأسطوانة. ثم ينقل المصهور بعد ذلك على طول الأسطوانة إلى منطقة ضغط أخرى والتي تمنع الفقاعات الهوائية من الانحصار.

يتجلى سبب عمل مبدأ الثقوب في أنه عند درجة حرارة بثق (250°C) يخرج الماء الموجود في البلاستيك على شكل بخار بضغط حوالي (4 MPa) بهذا الضغط سوف يخرج بسهولة من المصهور من خلال فتحة الخروج.

أحد المعالم الرئيسية للبائك هي وجود مصفي من النسيج المعدني بعد اللولب وقبل القالب. وهذا يصفى المواد غير المتجانسة على نحو فعال.

يدعم المصفي بصفيحة الشكل (7) مؤلفة من عدد كبير من الفوهات المخفية والتي تسمح بمرور المصهور وبنفس الوقت تحول دون مرور الشوائب

والتي قد يتجمع فيها جزيئات المصهور. يقوم كذلك المصفي بتنظيم سيلان المصهور الخارج بشكل لولبي بسهولة. بما أن فتحات النسيج سوف تملئ يجب استبدالها كل فترة من الوقت.

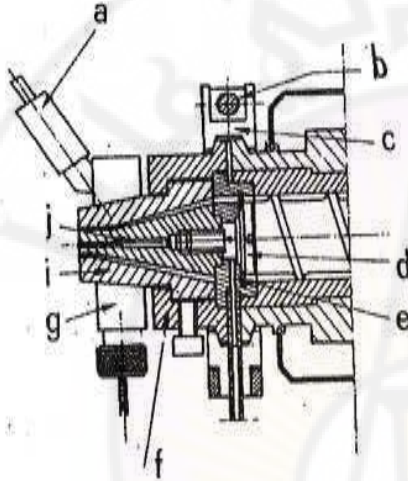


الشكل (7) شبك للتصفية

صناعة اللوالب: تصنع اللوالب غالباً بالنسخ بواسطة مخرطة أو بمساعدة فارزة. صنع اللوالب ذات الخطوة المتغيرة أكثر صعوبة، بعض منتجي الآلات استعاضوا بطريقة جيدة عن التناقص المستمر للخطوة بتغير مقطع. من أجل اللوالب ذات الأقطار الكبيرة يزود سن اللولب بخلائط صلبة مقاومة للاحتكاك. تتعرض اللوالب بصورة عامة لمعالجة سطحية للتقوية (تسخين في جو من الأزوت) أو بالسقاية، ويتم بعد ذلك تلميعها بعناية وغالباً تلبس بالكروم.

٢- رؤوس البثق Têtes d'extrusion

رأس البثق هو مجموعة ميكانيكية مثبتة بنهاية الآلة بمساعدة عزمة، مجموعة بشكل حربة، بوساطة حلقة شد أو عروة تثبيت. رأس آلة البثق يحتوي شبكة للضغط المعاكس، أحياناً منخل معدني لزيادة تجانس المادة، حامل للمخرج، المخرج. رؤوس آلات صنع الأنابيب تتضمن كذلك ركيزة وحامل لهذه الركيزة كما بالشكل (8).



- a مزودة حرارية للتنظيم.
- b برغي للتثبيت.
- c طوق الشد.
- d لولب.
- e فلتر.
- f جسم الرأس.
- g حلقة التسخين.
- i المخرج.
- z أسطوانة.

الشكل (8) رؤوس آلات صنع الأنابيب.

الرأس والمخرج مزودين بطوق للتسخين وبمأخذ حرارية مستقلة. رؤوس الآلات تصنع من الفولاذ المعالج غير قابل للصدأ. السطح الملامس للمادة المبتوقة يكون مطلي بالكروم.

تختلف الرؤوس عن بعضها بشكلها وأبعادها ومعدات المتعلقة بالآلة وبالبروفيل المنتج. يمكن تمييز نوعين من الرؤوس عموماً:

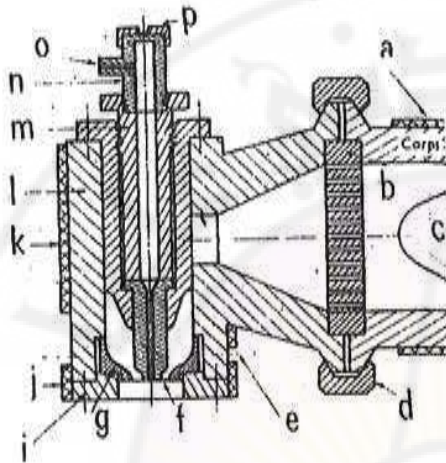
١- الرؤوس المستقيمة: الشكل (8) حيث المحور يتطابق مع محور

اللولب وتستخدم لإنتاج البروفيلات غير المجوفة أو الأنبوبية الشكل.

٢- الرؤوس الزاوية: الشكل (9) حيث البروفيل لا يخرج بنفس اتجاه

محور اللولب (الزاوية المختارة 120° - 135°) والزاوية (90°) من

أجل الرأس القائم المستخدم غالباً). هذه الرؤوس تستخدم لإنتاج الكابلات الكهربائية وبصورة عامة البروفيلات المختلفة. يجب الإشارة إلى أن الرؤوس باهظة الثمن وتصنيعها يحتاج إلى خبرة جيدة ودقة كبيرة.

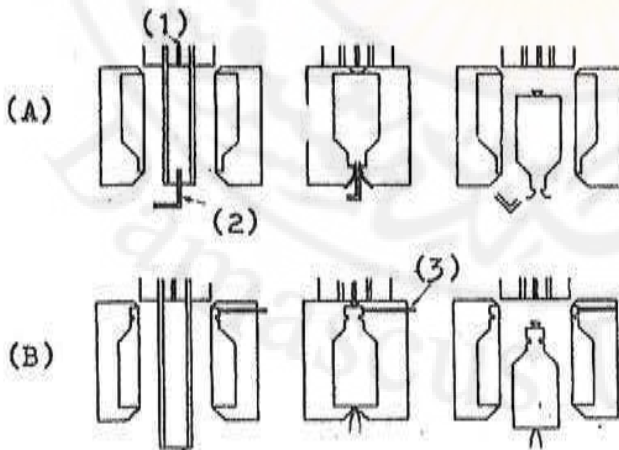


- a- مسخن الجسم. b- فلتر.
- c- لولب. d- حلقة شد.
- e- برغي لضبط المركز.
- f- دليل. g- المخرج.
- h- عزقة شد المخرج.
- i- مسخن المخرج.
- j- مسخن الرأس.
- k- جسم الرأس.
- l- لولب شد الدليل.
- m- مجموعة طرد الغازات.
- n- قناة تتصل بمضخة الغازات.
- p- وصلة (جوان) كاوتشوك.

الشكل (9) رأس قائم الزاوية

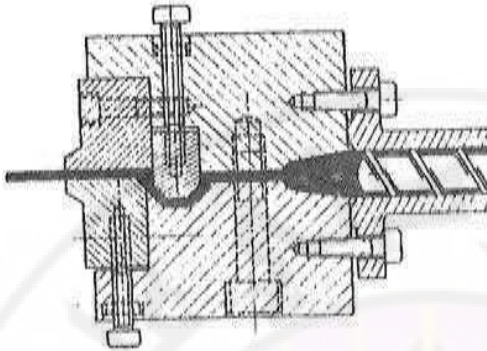
تستخدم الرؤوس القائمة الزاوية كذلك من أجل إنتاج الأشرطة والأغلفة الرقيقة، هذا وأن طريقة البثق - النفخ تسمح بإنتاج أجسام مفرغة بالنفخ من أنبوب داخل القالب، الشكل (10).

الشكل (10)



- (1)-مخرج للهواء.
- (2)- حقن الهواء.
- (3)- أبرة للنفخ الهواء.
- (A)- نفخ الهواء من الأسفل، ويمكن أن يكون من الأعلى.
- (B)- نفخ الهواء بالأبرة.

إن الأغلفة والصفائح يمكن أن تنتج بواسطة رأس مسطح كما بالشكل (11).



الشكل (11)

رأس المخرج

المسطح لإنتاج

الصفائح

ميكانيكية وتحليل الجريان : Mechanism of Flow and analysis :

يذوب البلاستيك عند انتقاله على طول اللولب مروراً وفقاً للميكانيزم التالي. تتشكل مبدئياً على جدران الأسطوانة طبقة رقيقة من المادة المصهورة. عندما يدور اللولب، يحك هذه الطبقة ويزيلها ويتحرك المصهور مدفوعاً على الوجه الأمامي من ريشة اللولب. وعند وصولها إلى نواة اللولب تدفع إلى المحيط ثانياً، وتبدأ بحركة دورانية أمام ريشة اللولب. إن ريشة اللولب تحتوي بالأصل على حبيبات صلبة ولكنها تميل إلى الانحدار باتجاه مركز المصهور نتيجة الحركة الدورانية. عند دوران اللولب، تمتد المادة أكثر على طول الأسطوانة ويسحب أكثر من المواد الصلبة إلى داخل مركز المصهور ويستمر ذلك إلى أن نحصل على مادة مصهورة بين ريش اللولب.

عندما يدور اللولب داخل الأسطوانة، تعتمد حركة البلاستيك على طول اللولب على إمكانية أو عدم التصاقها باللولب وبالأسطوانة. نظرياً يوجد حالان:

الحالة الأولى: هي أن المادة تلتصق فقط باللولب أي تدور كتلة اللولب والمادة كأسطوانة صلبة داخل الأسطوانة. هذا سوف ينتج خرج بقيمة صفر وهذا غير مرغوب فيه إطلاقاً.

الحالة الثانية: هي أن المادة تنزلق على اللولب ولها مقاومة عالية للدوران داخل الأسطوانة. هذا سوف ينتج حركة محورية صافية للمصهور وهو الحل المثالي. في الحياة العملية يكون الوضع ما بين هاتين الحالتين حيث تلتصق المادة على كل من اللولب وداخل الأسطوانة.

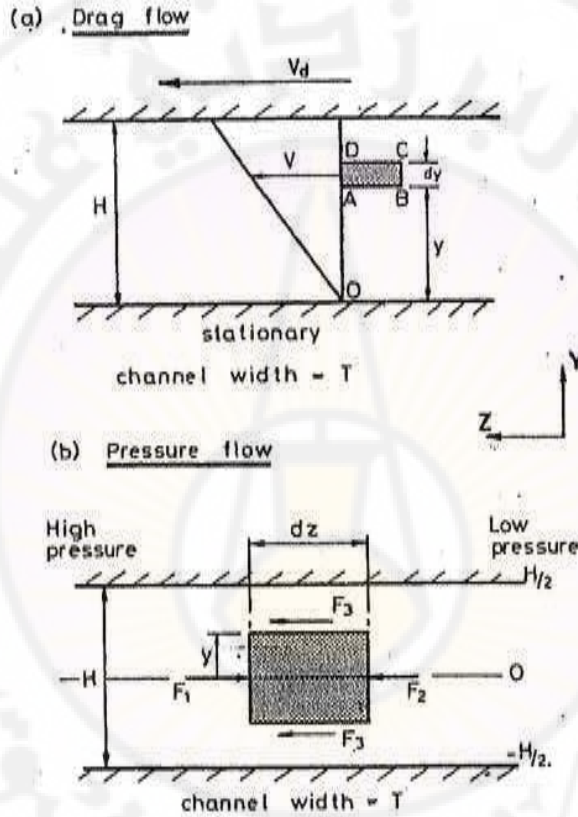
وهذا مكافئ لانسياب سائل لزج بين صفيحتين متوازيتين إحداهما ثابتة والأخرى متحركة. يتدخل كثيراً في ذلك الانسياب الناتج من الضغط المتدرج المتكون على طول اللولب. بما أن الضغط العالي يتوضع في نهاية البائق ستسبب زيادة الضغط تخفيض الخرج. وبإضافة إلى ذلك، سوف يؤدي الخلوص بين ريش اللولب والأسطوانة إلى أن المادة سوف تهرب إلى الوراء مقللة بذلك الخرج على نحو ملحوظ. هذا التهريب سوف يزداد سوءاً عندما بهترئ اللولب.

التسخين والتبريد الخارجيان على أسطوانة البائق أيضاً يؤديان دوراً رئيسياً في عملية الصهر. في آلات البثق ذات الإنتاجية العالية، تمر المادة بسرعة عالية جداً على طول الأسطوانة لدرجة أن الحرارة اللازمة للصهر تتولد نتيجة فعل القص ولا حاجة لمسخنات الاسطوانة عند ذلك. في هذه الظروف تكون مبردات الأسطوانة هي الضرورية في حال ارتفاع الحرارة المتولدة في المصهور. في بعض الحالات يتم تبريد اللولب. والقصد من ذلك هنا هو ليس في التأثير على حرارة المصهور ولكن لتخفيض تأثير الاحتكاك بين البلاستيك واللولب. في كل آلات البثق، يعد تبريد الأسطوانة هام جداً عند حجرة التغذية وذلك لتأمين تزويد غير محدود من أنبوب التغذية.

من المناسب اعتبار الخرج للبائق مؤلف من ثلاثة عناصر - جريان سحب، جريان قسري والتسريب، إن اشتقاق معادلة الخرج يفترض أن للمصهور

لزوجة ثابتة وانسيابه أيزوترمي في قناة عريضة قليلة العمق. هذه الشروط يمكن الاقتراب منها في منطقة المعايرة.

(أ) جريان السحب : **Drag flow** يعتبر الانسياب بين صفيحتين متوازيتين كما هو موضح بالشكل (12-a).



الشكل (12)

تحليل الجريان بالسحب والضغط

من أجل عنصر الانسياب الصغير ABCD معدل التدفق dQ تعطى بالعلاقة:

$$dQ = TYdy \quad (1)$$

مع افتراض أن تدرج اللزوجة خطي.

$$V = \frac{V_d \cdot y}{H}$$

بالتعويض في (1) وبإجراء التكامل على عمق القناة (H) ينتج الانسياب المسحوب:

$$Q_d = \int_0^H \frac{T \cdot V \cdot dy}{H} \quad (2)$$

$$Q_d = 0.5 \cdot T \cdot H \cdot V_d$$

هذا قد يقارن مع وضع المصهور ضمن البائث حيث يسحب فيه السائل بواسطة الحركة النسبية بين الأسطوانة واللولب. الشكل (13) يظهر موقع عنصر المصهور والعلاقة (2) قد تطور لتحتوي مصطلحات مناسبة لأبعاد البائث.
مثال:

$$V_d = \pi \cdot D \cdot N \cdot \cos \phi$$

$$T = \pi \cdot D \cdot \tan \phi - e$$

$$Q_d = 0.5 \cdot (\pi \cdot D \cdot \tan \phi - e) \cdot (\pi \cdot D \cdot N \cdot \cos^2 \phi) \cdot H$$

حيث N هي سرعة اللولب.

يكون الحد (e) في معظم الحالات صغير مقارنة مع $\pi \cdot D \cdot \tan \phi$ ويختصر إلى:

$$Q_d = 0.5 \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi \quad (3)$$

(ب) الجريان القسري : Pressure flow من حيث إن العنصر السائلي الظاهر في الشكل (12-b). من أجل واحدة العرض كون القوى كالتالي:

$$F_1 = (P + \frac{\partial P}{\partial Z} \cdot dZ) \cdot 2y$$

$$F_2 = P \cdot 2y$$

$$F_3 = \tau \cdot dZ$$

حيث يعدّ (P) الضغط ويعتبر (τ) هو إجهاد القص المؤثر في العنصر. من أجل انسياب ثابت تتوازن هذه القوى لذلك يمكن معادلتها كالتالي:

$$F_1 = F + 2F_3$$

وبالتالي:

$$\tau = y \frac{\partial P}{\partial Z}$$

والآن بالنسبة إلى سائل نيوتن، إجهاد القص (τ) يتناسب مع اللزوجة (η) وسرعة (معدل) القص ($\dot{\gamma}$) بالمعادلة:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} = \eta \frac{dv}{dy} \quad (4)$$

كما في (4) وبافتراض أن الضغط يتغير باتجاه (Z) فقط:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{dv}{dy} = y \frac{dP}{dZ} \\ \int_0^v dv &= \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dZ} \int_{0.5H}^y y \cdot dy \\ V &= \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dZ} \left(\frac{y^2}{2} - \frac{H^2}{8} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

وكذلك نسبة معدل التدفق dQ تعطى بالعلاقة:

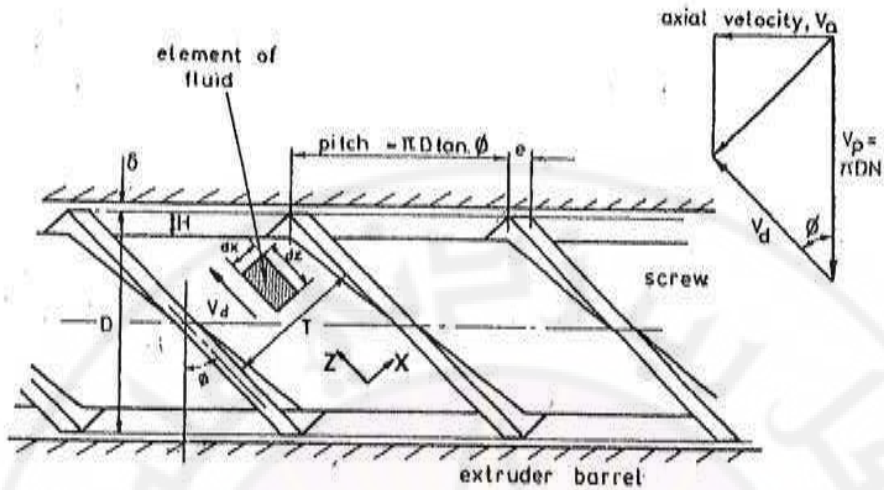
$$dQ = V \cdot T \cdot dy$$

وهذا قد يكامل ليعطي الانسياب بالضغط Q_p :

$$\begin{aligned} Q_p &= 2 \int_0^{0.5H} \frac{1}{\eta} \cdot \frac{dP}{dZ} \cdot T \cdot \left(\frac{y^2}{2} - \frac{H^2}{8} \right) dy \\ Q_p &= -\frac{1}{12\eta} \frac{dP}{dZ} \cdot T \cdot H^3 \end{aligned} \quad (6)$$

حيث إن العنصر السائلي بين ريش اللولب كما هو موضح في الشكل (13) قد يعاد ترتيب هذه المعادلة باستعمال البدائل التالية:

$$\begin{aligned} T &= \pi \cdot D \cdot \tan \phi \cdot \cos \phi \\ \frac{dP}{dZ} &= \frac{dP}{dl} \sin \phi \Rightarrow \sin \phi = \frac{dl}{dZ} \end{aligned}$$



الشكل (13) تفاصيل اللولب

نعوض في (6) فنجد:

$$Q_p = \frac{\pi D H^3 \sin^2 \phi}{12 \eta} \frac{dP}{dl} \quad (7)$$

(ج) التسريب : يعدّ الجريان المتسرب كالانسياب خلال شق عريض والذي له عمق (δ) وطول $(e \cos \phi)$ وعرض $(\frac{\pi D}{\cos \phi})$. بما أن هذا جريان قسري، الاشتقاق مشابه لما هو في (b). ومن أجل التسهيل تؤخذ الأمور التالية في (6):

$$H = \delta$$

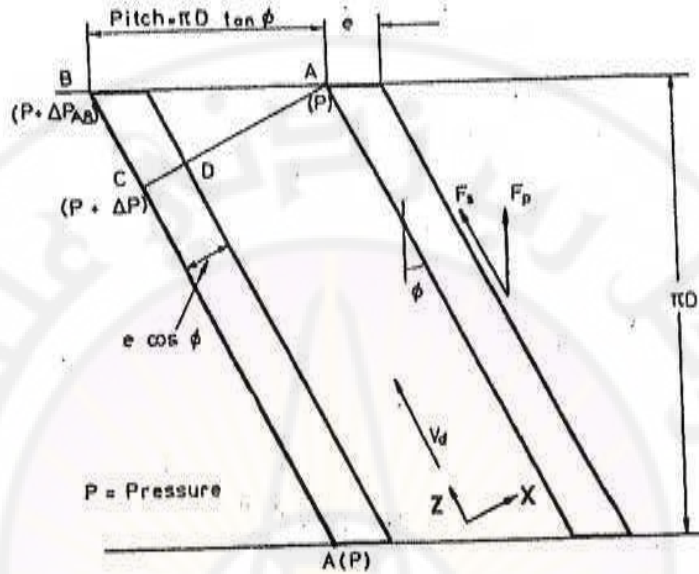
$$T = \frac{\pi D}{\cos \phi}$$

تدرج الضغط $\frac{\Delta P}{e \cos \phi}$ انظر الشكل (14).

من العلاقة (6) يعطى الجريان بالتسريب (Q_i) بالعلاقة:

$$Q_i = \frac{-1}{12 \eta} \frac{\Delta P}{e \cos \phi} \frac{\pi D}{\cos \phi} \delta^3 \quad (8)$$

من الواضح أن من الأسهل التعبير عن تدرج الضغط بمصطلحات التدرج $\frac{dP}{dl}$. وهذا ممكن أن يتم باستخدام الشكل المعدل لريشة اللولب الشكل (14).



الشكل (14) تطوير اللولب

يحدث الجريان المتسرب نتيجة اختلاف الضغط (ΔP) على طول المقطع مثل (CD) والآن يعطى ازدياد الضغط من A إلى B بالعلاقة:

$$\Delta P_{AB} = \pi \cdot \tan \phi \frac{dP}{dl}$$

إذا كانت زيادة الضغط خطية، سيكون اختلاف الضغط المؤثر عند (C) والمتعامد على المقطع العرضي للريش باتجاه A متناسب حسب العلاقة التالية:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{\Delta P_{AB}} &= \frac{AC}{AB} = \frac{AB - BC}{AB} = \frac{\frac{\pi \cdot D}{\cos \phi} - \pi D \cdot \tan \phi \sin \phi}{\frac{\pi \cdot D}{\cos \phi}} \\ &= 1 - \sin^2 \phi = \cos^2 \phi \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \Delta P = \pi.D.\tan \phi.\cos^2 \phi.\frac{dP}{dl} \quad (9)$$

بالتعويض في (8):

$$Q_i = -\frac{\pi^2 D^2 \delta^2}{12\eta.c} \tan \phi \frac{dP}{dl} \quad (10)$$

تتطلب هذه المعادلة معامل للسماح بمركز اللولب مع الأسطوانة. وهذا عادة يزيد الجريان المنتسرب بمعدل 20%.

خرج اللولب الكلي هو مجموع الجريانات السحب القسري والمتسرب. إذاً من (3) و (7) و (10) ينتج:

$$Q = 0.5\pi^2.D^2N.D.H.\sin \phi.\cos \phi - \frac{\pi.D.H^3 \sin^2 \phi}{12\eta} \frac{dP}{dl} - \frac{\pi.D^2\delta^3}{12\eta} \tan \phi \frac{dP}{dl} \quad (11)$$

عملياً يستحصل على دقة كافية بإهمال الحد المعبر عن التسريب. وبالإضافة إلى ذلك يعتبر تدرج الضغط غالباً خطياً فلذلك:

$$\frac{dP}{dl} = \frac{P}{l}$$

من المعادلة (11) قد يترأى أنه يوجد موضعين يمكن أخذهما بعين الاعتبار. أحدهما هي حالة التفريغ الحر والتي لا تعتبر وجود ضغط كامن في نهاية الباق، إذاً :

$$Q = Q_{max} = 0.5\pi^2 D^2 N.H.\sin \phi \cos \phi \quad (12)$$

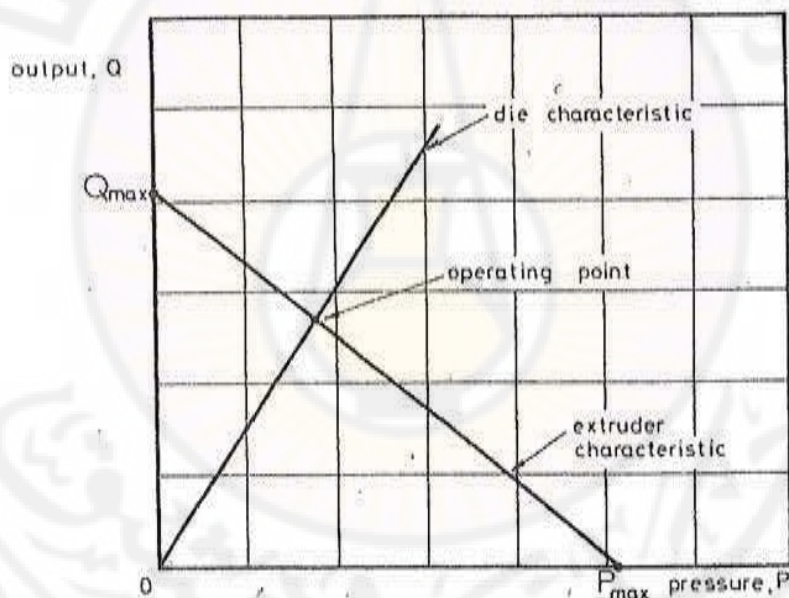
والحالة الأخرى هي عندما يكون الضغط في نهاية الباق كبير لدرجة أنه يمنع الخرج. من (11) مع اعتبار أن $Q=0$ وإهمال جريان التسريب :

$$P = P_{max} = \frac{6\pi.D.l.N.\eta}{H^2 \tan \phi} \quad (13)$$

في الشكل (15) تظهر هذه النقاط كنهايات منحنى خواص اللولب. من المهم أن نلاحظ أنه عند ربط معدات القالب مع البائق لا يحصل انطباق. للبائق خرج عالي إذا كان الضغط عند مخرجه منخفضاً. على كل حال إن مخرج البائق هو مدخل القالب ومخرج هذا الأخير يزداد مع ضغط المدخل. كما سيلاحظ لاحقاً. الخرج (Q) لسائل نيوتوني من القالب يعطى بعلاقة من الشكل:

$$Q = K \cdot P \quad (14)$$

حيث $K = \frac{\pi R^4}{8\eta l}$ من أجل القالب الشعري ذات نصف قطر (R) وطول (L).



الشكل (15) خواص البائق والقالب (die)

تمكن المعادلة (14) برسم منحنى خواص القالب على الشكل (15) وتشكل بالتالي نقطة تقاطع المنحنين نقطة عمل البائق. يعد هذا مخطط مفيداً في ذلك حيث يظهر العوامل المؤثرة على الخرج.

مثال:

إن زيادة سرعة اللولب (N) سوف تزيج منحني خواص البائق إلى الأعلى. بالمثل، إن زيادة نصف قطر القالب R (die) سيزيد الانزلاق على منحني خواص القالب وفي كلتا الحالتين سيزداد خرج البائق. ذكر سابقاً أن الخرج المثالي سيحصل عليه عندما تتحرك المادة البلاستيكية على طول اللولب بحركة محورية الاتجاه وبدون دوران. في مثل هذه الحالة تكون السرعة المحيطية (V_n) للمادة هي:

$$V_n = \text{سرعة اللولب} \times \text{الخطوة}$$

$$V_n = \pi \cdot D \cdot \tan \phi \cdot N$$

من الشكل (13) إن مركبة السرعة الموازية لريش اللولب هي (V_d) حيث:

$$V_d = \frac{V_n}{\sin \phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot \tan \phi \cdot N}{\sin \phi}$$

ويكون الخرج المثالي هو (Q_{ideal}) معطى بالعلاقة:

$$Q_{ideal} = V_n \times \text{المقطع العرضي لريش اللولب}$$

$$Q_{ideal} = \frac{\pi \cdot D \cdot N \cdot \tan \phi}{\sin \phi} = \pi \cdot D \cdot H \tan \phi \cdot \cos \phi \quad (15)$$

من (12) و (15) يمكن التعبير عن المردود الحجمي كما يلي:

$$\frac{Q_{max}}{Q_{ideal}} = 0.5 \cos^2 \phi$$

لذلك يعتمد المردود الحجمي على زاوية حلزون اللولب فقط وعادة في حالة لولب بخطوة مساوية للقطر تكون ($\phi = 17^\circ 40'$) ويكون المردود الحجمي عند ذلك (45.5 %).

الاستطاعة المقدمة: Power Requirement

تستعمل الاستطاعة المقدمة إلى اللولب بنقل مادة البلاستيك على طول الاسطوانة وضغطه وقصه. تحسب الاستطاعة بأخذ إجهاد القص على

المصهور عند جدران الأسطوانة ومنطقة التلامس في الحسبان، وتعطى الاستطاعة المقدمة بالعلاقة:

$$\text{الاستطاعة} = \text{السرعة المحيطة} \times \text{القوة المحيطة}$$

$$\text{Power} = V_p.F_p \quad (17)$$

$$F_p = \frac{F_s}{\cos \phi}$$

$$F_s = \tau.A_c.dZ = \tau.\pi.D.\sin \phi.dZ$$

$$F_s = \tau.\pi.dl.D.l \quad (18)$$

حيث (τ) هي إجهاد القص وتعطى أيضاً بـ $(\frac{\eta.dV}{dy})$ من أجل سائل نيوتوني.

من (17) و (18) تعطى الاستطاعة (dE) بالعلاقة:

$$dE = \eta \frac{dV}{dy} \pi^2 . D^2 . N, dl \quad (19)$$

حيث: $\frac{dV}{dy}$ هي معدل القص على حائط الأسطوانة ويمكن مكاملة المعادلة (19) من (0) حتى (L) وذلك للحصول على الاستطالة اللازمة الكلية (E).
الآلات والمعدات المستخدمة لعملية البثق: (البلاستيك الحراري)
أ- آلات البثق:

تتميز آلات البثق بالمجموعات المستخدمة لتوفير المزج والتحويل للمادة المبتوقة. هناك آلات أحادية، ثنائية أو ثلاثية اللولب. بالإضافة لذلك فقد استخدمت آلات بثق بمسننات. آلات البثق بلولب تكون غالباً أفقية ولكن هناك آلات عمودية وآلات ذات طوابق.

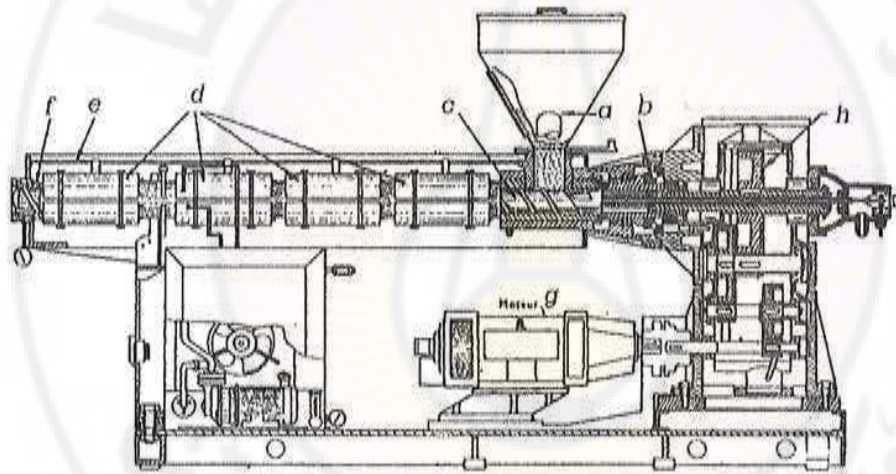
١- آلات البثق أحادية اللولب: الشكل (16)

معظم هذا النوع من الآلات يتضمن عناصر تسخين كهربائية أو جريان زيت يلعب دوراً أساسياً في التلدين الحراري للحبيبات. في بعض آلات البثق

العاملة بمبدأ العزل الحراري فإن الحرارة المطلوبة للتلهيم تنتج فقط الاحتكاك وهذه الآلات نادرة.

تحدد خواص آلة البثق الأحادية اللولب بالعديد من العوامل من أهمها قطر اللولب (D) وطوله (L) الذي يعطى بدلالة قطره. قطر لولب الآلات الحالية يتراوح بين (30-250mm) وطولها يتراوح بين D (15-35)، حيث (D) هو القطر.

التطور الحديث بمجال آلات البثق الأحادية اللولب يتعلق بطول وتصميم اللولب وكذلك بسرعة دورانه الذي ازداد.



الشكل (16) يبين مقطع مفصل لآلة بثق البلاستيك

a- قمع، b- مصدم المكبس، c- لولب، d- مراكز التسخين، e- غلاف (حوض)

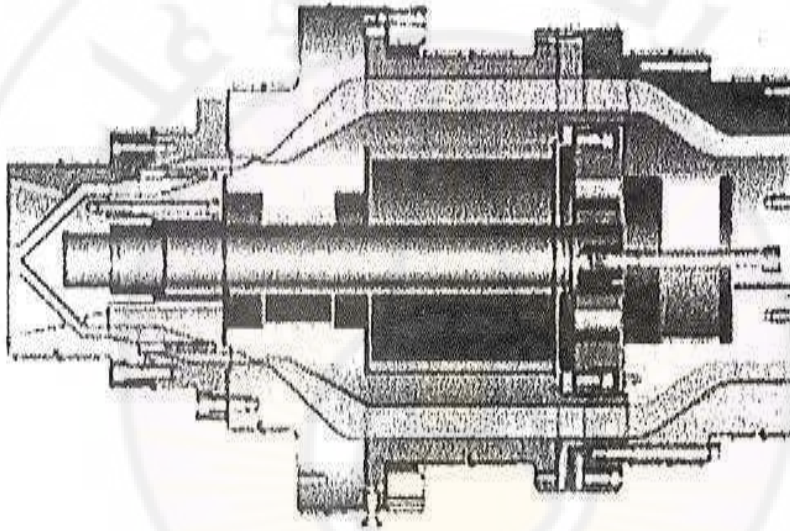
f- أسطوانة، g- محرك، h- مخفض سرعة.

العناصر الرئيسية لآلة البثق الأحادية:

يبين الشكل (16) آلة بثق أحادية تتألف من :

- هيكل يحمل جسم محاط بعناصر التسخين إذ نلاحظ عدة نقاط للتعبير الحراري.

- لولب يرتكز على مصدم ويدار بواسطة محرك كهربائي يتبعه مخفض سرعة.
- مجموعة تغذية تتضمن قمع وقناة تصب في مدخل الجسم.
- رأس ومجموعة التشكيل (المخرج) يثبتان على مخرج الجسم.
- هناك عناصر أخرى مثل مجموعة تبريد اللولب، مفرغ الغازات من وسط الجسم.



مقطع عرضي في رأس البثق

٢- آلات البثق ذات اللولبين: الشكل (17)

لا تختلف آلات القولبة بالبثق ذات اللولبين عن مثيلاتها ذات اللولب الواحد إلا بثلاث نواحٍ، الأولى تعدد اللوالب والثانية الأسطوانة المجوفة الحاضنة التي تستوعب اللوالب المتعددة، والثالثة أنها أقل صلابة عموماً ولكن قدرتها على التلدين أكبر.

فبالنسبة إلى الأسطوانة يصبح في داخلها ثقبان متداخلان لاحتواء اللولبين، وإن التداخل بين الثقبين في الأسطوانة يعود إلى عدم تباعد اللوالب وتداخل أسنانهما.

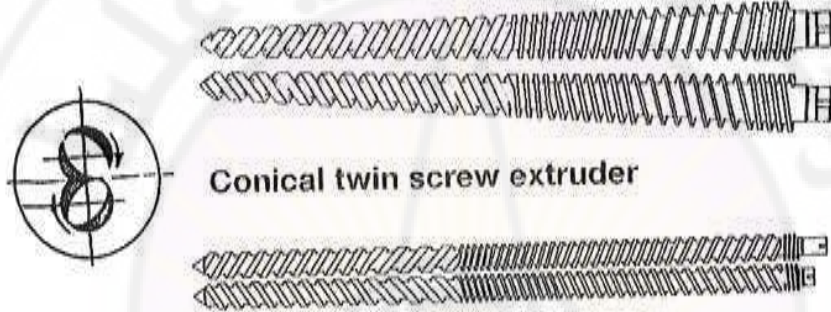
أما اللولب فإما أن تكون اتجاهات السن متشابهة ويكون في هذه الحالة نحو جهة واحدة إلى اليسار دائماً، وإما أن تكون اتجاهات السن متعاكسة وكذلك الدوران إلى جهة اليمين دائماً أيضاً. ويمكننا أن نبين خصائص وكيفية سير اللدائن بوساطة اللولب المزدوجة ذات الأسنان والدوران الموحد الاتجاه نحو اليسار كما يلي:

- بعد دخول مواد اللدائن إلى فتحة الأسطوانة، فإن هذه اللدائن تقوم بوساطة اللولبين بمسار أطول من مسارها في حال اللولب الواحد لأنها مجبرة على الدوران حول اللولبين معاً وأن تقوم بدورة شبه كاملة على كل لولب. ويتقدم اللدائن في الأسطوانة فإن اللدائن تصبح في الواقع مجبرة على المرور بين الأسنان المتوازية للولب الأول ثم الثاني حيث تتعرض إلى تليدين وعجن مستمر، وبذلك يتم مزج اللدائن بتأثير الدخول والخروج من كل سن لما يقابله في الآخر وحيث تكون المواد المحجوزة متساوية المقدار بين الأسنان المتقابلة على طول اللولب وبالتالي تصريف ثابت ومتعادل للمواد مع امتزاج لخلاتنها بشكل جيد وشبه كامل من مواد مائلة ومثبتات ومواد إضافية واخضابات. وأخيراً فإن الدوران المحيطي الكامل لللدائن على طول جدار الحفرتين المتداخلتين للأسطوانة يوزع على كامل كتلة اللدائن كل الحرارة بتجانس ودون أن يترك تراكماً حرارياً في مركز كل من اللولبين.

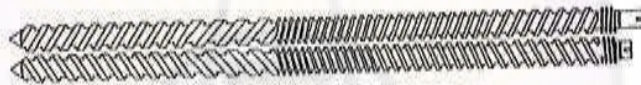
وطريقة دوران اللولبين باتجاه واحد تعطي في الواقع إضافة إلى حركة المواد اللولبية عمل مضخة دافعة للمواد ولكنها بالطبع ذات ضغط ضعيف، كما أن حركة اللولبين تمثل أيضاً نوعاً من آلات الخلط ذات الأسطوانتين تقومان بدورهما بخلط اللدائن وتوفير مزجها ولكن من دون أي تسخين إضافي.

وحين تكون أسنان اللولبين متعاكسين وكذلك دورانهما فإن حركة المواد تبقى بنفس الاتجاه متقدمة نحو الأمام. وجميع ما سبق ذكره من ظواهر ونتائج ينطبق على هذه الحالة أيضاً.

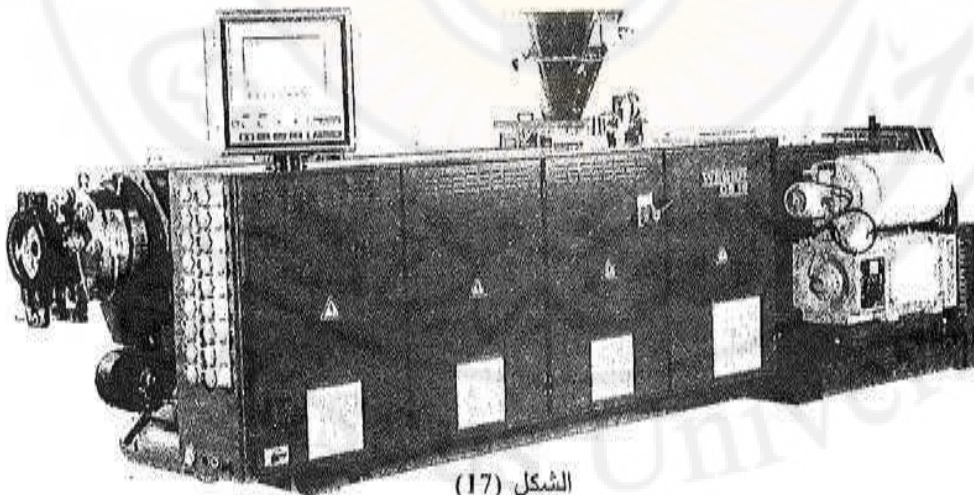
ولقد تقدم استخدام آلات البثق ذات اللولبين فظهرت أيضاً الأسطوانات ذات الحفر المخروطية المزدوجة والمتداخلة لاستخدامات خاصة ببعض أنواع اللدائن وللسيطرة على الضغط بتبديل عمق حفرة أسنان اللولب ونسبها بين مناطق العجن ومناطق البثق الأخيرة.



Conical twin screw extruder



Parallel twin screw extruder



الشكل (17)

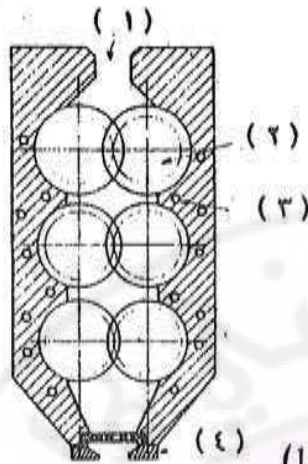
والجدول التالي يبين مواصفات آلة بثق ثنائية اللولب:

مواصفات آلة البثق ثنائية اللولب

المواصفات	الوحدة	1	2
قطر اللولب	mm	90	113
عدد اللولب		2	2
جهة الدوران			
سرعة الدوران	rpm	1-45	1-30
الطول الفعال	mm	2070	2600
استطاعة المحرك الرئيسي	Kw	55	75
Barrel heating power	Kw	30	42
الاستطاعة	Kg/h	400	500
الطول الكلي	mm	1000	1250
الوزن الصافي	Kg	3000	5000
الأبعاد	mm	3360×1290×2127	470×1550×2460
الطول×العرض×الارتفاع			
المنتج		أنابيب	بروفيلات

٣- آلات بثق مسننة:

في الحقيقة إن هذه الآلات مهيئة لتعمل خلّاط أكثر من عملها منتجاً للبروفيلات وهي مكونة من عدة سلاسل من المسننات الحلزونية وتتوضع شاقولياً داخل جسم كتيم مسخن بوساطة جريان زيت. الآلة تتغذى من القسم العلوي، فتدخل بوساطة السلسلة الأولى من المسننات وتحمل بالتتابع بوساطة السلاسل الأخرى حتى المصفاة الواقعة بالجزء السفلي للجسم. نسبة الضغط تعتمد على علاقة خطوة الجريدة المسننة، الخطوة التي تتناقص بين المدخل والمخرج.



الشكل (18)

١- تغذية الآلة.

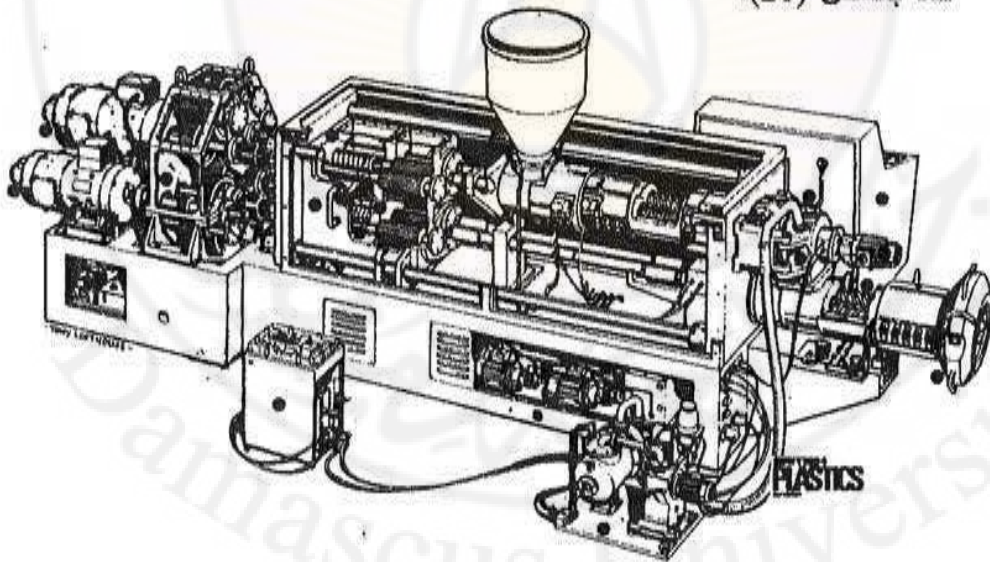
٢- مسننات.

٣- تسخين بواسطة جريان الزيت.

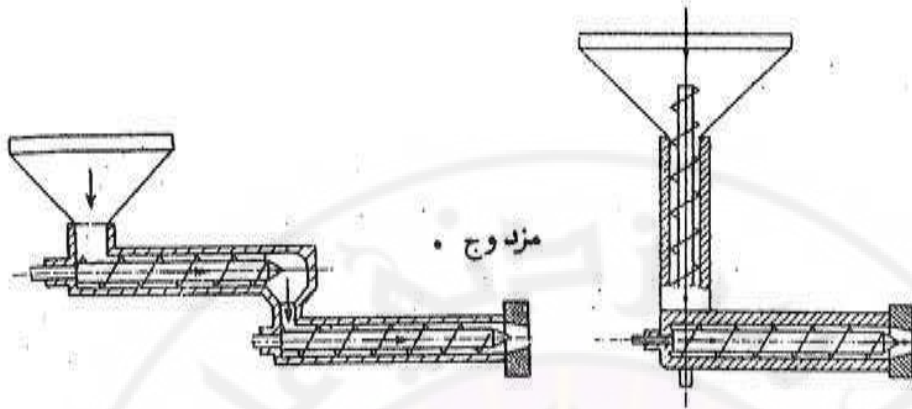
٤- المخرج.

٤- آلات البثق ذات الطوابق: (الشكل 19)

من أجل زيادة طول الجزء المملدن فقد تم إنتاج آلات بثق أحادية اللولب تدعى (L)، تتألف من جسم شاقولي للبثق يغذى من الأعلى بواسطة قمع ويتصل من الأسفل بجسم آخر متعامد عليه كما بالشكل (20). هناك آلة بثق بلولب مزدوج حيث يكون الطابقين متوازيين وفوق بعضهما كما بالشكل (21).



الشكل (19) آلة بثق بطابقين بلولب مزدوج للبثق.



الشكل (20)

الشكل (21)

آلة بثق ذات طوابق، بلولب على شكل (L). آلة بثق ذات طوابق، لولب مزدوج.

القطع الإضافية Accessoires :

لكل آلة من الآلات قطع إضافية تختلف حسب المواد المنتجة، فعند مخرج آلة البثق يصبح البروفيل الناتج على مسؤولية معدات معقدة وهذا يعتمد على البروفيل المنتج نفسه.

مثال: المجموعات الإضافية من أجل إنتاج الأنابيب تتضمن ما يلي:

١- مجموعة معايرة.

٢- حوض تبريد.

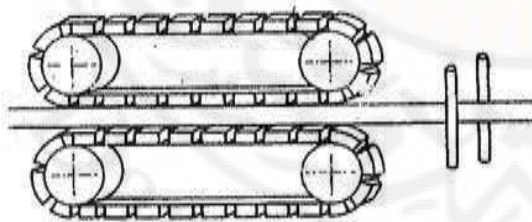
٣- مجموعة جر (سحب)

وغالباً تكون بجازير،

الشكل (22).

٤- ملفات أو دواليب

للتخزين.



الشكل (22)

من أجل الأنابيب والبروفيلات الصلبة هناك قاطع (منشار) يقطع البروفيلات لقطع ذات أطوال ثابتة.

من أجل الأشرطة الأحادية من (PEhd) أو من (PP) فتصنع بمساعدة آلة بثق حيث الرأس القائم ينتج شريط مسطح مبرد ومقطع. هذا المنتج يمر فوق قرصين للتنعيم تدور بسرعات مختلفة بشكل يسبب عملية السحب الهامة والتي تتلوها عملية اللف والتخزين.

مثل هذه التجهيزات تتضمن التموين، معايرة الكميات أوتوماتيكياً، المزج الأوتوماتيكي، الخلاطات، آلات البثق والتجهيزات اللازمة لعمليات السحب والتخزين.

تطبيقات البثق

وتشتمل كل من المنتجات التالية:

١- بثق الأغلفة الرقيقة والصفائح المسطحة. Flat sheet and film

.extrusion

٢- تغليف الأسلاك. Wire coating extrusion

٣- الأنابيب والخرطوم. Tube extrusion

٤- الخيوط البلاستيكية. Plastic file

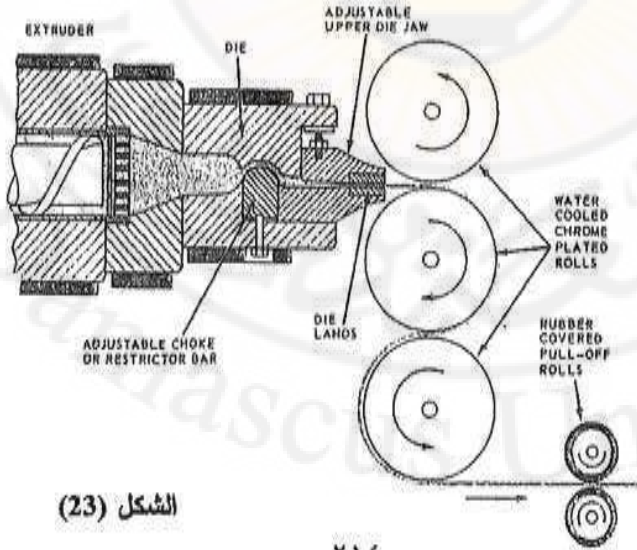
٥- البروفيلات العادية والبروفيلات ذات الخلايا. Profil production

٦- الحصول على مركبات وحببيات. Granule production

١- بثق الأغلفة الرقيقة والصفائح المسطحة:

Flat sheet and film extrusion

يتم بثق مواد الصفائح المسطحة عادة بسمكات أكبر من (6.35 mm)، أما الصفائح الرقيقة فتكون بسمكة تقريبية (0.25 mm). إن نظام البثق لهذه الأشكال هو نفسه المستخدم للأشكال الأخرى كالأنابيب أو الطبقات الرقيقة ما عدا تجهيزات القالب وأدوات السحب كما بالشكل (23).

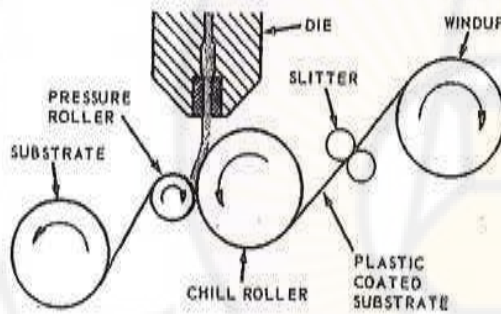


الشكل (23)

يتم تزويد حبيبات البلاستيك إلى قمع التزويد الخاص بالبائق، ومن ثم تتابع كما في نظام البثق التقليدي ولكن عند القالب يتم بثق البلاستيك في حالته العجيئية مباشرة إلى بكرات الإنهاء عند درجة حرارة معينة يتم التحكم بها بدقة حيث يعمل نظام التفريغ على حمل الصفيحة إلى بكره السحب حيث تلثم إلى وحدة التقطيع، ومن ثم يتم أخذ الصفائح المقطعة مباشرة إلى وحدات التشكيل الحراري لإجراء عمليات إضافية عليها.

يجب إجراء تدقيقي وفحص النوعية للتأكد من مدى موافقة الأبعاد للتسامح المسموح به.

يتم تنفيذ التغليف بالبثق بضغط طبقة البلاستيك الرقيقة وهي ساخنة والمادة المراد تغليفها يبين أسطوانات الضغط، ولا تحتاج إلى أي مادة لاصقة طالما

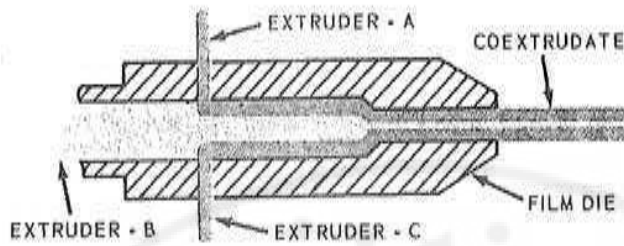


الشكل (24)

أن البلاستيك الساخن يرتبط بسهولة مع المادة المراد تغليفها، حيث يتم تغليف مواد مختلفة مثل الورق والأقمشة والرقائق المعدنية حيث يتم استخدام آلات بثق قياسية لهذه

العمليات. كما بالشكل (24).

يتم إنتاج الرقائق متعددة الطبقات بعملية مماثلة لعملية البثق حيث يتم استخدام بائقين أو أكثر لتغذية أنواع مختلفة من البلاستيك للقالب باستخدام نظم متعددة، تمتلك هذه الرقائق الخاصة مميزات وخصائص مفيدة لكل نوع من أنواع البلاستيك، حيث يستخدم معظمها لتغليف الطعام كمواد واقية من الرطوبة والأبخرة، تستخدم هذه العملية (المشابهة لعملية البثق) في إنتاج منتجات أخرى مثل ماصات الشراب (الشلمونة) وتزيين زجاج السيارات، كما بالشكل (25).



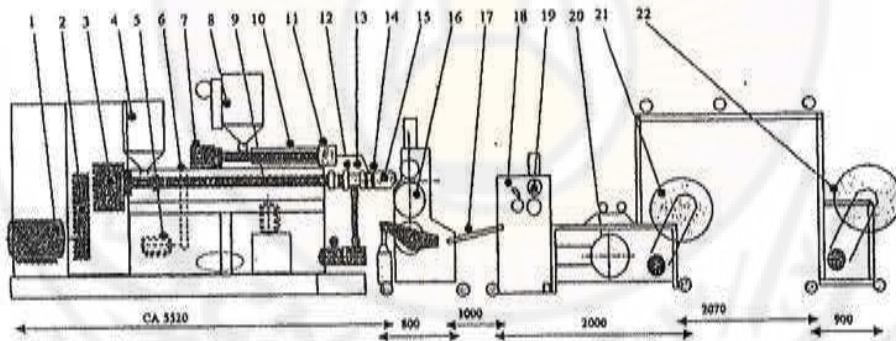
الشكل (25)

آلة إنتاج أفلام البلاستيك: الشكل (26).

إن البثق في هذه الآلة يتم بواسطة قالب بثق حيث يخرج البلاستيك المبثوق من القالب وشكل مقطعه هو مستطيل. حيث سنورد أهم المعلومات التقنية عن الآلة وأهم أجزائها وطرق التوضع الصحيحة لآلة البثق.

٢- مكونات الإنتاج: (المخطط العام)	١- المعلومات التقنية:
1- المحرك الرئيسي.	- اللولب الرئيسي 75 mm
2- سير V مخفض للسرعة.	- النسبة (L/d) 30
3- علبة مسننات.	- المحرك الرئيسي 75w مع جهاز تحكم بالتردد.
4- "القمع" الرئيسي.	- السعة الحرارية 45w.
5- المحرك البائق الثاني.	- مناطق التسخين 11.
6- سير V للبائق الثاني.	- مجمع التبريد .
7- علبة مسننات للبائق الثاني.	- "المنخل" المصفاة الرئيسية للقالب 75mm
8- القمع المجفف للبائق الثاني.	- عرض فتحة القالب 900 mm
9- أسطوانة مع لولب.	- أعظم عرض للصفائح 780-800mm
10- أسطوانة البائق الثاني.	- سماكة الفلم (pp) 0.4-2 mm
11- الشبكة "المنخل" للبائق الثاني.	- عرض وجه الدرفيل 900 mm
12- الشبكة "المنخل" الرئيسي.	- الدرفيل العلوي 150 mm
13- مضخة الصهر.	

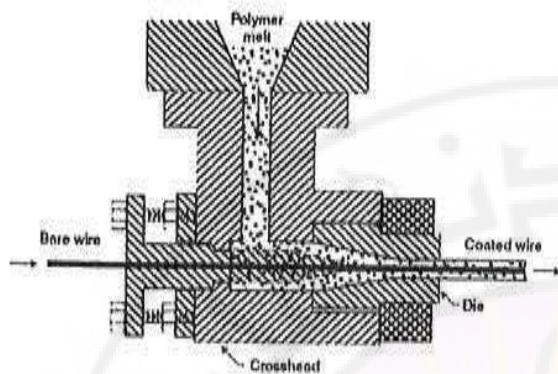
14-كثلة التغذية.	-الدرفيل السفلي 300mm
15-ال قالب (die)	-الدرفيل الأوسط 300 mm
16-درافيل الكروم.	-درفيل التبريد.
17-طبة معدنية.	-الدرفيل المطاطي 140 mm
18-سكاكين.	-قصاصة الحواف.
19-درافيل مطاط.	-"سعة" إنتاجية البائق الرئيسي
20-ملف لف المقصوص الجانبي.	180-200kg/hr
21-الملف الأول	-الحيز الذي تشغله الآلة تقريباً
22-الملف الثاني	3500*2000mm
	-الوزن التقريبي 4500 kg
	-مضخة الصهر.
	-محرك مضخة الصهر + جهاز تحكم
	بالترددات.



الشكل (26)

٢- تغليف الأسلاك : Wire coating extrusion

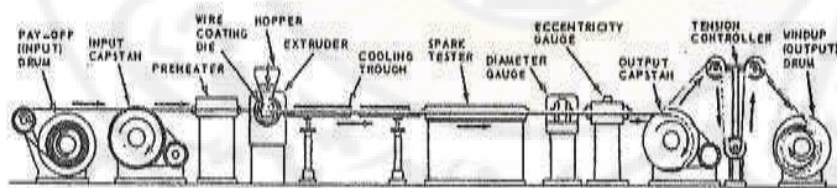
يعدّ تغليف الأسلاك استخداماً أساسياً آخر من استخدامات عمليات البثق. وهو مشابه لعمليات بثق الأنابيب إلا أنه يتم استبدال الحلقة بدليل مدبب



الشكل (27)

تستخدم العديد من الرزينات الحرارية في تغليف الأسلاك، والكابلات، PA, PVC, PE. وهي رزينات تغليف نموذجية للأسلاك. يستخدم السيليكون عادة للتطبيقات التي تسلزم مقاومة درجات الحرارة العالية.

ويبين الشكل (28) خط الإنتاج الكامل لنظام تغليف الأسلاك.



الشكل (28)

الدراسة التحليلية لعملية تغليف الأسلاك: الشكل (29)

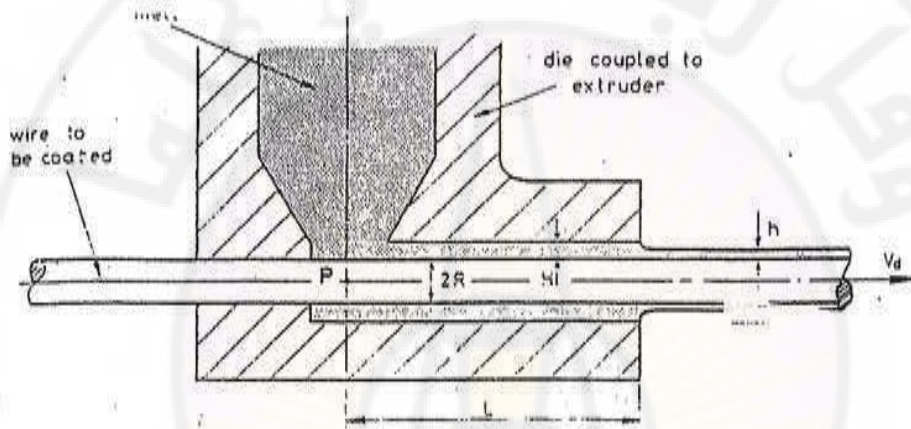
يتم تحليل عملية التغليف بطريقة مشابهة لتلك المستعملة المشروحة من أجل البثق. حيث أن عملية التغليف تعتمد على مبدئين :

- ١- جريان السحب نتيجة حركة السلك.
- ٢- الجريان القسري نتيجة اختلاف الضغط بين مخرج الباثق ومخرج القالب.

من المعادلة (2) يعطى الانسياب بالسحب بالعلاقة:

$$Q_d = 0.5.T.H.V.d$$

$$T = 2\pi \frac{R+h}{2}$$



الشكل (29)

ومن المعادلة (6) يعطى الجريان القسري بالعلاقة:

$$Q_p = \frac{1}{12\eta} \frac{dP}{dZ} T.H^3$$

وبضم العلاقتين ينتج لدينا الخرج الكلي والذي يعطى بالعلاقة:

$$Q = 0.5.T.H.V_d + \frac{T.H^3P}{12\eta.L}$$

وهذا يجب أن يساوي للحجم المغطى على السلك أي:

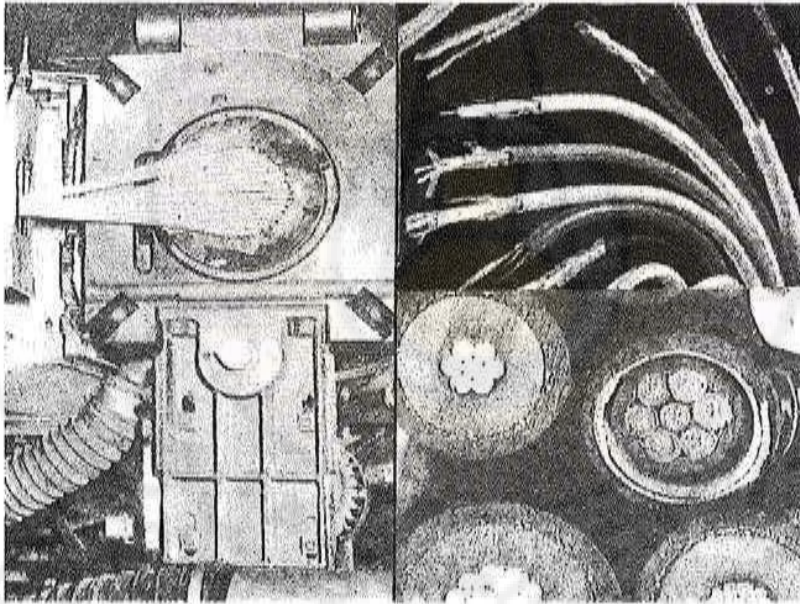
$$Q = \pi.V_d[(R + h)^2 - R^2] = \pi.V_d.h.(2.R + h) \Rightarrow$$

$$Q = \pi.V_d(2R + h) = 0.5.T.H.V_d + \frac{T.H^3.P}{12\eta.L} \Rightarrow$$

$$P = \frac{6\eta.L.V_d}{H^3}(2h - H)$$

وهذا يعبر عن الضغط اللازم على مخرج البثق وبالتالي يسمح لظروف البثق المناسبة بالعمل.

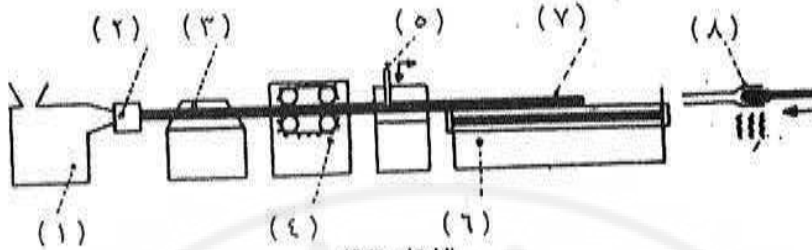
يبين الشكل (30) بعض الأسلاك الكهربائية المغلفة والكابلات المستخدمة في الهواتف وهي تتألف من مجموعة من الأسلاك المغلفة بالبلاستيك بألوان مختلفة كما يبين مخرج آلة بثق.



الشكل (30)

٣- الأنابيب والخراطيم : Tube extrusion

يبين الشكل (31) التجهيزات الكاملة لإنتاج أنابيب الـ PVC بالبثق.



الشكل (31)

١- آلة بثق . ٢- مخرج ومجموعة معايرة . ٣- تبريد . ٤- مجموعة السحب .

٥- منشار متتابع . ٦- طاولة قياس وتكديس . ٧- الأنابيب الميثوقة .

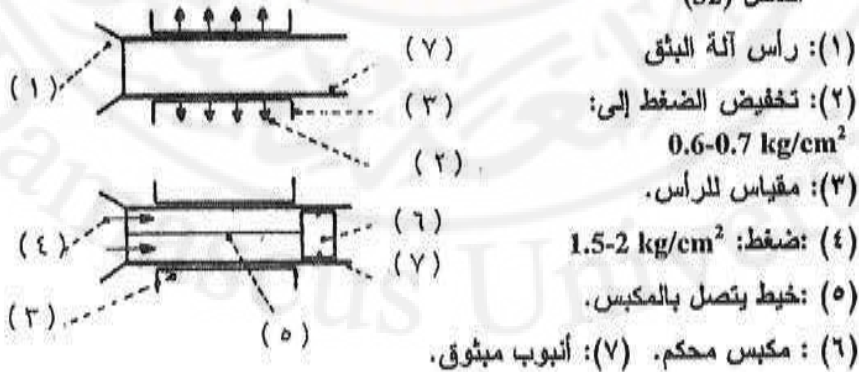
٨- للوصول على الساخن (عند الاقتضاء) .

يجب التمييز بين إنتاج الأنابيب الطرية والأنابيب الصلبة .

١- الأنابيب الطرية: وتصنع بصورة عامة من الـ (PVC) اللدن أو من الـ (PEbd) وأحياناً من الـ (PA-11) بطريقة مماثلة لإنتاج البروفيلات الطرية . هذه الأنابيب لا تصنع إلا بأقطار صغيرة أقل من (30 mm)، العملية لا تحتاج إلى احتياطات خاصة . سرعة الإنتاج تكون بحدود (10-20m/min) .

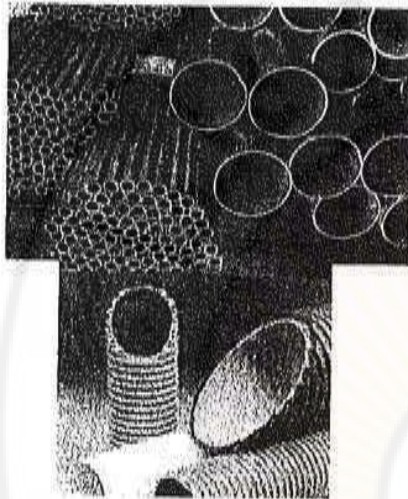
٢- الأنابيب الصلبة: الشكل (31) يمثل مراحل عملية التصنيع . تصنع بصورة عامة من الـ (PVC) الصلب أو من الـ (PEhd) حيث يصنع حالياً أنابيب بأقطار حتى (600 mm) وحتى (1200 mm) . غالباً يجب استعمال مقياس خارجي، مجموعة بنية داخلية الشكل (32) .

الشكل (32)



بالإضافة لذلك ولأجل أقطار مماثلة، فإن مجموعة السحب تصبح عنصر هام.

عموماً يجب ملاحظة أن المنتج الصلب لا يمكن لفه ويجب أن يقطع ويكدس بسرعة. بما أن الإنتاج يتم بشكل مستمر فهناك إمكانية استعمال منشار تابع ومجموعة أوتوماتيكية للتكديس بشكل متزامن مع الإنتاج. عملياً يمكن



الحصول على سرعات الإنتاج التالية:

١- أنبوب ذو قطر 30 mm

السرعة 20 m/min.

٢- أنبوب ذو قطر 100 mm

السرعة 5 m/min.

٣- أنبوب ذو قطر 300 mm

400 mm السرعة 0.5 m/min.

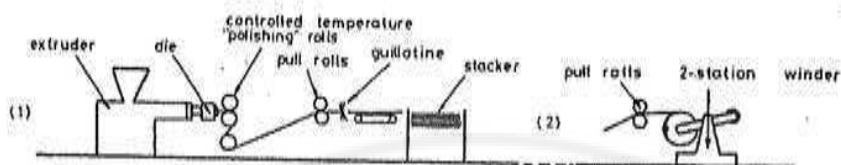
الشكل (33)

عندما يكون قطر الرأس أكبر من (400 mm) فإن معدات الإنتاج تحتاج إلى رأسمال كبير خصوصاً المخرج *filière* وتجهيزاته. كذلك هناك القطع والتخزين فيصبحان مشكلة هامة. من بعض التطبيقات الخاصة فقد تم تشييد تجهيزات متحركة: آلة بثق تحمل على سيارة شحن تنتج أنبوب مستمر أو باستخدام قاطرة قطار تسير بنفس سرعة خروج الأنبوب، بهذه الوسائل تم صنع أنابيب بأقطار كبيرة كقطعة واحدة بهدف تجنب الوصل باللحام (أنابيب PEhd).

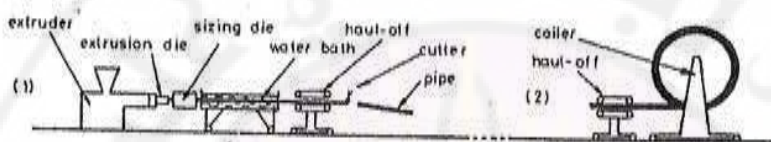
كما يبين الشكل (34) خطي إنتاج :

(a) : لإنتاج صفائح (1) صفائح سميكة (2) صفائح رقيقة.

(b): لإنتاج الأنابيب (1) أنابيب صلبة (2) أنابيب طرية (خرطوم).



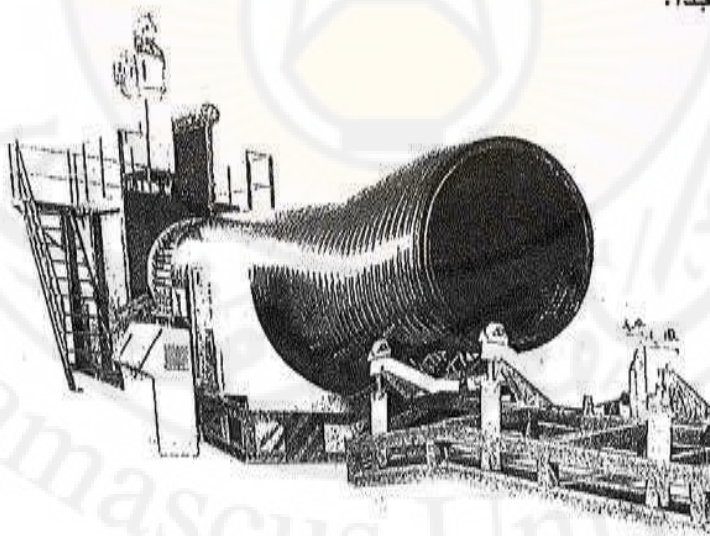
(a) SHEET EXTRUSION (1) Thick sheet (2) Thin sheet.



(b) PIPE EXTRUSION (1) Rigid pipe (2) Flexible pipe.

الشكل (34)

يبين الشكل (35) خط الإنتاج لصناعة الأنابيب الملفوف المجوف من القياس الكبير جداً.

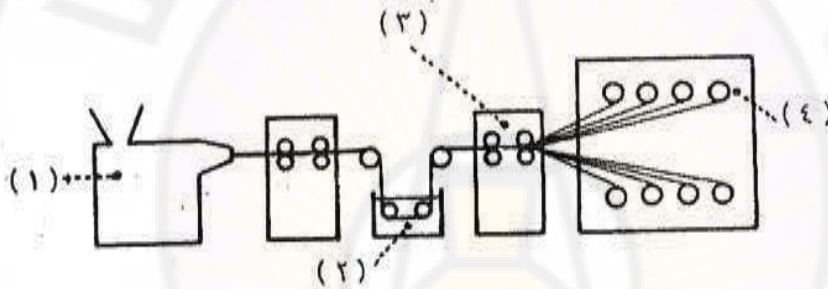


الشكل (35)

٤- الخيوط البلاستيكية: Plastic filet القطر $d \leq 0.1 \text{ mm}$

يكون المخرج بهذه الحالة متعدد الثقوب (50-100) ثقب، الناتج يمر عبر حوض للتبريد ومن ثم على مجموعة السحب. اختلاف بين بكرات السحب مرتبط بدرجة حرارة حوض التبريد وهذا يحدد تمدد الخيط وفق خواصه الميكانيكية، الشكل (36).

مثلاً: عند تصنيع الـ Polyester acrylique والبولياميد (PA)، سرعة اللف تكون بحدود (100-150 m/min). تستخدم هذه الخيطان في صنع الملابس (60%) وفي الصناعة (30%). وفي المفروشات (10%).



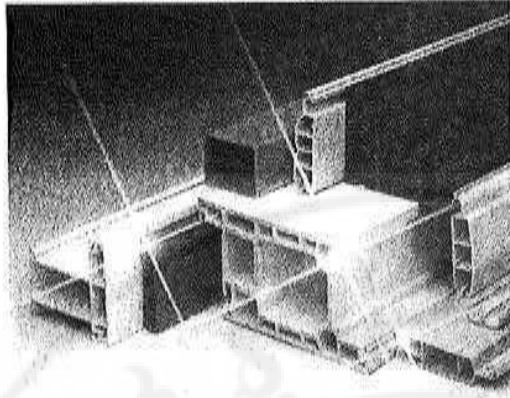
الشكل (36)

(١): آلة البثق. (٢): معالجة حرارية. (٣) مجموعات السحب. (٤) مجموعات اللف.

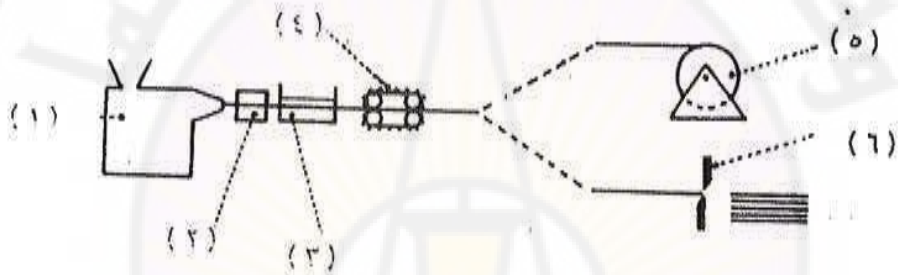
٥- البروفيلات العادية والبروفيلات ذات الخلايا: Profil production

تكون المخارج المستعملة لإنتاج البروفيلات الصغيرة غير مرتفعة التكاليف وتستطيع إنتاج بروفيلات معقدة جداً. ترتيب المجموعة الإنتاجية يختلف حسب طبيعة المادة المنتجة، الشكل (37).

في حالة المادة الصلبة: آلة البثق، مجموعة المعايرة، مجموعة التبريد، مجموعة السحب، مجموعة التقطيع.



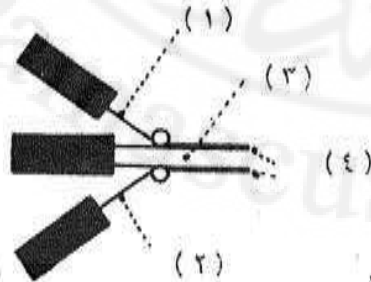
في حالة المادة اللينة:
آلة البثق، مجموعة تبريد،
مجموعة السحب ثم اللف.



الشكل (37)

(1): آلة البثق. (2): معايرة. (3): التبريد. (4): السحب. (5): مجموعة اللف للمواد
الطرية (كالخراطيم). (6): مجموعة التقطيع للمواد المنتجة الصلبة.
باستخدام عدة آلات للبثق يمكن إنتاج منتجات بعدة ألوان، الشكل (38) يبين
مراحل العملية، (غطاء ضوء مثلاً).

يمكن استغلال كون المادة ما زالت لينة لأجل جعل السطح محبباً بواسطة
أسطوانة محببة. كما يمكن إنتاج أنابيب باستعمال اللف لبروفيل مبثوق ومن
ثم لحامه.



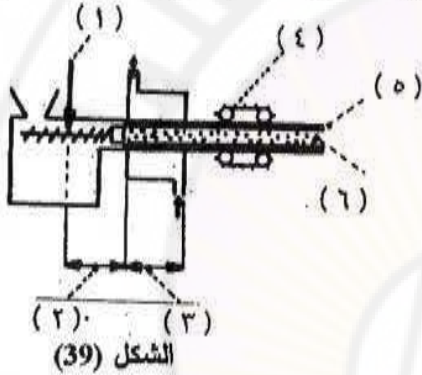
الشكل (38)

(1) و (2): بروفيلات شاقولية أو مائلة.
(3): بروفيل أفقي (شفاف).
(4) لحام للبروفيلات الثلاثة.

بروفيل ذو الخلايا: Profil cellulaire

ينتج حالياً بروفيلات ذات خلايا، ومبدأ العملية هو التالي: إدخال مركب بسبب الانتفاخ داخل المادة البلاستيكية قبل خروجها من المخرج فيبدأ تمدد ذاتي حيث يتم التحكم به عند الخروج بوساطة مقياس ملائم يحدد التمدد، الشكل (39).

نحصل على منتج ذو خلايا كثافته $(0.4-0.5 \text{ kg/dm}^3)$ ويستخدم في الأبنية والمفروشات بصورة خاصة (يحل بسهولة محل الخشب، ويمكن مسمرته واستعمال البراغي فيه).



(1): مركب بسبب الانتفاخ.

(2): منطقة الضغط.

(3): منطقة التمدد، معبرة، تبريد.

(4): مجموعة السحب.

(5): طبقة أو جدار صلب.

(6): النواة ذات الخلايا.

يمكن الإطلاع بتفصيل أكثر على هذه التقنية في الفصل السابع من هذا الباب.

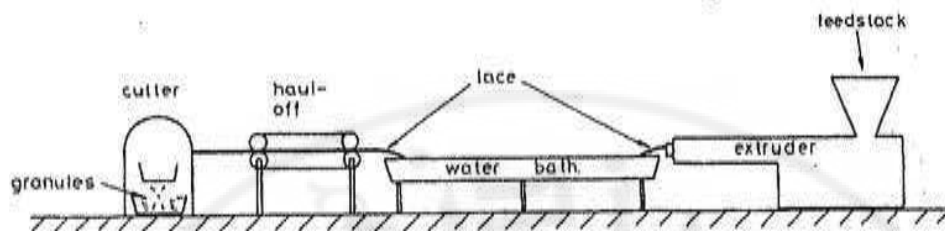
٦- عمليات البثق المستخدمة للحصول على مركبات وحببيات:

Extrusion for compounding and Granulating

في مصنع تركيب البلاستيك يستخدم الباثق للبرغلة والتلوين وتشكيل حببيات الريزين لترسل فيما بعد إلى المعالجة.

تتطلب عادة ريزينات البلاستيك إضافات أخرى من أجل التطبيقات الجزيئية التي تتطلب وجود الألوان المطلوبة من قبل المصنع، يتم إضافة كل هذه الإضافات إلى الريزين وتغذى إلى الباثق لتعطي خليطاً متجانساً من الحببيات، ويستخدم قالب تشكيل حببيات خاص مع الباثق والتي تنتج عدة جدائل من الريزين ثم تقطع قطع صغيرة وتسحب إلى صهاريج التحميل من

خلال نظام شفط. يتم تغليف الريزينات المشكلة على شكل حبيبات. والشكل (40) يمثل خط إنتاج حبيبات بالبثق.



الشكل (40)

خط إنتاج حبيبات بالبثق

الريزينات المشكلة بشطر الحبيبات تشكل على شكل جسيمات كروية أو أسطوانية أو شكل مكعبات.

يتم تلوين الريزينات إما بإضافة مساحيق تلوين جافة خلال عمليات التركيب أو باستخدام ألوان مركزة في أثناء عملية القولبة، تبدو الألوان المركزة بشكل حبيبات صغيرة مشابهة للريزين إلا أنها تقريباً عبارة عن صبغات لونية صافية مرتبطة مع بعضها بكمية قليلة من نفس الريزين المستخدمة في القولبة.

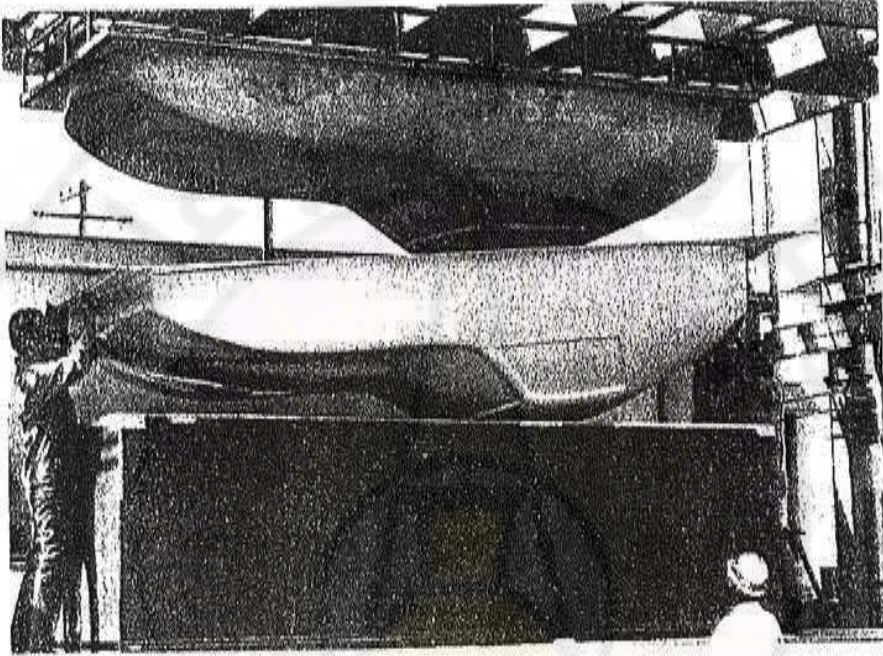
إن إعادة البرغلة للمواد الملدنة حرارياً الناتجة من عمليات البثق كما في عمليات التشكيل الأخرى تشكل استخداماً للفضلات والقطع المرفوضة. الأجزاء المقصودة من الأجزاء المبثوقة يمكن أن يعاد برغلتها ومن ثم يعاد تشكيلها في القوالب، ويتم خلط المواد المعاد برغلتها عادة بمواد جديدة من النوع واللون نفسهما.



الفصل الثالث

التشكيل الحراري

Thermoforming



مقدمة :

يستخدم مبدأ التشكيل الحراري وتقنيته لمواد البلاستيك الحراري بشكل واسع ومتزايد في مجالات متعددة. ويبدأ من نصف منتج على شكل صفائح صلبة بسمكات مختلفة توضع في حيز غير قابل للتشوه حيث تسخن إلى أن تصل ليونتها إلى حد معين حيث يتم تشكيلها وفق شكل القالب المصمم لذلك. إن عملية التشكيل للمواد البلاستيكية تماثل بشكل واضح عملية طرق المعادن للصفائح الرقيقة. هذا التماثل سطحي أكثر منه داخلي، وبفحص أكثر دقة يظهر أن الاختلافات في تركيب المواد المحولة أساسية وواضحة تماماً من الناحية الحرارية والتقنية وكذلك من ناحية الخواص العامة.

مميزات التشكيل :

- ١- استخدام قوالب بسيطة (عملياً بدون ضغط) وذات كلفة قليلة.
- ٢- إمكانية الإنتاج بكميات قليلة ١٠٠٠-٢٠٠٠ قطعة.
- ٣- إمكانية استخدام صفائح بسماكات رقيقة.
- ٤- إمكانية شد السطح حتى خمسة أو ستة أضعاف أبعاده الأصلية وأحياناً أكثر.

مساوئ التشكيل:

- ١- النصف منتج المستخدم أكثر كلفة من الحبيبات.
- ٢- الدقة الهندسية محدودة.
- ٣- سماكة غير متجانسة.
- ٤- استحالة الإنتاج بسماكات صغيرة جداً.

شروط التشكيل:

لو عدنا لمخطط Tobolsky حيث هناك خمسة مراحل ممثلة بخمسة مناطق تمر بها المادة البلاستيكية (T_p) عند تغير درجة الحرارة حيث كل مرحلة تختلف تماماً بخواصها عن المراحل الأخرى، لوجدنا أن التشكيل مستحيل في المنطقة الأولى من المخطط، صعب في المنطقة الثانية إلا أنه سهل جداً في المنطقة الثالثة. الحدود الدنيا للمنطقة الرابعة تتطابق مع بدء الانصهار Fusion وهذا هو المجال الحراري الذي يسمح بعمليات والبثق والحقن.

التشكيل يتم بالطريقة التالية:

- ١- تسخين المادة لدرجة حرارة ضمن المنطقة الثالثة لمخطط

Tobolsky

- ٢- تشكيل المادة وفق المطلوب وتستخدم وسائل فحص ومراقبة عن بعد.
- ٣- تبريد المادة لدرجة حرارة أخفض من (T_v) أو (T_g) درجة حرارة تحول المادة (التحول الزجاجي).

ويجب المحافظة على القوة اللازمة للتشكيل خلال عملية التبريد (وهذا يؤدي إلى تشكل إجهادات داخلية). لكي تبقى القطعة بالشكل المراد لها. نلاحظ أننا لو أعدنا تسخين القطعة الناتجة بالتشكيل إلى درجة حرارة في المجال الكاوتشوكي، فنلاحظ أن القطعة تأخذ الشكل والأبعاد الأصلي للمادة الأساسية Semiproduct وتخلص أحياناً من الإجهادات الداخلية التي حصلت نتيجة عملية التشكيل.

إن ضغطاً بسيطاً (بضع ضغوط جوية) يكفي لتشكيل البلاستيك الحراري في حين أن ضغط النقطة الحرجة للجريان اللدن للمعادن يصل إلى مئات من الضغوط الجوية. كذلك القوة اللازمة لتشكيل البلاستيك لا تقارن وليس لها مقياس مشترك مع المعادن.

يجب أن يكون تشكيل المواد البلاستيكية سريع حتى تبقى المادة كاوتشوكية خلال عملية التغير.

المواد البلاستيكية القابلة للتشكيل:

مجموع المواد البلاستيكية الحرارية ذات التركيب الجزيئي غير المنتظم Amorphous هو الأكثر استعمالاً: PS ومشتقاته، PVC ومشتقاته، CA ومشتقاته، PMMA، بالإضافة لذلك يجب الإشارة إلى أنه بالرغم من المصاعب الكبيرة فقد بدء باستخدام المواد التالية في عمليات التشكيل Polyole fine (منتظم جزئياً)، PE(hd)، PE(bd) وكذلك PP.

مواصفات المواد البلاستيكية ذات التأثير بالتشكيل الحراري :

١- ذاكرة البلاستيك Plastic memory:

تملك المواد البلاستيكية المناسبة للقوالب بالتشكيل الحراري مرونة Elasticity كافية عندما تتمدد بتأثير حراري أو ميكانيكي تحت ضغط محدد. في هذه الحالة تميل المادة إلى الانسحاب أو الانكماش بعكس اتجاه القوة

المؤثرة عليها وتسمح هذه الخاصية للمادة بأن تتشكل مع القالب خاصة عندما يكون بطبعة واحدة. ويساعد ضغط الهواء سواء كان تخلقلي أو ضغط جوي على إتمام مرحلة التشكيل بحيث تأخذ مادة الصفيحة جميع تفاصيل القالب (الطبعة).

٢- الاستطالة بالتسخين Hot elongation :

إن جميع صفائح البلاستيك الحراري (Tp) تتمدد بالتسخين، لكن كثيراً ما تتغير هذه الصفة من مادة لأخرى، وذلك تحت ظروف مختلفة أيضاً. وتتعلق هذه الصفة بدرجة الحرارة المطبقة وبسرعة الاستطالة أساساً. ونظراً لكون دقة درجة الحرارة تلعب دوراً أساسياً في الاستطالة فلا بد أيضاً من وجود عوامل أخرى مؤثرة تتعلق بدرجة الحرارة نفسها مثل، أسلوب التمدد، أسلوب التسخين، أسلوب التشكيل، نوع المادة المصنع منها القالب وأسلوب التبريد.

تتمدد بعض المواد البلاستيكية المتوفرة تجارياً في الأسواق بنسبة % (500-600) من مساحتها الأصلية. طبعاً بالإضافة لمواد أخرى لا تزيد نسبة التمدد فيها عن % (20) من مساحتها الأصلية. وطبيعي لهذه النسبة أثر كبير في نوعية وشكل المنتج المطلوب قولبته وخاصة فيما يتعلق بالجودة.

٣- مجال درجات حرارة التشكيل :

بما أن مواد البلاستيك الحراري المناسبة للتشكيل الحراري لا تمتلك نقاط انصهار حادة لذا فهي تتلدن تدريجياً بازدياد حرارة التسخين بحيث يكون لكل مادة مجال خاص لدرجة الحرارة هذه، وقد يضيق هذه المجال أو يتسع وفقاً لكل نوع من أنواع المواد هذه.

يُراوح المجال الحراري للتشكيل لبعض المواد من (135°C) إلى (215°C) أما البعض الآخر فضمن المجال $(180^{\circ}\text{C}-204^{\circ}\text{C})$ لكنها بطبيعة بطبيعة الحال ستصهر كلياً عند الحرارة (204°C) أو (215°C) .

كذلك الأمر، يمكن أن تتمدد مادة بلاستيكية ما عند درجة حرارة معينة وبسهولة لكن ستمزق بسهولة أيضاً إذا زادت قيمة الحرارة بضع درجات عن حرارة التمدد.

لهذا السبب يعدّ هذا العامل هاماً جداً لدى اختيار نوعية المادة البلاستيكية، وأسلوب التسخين المناسب.

عموماً يجب أن تكون درجة حرارة التشكيل عالية للحصول على توزيع حراري أفضل في المادة مع أخذ الحذر من خطورة الفشل، لذا يجب الأخذ في الحسبان نوعية المنتج في هذه الحالة.

٤- متانة التسخين Hot Strength :

تصبح بعض المواد البلاستيكية تحت تأثير درجة حرارة التشكيل الحراري عجينيّه القوام Putty-like وتستجيب لأدنى قيمة من الضغط سواء كان دفع أم تخلخل، وبهذه الحالة تتميز بقدرتها على أخذ شكل طبعة القالب بشكل تام. لكن بعض المواد تبدي مقاومة قوية، وبهذا الشكل ستحتاج لمستلزمات مساعدة إضافية إلى إتمام مرحلة التشكيل، وهذه الحالة متعلقة بقابلية المادة نفسها للتمدّد.

مواد القالب:

تصنع قوالب وطبعات التشكيل الحراري من مواد مختلفة مثل: الخشب، البلاستيك، الإيبوكسي، الفولاذ، الألمنيوم. ومن المعروف أن الخشب والإيبوكسي ليسا مواد تتحمل كثيراً، لذا تنحصر استخداماتها في حالات كمية الإنتاج قليلة أو إنتاج نماذج مخبرية أو تجريبية. علماً إن كلفة استخدام هاتين المادتين عالية.

يستخدم الفولاذ والألمنيوم أحياناً لحالات كمية الإنتاج متوسطة، والحالات التي تستدعي تشذيب المنتج في القالب نفسه لكون قساوة الفولاذ أعلى وقادر

على تحمل ظروف تشغيل أصعب. ويتميز الألمنيوم برخص كلفته، ويدوم لكميات إنتاجية عالية ويمكن معالجته حرارياً بحيث تتحسن مواصفاته الميكانيكية.

ومن مزايا الألمنيوم الهامة أيضاً: خفة الوزن، سهولة التشغيل، ناقلية حرارية جيدة وخاصة في مراحل التبريد.

في حال الرغبة في تصنيع قالب من الألمنيوم وقادر على تحمل ظروف تشغيل صعبة بأن واحد، تطلّى سطوحه بطلاء من الفلوربلاستيك Flouroplastic أو أية مادة طلائية قاسية أخرى.

التسخين :

في الحقيقة إن تسخين المادة بشكل متجانس يشكل إحدى المراحل الأساسية للتشكيل الحراري. الزمن الضروري للحصول على درجة الحرارة المثالية يشكل تبعاً للحالات (50-80%) من الزمن الكلي للدورة الإنتاجية.

التسخين السريع يزيد معدل الإنتاج ويخفض الكلفة. بصورة رئيسية يمكن تمييز طريقتين للتسخين ويتم الاختيار وفق حجم الإنتاج المطلوب:

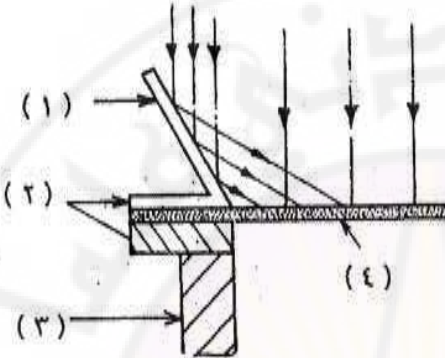
١- في حالة الإنتاج الكبير: التسخين يتم لدرجة حرارة أعلى من حرارة القالب بواسطة ألواح تثبت أشعة تحت الحمراء، أو بواسطة الناقلية باستخدام ألواح مسخنة.

٢- في حالة الإنتاج القليل: يتم التسخين بحمل حراري قسري بمحم، أو بالتغطيس في سائل قبل عملية التشكيل.

إن سرعة رفع درجة الحرارة تابع للخواص الفيزيائية، أبعاد القطعة، مجموعة التسخين، كذلك للضياح المحتمل بواسطة التوصيل، الحمل الحراري والإشعاع. كثافة التسخين تعتمد بصورة رئيسية على المادة وعلى سطح القطعة. أحد الشروط الأساسية لنجاح عملية التشكيل هو عزل المادة

حرارياً أي غياب الضياع بالتلامس بين المادة والأجزاء الضاغطة عليها مثلاً.

يعوض بصورة عامة الفقد بالتلامس مع الهيكل البارد (في حالة التسخين بالأشعة تحت الحمراء، وهي الأكثر استعمالاً) باستعمال عاكس كما في الشكل التالي .



- ١- عاكس.
- ٢- ماسك الصفيحة المسخنة.
- ٣- القالب.
- ٤- الصفيحة المسخنة (المحم).

مع ذلك في بعض الحالات المحددة نحاول الحصول على ظروف حرارية متباعدة للقيام بالتشكيل في مناطق محددة، وبهذه الطريقة نسوي جزئياً التغيرات بالسماكة.

شروط وظروف التسخين:

١- انتظام درجة الحرارة Evenness of Temperature:

بما أن الاستطالة بالتسخين ومثانة التسخين للصفيحة البلاستيكية ودرجة حرارة التوزيع الحراري للمنتج المقولب تتأثر بدرجة الحرارة التي تتشكل عندها الصفيحة، فمن المهم جداً الحفاظ على درجة الحرارة المثالية لصفيحة البلاستيك أثناء التشكيل.

تؤدي طريقة التسخين والعمليات المساعدة الأخرى، دوراً هاماً في إنجاح طريقة القولبة، فإذا سخنت الصفيحة مثلاً بفرن ذي هواء ساخن، فيجب تنظيم دارة الهواء بحيث تنتظم درجة حرارة التسخين على جميع مساحة الصفيحة.

كذلك الأمر إذا تم حمل الصفيحة بمماسك على أطرافها فيجب ألا تعمل هذه المماسك على امتصاص حرارة الصفيحة. لهذا السبب يجب أن تكون الحوامل معزولة حرارياً أو مصنوعة من مواد عازلة للحرارة. إضافة إلى ذلك إذا تم التسخين بالإشعاع الحراري فيجب الحفاظ ما أمكن على عدم تسرب هذه الإشعاعات خارج نطاق سطح الصفيحة.

٢- سرعة التسخين:

من المعلوم أن معظم المواد البلاستيكية تختزن في المخازن التي تُراوح فيها درجة الحرارة (22°C) وأن معظم المصنعون يرغبون في إتباع أساليب تسخين سريعة أثناء الإنتاج، إضافة إلى استخدام أساليب إضافية مسرعة للتشكيل مثل الضواغط أو برفع الصفيحة بهواء مضغوط. لذا كان لابد من اختيار أسلوب التسخين المناسب لكل مادة من المواد. وتختلف فعالية كل طريقة باختلاف نوع المنتج ومادته، كذلك باختلاف نوع القالب والتجهيزات المساعدة. وبشكل عام فإن العوامل التي تؤثر في سرعة التسخين هي:

- ١- سماكة الصفيحة البلاستيكية.
 - ٢- الحرارة النوعية لمادة الصفيحة البلاستيكية.
 - ٣- نسبة الرطوبة أو نسبة امتصاص الماء للصفيحة البلاستيكية.
 - ٤- قابلية الصفيحة البلاستيكية للتسخين بالأشعة تحت الحمراء.
 - ٥- قابلية الصفيحة البلاستيكية لامتصاص مواد التسخين.
 - ٦- احتمال انحطاط المواصفات الحرارية للصفيحة أثناء التسخين.
- ## ٣- المسخنات بالأشعة تحت الحمراء:

إن زيادة الحاجة لتطبيقات التشكيل الحراري ستؤدي بطبيعة الحال لتتوسع تقنيات التسخين، وخاصة فيما يتعلق بالمسخنات بالأشعة تحت الحمراء. حيث

استخدمت هذه المسخنات لأول مرة وبشكل مكثف مع تقنية التشكيل بالتخلخل وذلك لإنتاج الخرائط النافرة والإطار الداخلي للبرادات المنزلية.

بعد ذلك جاءت المسخنات الطبقيّة Sandwich Heater التي تتميز بقدرتها على تسخين كل من وجهي الصفيحة البلاستيكية بأن واحد، ثم تطورت هذه المسخنات بحيث تكون علوية وسفلية لتسخين وجهي الصفيحة، مع العلم أن كل جزء من المسخن قادر على الحركة مستقلاً. بالتأكيد الغاية من هذه الحركة المستقلة هي القدرة على تسخين كل وجه بدرجة حرارة مختلفة عن حرارة الوجه الآخر، وذلك وفقاً لمتطلبات القوالب، ونوع المنتج وكذلك سماكة الصفيحة.

عموماً، تستخدم المسخنات العاملة بالأشعة تحت الحمراء وبنجاح في تسخين صفائح ذات السماكة (2.5 mm) بحيث يمكن تشكيلها خلال (25 sec) تقريباً.

٤- الأفران : Ovens

بعض المواد البلاستيكية الحرارية لا تستجيب للحرارة المركزة، بل تحتاج لأساليب أخرى في التسخين، وخاصة فيما يتعلق بالأكريليك وبعض المواد الأخرى ذات المواصفات الجيدة. وقد وجد أن الأفران (غازية أو كهربائية) هي الطريقة الأنسب لتسخين وتلدين مثل هذه الصفائح البلاستيكية.

الدراسة التحليلية للتشكيل الحراري :

إذا تم تلدين صفيحة من البلاستيك الحراري بالتسخين، ثم طبقنا عليها ضغط من جهة واحدة لتوليد سطح حر، فإن الشكل الناتج سيكون له سماكة موحدة، يمكننا أن نحصل على قيمة هذه السماكة من خلال علاقة ثبات الحجم ووفق تناسب بسيط.

لكن في عمليات التشكيل الحراري في الحياة العملية تكون العملية أكثر تعقيداً، وذلك أننا نكون مضطرين لاستخدام قالب بارد نسبياً للحصول على

الشكل المطلوب، مما يؤدي إلى حدوث اختلاف في السماكة، لأن الصفيحة تتجمد عند السماكة التي تملكها لدى ملامستها للقالب.

بفرض تشكيل صفيحة حرارياً بسماكة (h_0) في قالب مخروطي كالمبين في الشكل (1-a)، ففي اللحظة (t) يكون البلاستيك ملامس للقالب حتى مسافة قدرها (s) ، في حين تكون بقية الصفيحة على شكل قبة كروية لها نصف قطر (R) وسماكة (h) ، فمن الشكل الهندسي للقالب يعطى نصف القطر بالعلاقة:

$$R = \frac{H - S \cdot \sin \alpha}{\sin \alpha \cdot \tan \alpha} \quad (1)$$

وسطح القبة (A) يعطى بالعلاقة:

$$A = 2\pi \cdot R^2 (1 - \cos \alpha)$$

بعد فترة زمنية $(t+dt)$ يصبح شكل الصفيحة كما في الشكل (1-b) وتتغير سماكة الصفيحة، وباعتبار ثبات الحجم نجد:

$$2\pi \cdot R^2 \cdot h = 2\pi \cdot R^2 (1 - \cos \alpha) \cdot h$$

$$= 2\pi \cdot (R + dR)^2 (1 - \cos \alpha) (h + dh) + 2\pi \cdot r \cdot h \cdot ds \cdot \sin \alpha$$

وبتعويض $(r = R \sin \alpha)$ وباستبدال قيمة (R) من العلاقة (1) والتعويض واختزال المعادلة نجد :

$$\frac{dh}{h} \left[2 - \left(\frac{2 \sin \alpha \cdot ds}{1 - \cos \alpha} \right) \right] = \frac{\sin \alpha \cdot ds}{(h - S \cdot \sin \alpha)} \quad (2)$$

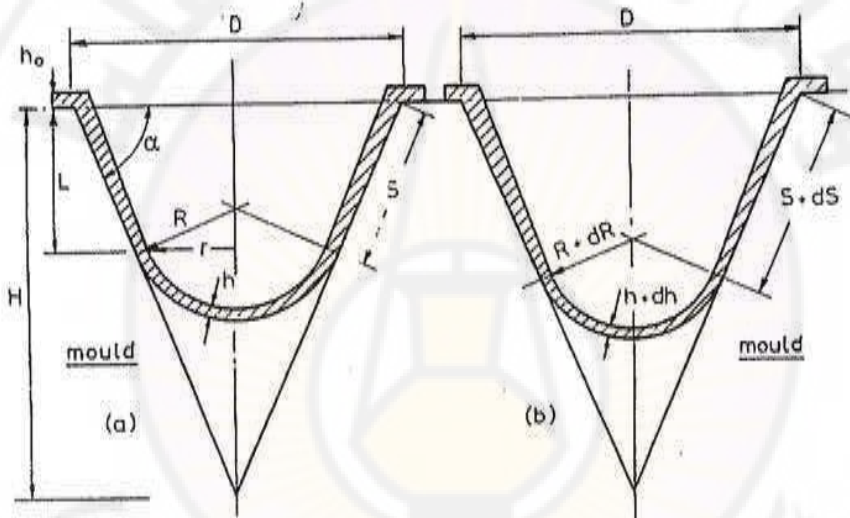
وبمكاملة هذه العلاقة وفقاً للمجال $(h = h_1)$ عند $(s = 0)$ تكون السماكة النهائية (h) على مسافة (s) على طول جانب القالب المخروطي تعطى بالعلاقة التالية:

$$h = h_1 \left(\frac{H - S \cdot \sin \alpha}{H} \right)^{\sec \alpha - 1} \quad (3)$$

والآن باعتبار الشروط الحدية نفسها المذكورة ، فعند دخول الصفيحة البلاستيكية للقالب فإنها تشكل جزء من القبة والذي لا يلامس القالب ويكون لدينا من قانون ثبات الحجم:

$$\left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot h_0 = \frac{2 \cdot \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 (1 - \cos \alpha) \cdot h_1}{\sin^2 \alpha}$$

$$h_1 = \frac{\sin^2 \alpha}{2 \cos \alpha} \cdot h_0$$



الشكل (1) تحليل التشكيل الحراري

وبتبدال (h_1) في المعادلة (3) نجد:

$$h = \frac{\sin^2 \alpha}{2(1 - \cos \alpha)} \left(H - \frac{S \sin \alpha}{H} \right)^{\sec \alpha - 1} \cdot h_0$$

$$\frac{h}{h_0} = \frac{1}{2} (1 + \cos \alpha) \left(\frac{H - L}{H} \right)^{\sec \alpha - 1}$$

(4)

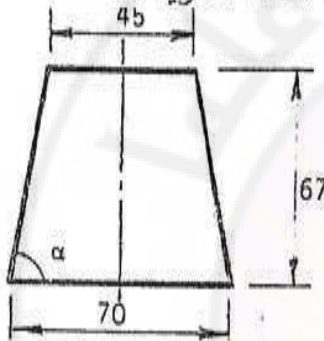
يمكن استخدام هذه المعادلة أيضاً من أجل حساب توزيع سماكة الجدار في الأشكال المخروطية العميقة، لكن تكون المعادلة صحيحة فقط حتى نقطة

تماس القبة مع مركز القاعدة، وبعد ذلك فإن الدراسة تتطلب توازن الحجم مع التجمد الحاصل على القاعدة والجوانب للمخروط.

مثال:

يراد تشكيل وعاء من صفيحة بلاستيكية مستوية سماكتها (2.5 mm)، مع العلم أن قطر قمة الوعاء (70 mm)، وقطر القاعدة (45 mm)، والارتفاع (67 mm).

احسب سماكة جدار الوعاء على بعد (40 mm) من الحافة العلوية له.



$$\alpha = \tan^{-1}(67/12.5)$$

من الشكل (1) نجد :

$$H = 35 \tan \alpha = 187.5$$

ومن المعادلة (4) نجد :

$$h/h_0 = \left(\frac{1 + \cos 79.43}{2} \right) \times \left[\frac{187.6 - 40}{187.6} \right]^{(\sec 79.43) - 1}$$

وبالتالي :

$$h = 0.203 \times 2.5 = 0.51 \text{ mm}$$

طرق القوالب بالتشكيل الحراري:

في الحقيقة هناك طرق كثيرة جداً للتشكيل الحراري تعتمد بمعظمها على مبدأ الضغط ونفخ الهواء وتخليته Vacuum، وأحياناً بتقنيات إضافية، وسنقوم بدراسة وذكر أهمها:

- ١- القوالب بالتشكيل الحراري (تخلية الهواء).
- ٢- القوالب بالتشكيل الحراري (بالضغط والتخلية).
- ٣- القوالب بالتشكيل الحراري (بالقوالب المتطابقة).
- ٤- القوالب بالتشكيل الحراري (بالضغط والنفخ والامتصاص).

- ٥- القولبة بالتشكيل الحراري (بالضغط وحلقة).
- ٦- القولبة بالتشكيل الحراري (الانزلاقي slip forming).
- ٧- طرق خاصة للتشكيل الحراري.
- ٨- طرق مختلطة بالضغط والنفخ والامتصاص (التخلخل).

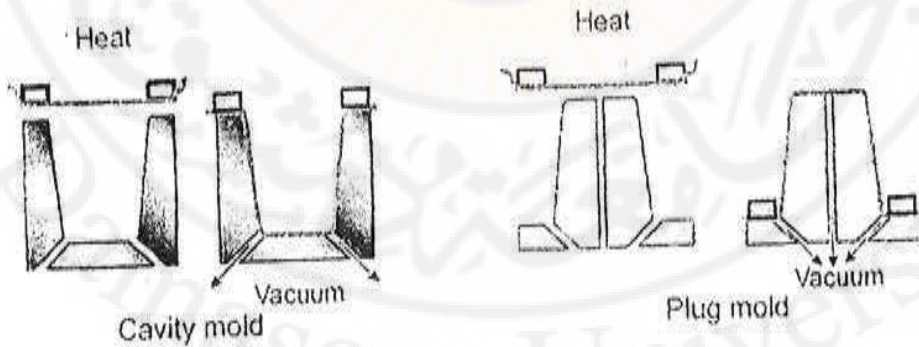
عمليات التشكيل الحراري :

في الحقيقة هناك طرق كثيرة لا حصر لها للتشكيل الحراري تعتمد بمعظمها على مبدأ الضغط ونفخ الهواء وتخليته Vacuum وسنقوم بدراسة وذكر أهمها:

١- القولبة بالتشكيل الحراري (بتخلية الهواء) : الشكل (2)

ويتم في هذه الطريقة ربط الصفيحة على وجه القالب المفتوح وهو مؤنث وتعرض للمصدر الحراري وبعد إتمام التسخين يمتص الهواء المفرغ من هذه الصفيحة إلى أسفل القالب المفتوح من ثقب صغيرة بأسفله وبذلك يشترك نوعان من ضغط الهواء في هذا التشكيل:

- أ- الضغط الجوي العادي الذي يدفع الصفيحة إلى الأسفل.
- ب- الضغط السلبي الناجم عن تخلية الهواء، وتأثير فرق الضغط تتوضع صفيحة اللدائن على سطح القالب.

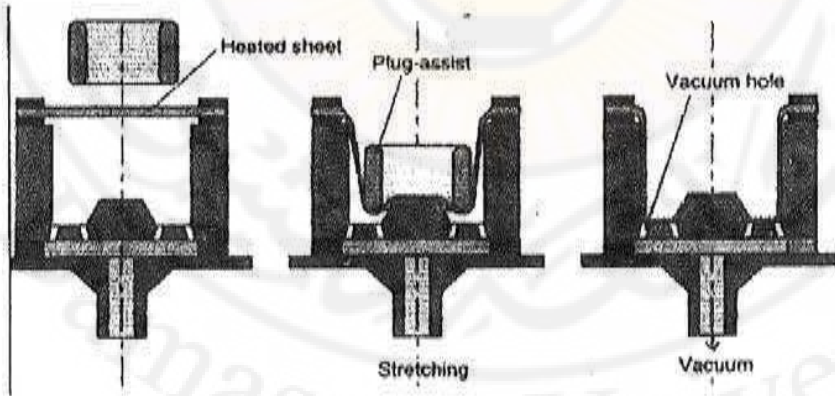


الشكل (2)

٢ - القوالب بالتشكيل الحراري (بالضغط والتخلية): الشكل (3)

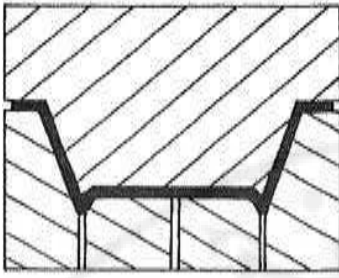
ترتبط في هذه الطريقة صفيحة اللدائن بإطار خاص ويجري التسخين من جهتها العلوية، ويكون القالب تحتها مذكراً بارزاً مجوف الداخل، ويتضمن سطح القالب ثقوباً لخروج الهواء المتصل بجهاز تخلية الهواء حيث تتم العمليات التالية:

- ١- إما أن يرفع القالب المحمول على قوائم متحركة آلياً لأعلى ليُدفع صفيحة اللدائن الملمنة بالحرارة أو تنزل الصفيحة لتضغط على القالب بالأسفل وذلك لحصر طبقة الهواء جيداً بين الصفيحة والقالب.
- ٢- يجري تخلية الهواء المحصور Vacuum عن طريق الثقوب الموجودة في جوف القالب نفسه وبمساعدة ضغط الهواء الجوي الذي يقوم خارجياً بالضغط الموجب على صفيحة اللدائن، يتم انطباق هذه الصفيحة وتوضعها على القالب تماماً متخذة شكله وتوزع سماكة الصفيحة الساترة على الأجزاء البارزة من القالب بين قمتيه والأطراف المربوطة بإطار تثبيت الصفيحة.



الشكل (3)

٣- القوالب بالتشكيل الحراري (بالقوالب المتطابقة): الشكل (4)



الشكل (4)

إن القوالب المستعملة في هذه الطريقة مؤلفة من نصفين علوي مذكر وسفلي مؤنث وهي متطابقة أحياناً من الخشب أو المعادن الخفيفة أو الإيبوكسي.. إلخ، ويتم التشكيل كما يلي:

١- يتم ضغط صفيحة اللدائن بعد التسخين عند نزول النصف العلوي وانطباقه على النصف السفلي.

٢- نتيجة للضغط تنحصر الصفيحة بين شقي القالب مؤلفة سائراً للقسم المؤنث.

٣- يقوم القسم المذكر من القالب بتأمين الضغط بتحريكه إلى الأسفل إضافة إلى تزويده بمصدر هوائي ضاغط يتسرب من ثقوبه ليتم توضع الصفيحة تماماً على القالب وهذه الطريقة تعطي تشكلاً جيداً للصفيحة بأقل ما يمكن من التسامح في القياسات مع الاحتفاظ بأقرب ما يكون إلى شكل القالب، كما يكون توزيع مادة صفيحة اللدائن بشكل متساوٍ السماكة على سطح القالب.

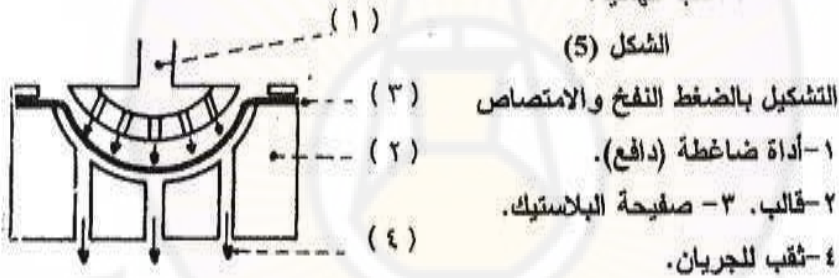
٤- إن الهواء المساعد للضغط يؤدي دور التبريد ويفتح القالب تتحرر القطعة المقولبة نهائياً ويتم تشذيبها.

٤- القوالب بالتشكيل الحراري (بالضغط والنفخ والامتصاص): الشكل (5)

تتم هذه الطريقة كالسابق بقالب مؤنث في الأسفل ودافعة علوية مذكورة لكنها بهذه الطريقة لا تكفي بزيادة مساحة الصفيحة بتمطيطها وإنما تثبيتها أيضاً

من أسفلها على قاعدة القالب المؤنث، كما تختلف عنها بعدم تشكل الفقاعة بعد التسخين ويتم التشكيل حسب المراحل التالية:

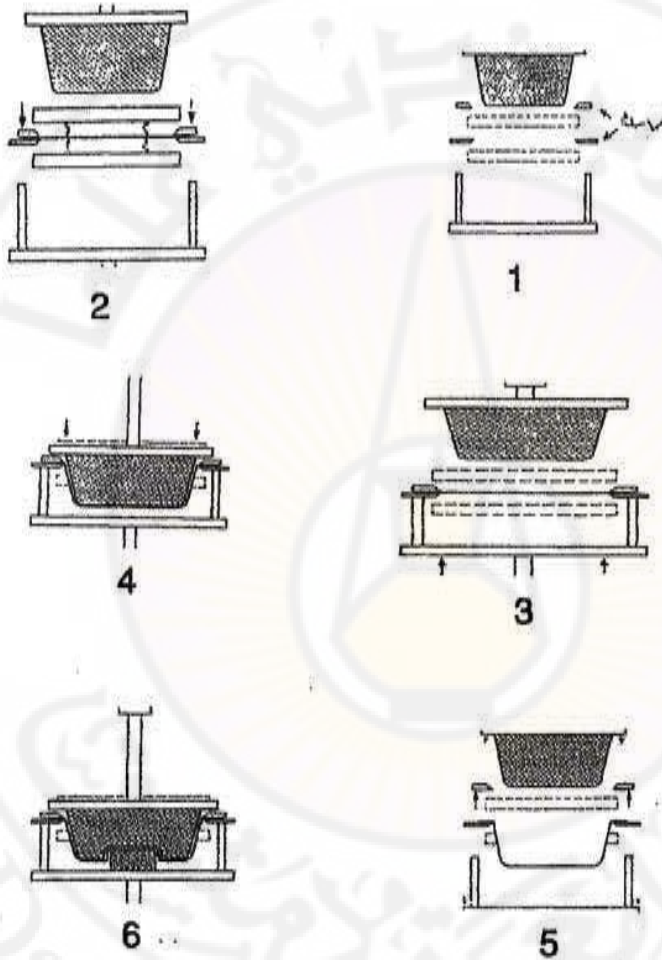
- ١- بعد تسخين الصفيحة المرغوب في قولبتها.
- ٢- ينزل القسم العلوي الدافع للأسفل ويقوم بدورين في الوقت ذاته، تمطيط الصفيحة إلى الأسفل داخل القالب والضغط على جوانب الصفيحة على القالب نفسه.
- ٣- يصار إلى تخلية الهواء من أسفل الصفيحة بواسطة ثقب في تجويف القالب المؤنث كما يسلط الهواء المضغوط عن طريق الدافع المذكور لإتمام الضغطين الموجب والسالب على الصفيحة وبالتالي ضغطها تماماً بين الشقين العلوي والسفلي.
- ٤- يتم تبريد القطعة ويرتفع الدافع المذكور وتحرر القطعة المقولبة ثم تشذب نهائياً.



٥- القولية بالتشكيل (بمساعدة ضاغط وحلقة):

وهي من أبسط طرق التشكيل وأقلها كلفة حيث تقوم أداة الضغط بدور طبقة القالب الذكر بالإضافة لكونها أداة ضغط. تستخدم هذه الطريقة على نحو واسع لتشكيل الأواني كبيرة الحجم. والشكل (6) يبين مراحل العملية بوضوح مع ملاحظة أن التسخين يكون بالمرحلة، الثانية وإن الضاغط يجب أن يكون من معدن قليل الناقلية للحرارة كي لا يبدد حرارة الصفيحة البلاستيكية التي ستأخذ شكله من خلال الالتصاق بجدرانه بشكل كامل.

تتميز هذه الطريقة بانتظام سماكات الجدران تقريباً لكافة أسطح المنتج.
وتعتبر المرحلة الأخيرة كمرحلة لفظ المنتج.

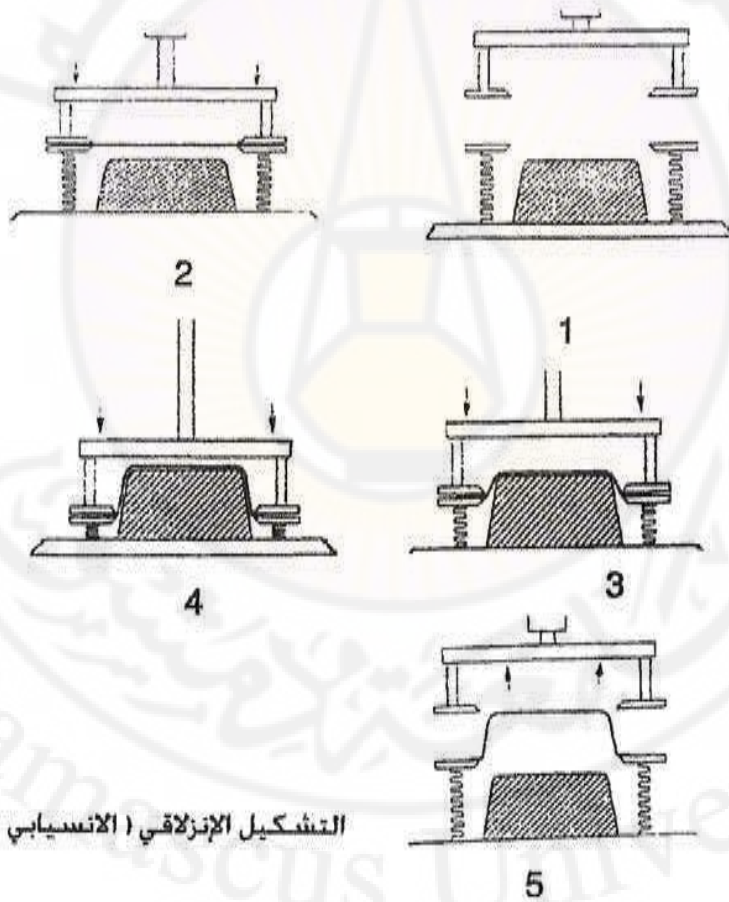


التشكيل بمساعدة ضاغط و حلقة

الشكل (6)

٦- التشكيل الانزلاقي: Slip forming

يمكن أن نعدّ هذه الطريقة نموذجاً متطوراً لما سبق من طرق التشكيل حيث تم استخدام مماسك نابضية ودون الحاجة لأي نوع من ضغط الهواء. ويبين الشكل (7) مراحل إتمام عملية التشكيل المذكورة، مع ملاحظة أن المماسك العلوية تكون مثبتة مع الهيكل العلوي أما المماسك السفلية فهي محمولة على نوابض تعمل بتأثير قوة الضغط الناتجة من المماسك العلوية في أثناء مرحلة التشكيل.



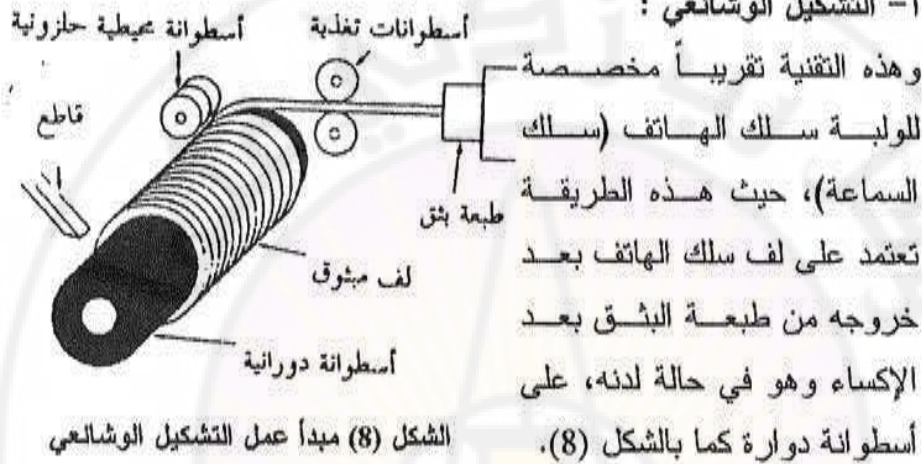
التشكيل الانزلاقي (الانسيابي)

الشكل (7)

في المرحلة (2) يتم تسخين الصفيحة البلاستيكية إلى درجة حرارة التشكيل. عند التشكيل يجب أن يكون إطباق المماسك العلوية والسفلية جيداً (أي انضغاط كبير للنوابض). التبريد واللفظ يتمان في المرحلتين الأخيرتين.

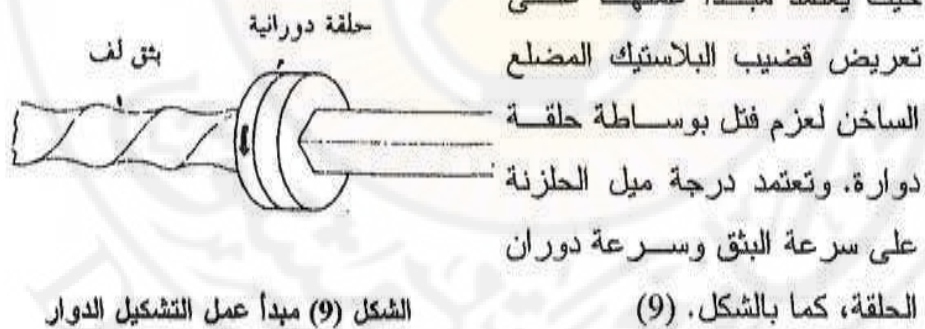
٧- طرق خاصة للتشكيل:

أ- التشكيل الوشالعي :



الشكل (8) مبدأ عمل التشكيل الوشالعي

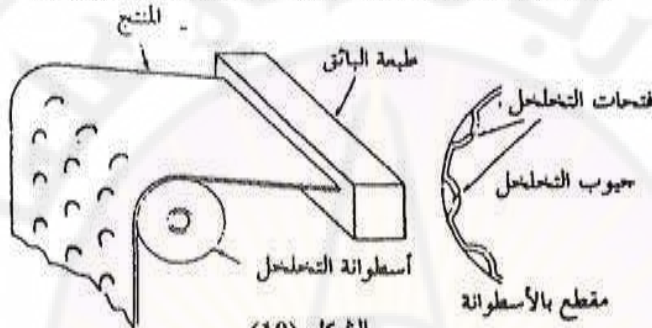
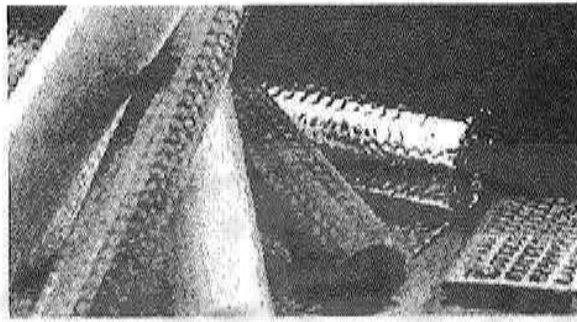
ب- التشكيل الدوار:



الشكل (9) مبدأ عمل التشكيل الدوار

ج- تشكيل الفقاعات الهوائية بالتخلخل للرقائق:

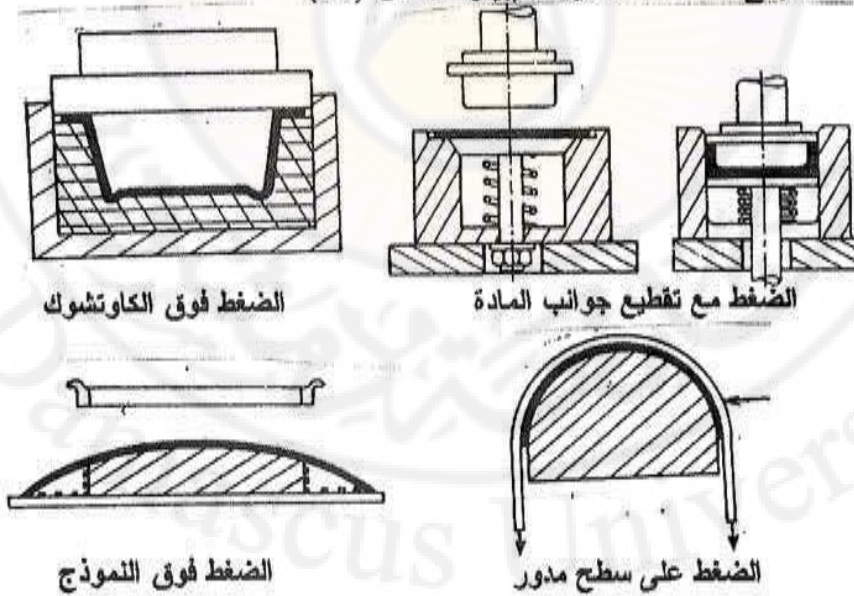
وتستخدم هذه التقنية في صناعة رقائق التغليف ذات الفقاعات الهوائية حيث يتم تشكيل بشفط الهواء المحصور بين الرقاقة وأسطوانة التخلخل الدوارة الحاوية أعداداً كبيرة من الثقوب المحفورة على محيطها كما بالشكل (10)



الشكل (10)

مبدأ عمل التشكيل الحراري بالغرس - التخلخل -

د- أنواع خاصة للتشكيل : يبينها الشكل (11)

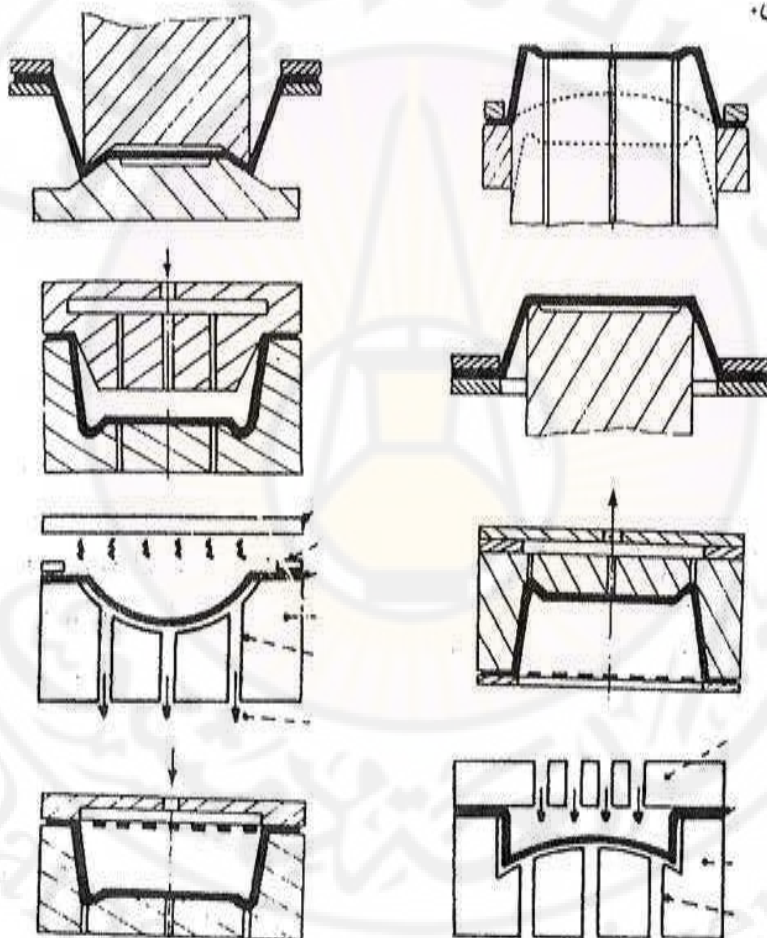


الشكل (11) أنواع خاصة للتشكيل بالضغط

وهناك طرق خاصة أخرى تستخدم لصناعة الأفنية المخصصة لنقل السوائل وتستخدم في كلية الهندسة الكيميائية بصورة خاصة.

٨- طرق مختلطة بالضغط والنفخ والتخلخل (الامتصاص):

الشكل (12) يبين حالات مختلفة للتشكيل تشرح نفسها بنفسها وعلى الطالب مناقشة هذه الأشكال ليتمكن من استيعاب كل ما يصادفه من طرق تشكيل أخرى.



الشكل (12)

طرق مختلطة بالضغط والنفخ والتخلخل (الامتصاص)

التبريد والإخراج من القالب للقطع المشكلة:

يجب أن يكون التبريد سريع في نهاية عملية التشكيل لتجنب إنحناء القطعة المنتجة وهذا يؤدي إلى تراجع Retrait أكثر ضعفاً ولكن الإجهادات الداخلية تكون أكثر أهمية. يمكن زيادة سرعة التبريد بواسطة تبخير الماء وذلك بنفخ الهواء المضغوط أو بواسطة جريان الماء البارد في الأقنية الموجودة ضمن القالب.

بعد إخراج القطع من القوالب يجب تعديل وتنظيف سطوحها.

عيوب القطع المنتجة بالتشكيل:

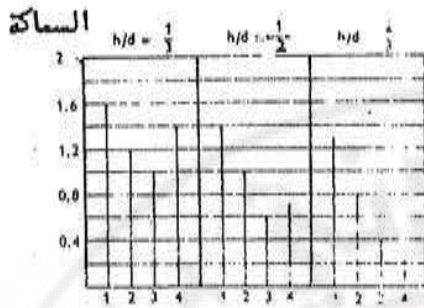
هناك نوعان أساسيان من العيوب تنتج من التشكيل: العيوب التي تنتج مباشرة عن طريق التشكيل وغير ممكن تجنبها (تغير السماكة)، والعيوب المرتبطة بأخطاء التصنيع نفسه وبالمعدات.

سنقتصر بالحديث عن عيوب تغير السماكة الناتجة عن التقنية المستعملة فقط: تتغير سماكة الألواح عند التشكيل وهذا يتعلق بعملية التشكيل نفسها. النفخ أو الامتصاص الحر الشكل (13) أو في قالب الشكل (14) والشكل (15) يمكن أن يؤدي إلى ضعف هام في القطعة في الأمكنة الأكثر بعداً عن مماسك صفيحة التسخين. بالمقابل فالأجزاء الجانبية تتحرف لأن القطعة تبرد بالتلامس مع القالب والأداة الضاغطة فتتشوه قليلاً. بمعالجة جيدة من حيث أن النقطتين السابقتين يمكن تنظيم السماكات إلى حد ما.

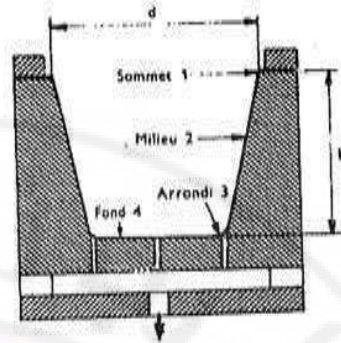


الشكل (13)

تغير السماكة بالنفخ أو الامتصاص الحر



الشكل (15)



الشكل (14)

تغير السماكة لأجل النفخ والامتصاص في القالب

يتم اختيار عملية وطريقة التشكيل الأكثر ملائمة للإنتاج استناداً للعديد من العوامل منها:

نوع المادة المشكلة، عمق القطعة، الدقة المطلوبة، سماكة الجدران، المعدات والوسائل المتوفرة، مظهر القطعة... إلخ.

هناك نوعين متميزين لتطبيقات التشكيل الحراري وذلك حسب الطبيعة التجارية، خواص المعدات المستعملة وأهمية الكميات المنتجة. هذين النوعين هما:

١- تشكيل الألواح: حيث تستعمل بمعظم الحالات المواد التالية:

.PS – ABS – PVC – PMMA

٢- تشكيل الصفائح الرقيقة والأغلفة وغالباً يستعمل كل من :

Butadiène – PS – PVC

التطبيقات العملية والمواد المستعملة:

إن تطبيقات السلع المقولبة بالتشكيل الحراري متعددة وتختلف أشكالها كثيراً سواء من حيث القولية أو اختلاف طريقة وآلية التشكيل الحراري نفسها. كما

أن هنالك عدداً كبيراً من اللدائن الملدنة يمكن استعمالها وقبولتها حسب خصائص القطعة المطلوبة ولكن جميع القطع المشكلة بهذه الطريقة يجب أن تتحقق فيها الأمور التالية:

- ١- أن تكون جيدة الخصائص الميكانيكية.
- ٢- أن تكون الصفائح من مواد اقتصادية.
- ٣- تمتع الصفائح بخصائص حرارية جيدة بالحدين الأعلى والأدنى.
- ٤- تحقق الكثافة المطلوبة.
- ٥- مقاومتها للبلل والرطوبة.
- ٦- قابليتها لنفاذ الأوكسجين منعاً من تأكسدها.
- ٧- متانتها ضد الصدمات.
- ٨- مقاومتها ضد الكسر.
- ٩- ملائمتها لأشكال التغليف.
- ١٠- صفاء المنظر واللون.
- ١١- المقاومة للعوامل الجوية.
- ١٢- كلفة الوحدة حسب الحجم.
- ١٣- سهولة التشكيل.
- ١٤- سهولة الطبع واللصق والتزيين.

وتعدّ صفائح الـ (PS) ومشتقاتها أكثر أنواع اللدائن الملدنة قابلية ومرونة للاستعمال بهذه الطريقة، وتغلف بها المواد الغذائية بصورة إفرادية أو بشكل عبوات عائلية كبيرة لمنتجات كالحليب واللبن والزبدة والدهون، وقد تستعمل الصفائح الرغوية للقولبة أيضاً لأكثر هذه الغايات كعبوات لها صفة عازلة إضافية نتيجة لتكوينها المسامي الرغوي، إذ يصنع منها أطباق لعرض اللحوم أو البيض، أو كؤوس للسوائل أو الشراب الحار أو البارد وللوجبات الساخنة

أو المجمدات وغير ذلك من المقولبات الصغيرة الحجم للاستهلاك اليومي العادي كما بالشكل (16).



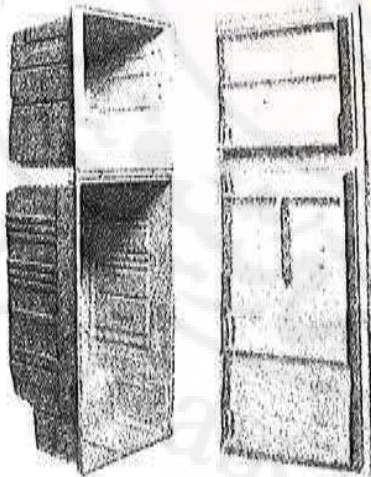
الشكل (16)

بعض منتجات البلاستيك الرغوي

كما يجب الإشارة إلى أن مواد أخرى تشكل حرارياً دخلت مجال التغليف مثل (Pc)، (PE)، (PP)، (PVC) والأكريليك (صناعة التغليف الدوائي). إن الفرق بين استخدام مادة وأخرى هو الكلفة الاقتصادية بالإضافة إلى مطابقتها للشروط القانونية للصحة الغذائية وخاصة إذا كانت ملاصقة بشكل مباشر للمواد الغذائية.

تطبيق عملي:

صناعة بطانة باب وتجويف داخل البراد بالتشكيل الحراري الشكل (17) وتستخدم غالباً مادة (ABC) أو البوليسترين (Ps) كذلك وهما مواد بلاستيك حراري (Tp).



الشكل (17)

١- تشكيل بطانة باب البراد: ويتم بوضع الصفيحة أو اللوح البلاستيكي تحت مشعات حرارية تقوم بتلدينها حتى درجة حرارة معينة، ويكون قالب بطنانة باب البراد تحت الصفيحة حيث يتم رفعه وتبدأ عملية التخلية أي امتصاص الهواء المحصور بين اللوح والقالب. تستمر هذه العملية حتى تأخذ الصفيحة شكل القالب تماماً، ثم تبدأ عملية التبريد بالهواء المضغوط حتى درجة حرارة لا يتشوه عندها المنتج. يزال المنتج وتبدأ الدورة من جديد. هناك تقنيات أخرى مشابهة يمكن أن تتم بأكثر من مرحلة.

٢- تشكيل تجويف البراد: ويتم غالباً على آلة التشكيل ذات الطاولة الدوارة، حيث تكون على شكل دائرة مقسمة لأربعة أقسام وآلية العمل تتم وفق المراحل التالية كما في الشكل (18) :

المرحلة الأولى: يتم تثبيت الصفيحة البلاستيكية في الربع الأول من الطاولة كما بالشكل (18-a) وتتم هذه العملية بآلية هيدروليكية أو يدوياً.

المرحلة الثانية: تدور الطاولة ربع دورة فتصبح الصفيحة في القسم الثاني بين مشعين حراريين يعملان بالطاقة الكهربائية وهي مرحلة التسخين البطيء.

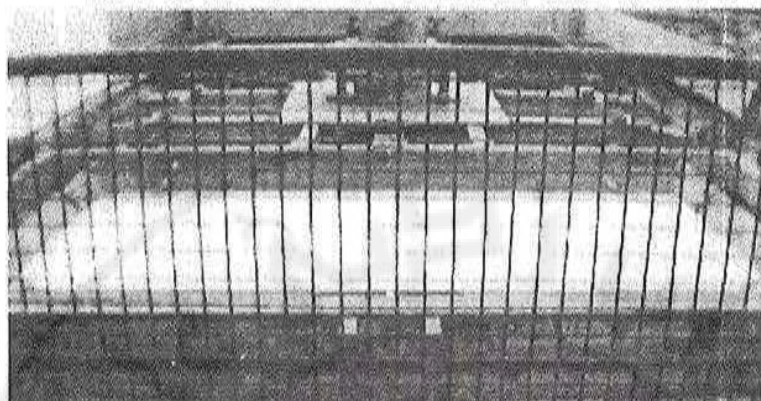
المرحلة الثالثة: تدور الطاولة ربع دورة كذلك لتدخل الصفيحة بين مشعي التسخين السريع.

المرحلة الرابعة: وهي الأكثر أهمية حيث تدور الطاولة دورة ثالثة وتتم العمليات التالية:

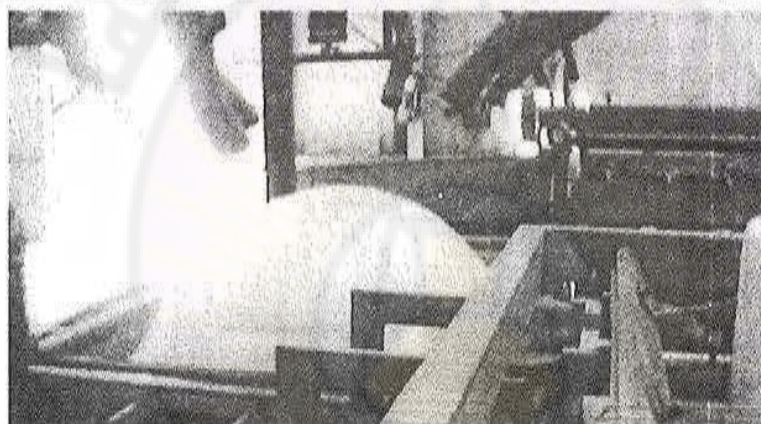
١- يتم نفخ الهواء من أسفل الصفيحة كما هو مبين بالشكل (18-b) ويستمر النفخ حيث تصبح الصفيحة أشبه بقبة كروية حتى قيمة معينة يتم تحديد ارتفاعها بواسطة حساسات ضوئية.

٢- بعد الانتهاء من عملية النفخ يتم رفع القالب الموجود أسفل الصفيحة حتى مستوى معين مدروس بدقة حيث تبدأ العملية المعاكسة وهي

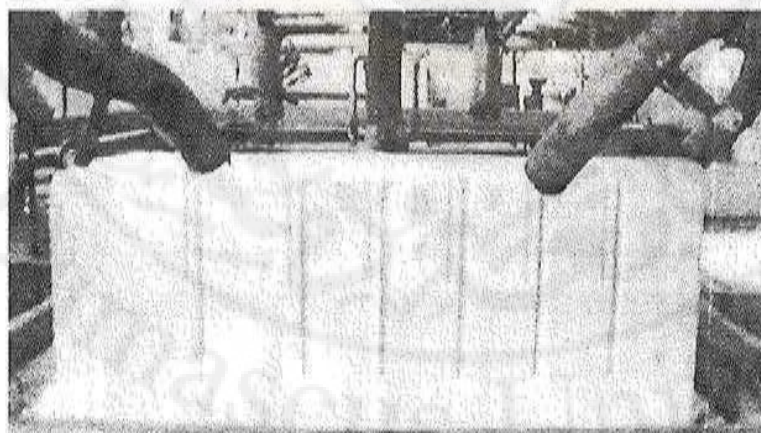
امتصاص الهواء الذي تم استخدامه في النفخ حتى تلامس الصفحة
القالب وتتشكل حسب شكل هذا القالب كما بالشكل (18-c).



a



b



c

الشكل (18)

يجب أن يكون القالب دقيق وبسطح أملس وبه ثقب دقيقة لامتصاص الهواء دون ترك آثار على السطح.

٣- بعد الانتهاء من امتصاص الهواء يبدأ تبريد تجويف البراد البلاستيكي المشكل عن طريق أنابيب هواء ومراوح كما هو مبين بالشكل، يستمر التبريد حتى تصل المادة البلاستيكية لدرجة حرارة لا تتشوه عندها.

٤- بعد انتهاء التبريد يتم إنزال القالب من القطعة البلاستيكية إلى وضعه الأصلي، ومن ثم تدور الطاولة ربع دورة أخرى لتعود إلى وضعها الأولي ويتم فك التثبيت ونحصل على المنتج.

إن عملية التشكيل الحراري هذه مستخدمة في مصانع البرادات وقد نلاحظ بعض الاختلافات التقنية من مصنع إلى آخر. ويستخدم هذا المبدأ بالتشكيل الحراري لإنتاج قطع كبيرة أخرى مشابهة وذلك عند الحاجة للمرور بمراحل متعددة لإنجاز عملية القوالب بالتشكيل الحراري.

تطبيق عملي:

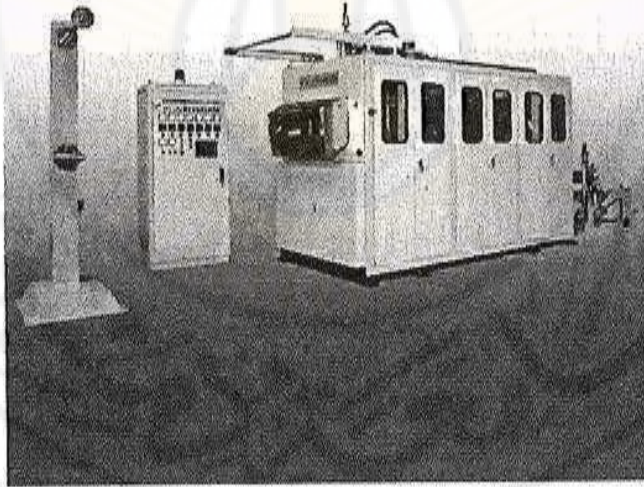
خط تصنيع الكؤوس بالامتصاص (الشفط)



وتنتج من المواد PP , PE , PS

يبين الشكل (19) آلة إنتاج الكؤوس البلاستيكية، حيث يتم تسخين اللوح البلاستيكي إلى درجة حرارة معينة ليصبح مناسباً للتشكيل ويوضع على القالب لتتم عملية التشكيل بالشفط (الامتصاص) ومن ثم قص ولفظ المنتجات بسرعة، وتكون غالباً كؤوس للماء والحليب.. وعبوات الأغذية.. وهناك آلات تستخدم مبدأ ضغط الهواء.

يضاف إلى آلة تصنيع الكؤوس آلة أخرى لتجميعها. وهي آلة مساعدة تقوم بنقل الكؤوس من مخرج آلة التصنيع إلى منطقة التجميع حيث توضع الكؤوس داخل بعضها البعض ويضبط الارتفاع أي عدد الكؤوس في كل مجموعة حسب الطلب ثم تغلف. استخدام هذه الآلة المساعدة يضمن النظافة إلى حد مقبول.



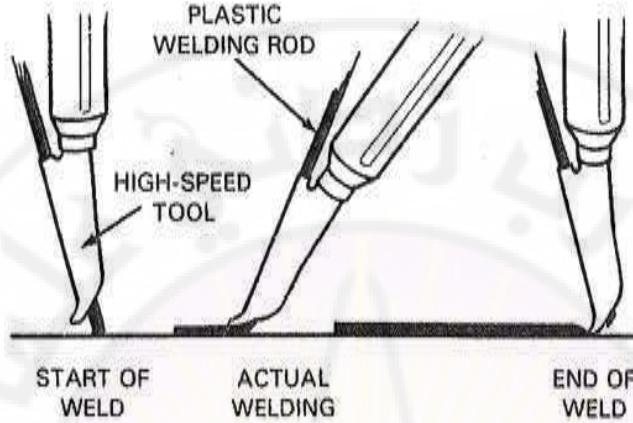
الشكل (19)

آلة إنتاج الكؤوس البلاستيكية



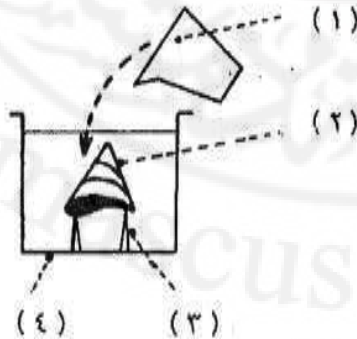
الفصل الرابع

الصب والتضمين - اللحام والإصاق



أولاً : الصب والتضمين Casting plastics

تطبق هذه العملية على كل من البلاستيك الحراري (Tp) والبلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) وتتم هذه العملية بصب المادة البلاستيكية السائلة ضمن قالب حيث تتصلب وتأخذ شكل هذا القالب ويمكن أن تكون المادة مونومير يستكمل البلمرة بعد الصب ويمكن استخدام مادة منشطة Catalysts لتسريع التفاعل. أم التضمين فهو وضع قطعة أو دعاية أو شعار داخل قاع القالب حيث يتم الصب فوقه كما بالشكل (1) ويمكن أن تكون العملية بشكل إكساء أو تلبيس بحيث يكون حجم القطعة أكبر من حجم المادة البلاستيكية المصبوبة.



الشكل (1)

١- مادة الـ Polyester.

٢- الصدفية.

٣- حامل شفاف.

٤- قالب من الـ PE.

مميزات العملية:

- ١- بساطة وسهولة العملية
 - ٢- القوالب قليلة الكلفة.
 - ٣- إمكانية إنتاج قطع سميكة.
 - ٤- صنع نماذج كهذا للمصانع والشركات تمثل رمز المصنع أو الشركة أو منتجها محاطاً بالمادة البلاستيكية الشفافة جداً.
- مساوئ العملية:

- ١- العملية يدوية.
 - ٢- مقاومة ميكانيكية ضعيفة أي أن القطع قد لا تكون متماسكة بشكل كبير.
 - ٣- خطر تشكل فقاعات هوائية عند الإدخال لذا ينصح بهز القالب جيداً وتركه ليسكن أو إجراء العملية في مجال مملئ من الهواء.
- القالب:

يمكن أن يكون بسيط جداً أو معقد التركيب، وغالباً تكون غير مكلفة وتصنع من الخشب أو الجبسين أو من مواد بلاستيكية (خاصة مادة الـ PE) أو من المعدن.

الصب في المخبر Casting Laboratory :

تتم عملية الصب في المخابر عادة باستخدام ريزينات متصلبة حرارياً مثل البوليستر الغير مشع (UP) والسيليكون (SI) والإيبوكسي (EP)، يضاف إليها مادة محفزة (Catalyst) لتسريع عملية البلمرة والتصلب.

تصنع القوالب المستخدمة من الخشب، الزجاج، PE، المعادن ويستخدم عادة مادة مانعة للالتصاق لتسهيل عملية نزع المنتج من القالب.

مراحل الصب:

- ١- تهيئة القالب المناسب وطلاء جدرانه الداخلية بمادة مانعة للالتصاق.
- ٢- سكب الريزين في وعاء خاص بعد مزجه بالمادة المسرعة للتفاعل. ومزجه ببطء لمنع تشكل فقاعات الهواء.
- ٣- سكب المزيج في القالب وتركه فترة من الزمن ليتصلب، ويتعلق هذا الزمن بكمية المادة المحفزة للتفاعل المضافة وبدرجة حرارة المخبر.
- ٤- نزع المنتج من القالب بعد أن يتصلب الريزين ويأخذ شكل القالب.

المواد المستخدمة في الصب والتطبيقات:

من المواد المستخدمة في عمليات الصب والتضمين:

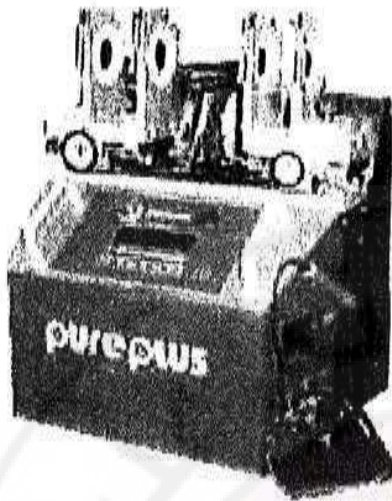
- ١- البوليستر **Polyester**: يستخدم لصيانة العينات العلمية البيولوجية والجيولوجية لحمايتها من الرطوبة والبكتريا والصدمات والحرارة كما يستخدم لصيانة بعض أنواع الأثاث والمجوهرات الثمينة، ويتم الصب بخلط ريزين البوليستر مع المادة المحفزة داخل وحدة رش آلية.
- ٢- الإيبوكسي **Epoxy**: يمكن خلط الإيبوكسي مع بعض المساحيق كالمعادن ويستخدم بشكل كبير في صناعة السيارات والطائرات والقوالب البلاستيكية **Moulds والنماذج Die**.
- ٣- الأكريليك **Acrylic**: يستخدم لإنتاج الألواح والقضبان والمجوهرات التقليدية والرخام الصناعي وكرات البلياردو. تصنع ألواح الأكريليك الشفافة بسماكة أكبر من (4 mm) وتستغرق الدورة الإنتاجية نحو 30 ساعة للوح الواحد وتكون الكلفة مرتفعة، أما الصفائح بسماكة أقل من (4 mm) فتنتج بالبثق لـ (PMMA).
- ٤- السيليكون **Silicon**: إن مرونة ريزين السيليكون وتحمله درجة حرارة عالية أكثر من (300°C) تساعدنا في صناعة قوالب الصب والتي تصب فيها سوائل ريزينات أخرى حيث يمكن الحصول على منتجات ذات تفاصيل دقيقة

كما أن إخراج القطعة من القالب سهلة جداً. ويمكن استخدام القالب عدد كبير من المرات وذلك حسب نوع المادة المصبوبة فيه.

- ٥- البولي يوريثان (PUR) Polyurethane: يستخدم في إنتاج الأجسام الصلبة ذات المرونة كالأجهزة المنزلية وأجزاء الأثاث ومصادم السيارات.
- ٦- البوليأاميد (PA) Polyamide (النايلون): يستخدم في إنتاج المسننات والنوابض والجلب والأحواض المقاومة للمواد الكيميائية والقوارب، وتتمتع فتحات البوليأاميد بمقاومة جيدة للتآكل ويحدد القالب حجم وسماكة القطعة المنتجة.

تطبيقات :

- بصورة عامة يمكن بواسطة السكب إنتاج تصاميم مختلفة، تلبس وإكساء القطع المختلفة أو كعازل ضمن مجموعات. من بين التطبيقات كذلك:
- تقليد الأطعمة، طعم صناعي للصيد... إلخ.
 - صفائح من الأكرليك Acrlique بثخانة أكبر من (4mm) وتستغرق الدورة الإنتاجية حوالي (30 h) للصفحة الواحدة وتكون الكلفة مرتفعة خصوصاً للصفائح المستخدمة بصناعة الطائرات (القائح الأقل سماكة بواسطة البثق لـ PMM).
 - إكساء الأدوات الإلكترونية بواسطة الـ Polyester أو epoxydes (عازل) أو Silicons (عازل واقى من الصدمات).
 - صيانة عينات تشريحية، حيوانية أو جيولوجية.
 - صنع نماذج كهديا للمصانع والشركات تمثل رمز هذا المصنع أو الشركة أو منتجها محاط بالمادة البلاستيكية الشفافة جداً.



آلات لحام البلاستيك:

تستعمل آلات لحام البلاستيك للحام البوليميرات وهذه المواد تطرى بالحرارة وتتضم إليها طبقات البلاستيك الرقيقة (الأفلام) بمساعدة الحرارة والضغط ويؤدي ذلك إلى ارتباط السلاسل الجزيئية لتشكيل طبقات اللحام.

أنواع عمليات اللحام :

آلات لحام البلاستيك

- ١- اللحام فوق الصوتي (Ultrasonic Welding): يستعمل هذا النوع في الصمامات، الكاسيتات، قطع الغيار والمكونات الآلية.
- ٢- اللحام بالاهتزاز (Vibration Welding): هذا النوع من اللحام كثير الاستعمال في معدات الاستعمال وصناعة السيارات.
- ٣- اللحام بالاحتكاك (Friction Welding): هذا اللحام يضمن جودة عالية للحام وهو مناسب للقطع الدائرية.
- ٤- اللحام بالصفحة الساخنة (Hotplate Welding): يستعمل في صناعة قطع الغسالة والعديد من القطع الآلية.
- ٥- اللحام بالغاز الساخن (Hot gas Welding) : يستعمل في تشكيل اللدائن (بالضغط).
- ٦- اللحام بالغرس (Implant welding): يستعمل في تصنيع مصادم السيارات.

ثانياً : لحام وإصاق المواد البلاستيكية:

Welding and adhesion Plastics :

إن عمليات اللصق واللحام أساسية وضرورية لربط وترتيب المنتجات البلاستيكية المشكلة والتي تحتاج إلى وسائل للتثبيت.

الإصاق Adhesion :

تتم عملية الإصاق على شكلين:

١- استخدام ريزين سائل يوضع على الطرفين المراد لصقها حيث تقوم بإذابة وتنعيم السطوح المراد وصلها. وبضغط السطحين معاً فإن الجزيئات المذابة تتداخل مع بعضها ويتبخر الريزين السائل اللاصق تصبح القطعتين كقطعة واحدة.

إن المواد الثرموبلاستيكية ذات التركيب الكريستالي العالي مثل (PE) لا تذوب بسهولة بالمذيبات فيصعب لصقها بهذه الطريقة أما المواد ذات التركيب العشوائي كالبوليستر والبولي كربونات فإذا ثبتها سهلة وبالتالي لصقها سهل.

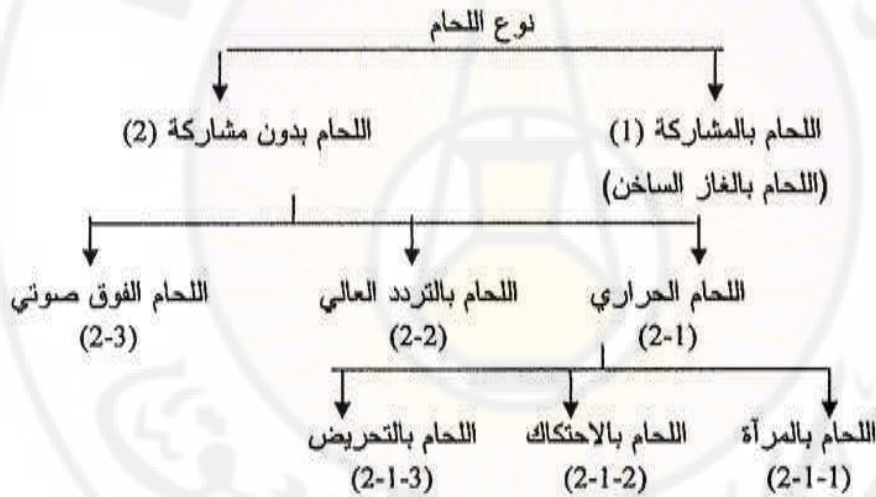
٢- استخدام شريط لاصق رقيق من مادة أخرى يلتحم بالسطحين المراد لصقهما بسبب التجاذب الذي يحدث بين جزيئات الشريط اللاصق وجزيئات السطوح المراد وصلها، ومن أكثر المواد المستخدمة بهذه الطريقة ريزينات السيليكون.

يجب الانتباه إلى أن أبخرة المذيبات اللاصقة تكون سامة تؤثر على الجهاز التنفسي والجلد لذا يفضل إجراء عمليات الإصاق في أماكن جيدة التهوية. إن عملية الإصاق تستخدم كل من مواد الـ (Tp) و الـ (Ts) على شرط استخدام وتهيئة محاليل مذيبيّة أو مواد لاصقة مناسبة.

اللحام Welding :

إن اللحام هو عملية تجميع لقطعتين أو أكثر من طبيعة واحدة، ويتم ذلك بتسخين السطوح بالتلامس حيث يجب أن تكون المواد قابلة للتجميع بالحرارة أي بلاستيك حراري Thermoplastic باستثناء الـ Polytetrafluorethylen هذه المواد منها سهل اللحام ومنها الصعب وطرق اللحام المتعددة ليسن قابلة للتطبيق لكل أنواع بلاستيك (Tp)، فمثلاً طريقة اللحام بفقد العزل الكهربائي تعطي نتائج جيدة للـ (PVC) في حين لا تصلح مطلقاً للـ (PE) حيث ظل زاوية الفقد ضعيف جداً.

المخطط التالي يبين طرق اللحام الأساسية:



١- اللحام بالمشاركة (اللحام بالغاز الساخن Hot Gas Welding)

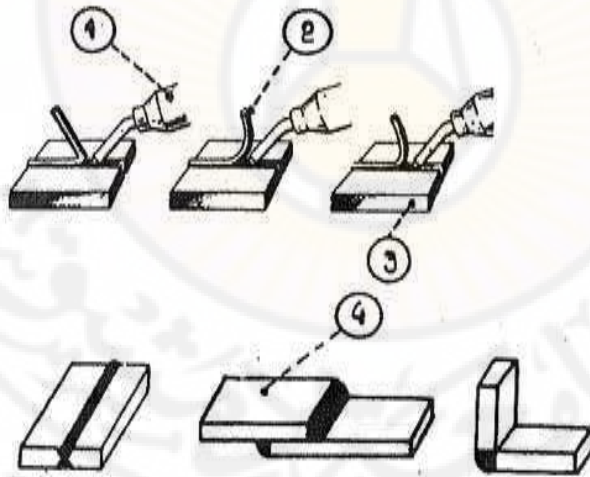
لقد تطورت عملية اللحام بالغاز الساخن بشكل سريع خاصة لحام الخزانات الكبيرة الحجم، وفي عملية اللحام الإصلاح ولحام وصلات الأنابيب. ويستخدم لهذه العملية حملاج (شلامو) يعطي هواء ساخن (بدون لهب) يولده

مضاغط أو زجاجة هواء مضغوط يسخن كهربائياً أو باستخدام غاز مضغوط مسخن عديم الاشتعال.

وبكل الأحوال يجب أن تكون درجة حرارة الهواء أو الغاز على بعد (5mm) من نقطة انطلاقه تتراوح بين (200-270 °C) وضغط (0.1-0.5 bar).

يصهر الهواء الساخن قضيب اللحام فوق القطع المراد لحامها وتجميعها والتي يجب أن تكون مشطوفة (إذا كانت السماكة أكثر من 1mm) لتأمين اختراق قضيب اللحام بعمق مناسب بين السطحين.

في حالة اللحام المتجانس يجب أن تكون مادة القضيب اللحامي مماثلة لمادة القطع الملحومة. وتصنع قضبان اللحام عادة بالبنق بمقطع دائري ومستطيل أو مثلثي، أما سرعة اللحام فتصل إلى (7 m/min).
يبين الشكل (2) توضيحاً لمراحل عملية اللحام.



الشكل (2) اللحام بالهواء الساخن

- ١- حملاج يعطي هواء ساخن.
- ٢- قضيب لحام بلاستيكي.
- ٣- القطع أو الأكوام الملحومة.
- ٤- أمثلة على هذا النوع من اللحام.

يستخدم هذا النوع من اللحام جيداً لصفائح الـ PVC حيث تُراوح السماكة من نصف إلى عدة ملليمترات كما يستخدم الـ PE، PP ويكون قضيبي اللحام من نفس نوع المادة الملحومة.

هناك طرق أخرى للحام بالغازات تستخدم في لحام التركيبات ومنع التسرب وإصلاح الثقوب أو الأجزاء المهترئة في القطع البلاستيكية.

(٢) - اللحام بدون مشاركة:

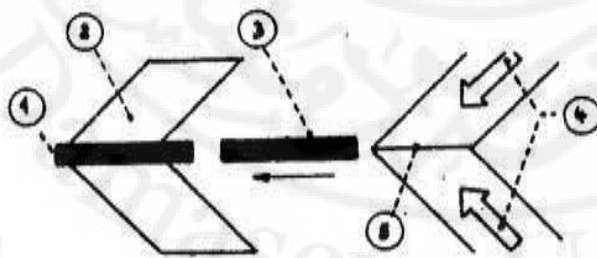
ويقصد به اللحام المباشر بين القطع من دون وجود وسيط مادي بينهما ولهذا النوع ثلاث طرق (اللحام الحراري، اللحام بالتردد العالي، اللحام الفوق صوتي):

(٢-١) - اللحام الحراري :

يعتمد مبدأ هذه العملية على التسخين بالتوصيل الحراري للأجزاء المراد لحامها حتى تصبح لينة للغاية عندئذ تضغط على بعضها البعض وتبقى كذلك حتى تبرد، ويمكن القيام بهذه العملية بعدة أشكال:

(٢-١-١) - اللحام بالمرآة (اللوحة): تضغط القطع المراد لحامها على صفيحة ساخنة ($300-150^{\circ}\text{C}$) ثم تسحب هذه الصفيحة سريعاً وتضغط القطع على بعضها كما بالشكل (3). هناك آلات نصف أوتوماتيكية تقوم بهذه العملية بسهولة.

الشكل (3)



اللحام بالمرآة أو اللوح

١- لوحة مسخنة.

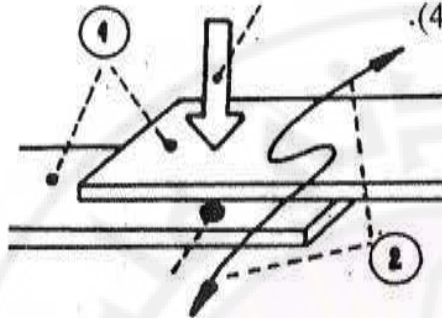
٢- القطع المراد لحامها.

٣- عملية سحب اللوح.

٤- عملية ضغط القطع.

٥- مكان اللحام.

٢-١-٢) اللحام بالاحتكاك: **Friction Weldung**: تعتمد هذه الطريقة على ذلك السطحين المراد لصقهما بعضهما فينتج عملية الاحتكاك حرارة تكون كافية لإذابة الريزين وبالتالي إتمام اللحام، وتكون إحدى الصفائح ثابتة والأخرى متحركة كما بالشكل (4).



الشكل (4)

اللحام بالاحتكاك

١- الألواح المراد لحامها.

٢- عملية احتكاك متناوبة.

٣- ضغط الألواح واللحام.

تطبق هذه الطريقة بنجاح مع معظم مواد البلاستيك الحراري. وهذا اللحام يضمن جودة عالية وهو مناسب للقطع الدائرية.

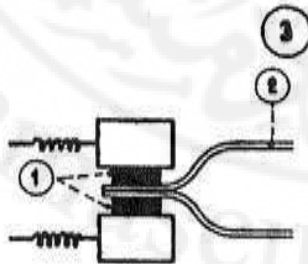
٢-١-٣) اللحام بالتحريض: يستخدم من أجل السماكات القليلة (0.08-0.2mm) وتتم العملية بحصر الجزئين المراد لحامهما بين فكين مسخين كهربائياً (يمكن تسخين فك أو اثنين وذلك تبعاً للسماكة)، وهذا يسبب انصهار البلاستيك (من الخارج باتجاه الداخل) ويتم اللحام بعد ضغط الفكين كما في الشكل (5). تتم عملية التسخين بوقت قصير جداً (0.25-25 sec) وذلك لتجنب انصهار الكتلة ويتم تحديد الوقت وضبطه بوساطة مؤقت زمني. يغطي الفك الساخن عادة بطبقة من (PFE) لتجنب الانصهار عليه، ويصنع أحياناً من الألمنيوم.

الشكل (5)

آلة لحام بالتحريض

١- فكين مسخين.

٢- صفائح أو رقائق اللحام.



استطاعة العناصر المسخنة (300 Watt/cm^2) والتبريد حسب تصميم الآلة
ويستخدم أحياناً سلك مسخن لقص أطراف اللحام.
أكثر التطبيقات الشائعة لهذا النوع من اللحام هو لحام الأكياس والحقائب من
الـ PE والتغليف بأنواعه.

٢-٢- اللحام بالتردد العالي : High frequency welding

يطبق هذا النموذج من اللحام بصورة رئيسية على المواد ذات السماكات
القليلة والتي فقد العزل الكهربائي فيها مرتفع وهذا تابع لثابت العزل
الكهربائي ولزاوية الفقد التي تتعلق بالتردد وبدرجة الحرارة.
العناصر المراد تجميعها تكون محصورة كذلك بين فكين بارزين الشكل (6).
إن مولد التردد العالي يفرغ شحنته الكهربائية بين الفكين (الكتروودات) فيولد
طاقة حرارية في كتلة المادة البلاستيكية (من الداخل نحو الخارج) في
المنطقة الأكثر ملائمة وبذلك تتم عملية اللحام.

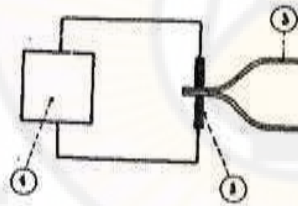
الشكل (6)

آلة لحام تردد عالي

١- مولد .

٢- فكين (الكتروودات).

٣- صفائح أو رقائق اللحام.



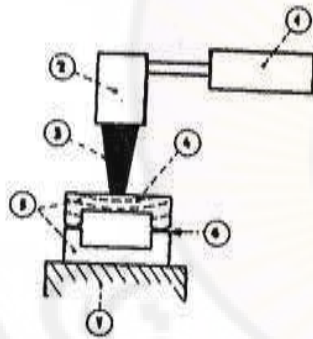
هذه الآلات جيدة من حيث المبدأ. الاستطاعة تُراوح بين ($0.25-25 \text{ Kw}$)
وتعمل بشكل مستمر ودائري إلا أن موجات التردد العالي (H.F) المرسلة
($f=27, 12 \text{ MHz} = 11.11 \text{ m}$) يمكن أن تنتقل لشبكة الـ 50 Hz وتؤدي إلى
تشويش برامج الراديو والتلفزيون (الحماية إجبارية وضرورية بواسطة
استخدام قفص Faraday مثلاً).

يمكن لحام رقائق الـ PVC اللينة على هذه الآلة من أجل بعض التطبيقات الرائجة جداً: ألعاب النفخ، الحوائج الشفافة، الخزن البلاستيكية اللينة...

٣-٢) اللحام الفوق صوتي Ultrasonic Welding:

هذه الطريقة لا تتطلب من المواد المراد لحامها أي خواص مميزة، تستطيع لحام معظم المواد البلاستيكية حتى بعض المواد الأخرى.

مبدأ هذه العملية يعتمد على توليد طاقة حرارية تنتج بواسطة سلسلة موجات صوتية، فهناك أولاً مولد كهربائي يولد طاقة كهربائية بتردد عالي تتحول إلى طاقة ميكانيكية اهتزازية بواسطة مركز موجات (يجب أن يتطابق مع القطعة الملحومة ويجب تعديله عند تغير الشكل) ومن ثم تتحول إلى طاقة حرارية بمستوى الوصل الشكل (7) تقوم بعملية اللحام. وهناك نموذجين لهذه الآلات:



١- تغذية.
٢- جهاز يحول الطاقة الكهربائية بتردد عالي إلى اهتزازات فوق صوتية.

٣- مركز.

٤- موجات فوق صوتية.

٥- القطع المراد لحامها.

٦- مجال تحول الطاقة الميكانيكية إلى حرارة.

٧- مسند.

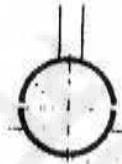
الشكل (7) آلة اللحام الفوق صوتية

١- لحام قريب: الأداة المهتزة تتركب (تتطابق) تماماً فوق القطع الملحومة وتلامس ما أمكن مستوى الوصل (اللحام) كما في الشكل (8).

٢- لحام بعيد: الأداة المهتزة تتلامس مع القطعة في نقطة بعيدة عن مستوى الوصل كما في الشكل (9).

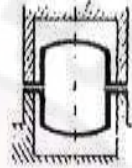
بواسطة هذه التقنية يمكن صنع آلات ندعوها تجاوزاً آلات خياطة للاقمشة،
والحقائب من المواد التركيبية.

يمكن لحام المواد البلاستيكية الصلبة بهذه الطريقة بشكل جيد مثل الـ PS
ولكن غير مستحبة للمواد اللينة. من التطبيقات الشائعة: عاكس النور
Cataphote فواشة الكربيراتور flotteur carburateur، القداحات، كثير من
آلات التصوير والأفلام العادية والسينمائية..



الشكل (9)

آلة لحام فوق صوتية مبعدة



الشكل (8)

آلة لحام فوق صوتية مقربة

المواد القابلة والغير قابلة للحام والإصاق:

بالرغم من أن كل مواد البلاستيك الحراري (Tp) يمكن لحامها (بعضها
بسهولة والآخر بصعوبة)، إلا أن عملية إصاقها أحياناً صعبة.

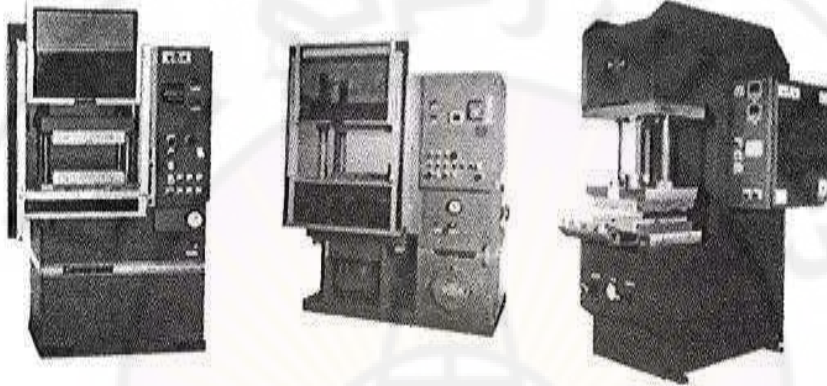
إن الـ PFE, POM, PA, PP, PE, PVC، لا تلتصق أو تلتصق على
نحو جيد في حين أن الـ PS, PMM, PU تلتصق بسهولة كبيرة. بالمقابل
فمادة الـ Polyoléfines التي تلتصق بصعوبة تشكل مادة لاصقة ممتازة من
أجل مواد مختلفة (ورق، ألمنيوم). في عملية الإصاق يستخدم محاليل مذيبة.
البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) بالرغم من كونه غير قابل للحام إلا أنه
يمكن جمعه بواسطة الإصاق.

والجدول التالي يبين أهم المواد البلاستيكية وإمكانية اللحام، الإصاق (+)
وانعدام الإمكانية (-).

الإصاق	اللحام			المادة
	فوق صوتي	تردد عالي	حراري	
+	+		+	PS
+	+	-	+	ABS
+	+	+	-	PVC (R)
-	-	+	-	PVC (s)
		-	+	PVD
-	-		+	PEbd
-	-		+	PEhd
	+		+	PP
+	+	-	+	PMM
	+	+		PTE
+	+		+	PC
+	-		-	PPO
	+		+	POM
+	+	-	+	PA
			-	PFE
+	-	-	+	Cellulosiques
+			+	PSE
+		-	+	PU

الفصل الخامس

تصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) بالضغط والتحويل والحقن ومواصفات الآلات المستخدمة



الطرق الأساسية لتصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (Ts) :
هناك العديد من الطرق نذكر منها:

١- القوالب بالضغط Compression Moulding.

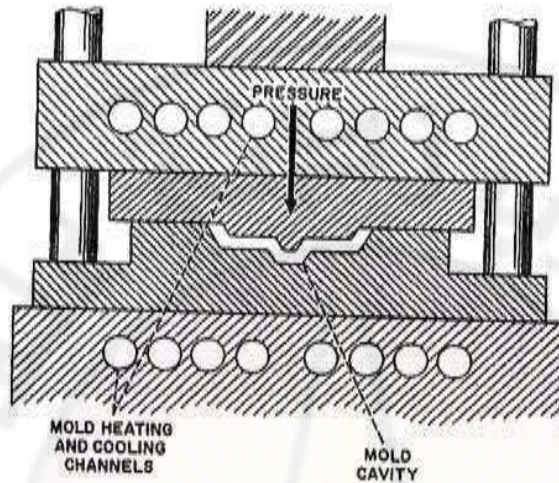
٢- القوالب بالتحويل Transfer Moulding.

٣- القوالب بالحقن Injection Moulding.

أولاً: تصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) بالضغط:

إن مبدأ هذه العملية هو وضع المادة الأولية وهي الريزين المتصلب حرارياً (بودرة) المحددة بالوزن أو الحجم في قالب ساخن (قد يكون الريزين مسخن مسبقاً)، ثم يطبق عليه الضغط حيث يملأ الريزين فجوة هذا القالب بالكامل.

يتم تطبيق الضغط بواسطة آلية هيدروليكية بضغط يدعى (ضغط الإغلاق)،
والشكل (1) يبين جزء من هذه الآلة (القالب).



الشكل (1)

يخضع الريزين بتأثير الحرارة والضغط لتفاعل كيميائي (بلمرة) خلال زمن يدعى (زمن التفاعل) حيث يستمر التحام المادة ويشكل فترة عدم حركة مهمة للمعدات.

أكثر المواد شيوعاً في عمليات القولبة هي الميلامين واليوريا والألكيد، وتتوفر هذه المواد على شكل بودرة أو حبيبات أو رقائق أو مواد لزجة. دورة القولبة بالضغط: وتتضمن الخطوات التالية:

- ١- تحميل يدوي أو آلي للبودرة المحددة وزناً أو حجماً بشكل مسبق.
- ٢- الإغلاق: يتم باقتراب سريع ثم إغلاق بطيء يسمح للغازات بالخروج.
- ٣- طرد الغازات: ويتم بفتح القالب قليلاً بعد انتهاء الإغلاق، وهذه العملية ليست ضرورية في بعض الحالات لأنها تترك بعض الأثر.

٤- التفاعل الكيميائي اللازم (البلمرة) وتستغرق (20-3) دقيقة حسب

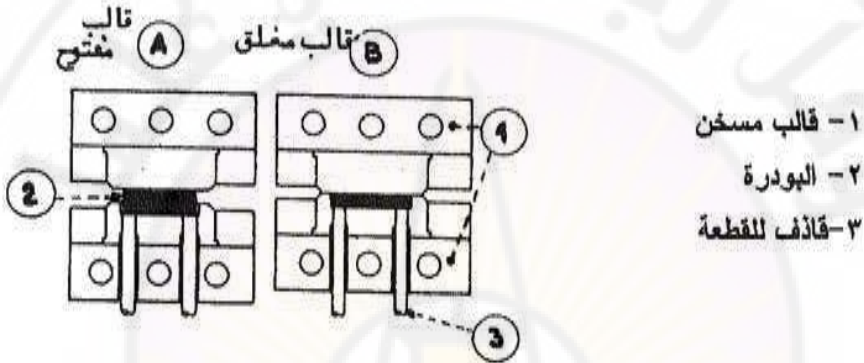
ضغط ودرجة الحرارة وكمية المادة ونوعها.

٥- فتح القالب بشكل بطيء حتى لا تفسد القطع.

٦- إخراج القطعة من القالب مع بقاء القالب والمنتج ساخنين ثم إدخال

شحنة جديدة من الريزين. أو القيام بتنظيف القالب بالهواء المضغوط

من الزوائد وتجهئته من جديد للقولبة.



إن قوالب الضغط منها ما يعمل بحشوة واحدة (طبقة واحدة)، ومنها ما يعمل بعدة حشوات، وتصنع هذه القوالب من الفولاذ وتلمع بشكل عالي الدقة للحصول على منتجات ذات دقة كبيرة.

يجب أن يثبت نصفي القالب إلى أسطوانتي المكبس الهيدروليكي العلوية والسفلية وذلك لتحقيق عملية الفتح والإغلاق بشكل جيد ودقيق خلال دورة القولبة.

شروط القولبة:

١- كتلة المادة البلاستيكية:

كتلة المادة = (حجم القطعة × الكتلة الحجمية للمادة) + الفقد.

الفقد يحسب تجريبياً لكل قالب ولكل دورة.

٢- ضغط القولبة :

$$\frac{F}{A} = \text{ضغط القولبة}$$

حيث:

(F): القوة المطبقة على القالب = ضغط الزيت على المكبس × سطح رأس المكبس.

(A) : سطح القولبة الكلي = سطح الطبعة الواحدة × عدد الطبقات

تطبيق :

المطلوب حساب القوة اللازمة للقولبة بالمعطيات التالية:

CEMP	قطعة النموذج
11.5 × 12.5 cm	أبعاد القطعة
144 cm ²	سطح القطعة
2500 N/cm ²	الضغط المنصوح به من قبل منتجي المادة

القوة اللازمة : $2500 \times 144 = 36 \times 10^4 \text{ N}$

على آلة بقوة $125 \times 10^4 \text{ N}$ مع ضغط زيت 2500 N/cm^2 .

يجب تنظيم المانومتر للآلة على :

$$\frac{2500 \times 36 \times 10^4}{125 \times 10^4} = 720 \text{ N/cm}^2 = 72 \text{ bars}$$

من الممكن تحسين عملية القولبة بتخفيض زمن الدورة الإنتاجية ويتم ذلك إما بإنقاص زمن التفاعل بواسطة التسخين المسبق، أي تسخين المادة البلاستيكية قبل دخولها القالب، وإما بجعل العمليات أوتوماتيكية أو بجمع الاثنين معاً. الجدول التالي يعطي شروط القولبة المختلفة للمواد المتصلبة حرارياً.

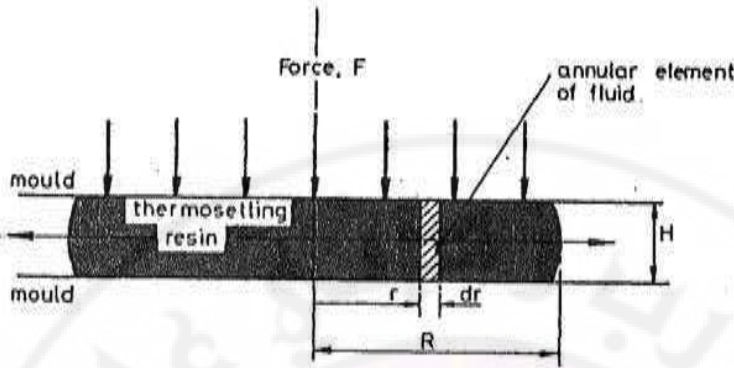
شروط قولبة المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (Ts) بالضغط				
المادة	Phénoplastes P21, P31, P11, P12	Aminoplaste MF-MP	Polyesters	Polyépoxydes
درجة حرارة السطح المقوالب °C	180-150	175-150	150-120	165-160
الضغط kg/cm ²	400-250	500-150	150-50	150-20
زمن التفاعل لكل mm من السماكة	60-40 sec	60 sec	60-40 sec	90 sec
تسخين مسبق (تردد عالي)	منصوح به	جيد	غير جيد	جيد
تجفيف قبل القولبة	ممکن	ممکن	غير منصوح به	ممکن
طررد الغازات	مفيد	مفيد	غير ضروري	غير ضروري
حالة سطح القالب	يفضل طلاء الكروم	مطلبي بالكروم	مطلبي بالكروم	مطلبي بالكروم

ملاحظات :

- الشروط المذكورة بالجدول هي شروط عامة، والمنتج للمادة الأولية يمكن أن ينصح بشروط أكثر دقة من الناحية العملية.
- عندما تكون السماكة أكثر من (100 mm)، فينصح بزيادة الضغط (50-100Kg/cm²).
- زمن التفاعل المبين في الجدول هو للمواد بدون تسخين مسبق، عند استخدام التسخين المسبق خصوصاً بطريقة التردد العالي فيقل الزمن المذكور بحدود (25-40%).

تحليل آلية القولبة بالضغط: Analysis of compression moulding

اعتبر أن القطعة على شكل فطيرة تتوضع بين صفيحتي ضغط للقالب كما هو مبين في الشكل التالي (2):



الشكل (2)

تحليل القولية بالضغط

فبعد تطبيق قوة ثابتة (F) على الصفيحة العلوية فتتساب القطعة المتوضعة تحتها بسبب الضغط فإذا كان الانسياب نيوتوني (يخضع لقانون نيوتن) فإن الضغط يتبع المعادلة:

$$Q_p = \frac{1}{12\eta} \left(\frac{dP}{dz} \right) \cdot T \cdot H^3$$

فمن أجل عنصر حلقي ذو نصف قطر (r) كما في الشكل السابق، فيمكن كتابة هذه المعادلة:

$$Q_p = \frac{1}{12\eta} \left(\frac{dP}{dz} \right) \cdot (2\pi \cdot r) \cdot H^3$$

والآن إذا تحركت الصفيحة العلوية مسافة (dh) فإن الحجم المزاح يكون مساوياً لـ $(\pi \cdot r^2 \cdot dh)$ والتدفق الحجمي يكون:

$$\pi \cdot r^2 \left(\frac{dH}{dt} \right) = \frac{1}{12\eta} \left(\frac{dP}{dr} \right) \cdot (2\pi \cdot r) \cdot H^3 \Rightarrow \frac{12\eta \cdot dH}{H^3} \frac{dH}{dt} = \frac{2}{r} \frac{dP}{dr} \quad (1)$$

وهي معادلة تفاضلية بسيطة سهلة فصل الحدود لذلك يمكن حل كل طرف على حدا.

لنفرض أن $A = \frac{2.dP}{r.dr}$ حيث أن $A = f(H)$ ، فإن :

$$\int_0^P dP = \frac{A}{2} \int_R^r r.dr \Rightarrow P = \frac{A}{4} (r^2 - R^4)$$

والقوة على العنصر الحلقي هي $(2.\pi.r.dr.P)$ وبالتالي القوة الكلية (F) تعطى بالتكامل على سطح الصفيحة :

$$F = \int_0^R 2.\pi.r \left(\frac{A}{4} \right) (r^2 - R^2).dr \Rightarrow F = -\frac{\pi.A.R^4}{8}$$

$$\Rightarrow A = -\frac{8.F}{\pi.R^4} = -\frac{8.F.\pi.H^2}{V^2}$$

حيث : $(V = \pi.R^2.H)$.

وبتبدل (A) في المعادلة (1) نجد :

$$-\frac{8.F.\pi.H^2}{V^2} = \frac{12.\eta}{H^3} \frac{dH}{dt} \Rightarrow -\int_0^t \frac{2.\pi.F}{3.\eta.V^2} dt = \int_{H_0}^H \frac{dH}{H^5}$$

$$\Rightarrow \frac{2.\pi.F.t}{3.\eta.V^2} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{H^4} - \frac{1}{H_0^4} \right)$$

وبما أن $(H_0 \gg H)$ فإنه يمكن إهمال $\left(\frac{1}{H_0^4}\right)$ والنتيجة تعطي القوة (F)

بالعلاقة التالية:

$$F = \frac{3.\eta.V^2}{8.\pi.t.H^4}$$

حيث : (H) هو الارتفاع بين الصفيحتين عند الزمن (t).

مثال:

صفيحة دائرية قطرها (0.3 m) يراد قولبتها بالضغط مصنوعة من الفينول الفورم ألدهيد على شكل أسطوانة بقطر (50 mm) وارتفاع (36 mm) والزمن اللازم لتطبيق قوة الضغط (10 sec) ولزوجة الفينول (10^3 Ns/m^2) والمطلوب أوجد القوة (F) اللازمة.

الحل:

$$V = \pi \left(\frac{50}{2} \right)^2 \times 36 = \pi \left(\frac{300}{2} \right)^2 H \Rightarrow H = 1 \text{ mm}$$

$$F = \frac{3 \cdot \eta \cdot V^2}{8 \cdot \pi \cdot t \cdot H^4} = \frac{3 \times 10^3 \times (\pi \times 625 \times 36)^2}{10^6 \times 8 \times \pi \times 10 \times (1)^4} = 59.6 \text{ KN}$$

ثانياً : تصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً بالتحويل:

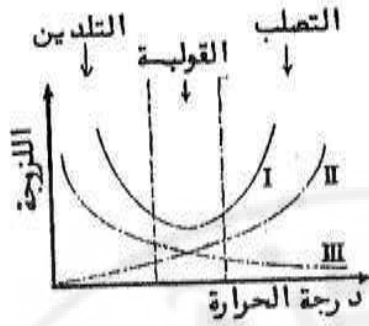
إن مبدأ هذه الطريقة هو نفس مبدأ القوالب بالضغط وكذلك بالنسبة للمواد، والفارق الرئيسي بين الطريقتين يكمن من طريقة وصول المادة (الريزين) إلى فجوة أو طبعة القالب، حيث تمرر المادة قبل دخولها القالب ضمن أسطوانة تدعى "غرفة التحويل" حيث تسخن وتضغط. بعد ذلك يطبق ضغط متزايد على المكبس (400-1000) ضغط جوي، مما يجبر الريزين الطري على المرور عبر الممرات والبوابات إلى تجويف القالب.

يتم تسخين أجزاء القالب على نحو مسبق لتسريع العملية، كما يمكن أن نقوم بتشكيل أكثر من قطعة (قالب متعدد الطبقات) في نفس الوقت. أما المواد التي تبلمرت في العملية (النفائية، زوائد الصب، الممرات وكذلك المنتج نفسه) فيجب إخراجها والتخلص منها قبل البدء بدورة عمل جديدة. ويجب أن نلاحظ أن كل الأجزاء ستصبح نفائات ما عدا المنتج، وذلك لأن المواد المتصلبة حرارياً لا يمكن إعادة تصنيعها من جديد.

إن الميزة التي تتمتع بها قوالب التحويل على قوالب الضغط هي عدم وجود ريش ناتج على حواف المنتج أو زوائد عالقة بالمنتج.

إن القوالب بالتحويل ناجحة جداً في عمليات إنتاج الأجزاء الصغيرة والمعقدة وهو أمر يصعب الحصول عليه في عملية القوالب بالضغط.

في البداية يجب أن تكون اللزجة ضعيفة وبحود النهاية الصغرى لمخطط اللزوجة المبين في الشكل (3). ويتم ذلك بواسطة التسخين المسبق.

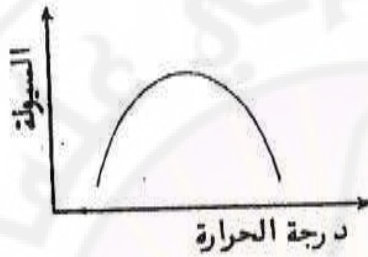


I- اللزوجة.

II- زيادة اللزوجة بالتفاعل الكيميائي.

III- انخفاض اللزوجة بالتسخين.

$$III + II = I$$



الشكل (3)

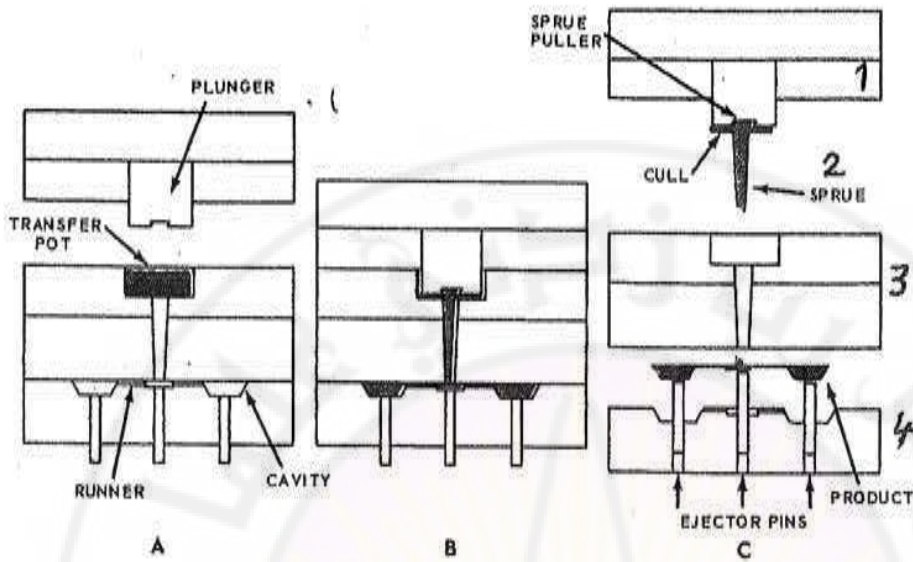
اللزوجة والسيولة للمواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً.

طريقة التسخين المسبق الأكثر استعمالاً هي (HF) (تسخين مسبق بتردد عالي).

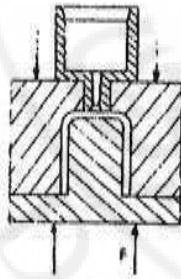
الشكل (4) يبين مراحل العملية، ويجب ملاحظة العقب أو الجزرة (Sprue) المتشكل والذي يعتبر كضياح من المادة بهذه العملية.

هناك آلات وقوالب تسمح بالتحويل العلوي أو السفلي أو الزواي، الشكل (5). هذه التقنية تعتبر وسطاً بين القولبة بالضغط والقولبة بالحقن ولا تستخدم فيها مرحلة التلدين Plastification.

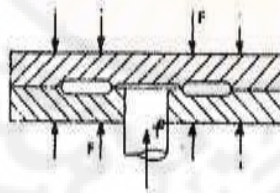
يؤمن التحويل بوساطة أقمية التوزيع المصنعة داخل القالب. عند مرور المادة خلال الأقمية فإن التسخين يستمر بوساطة التوصيل الحراري والاحتكاك، إذا كان مقطع الأقمية صغير جداً وضغط التحويل كبير فإن حرارة الاحتكاك تكون كبيرة وعملية القولبة تصبح مستحيلة، لذا يجب أن تكون الطبقات وأقطار أقمية التغذية محسوبة استناداً لضغط التحويل ولقوة التحويل اللازمة.



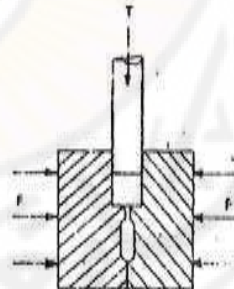
1- قالب الضغط. 2- العقب الضائع. 3- قالب التحويل. 4- الطبعة.
 (A) - قالب مفتوح (قبل القولبة). (B) - قالب مغلق. (C) - قالب مفتوح (بعد القولبة).
 الشكل (4) التحويل.



التحويل العلوي



التحويل السفلي



التحويل الزاوي

الشكل (5) أنواع التحويل.

تطبيق قوة التحويل على المادة بواسطة مكبس ثابت مركب على مفرش الآلة
 أو بواسطة مكبس مساعد ثانوي.

دورة القولبة بالتحويل : وتتضمن الخطوات التالية:

- ١- إغلاق قالب.
 - ٢- وضع المادة المسبقة التسخين داخل وعاء التحويل (التسخين المسبق يمكن أن يتم خلال الدورة السابقة، ويجب أن يكون بأخفض درجة حرارة).
 - ٣- تطبيق ضغط التحويل.
 - ٤- النفاذ.
 - ٥- فتح قالب.
 - ٦- إخراج القطعة من قالب.
 - ٧- تنظيف قالب (هام) وتهينته من جديد للقولبة.
- شروط القولبة:

١- ضغط التحويل: وفقاً لـ J.BUTLER فإن المادة ذات التسخين المسبق الجيد في لحظة تحولها تشابه عملياً مائع، ويجب تطبيق مبدأ باسكال على تحول الضغوط .

بعض التجارب بينت أن الضياع بالمادة البلاستيكية الناتج داخل أقنية التغذية يخفض الضغط داخل الطبقات حوالي الثلث من ضغط التحويل.

٢- السطح الكلي المقولب: بفرض أن:

S_1 : سطح وعاء التحويل.

S_2 : سطح مكبس الإغلاق.

S_3 : السطح الكلي (الطبقات + الأقنية).

S_4 : سطح مكبس التحويل.

P_1 : ضغط الزيت على مكبس الإغلاق.

P_2 : ضغط الزيت على مكبس التحويل.

فيكون : قوة الآلة = $P_1 \cdot S_1$

$$\frac{P_1 \cdot S_2}{S_1} = \text{ضغط التحويل (حالة القولبة على آلة الضغط)}$$

$$P_2 \cdot S_4 = \text{قوة التحويل}$$

$$\frac{P_2 \cdot S_4}{S_1} = \text{ضغط التحويل (حالة القولبة على آلة بمكبسين)}$$

أولاً : حالة القولبة على آلة الضغط:

$$P_1 S_2 (1 - 0.1) = \frac{P_1 S_2}{S_1}$$

$$S_1 \cdot (1 - 0.1) = S_3$$

حيث 0.1 عامل الأمان.

ثانياً : حالة القولبة على آلة تحويل بمكبسين:

$$P_1 S_2 (1 - 0.1) = \frac{P_2 S_4}{S_1} S_3$$

$$\frac{P_1 S_2}{P_2 S_4 / S_1} (1 - 0.1) = S_3$$

٣- الشروط العامة : يبين الجدول التالي شروط قولبة المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً بالتحويل.

شروط القولبة بالتحويل	
المادة	الشروط
Phénoplastes	الضغط : 60-80 Mpa
Aminoplastes:	
-Urée formol.	غير مستحسن استعماله لهذه الطريقة
-Mélamine formol. -Mélamine phénol formol.	الضغط : 100-200 MPa القولبة بالتحويل صعبة
Polyester.	احتمال تمزق الألياف الزجاجية
Polyépoxydes.	الضغط: 2-80 MPa

يتم تحسين مردود عملية القولبة بالتحويل بجعلها أوتوماتيكية.

ثالثاً : تصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) بالحقن:

كان الاعتقاد السائد أنه لا يمكن حقن المواد المتصلبة حرارياً بسهولة لأن هذه القوالب تتطلب تغييراً في إعدادات الآلة لتناسب المادة، كما أن أي تأخير في زمن بقاء الريزين ضمن الآلة سيؤدي إلى حدوث تصلب مسبق ضمن التجهيزات يصعب إزالته وتنظيفه.

تطورت آلية قوالب المواد المتصلبة حرارياً بشكل كبير وأصبحت اليوم إحدى طرق الإنتاج الأساسية لهذه المواد، حيث يمكن حقن القالب بحبيبات متماثلة ومواد مالئة وبعض الإضافات الأخرى.

إن عمليتي حقن البلاستيك المتصلب حرارياً والبلاستيك الحراري متشابهتين من ناحية التسلسل، والاختلاف الرئيسي في الآلة يكون من جهة القالب حيث يبقى ساخناً جداً ($150-200^{\circ}\text{C}$) عوضاً عن تبريده كما في حالة البلاستيك الحراري.

إن الحرارة المرتفعة تسرع تصلب المادة عند أخذها تجويف القالب. وهناك اختلاف آخر يكمن بأن الفولاذ الذي يصنع منه القالب يجب أن يتمتع بمقاومة عالية للخدش أو الاهتراء بسبب الاحتكاك الناتج من المواد المتصلبة حرارياً والضغط المرتفع المستخدم في عملية الحقن.

قبل شرح شروط القوالب لابد من أخذ الملاحظات التالية بعين الاعتبار:

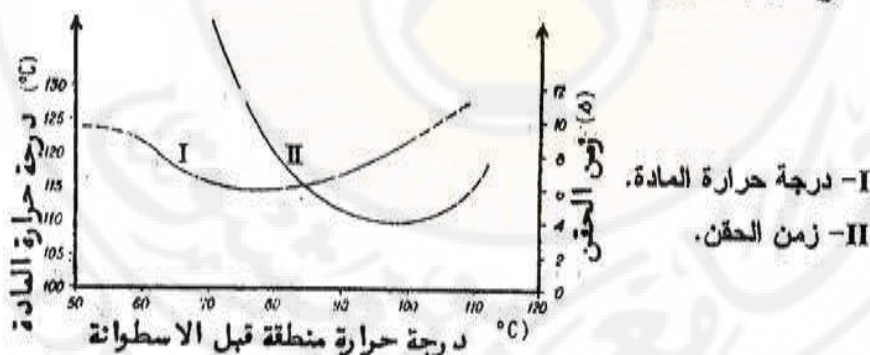
١- من أجل المواد المتصلبة حرارياً تستخدم أسطوانة ولولب خاصين، اللولب ذو عمق ثابت تقريباً على طوله ولا توجد قيمة محددة يمكن أن تسبب تصلب المادة.

٢- يفضل أن تكون وحدة الإغلاق هيدروليكية لأن الغبار الناتج عن البودرة والذي لا يمكن تجنبه يزيد الاحتكاك في الرضلات الحركية لنظام التثبيت.

٣- من المرغوب فيه المحافظة على مجاري التوزيع وفتحة التغذية باردة بحيث لا تتصلب فيها المادة عند القولية، لأن المواد المتصلبة حرارياً لا يمكن إعادة تصنيعها مرة ثانية بعد أن تتصلب. ميزات حقن المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً:

- ١- سرعة التصلب.
 - ٢- معايرة فعالة للمادة.
 - ٣- تسخين مسبق فعال للمادة.
 - ٤- الرايش قليل وسهولة الإنهاء للمنتج.
 - ٥- انخفاض كلفة القالب.
- شروط القولية:

١- درجة حرارة أسطوانة التلدين :
عند التلدين داخل مجموعة (لولب + غلاف) فإن ارتفاع درجة الحرارة ينتج عن كمية الحرارة المتكونة بالتوصيل الحراري والاحتكاك.
الشكل (6) يمثل مخطط بياني لتغيرات درجة حرارة المادة وزمن الحقن كن تابع لدرجة حرارة الغلاف.



الشكل (6)

الحرارة المكتسبة بالتوصيل الحراري هامة، فعندما تكون درجة حرارة الغلاف ضعيفة تبقى المادة قابلة للتفكك والاحتكاك ضعيف جداً، عملية القولية مستحيلة.

إذا رفعت درجة حرارة الغلاف فإنها تصل لنقطة تكون بها المادة لينة كثيراً حيث يتولد احتكاك هام.

يمكن لدرجة حرارة الكتلة أن ترتفع بسرعة فتعطل العملية الكيميائية وتصبح القابلة مستحيلة (وهذا عكس الفكرة الرائجة حالياً وكل انخفاض بدرجة الحرارة للأسطوانة سيكون له تأثير سالب).

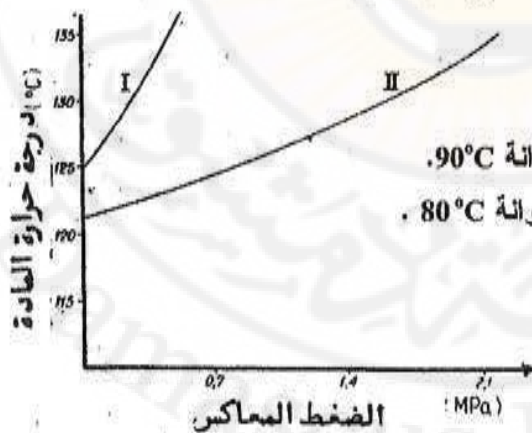
الموازنة بين حرارة التوصيل وحرارة الاحتكاك تتغير من مادة إلى أخرى كتابع للسيولة وقابلية رد فعل المادة على حرارة التلدين.

السيولة المنخفضة أو قابلية رد الفعل الكبير جداً تؤدي إلى تصلب سابق لأوانه للمادة داخل أنبوب أسطوانة التلدين.

٢- الضغط المعاكس:

هو الضغط الذي يفرمل تراجع اللولب خلال مرحلة التلدين والتغذية. زيادة الضغط المعاكس تطابق زمن أطوال لتراجع اللولب وحرارة الاحتكاك أكبر.

الشكل (7) يمثل مخطط بياني يبين تأثير الضغط المعاكس على درجة حرارة المادة. زيادة الضغط المعاكس تسمح بأن تكون التغذية ومعايرتها أكثر انتظاماً.



الشكل (7)

٣- سرعة دوران اللولب:

زيادة سرعة دوران اللولب تزيد عمل الاحتكاك وتقلل زمن التغذية وكذلك زمن تلامس المادة مع الجدار الساخن للغلاف ينقص بنفس الكمية. عند تقدم مادة بلاستيكية ذات معامل احتكاك كبير (مواد بلاستيكية محملة بذرات معدنية) فهي لا تنزلق على اللولب بل نجدها تنتقل بسرعة إلى مقدمة الأسطوانة فيكون زمن الاتصال مع الغلاف قصير وبالتالي ارتفاع درجة الحرارة ضعيف وتلدين المادة سيء، نفس هذا العيب نجده عندما تكون كمية التغذية من المادة قليلة بالنسبة لاستطاعة الآلة، في هاتين الحالتين فإن إنقاص سرعة الدوران يؤمن زمن ملامسة مع الغلاف أكثر طولاً ويؤدي إلى ارتفاع أكبر في درجة حرارة المادة وبالتالي يسمح بحقن جيد.

٤- الضغط وسرعة الحقن: الضغط العالي يسمح بملء سهل وسريع. حرارة الاحتكاك المتولدة من المرور بسرعة عالية داخل مجموعة التوزيع (المدخل، الأفنية، الأنبوب) مرتفعة. ملء ودرجة حرارة مرتفعة للمادة يؤديان إلى دورة إنتاج قصيرة، الضغط العالي يشكل نتوءات هامة. إذا ملأت مادة طبعة بسرعة كبيرة جداً فإنها تحصر الهواء والغازات التي تعاكس تقدم الجريان للمادة فيتشكل بالنتيجة أثار حروق على القطع. كقاعدة عامة: زمن الحقن يجب أن لا يقل عن (5) ثواني. مقاطع الأفنية والمداخل يجب أن لا يكون صغيرة جداً حتى لا تستحيل عملية الحقن.

٥- إخراج الغازات: وهي عملية ضرورية للحصول على قطع جيدة خالية من العيوب.

٦- تأخر التلدين : هو الزمن الجاري بين نهاية ملء الطبقات وبداية تحضير المادة لدورة جديدة. يجب الانتباه إلى أنه عندما تكون مادة البلاستيك المتصلب حرارياً (T_s) ملدنة بشكل صحيح، فكل مدة تمر بين نهاية التلدين

وبداية الحقن تشارك في إشعال وبدء التفاعل الكيميائي. تأخر التلدين يجب أن يكون منظم بحيث أن دوران اللولب ينتهي بلحظة فتح القالب.

٧- زمن تلامس أنبوب الأسطوانة وأنبوب القالب: هذا الزمن يجب أن يكون قصيراً ما أمكن لأن درجة حرارة أنبوب الأسطوانة ترتفع بملامسة القالب وهذا الارتفاع غير مفيد لأنه يسبب تفاعل البلمرة السابق لأوانه (اتحاد الجزيئات المتعددة من مركب لتشكيل مركب وزنه الجزيئي أكبر)، وبتنظيم جيد لحرارة الأنابيب جانب الأسطوانة والقالب (بواسطة جريان سائل) نحصل على درجة حرارة مرتفعة للمادة مع تجنب حدوث التفاعل المذكور.

إذا لم يكن أنبوب الأسطوانة ملامساً للقالب بتأثير الضغط المعاكس، فإن المادة يجب أن تهرب من الأسطوانة خلال التلدين، بالدورة العادية يكون الأنبوبين مفصولين عن بعضهما لحظة فتح القالب.

٨- زمن المحافظة على الضغط: هو الزمن الذي يستمر فيه تطبيق الحقن بعد ملء الطبقات. إذا كان هذا الزمن قصيراً جداً فالتفاعل لا يتم بشكل جيد.

٩- الشروط العامة: يبين الجدول التالي شروط قولبة المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (Ts) بالحقن.

شروط قولبة المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (Ts) بالحقن				
المادة	Phénoplastes	Aminoplastes MPE	Polyesters	Polyépoxydes
الشروط اللازمة				
درجة حرارة القالب °C	190-170	190-170	170-150	165-160
درجة حرارة الأنبوب °C	100	110	90	80
درجة حرارة مقدمة الغلاف °C	100-80	110-85	70-40	70-60
درجة حرارة خلف الغلاف °C	75-55	85-70	40-20	60-50

80-70	90-70	130-120	130-110	درجة حرارة المادة الخارجة من الأنبوب °C
100-50	100-50	100-50	100-50	سرعة دوران اللولب دورة/دقيقة
10 - 0	10 - 0	10 - 0	10 - 0	الضغط المعاكس Kg/cm ²
1000-500	1000-500	2000-1400	2000-1400	ضغط الحقن على المادة Kg/cm ²
وبساوي إلى ثلثي (2/3) ضغط الحقن ثابت				الضغط المحافظ عليه
وتنظيم بحيث يكون زمن ملء القالب يساوي 8-6 ثانية				سرعة الحقن
5-1	5-1	5-1	5-1	زمن المحافظة على الضغط sec
10-8	8-7	10-8	8-7	زمن التفاعل sec لكل سماكة mm
ينظم بحيث ينتهي التلدين تماماً مع نهاية التفاعل للدورة السابقة				تأخير تدوير اللولب

ملاحظة:

الشروط المذكور بالجدول هي شروط عامة، والمنتج للمادة الأولية يمكن أن ينصح بشروط أكثر دقة من الناحية العملية وتبعاً للمادة.

وسائل تحسين العملية :

١- تعديل الضغط المعاكس بحيث يكون كتابع للتغير في أزمنة تلامس المادة مع الغلاف، درجة حرارة الكتلة المحقونة يكون أكثر ارتفاعاً في البداية منه في نهاية الحقن.

في العديد من الآلات من الممكن الحصول على درجة حرارة أكثر تجانساً للمادة من خلال تعديل الضغط المعاكس خلال التلدين، في هذه الحالة، زمن الدورة يقل وتكون نوعية المنتجات أفضل.

٢- تعديل كمية التغذية بحيث تكون تابع للتوازن الجيد لشروط التلدين وكذلك لخواص المادة. من الممكن تعديل الكمية من خلال مشوار اللولب (استناداً لقياس الضغط).

٣- أفضية باردة: بسبب كون التفاعل الكيميائي غير عكوس في المواد المتصلبة حرارياً (Ts)، فالضياع بالمادة ضمن الأنبوب والأفضية (البقايا) والبالغ بحدود (10%) لا يمكن استرجاعه لذا يلجأ إلى استعمال القوالب بأفضية باردة لإنفاص الضياع بنسبة تصل إلى (60%).
اختيار طريقة القولية:

من أجل إنتاج معين، ومن أجل نموذج ما لقالب آلة مثالية تعطى الإنتاج الأمثل، في الحقيقة إن اختيار طريقة القولية والآلة يعتمد على خواص المادة، ومواصفات القطعة، المتوفرة من المعدات والمعطيات الاقتصادية.

١- المعطيات الاقتصادية:

إن سعر كلفة القطعة (P) يجب أن يأخذ بعين الاعتبار العناصر التالية:

١- سعر المادة (P_1)

$P_1 = \text{سعر المادة للشراء} \times \text{وزن المادة المصنعة} (1-K_1)$.

K_1 : عامل يأخذ بعين الاعتبار الضياعات بواسطة النقل والتخزين (3-5%) وتنظيف الآلة (0.3-0.5%) من الكتلة لـ 100 قطعة.

٢- تكاليف الصنع (P_2) :

$$P_2 = \frac{P_h}{n}$$

حيث:

(P_h): سعر الساعة على الآلة.

(n) : عدد القطع المنتجة بالساعة.

بعد حساب زمن الدورة ولحساب الإنتاج الساعي، يجب التذكر أن آلة نصف أوتوماتيكية لا تعمل سوى (80%) من طاقتها.

$$P_2 = P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3} + P_{2,4} + P_{2,5}$$

(P_{2,1}) : استهلاك الآلة (5-10) سنوات.

(P_{2,2}) : صيانة الآلة (5% من سعرها) والاهتراء السريع لبعض القطع يدخل في هذا البند مثل اهتراء لوالب الحقن.

(P_{2,3}) : الاستهلاك الساعي من الكهرباء والزيت.

(P_{2,4}) : الأجر الساعي للعمل (آلة نصف أوتوماتيكية تحتاج لعامل واحد ولكن هذا العامل يكفي لـ (4-6) آلات أوتوماتيكية.

(P_{2,5}) : الأجر الساعي للعاملين في الورشة.

٣- استهلاك القوالب (P₃):

$$P_3 = \frac{P_p}{n_1}$$

حيث :

(P_p) : سعر القطعة.

(n₁) : عدد القطع المنتجة.

٤- مصاريف الإنهاء (P₄) : تنظيف القطع، التغليف...

٥- مصاريف مختلفة (P₅) : تسخين مسبق، مراقبة...

ومنه :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$$

والسعر العائد الحقيقي :

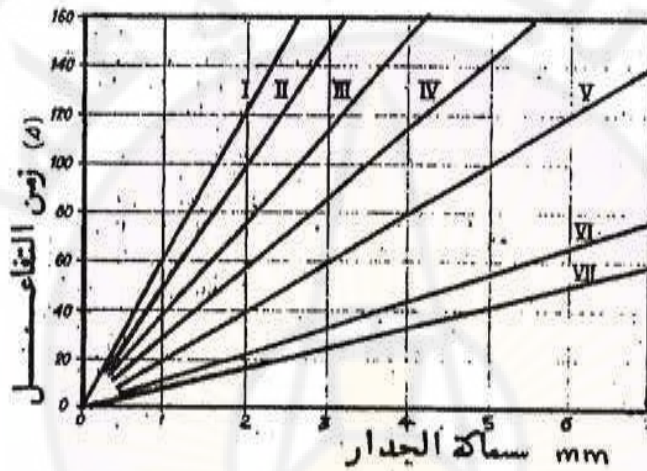
$$P_r = P \cdot K$$

حيث :

(K) : عامل يأخذ بعين الاعتبار التلف والسقوط من الإنتاج ويكون حوالي (2-3%) ويمكن أن يصل إلى (30-40%) إذا كانت القطع صعبة الإنتاج.

٢- زمن التفاعل الضروري تبعاً لطرق القولية:

يبين الشكل (8) مخططاً بيانياً لزمن التفاعل بوصفه تابعاً لسماكة جدار القطعة ولطريقة القولية وذلك لمادة الفينوبلاست.



الشكل (8)

- I- ضغط بسيط بدون تسخين مسبق. II- ضغط بسيط، تسخين مسبق بمحم تجفيف.
- III- ضغط بسيط، تسخين مسبق بالتحريض (تردد عالي). IV- ضغط بسيط، تليدين مسبق ضمن (غلاف + لولب). V- تحويل، تسخين مسبق بالتحريض (تردد عالي).
- VI- تحويل، تليدين مسبق ضمن (غلاف + لولب). VII- حقن، تليدين مسبق ضمن (غلاف + لولب).

٣- مقارنة الطرق الثلاثة للقولبة:

نورد فيما يلي ميزات ومساوئ كل من الطرق الثلاث للقولبة، وهذا يساعدنا على اختيار أفضل طريقة تناسب المعطيات المطلوبة.

القولبة بالضغط	
المساوي	المميزات
١- زمن الدورة هو الأكثر طولاً.	١- معدات أكثر بساطة.
٢- ضرورة المعالجة لكل طبعة.	٢- إمكانية قولبة قطع كبيرة بطريق مختصرة.
٣- القالب يتطلب غرفة ضغط.	٣- ضغط ضعيف نسبياً حيث يمكن أن تكون عدد الطبقات أكثر من الطرق الأخرى.
٤- صعوبة القولبة للقطع ذات السماكات المتغيرة كثيراً.	٤- الضياع بالمادة ضعيف لعدم وجود أعقاب بل هناك نتوءات أكثر.
٥- صعوبة قولبة قطع ذات حلقات أو قضبان ناعمة.	٥- تقلص ضعيف.
٦- عملية إزالة الزوائد هامة.	٦- التشوهات قليلة الحدة.
	٧- سعر الآلات أقل.

القولبة بالتحويل	
المساوي	المميزات
١- ضياعات أكثر أهمية ناتجة عن الأعقاب تصل 20% من الوزن.	١- معايرة واحدة للمادة المقبولة.
٢- القالب أكثر تعقيداً.	٢- المادة تكتسب حرارة بالتوصيل والاحتكاك خلال مرورها بالأقنية ومداخل التحويل.
٣- تشوه مهم أكثر.	٣- تجانس حراري جيد وبالنتيجة:
٤- تقلص أكثر أهمية.	* إمكانية قولبة قطع ذات سماكة متغيرة جداً.
٥- ضرورة تطبيق ضغط عالي	* زمن التفاعل أكثر قصراً.
٦- انحدار القيم الميكانيكية في حالة المادة المسلحة بالألياف بسبب تمزق	

* تحسين التفاعل الذي يؤدي إلى تحسين الخواص الميكانيكية باستثناء البلاستيك المسلح بالألياف الزجاجية. * تناقص خطر تمزق القضبان أو الحلقات. ٤- القالب مغلق قبل دخول المادة. ٥- كمية المادة لا تعتمد على الإغلاق.	هذه الألياف خلال مرورها بالأقنية والمدخل.
القولبة بالحقن	
الميزات	المساوي
١- إمكانية الأتمتة الكلية. ٢- قولبة مباشرة ابتداءً من البودرة. ٣- المادة تكتسب حرارة بالتوصيل والاحتكاك خلال مرورها بالاسطوانة والأقنية والمدخل حيث لا يوجد عمل يدوي، فلا ضياع بالزمن بين نهاية التلدين والحقن. من الممكن القيام بتسخين مسبق للمادة لدرجة حرارة أكثر ارتفاعاً من حالة القولبة بالتحويل وبالتالي يكون زمن التفاعل قصيراً جداً.	١- اهتراء هام للولب غلاف التلدين ولمداخل القوالب. ٢- خطر نشوه كبير بالتبريد للقطع عند مداخل الحقن. ٣- صعوبة القولبة مع التضمين. ٤- صعوبة قولبة المواد البلاستيكية المسلحة بالألياف الزجاجية، لأن المواد تفقد جميع خواصها الميكانيكية عند نزولها من القمع. ٥- ضياع هام ناتج عن الأعقاب

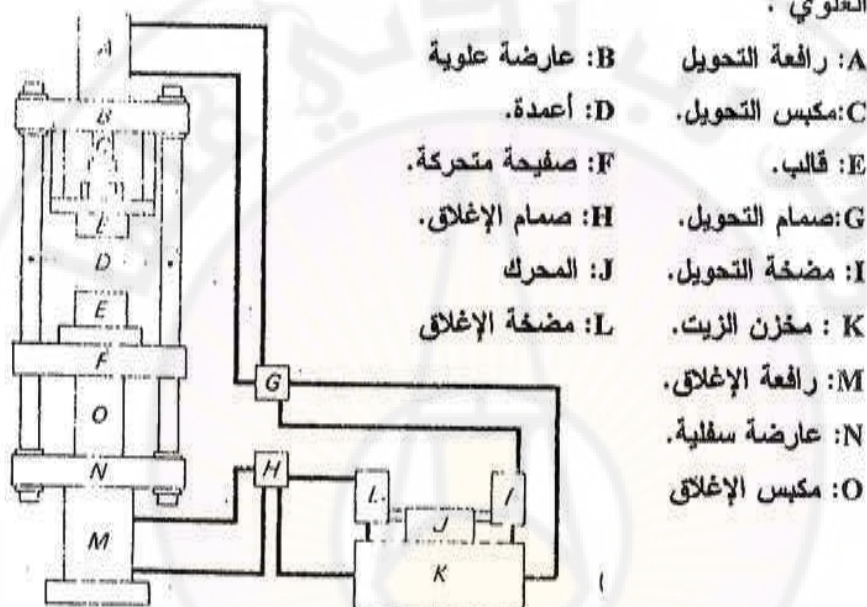
آلات تصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (Ts) :

١ - آلات الضغط:

تتكون أساساً من صفيحتين متحركتين الواحدة، نحو الثانية، إما بواسطة مجموعة ميكانيكية (مفصلية متحركة) أو بصورة عامة بواسطة مجموعة

هيدروليكية (رافعة). الرافعة الهيدروليكية يمكن أن تقاد بواسطة مضخة مستقلة أو بواسطة مدخنة تغذي بطارية الآلة.

آلات الضغط الهيدروليكي تشبه آلات التحويل كما بالشكل (9) مع استثناء رافعة التحويل. رافعة الإغلاق موضوعة على الجزء السفلي أو الجزء العلوي .



الشكل (9) آلة تحويل هيدروليكية برافعة تحويل علوية

من أجل تسهيل تخلية الهواء فإنه من المفضل استخدام سرعة إغلاق مخفضة حوالي $(0.5 \times 10^{-2} \text{ m/sec})$ بنهاية الدورة. كذلك من أجل تجنب تلف القطع عند إخراجها من القالب، سرعة الفتح يجب أن تكون حوالي $(2 - 10 \times 10^{-2} \text{ m/sec})$.

آلات الضغط اليدوية وآلات الضغط النصف أوتوماتيكية:

آلات الضغط النصف أوتوماتيكية هي آلات بها الدورة معقدة، تعمل أوتوماتيكياً بعد تحميل القالب وبدء الدورة بواسطة العامل. الجدول (A) يعطي الخواص لعدد من آلات التحويل المستخدمة الضغط اليدوية والنصف أوتوماتيكية

المستخدمة. الجدول (B) يعطي خواص آلات التحويل والتي يمكن استخدامها للقولبة بالضغط، في هذه الحالة رافعة التحويل تكون غالباً قاذفة (لافضة للقطعة المنتجة).

آلات الضغط الأتوماتيكية :

آلات الضغط الأتوماتيكية تعمل من دون تدخل العامل سوى لتعبئة القمع ومراقبة العيارات.

١ - آلات الضغط ذات الكميات الحجمية:

الجدول (C) يعطي خواص هذه الآلات.

جدول مواصفات (A)

المواصفات	الوحدة			
قوة الإغلاق	10^3 daN	10	100	600
ضغط الزيت	MPa	30		34
أبعاد الصفائح	mm	170	265	850×800
شوط الفتح	mm	200×200	550×450	740
المسافة بين الصفائح	mm	325	365	875
سرعة التقريب	10^{-2} m/s	10		
سرعة الإغلاق	10^{-2} m/s	1.2		0.3
سرعة الفتح	10^{-2} m/s	10		2
قوة الفتح	10^3 daN	1.2		40
قوة اللفظ	10^3 daN			50
شوط اللفظ	mm			100-150
قوة المحرك	10^3 w	1.5	2.9	14.8
قوة التسخين بالصفائح	10^3 w			18
الكتلة	Kg	600	2000	7400

ملاحظة: اللفظ القذف معنى واحد مقصود به إخراج القطعة المنتجة من القالب

جدول مواصفات (B)

المواصفات	الوحدة			
قوة الإغلاق	10^3 daN	40	400	1000
ضغط الزيت	MPa		14	14
أبعاد الصفائح	mm	400×400	795×800	1280×1650
شوط الفتح	mm	315	850	1500
المسافة بين الصفائح	mm	600	1300	2200
سرعة التقريب	10^{-2} m/s	15		
سرعة الإغلاق	10^{-2} m/s	0.55		
سرعة الفتح	10^{-2} m/s	12		
قوة الفتح	10^3 daN	5.6		
قوة اللفظ	10^3 daN	2-4	30	40
شوط اللفظ	mm	60-150		
قوة المحرك	10^3 w	3.5		
قوة التسخين بالصفائح	10^3 w	3		
الكتلة	Kg	2800	11300	41500
القوة	10^3 daN	16	65	150
الشوط	mm	125	400	600
قطر المكبس	mm	50		
السرعة	10^{-2} m/s	0.35		
الحجم المتحول	Cm^3	50	550	

جدول مواصفات (C)

المواصفات	الوحدة			
قوة الإغلاق	10^3 daN	30	150	350
ضغط الزيت	MPa	30		35
أبعاد الصفائح	mm	450×480	590×710	800×990
شوط الفتح	mm	250	455	600
المسافة بين الصفائح	mm	500	975	1000
سرعة التقريب	10^{-2} m/s	24		4.3
سرعة الإغلاق	10^{-2} m/s	0.8		0.24
سرعة الفتح	10^{-2} m/s	2.4		4.8
قوة الفتح	10^3 daN	6	19.8	170
قوة القذف	10^3 daN	18		115
شوط القذف	mm	160		200
قوة المحرك	10^3 w		5.5	
إمكانية التسخين بالأشعة تحت الحمراء			X	
الكتلة	Kg	1870	7560	10000

٢- آلات الضغط ذات الكميات الموزونة بواسطة ميزان ملحق:

الجدول (D) يعطي خواص هذه الآلات.

٣- آلات الضغط الأتوماتيكية ذات الكميات والتسخين المسبق سوية:

أ- آلات ضغط أتماتيك ذات كميات حجمية وتسخين مسبق بواسطة أنابيب

وأشعة تحت الحمراء موضوعة على طول دائرة توزيع المادة. الجدول (C)

يعطي خواص هذه الآلات لقوى الإغلاق التالية (10^3 daN) 30 , 150 , 350.

ب- آلات ضغط أتماتيك ذات كميات وتسخين مسبق بواسطة مجموعة

التلدين (لولب + غلاف). الجدول (E) يعطي خواص هذه الآلات.

٤- آلات ضغط أوتوماتيكية خاصة ذات قوالب متعددة للقولبة بكميات كبيرة جداً للقطع الصغيرة: مثل مأخذ الكهرباء، السدادات..

آ- آلات ضغط أوتوماتيكية ذات طاولة دوارة للعمل: القوالب تتقدم بالتناوب (دورياً) أمام مركز الشحن الحجمي. التفاعل يتم خلال دوران الطاولة. في نهاية التفاعل تتوضع القوالب أمام مجموعة تخلية لإخراج القطع. الجدول رقم (F) يعطي خواص هذه الآلات.

ب- آلات ضغط أوتوماتيكية بمراكز ثابتة: يكون لها أربعة مراكز مستقلة، تقع في الهيكل نفسه. الجدول (F) يعطي خواص هذه الآلات.

جدول مواصفات (D)

المواصفات	الوحدة			
قوة الإغلاق	10^3 daN	10	50	80
قوة المحرك	10^3 W	0.85	1.3	1.45
شوط الفتح	mm	130	220	300
سماعة القالب الصغرى	mm	150	240	280
سماعة القالب العظمى	mm	240	340	380
أبعاد الصفائح	mm	340×340	450×500	450×500

جدول مواصفات (E)

المواصفات	الوحدة			
قوة الإغلاق	10^3 daN	40	100	200
قطر اللولب	mm	40	60	80
شوط اللولب	mm	125	200	200
الحجم	Cm^3	40-138	140-310	320-910
وزن المادة	gr	50-172	170-390	400-1140
قوة المحرك	10^3 w	2.2	3.7	3.7
قوة التسخين	10^3 w	3	10	18
قطر غرفة التحويل	mm	50	70	95

جدول مواصفات (F)

المواصفات	الوحدة			
عدد مراكز العمل		4	8	10
قوة الإغلاق	10^3 daN	5	9	15
الشوط	mm	190	150	200
قوة المحرك	10^3 w	4	3.7	5.5
قوة تسخين الصفائح	10^3 w	0.3-0.45	2.4	4
زمن التفاعل	Sec		20-130	45-240
ارتفاع القوالب الأصغري	mm	185		
القطر الخارجي للقوالب	mm		130	180
عدد طبقات القالب		1-2	1-3	1-5
القطر الأعظمي للقطعة المنتجة	mm		32-80	53-100
الارتفاع الأعظمي للقطعة المنتجة	mm		65	80
كمية المادة	gr	3-24	75	80
كتلة الآلة	Kg	1000	2300	6400

٢- آلات التحويل :

تكون آلات التحويل برافعتين، واحدة من أجل الإغلاق للقالب، والثانية من أجل التحويل. قوة رافعة التحويل بصورة عامة تكون (1/5) قوة رافعة الإغلاق. رافعة التحويل يمكن أن توضع على الجزء العلوي أو على الجزء السفلي من الآلة. الشكل السابق (9) يبين تحويل ذات رافعة تحويل عليا.

أ- آلات التحويل اليدوية وآلات التحويل النصف أوتوماتيكية ذات الرافعتين، الجدول (B) يعطي خواص هذه الآلات.

ب- آلات التحويل الأتوماتيكية: تستعمل على نحو مناسب للقطع الصغيرة، ولها نموذجان:

١- آلات التحويل الأتوماتيكية الأفقية ذات المكبس:

بهذه الآلة توزن كمية المادة بالميزان، والتسخين المسبق يتم بواسطة أنبوب وأشعة تحت الحمراء تتوضع على طول دورة التوزيع وتسقط المادة بوعاء التحويل الأفقي. مكبس ينقلها داخل القالب. المجموعة الأفقية تسهل إخلاء القطع المنتجة.

مواصفات هذه الآلة: لنأخذ المواصفات التقنية لهذه الآلة التي تمثل نموذج للآلات المماثلة:

قوة الإغلاق : 52.5×10^3 daN

قوة التحويل : 25.7×10^3 daN

السماكة الصغرى للقالب: 200 mm

السماكة العظمى للقالب : 300 mm

المجال بين الأعمدة (أفقية×عمودية): 240×140 mm

القطر الأعظمى للقالب : 250 mm

مشوار الفتح : 180 mm

قطر مكبس التحويل : 40-60 mm

ضغط التحويل على المادة: 90-200 MPa

كتلة المادة المحولة : 60 gr

قوة المحرك : 5.5×10^3 w

ضغط الزيت: 21 MPa

قوة التسخين : 7.4×10^3 -w

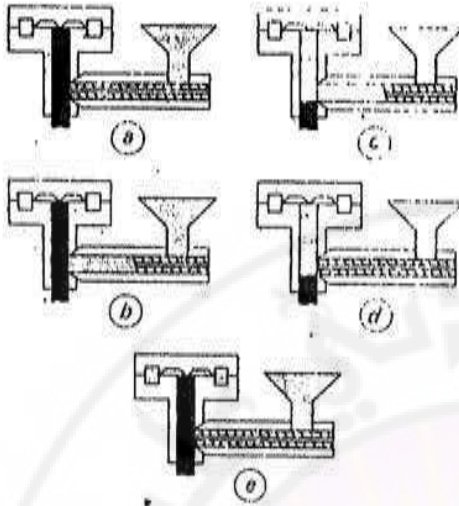
الكتلة : 1300 Kg

٢- آلات التحويل الأتوماتيكية ذات الكميات المعاييرة والتسخين المسبق بواسطة مجموعة التلدين (لولب+غلاف)

هذه الآلات تسمح بدورة قصيرة تماثل تقريباً زمن الدورة على آلات الحقن. الكمية المحددة وذات التسخين المسبق داخل الغلاف تدفع بواسطة اللولب داخل وعاء التحويل. الآلة تعمل مثل آلة تحويل عادية. الشكل (10) يبين آلة خواصها التقنية كالتالي :

$125 \times 10^3 \text{ daN}$	قوة الإغلاق :
195 mm	مشوار الفتح:
$615 \times 380 \text{ mm}$	الأبعاد بين الأعمدة :
$610 \times 505 \text{ mm}$	أبعاد القالب :
590 mm	السماكة الصغرى للقالب:
670 mm	السماكة العظمى للقالب :
115 mm	مشوار لافظ القطعة الهيدروليكية العلوي:
$6 \times 10^3 \text{ daN}$	قوة لفظ القطعة:
490 cm^3	قدرة التحويل:
44 mm	قطر مكبس التحويل ولولب التلدين:
110 MPa	ضغط التحويل على المادة:
363 mm	مشوار التحويل :
$15 \times 10^3 \text{ w}$	استطاعة المحرك :
7050 kg	كتلة (وزن الآلة):

يمكن استخدام الآلات ذات لولب التلدين للقولبة بالتحويل الأتوماتيكي. خواص هذه الآلات معطاة بالجدول (E).



الشكل (10)

a-التغذية.

b-التلدين.

c-تحميل وعاء التحويل.

d-التحويل.

e-التفاعل.

٣- آلات الحقن :

أ-آلات الحقن العادية: هذه الآلات هي تقريباً نفسها المستخدمة لتصنيع البلاستيك الحراري (Tp). الآلات المستعملة للقوالب بالحقن للمواد المتصلبة حرارياً (Ts) تختلف عن آلات (Tp) بالأمور التالية:

- ١- لولب بدون نسبة ضغط مع علاقة طول/قطر (L/D).
- ٢- غياب السداداة الصمامية للإغلاق.
- ٣- تسخين الغلاف يفضل بواسطة مائع لتجنب التسخين الذاتي.
- ٤- مراقبة ومعايرة دقيقة للضغط المعاكس.
- ٥- مجموعة تثبيت ومنع لدوران اللولب لتجنب الجريان المعاكس للمادة خلال الحقن.
- ٦- تسخين كهربائي للقالب.

الجدول (G) يعطي خواص آلات الحقن الحالية المستخدمة لقوالب المواد المتصلبة حرارياً.

ب- القوالب بواسطة الحقن على آلات الضغط: من الممكن بواسطة مجموعة التلدين (لولب + غلاف) القوالب بالحقن على آلات الضغط.

آلة الضغط تؤمن الإغلاق للقلب. الحقن يتم بواسطة اللولب داخل مستوى الوصل للقلب حيث توجد أقنية التغذية. مواصفات هذه المجموعة معطاة بالجدول (H). يمكن استعمال آلات مع ملدن بلولب للحقن داخل مستوى الوصل، الجدول (E) يعطي خواص هذه الآلات.

جدول مواصفات (G)

المواصفات	الوحدة			
قوة الإغلاق	10^3 daN	14	100	550
شوط الفتح	mm	60-140	400	700
سماكة القلب الصغرى	mm	110	300	400
سماكة القلب العظمى	mm	160		595
المسافة بين الأعمدة الأفقية	mm	115	410	680
المسافة بين الأعمدة الشاقولية	mm		300	530
ارتفاع الصفائح الأفقي	mm	204	600	1040
ارتفاع الصفائح الشاقولي	mm	100	490	890
قوة اللفظ الميكانيكية	10^3 daN	1.2		9
قوة اللفظ الهيدروليكية	10^3 daN	1.5	3	9
شوط اللفظ	mm		110-120	300
قطر اللولب	mm	18	36-45	80
الحجم النظري المحقون	Cm^3	15	200-315	1660
الضغط على المادة	MPa	152		187
شوط اللولب	mm	75		330
سرعة اللولب	r.p.m	0-460	62-205	10-100

عزم اللولب	N.m	60	1200	
قدرة المحرك	10^3 w	4		45
قدرة تسخين القالب	10^3 w		10	2×17
قدرة تسخين الاسطوانة	10^3 w	2×0.65	12	13.5
ضغط الزيت	MPa			14
الكتلة	Kg	360	4300	18000

جدول مواصفات (H)

المواصفات	الوحدة			
قوة آلة الضغط	10^3 daN	70-110	140-180	250-350
قطر اللولب	mm	38	50	70
القدرة النظرية للحقن (1)	Cm^3	176	500	1070
ضغط الحقن على المادة	MPa	192	160	156
شوط اللولب	mm	155	250	280
سرعة دوران اللولب	r.p.m	40-140	40-140	40-120
عزم اللولب	N.m	500	800	2260
قدرة محرك اللولب	10^3 w	2.2	4	11
قدرة محرك المضخة	10^3 w	5.5	5.5	11
قدرة تسخين الاسطوانة	10^3 w	3	6	6
ضغط الزيت	MPa	14	14	14
ارتفاع الأنبوب	mm	940-1140	940-1140	1040-1290
قوة الاستناد وكتلة الحقن	daN	4.5	4.5	6.5
الكتلة	Kg	1200	1700	2500

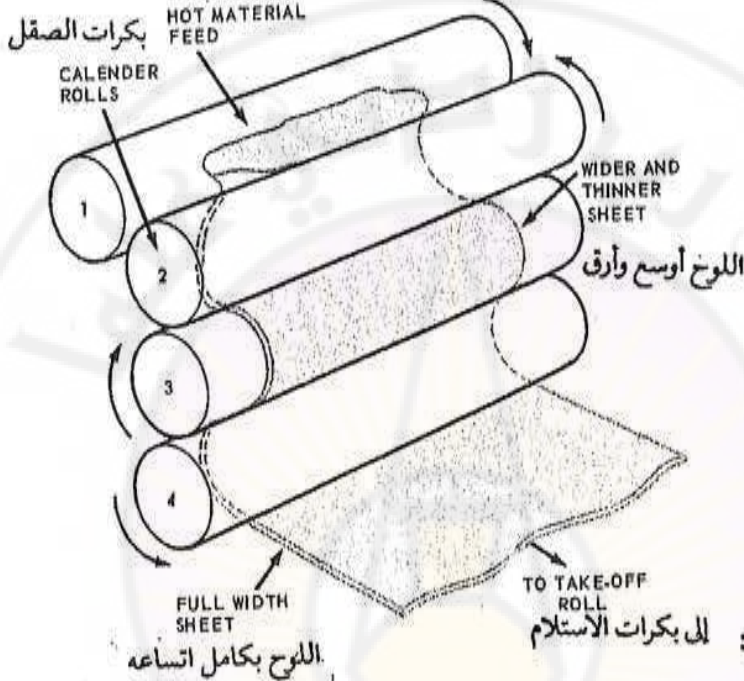
(1) لحساب الكتلة المحقونة نأخذ مادة (P21) كأساس عند المخرج للأنبوب،
الكتلة الحجمية ($1-1.1 \text{ gr/cm}^3$).

الفصل السادس

العقل

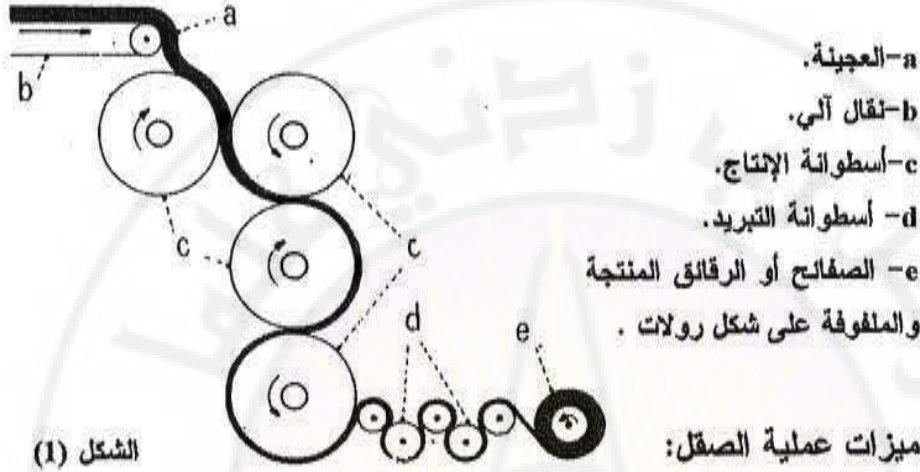
Calendering

تغذية المواد الساخنة



لقد استخدمت هذه الطريقة منذ زمن بعيد من أجل المطاط (الكأوتشوك) وتستخدم حالياً على نحو واسع لبعض مواد البلاستيك الحراري مثل PVC (الصلب والطري)، (PE)، (ABC)، والـ (PS) وهذه الطريقة تسمح بصناعة الرقائق والأغلفة والصفائح بشكل مستمر وبسماكات مختلفة، وتتلخص بمرور المادة البلاستيكية وهي بالحالة العجينية بين أسطوانتين مسخنين لدرجة حرارة (150-200 °C) وتنظيم هذه الحرارة أتماتيكياً. تكون محاور الأسطوانتين متوازية والبعد بينهما يتناقص تدريجياً حتى الحصول على السماكة المطلوبة. سرعة الأسطوانتين تتراوح بين (40-200 m/min).

والشكل (1) يبين آلية العمل سواء لعدد محدد من الأسطوانات (4) أو لأعداد كبيرة منها وذلك للحصول على رقائق (أفلام) ذات سماكات منخفضة جداً، ويتم التحكم بالسماكات بواسطة الفراغ المحصور بين البكرات النهائية.



- ١- مستوى عالي من الإنتاج.
 - ٢- منتجات ذات أبعاد دقيقة جداً، حيث يمكن إنتاج رقائق بسماكة (0.05mm) وبعرض (1.8 m) وبسرعة (100 m/min).
 - ٣- يمكن مزج مواد الـ (Tp) مع بعض المواد الأخرى كعوامل مساعدة على التلدين والتثبيت والتزييت والتلدين للحصول على المواصفات المطلوبة بشكل جيد.
- مساوئ عملية الصقل:

الحاجة لتوظيف رأسمال كبير لهذا النوع من الإنتاج، فبالإضافة لثمن الآلات فإن صيانتها وتجهيزها للإنتاج مكلف كذلك (فمثلاً يتطلب تهيئة ووضع مجموعات الصقل في حالة توازن عدة أيام وهذا يحتم ضرورة عدم الإنتاج إلا بكميات كبيرة (100 ton) وأكثر.

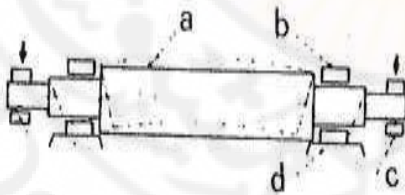
الغازات الناجمة عن عمليات الصقل خطيرة، لذا يجب امتصاصها والتخلص منها جيداً.

التجهيزات : Calendaring Equipment

تحتوي آلة الصقل من (2-5) أسطوانات (غالباً أربعة أسطوانات) كل أسطوانة يمكن أن تعمل لوحدها بسرعة محددة تماماً بواسطة محرك ذو سرعة متغيرة بشكل يتلائم مع درجات الحرارة لمعدات الصقل. قطر الأسطوانة حوالي (80 cm) من الفونت المسقى وقساوته حوالي (500) برينل وتسخن بواسطة جريان داخلي لمائع حراري (زيت أو ماء مسخن جداً).

المصاعب الكبيرة في عملية الصقل تكمن في الحصول على درجة حرارة متجانسة على طول الأسطوانة، وتكمن كذلك في القوى الكبيرة المتولدة من مرور المادة البلاستيكية بين الأسطوانات حيث يؤدي هذا إلى حدوث انعطاف بالأسطوانة flexion وبسبب عدم انتظام في سماكة المنتجات ويمكن تلافي ذلك بعدة طرق منها:

١- التصحيح بواسطة تبديل الشكل للأسطوانة: وتتم هذه العملية بتقويس الأسطوانة باتجاه الشد بطريقة تصحح انعطافها بالنسبة لشكلها الأصلي، وذلك بالتأثير بقوة على المحامل الثانوية الخارجية للأسطوانة عند نقاط التثبيت بواسطة رافعة هيدروليكية الشكل (2)، التصحيح يكون بحدود $(+0.05 \text{ mm})$.



الشكل (2)

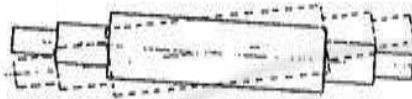
a- أسطوانات الصقل.

b- محمل رئيسي.

c- محمل ثانوي خارجي. d- مثبت.

٢- التصحيح بواسطة حرف الأسطوانات: ويتم هذا بحرف إحدى الأسطوانات بالنسبة لمحورها الأصلي بحيث أن الانعطاف يتوازن

اصطناعياً بفعل المحركين المؤثرين في محامل الأسطوانة، ويكون التصحيح بحدود (0.2 mm). كما هو مبين بالشكل (3).



الشكل (3)

في الآلات الحديثة تستخدم الطريقتين سوية للحصول على أفضل تصحيح ممكن. هناك بعض التجهيزات المستعملة منها الإضافي ومنها الاحتياطي نذكر منها:

- ١- خلط للمزج ويستخدم لتحضير مختلف الأشكال المستعملة من الـ PVC وإضافاته.
- ٢- معدات خاصة للقيام بعملية مزج نسيج معين مع صفائح البلاستيك المنتجة.
- ٣- فاصل مغناطيسي لتجنب تولد الذرات المعدنية على الأسطوانات.
- ٤- بكرات دورانية للف المنتج الخارج من آلات الصقل.
- ٥- تجهيزات لإضافة بعض أنواع الحبيبات المختلفة حسب الحاجة للصفائح أو الرقائق عند خروجها ساخنة من آلات الصقل.
- ٦- أسطوانات للتبريد من الفولاذ غير القابل للصدأ، تبرد هذه الأسطوانات بواسطة جريان داخلي للماء المبرد، عددها وأبعادها يكون تابع للشكل.
- ٧- معدات تحكم بالسماكة المطلوبة تعمل على مبدأ امتصاص الأشعة (β).
- ٨- معدات أتماتيكية أو يدوية للقص، وتستخدم عند الانتهاء من ملء بكرة أو بدء بكرة جديدة.

الدراسة التحليلية لعملية الصقل:

إن الدراسة التحليلية لجريان البلاستيك الملدن بين أسطوانتين دائريتين هو عملية معقدة، ولكن لحسن الحظ يمكن تحقيق الدقة المطلوبة للعديد من الحالات والأهداف من خلال نموذج نيوتن المبسط مع بعض الاقتراحات التالية:

١- الجريان منتظم وصفائحي.

٢- الجريان إيزوترمي.

٣- السائل غير قابل للانضغاط.

٤- لا يوجد أي انزلاق بين الدرافيل والمصهور المتدفق.

فإذا كان الخلوص بين الأسطوانات صغيراً نسبة لنصف قطرها، فعندها وعند أي مقطع (x) يمكن أن تحل المسألة، ويمكن أن نحلل الجريان على أنه بين صفائح متوازية والمسافة بينها (h)، ويكون مخطط السرعة مكون من مركبتين، هما مركبة ضغط ومركبة سحب.

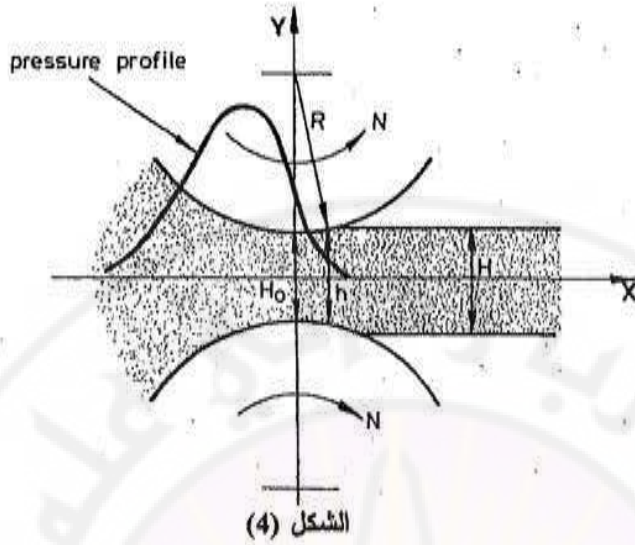
من أجل الجريان بين الصفائح المتوازية، فإن كل حركة للدرافيل بسرعة (V_d) ستعطي سرعة سحب للمصهور قدرها (V_d)، وفي حالة الصقل بأسطوانات نصف قطرها (R) وتدور بسرعة (N) فسرعة السحب تعطى بالعلاقة $(3.14 \times 2 \times R \times N)$.

مركبة السرعة الناتجة عن الضغط بين الصفائح المتوازية تعطى بالعلاقة (راجع تحليل الجريان بالبنق - فقرة ضغط الجريان):

$$V_p = \frac{1}{2} \eta \frac{dP}{dx} \left(y^2 - \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right)$$

لذلك فإن السرعة الكلية عند أي مقطع تعطى بالعلاقة:

$$V = V_d + \frac{1}{2} \eta \frac{dP}{dX} \left(y^2 - \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right) \quad (1)$$



الجريان بين أسطوانتين الصقل

وبأخذ واحدة العرض للصفائح فإن التدفق يكون :

$$Q = 2 \int_0^{h/2} V_d dy = 2 \int_0^{h/2} \left(V_d + \frac{\eta \cdot dP}{2 \cdot dX} \left(y^2 - \frac{h^2}{4} \right) \right) dy \quad (2)$$

$$\Rightarrow Q = h \cdot \left(V_d - \frac{h^2}{12 \cdot \eta} \frac{dP}{dX} \right)$$

وبما أن الخرج نحصل عليه من الجداء $(V_d \cdot h)$ فإن :

$$V_d \cdot H = h \left(V_d - \frac{h^2}{12 \cdot \eta} \frac{dP}{dX} \right) \quad (3)$$

ومن هنا نلاحظ أن $\left(\frac{dP}{dX} = 0 \right)$ عندما $(h = H)$.

لتعيين شكل مخطط الضغط فإنه من الضروري أن نعتبر أن (h) تابع لـ (X) ومن معادلة الدائرة نلاحظ أن :

$$h = H_0 + 2(R - \sqrt{R^2 - X^2}) \quad (4)$$

في الدراسة التحليلية نجد أنه من الصعب التعامل مع هذه المعادلة، ويمكن الحصول على تقريب مقبول من خلال نشر المقدار $(\sqrt{R^2 - X^2})$ إلى سلسلة ثنائية الحد وبأخذ الحدين الأولين فقط نحصل على :

$$h = H_0 \left(1 + \frac{X^2}{H_0 \cdot R} \right) \quad (5)$$

ولذلك فإن $\left(\frac{dP}{dx} \right)$ سيساوي الصفر عند:

$$H = H_0 \left(1 + \frac{X^2}{H_0 \cdot R} \right) \Rightarrow X = \pm \sqrt{(H - H_0) \cdot R} \quad (6)$$

وهذا يعطي الشكل العام لمخطط الضغط وهو المبين في الشكل (4) حيث أن قيمة الضغط الأعظمي يمكن الحصول عليها بتبديل (h) من المعادلة (5) في (3) فنجد أن:

$$\frac{dP}{dX} = \frac{12 \cdot \eta \cdot V_d \left(H_0 - H + \frac{X^2}{R} \right)}{\left(H_0 + \frac{X^2}{R} \right)^3} \quad (7)$$

فإذا كملنا هذه المعادلة واستبدلنا قيمة (x) من المعادلة (6) وعندها فإن الضغط الأعظمي يمكن الحصول عليه من العلاقة:

$$P_{Max} = \frac{3 \cdot \eta \cdot V_d}{H_0} \left[2 \cdot w - \frac{(4 \cdot H_0 - 3 \cdot H)}{H_0} \left(w + \sqrt{\frac{R}{H_0}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{H - H_0}{H_0}} \right) \right) \right] \quad (8)$$

$$w = \frac{\sqrt{(H - H_0) \cdot R}}{H} \quad \text{حيث:}$$

مثال:

آلة درفلة بأسطوانات ذات قطر (0.4 mm) تقوم بإنتاج صفائح من البلاستيك بعرض (2m) وبمعدل (1300 kg/h) فإذا كانت الفتحة بين الأسطوانات (10mm) وسرعة خروج الصفيحة (0.01 m/sec) علماً بأن كثافة المادة هي (1400 kg/m³) ولزوجتها (10⁴ Ns/m²) فأوجد موقع وقيمة الضغط الأعظمي.

الحل:

$$Q = 1300 \text{ kg/h} = 0.258 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{معدل التدفق}$$

$$Q = H.W.V_d \quad \text{ولكن :}$$

حيث (W) عرض الصفحة.

$$H = (0.258 \times 10^{-3}) / (2 \times 0.01) = 12.9 \text{ mm} \quad \text{لذلك :}$$

إن البعد عن الفتحة حيث يكون الضغط أعظمياً يعطى بالعلاقة:

$$x = \sqrt{(12.9 - 10) \times 200} = 24.08 \text{ mm}$$

ومن المعادلة (8) نجد:

$$P_{\max} = \frac{3 \times 10^4 \times 0.01}{10 \times 10^{-3}} [(2 \times 1.865) - 0.13 \times [1.865 + (4.45) \times (0.494)]] \\ = 96 \text{ KN/m}^2$$

التطبيقات : Applications

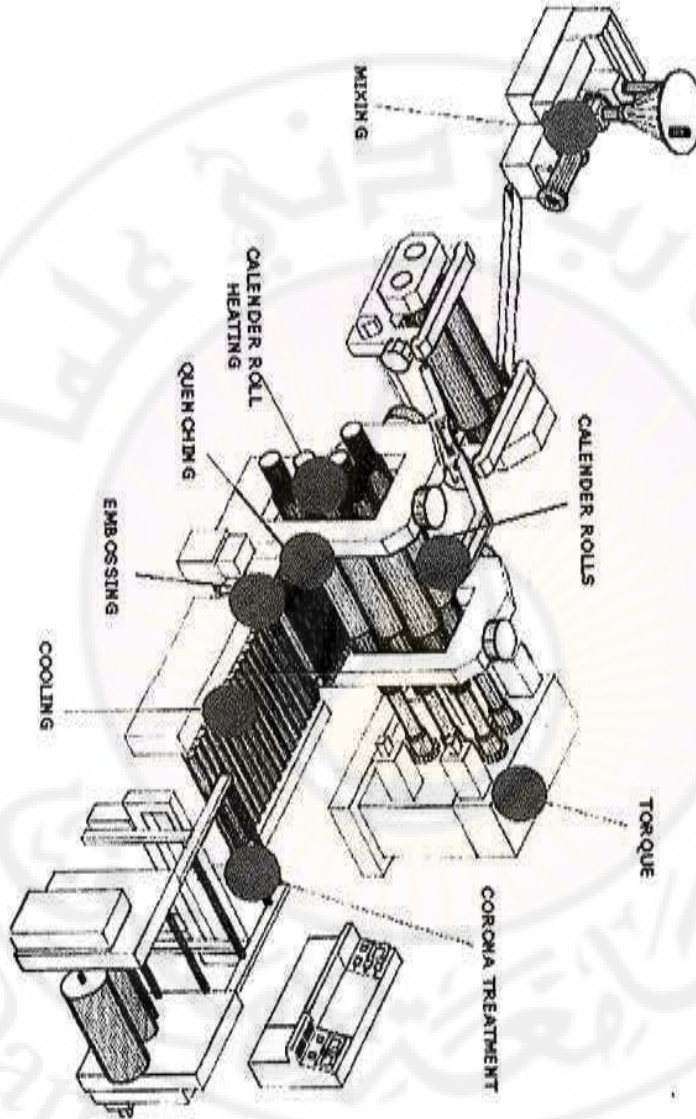
تستخدم عمليات الصقل لإنتاج صفائح بسماكات مختلفة من أجل عمليات التغليف Coating Process بطريقة حرارية (الفواكه، كافة المواد الغذائية،...)، بالإضافة إلى عمليات التغطية والتغليف لمواد مثل الورق، المنسوجات، البرادي، الأغشية. سقوف السيارات...، حيث توضع المادة المراد تلبسها بين الأسطوانات، حيث يتم الالتحام التام بين المادة البلاستيكية والقماش أو الورق.. ويخرجان من الأسطوانة النهائية كقطعة واحدة.

تستخدم عمليات الصقل للحصول على منتجات مثل المفروشات وتنجيد السيارات والملابس والأحذية والأمتعة والحقائب اليدوية، حيث أن هذه الأمتعة تصنع من البولي فينيل الطري على شكل صفائح والمبطن بالنسيج.

يمكن استخدام صفائح الـ (s) PVC الطرية في صناعة ملابس المطر وستائر الحمامات وحبال تخطيط حمامات السباحة والجلد الصناعي وواقيات الاصطدام في السيارات. أما (R) PVC فيستخدم بصناعة أكياس النفايات وأشرطة تسجيل الصوت وبطاقات البنوك ووسائل الإضاءة وأكياس حفظ الحبوب.

تطبيق :

الشكل (5) يبين خط إنتاج صفائح بسماكات مختلفة. اشرح آلية عمل هذا الخط.



الشكل (5)



الفصل السابع

القولبة الرغوية

Foam Molding



المبدأ :

تعتبر طريقة تصنيع البلاستيك إحدى التقنيات الرئيسية في صناعة البلاستيك في الوقت الحاضر.

يصنع البلاستيك الرغوي (البلاستيك ذو الخلايا) بإضافة هواء أو غاز للرزين البلاستيكي ليشكل مادة ذات بنية اسفنجية. إن التطورات الحديثة في الرغوة البلاستيكية جعلها من بين العمليات التقنية الأكثر عائدية اقتصادية. الريزينات الشائعة المستخدمة في إنتاج البلاستيك الرغوي، تشمل : أسيد السليلوز، الإيبوكسي، السليكون والفينوليك.

يمكن أن تصنف المواد الرغوية وفق نوع المادة أو وفق التركيب البنيوي لها أو وفق كثافتها إلى:

الفوم المرن: عند تشكيل الفوم في قالب معدني مغلق تنتج حرارة لذا تكون المناطق التي على تماس مع القالب (ذو الناقلية الحرارية الجيدة) أبرد من المناطق التي في المركز. وباستخدام عامل نفخ مناسب سيكون المنتج ذو كثافة منخفضة في الداخل محاط بأسطح كثيفة ويكون سهل الهصر.

الفوم الصلب: يستخدم بصورة أساسية للعزل الحراري لذا يجب أن يكون ذو ناقلية حرارية منخفضة، وبهذه الحالة نحتاج لغازات نفخ ذات وزن جزيئي مرتفع مثل السايكلوبنتان. والفوم الصلب يكون مقاوماً للهِصَر.

البنية الخلوية تشير إلى وجود فتحات في الرغوة والتي يمكن أن تكون على أحد شكلين: بنية خلوية مفتوحة أو بنية خلوية مغلقة، التركيب الخلوي المفتوح يوضح أن الرغوة تحتوي على خلايا متصلة داخلياً أو فتحات مستمرة عبر المادة، وهي تسمح للسوائل بالمرور عبرها بشكل مشابه للإسفنج، وهذا النوع من التركيب الرغوي مرن عادة، أما البنية المغلقة والتي تعني أن الخلايا ضمن الرغوة البلاستيكية وحدات منفصلة مملوءة بالهواء أو الغاز، وهي لن تسمح للسوائل بالمرور عبر الرغوة، وهذا النوع من التركيب الرغوي جاسئ عادة.

1- مزايا الرغوة البلاستيكية : Characteristics of foam

يمكن أن تصنف الرغوات البلاستيكية من خلال استخدامها إلى خمسة فئات: الطفو، الأمتعة، التخميم، العزل، البناء. كما أن خواص الطفو لبعض الرغوات البلاستيكية يجعلها مناسبة بشكل مثالي لأغراض عديدة فبسبب خلايا الهيكل المغلق لن تمتص الماء، وتتجسد الاستخدامات المثالية للرغوة البلاستيكية في هذا المجال بوسائل الطوفات المائية والبرمائية، الطائرات

المائية وبالإضافة إلى ذلك فهي تمتاز بكونها غير قابلة للخرق مثل المطاط المنفوخ أو أدوات الطفو البلاستيكية.

الاستخدام الرئيسي للرغوة هو في صناعة التعليب وذلك منذ أن استطعنا إنتاج الرغوة بأشكال ونماذج متنوعة والتي تمتاز بتخميدها لقوى الصدم بالإضافة إلى خفة وزنها والذي جعلها مثالية لصناعة التعليب.

حلت الرغوة البلاستيكية محل العديد من المواد الأخرى في تطبيقات التخميد، حيث وجدت الرغوات المرنة استخدامات لها في مقاعد المفروشات والطائرات ولوحات القيادة في السيارات وفي الأذرع الاستنادية وفي حشوات السجاد، رغوة البولي يوريثان والبولي إيثيلين مناسبة بشكل خاص لتطبيقات التخميد.

خواص العزل بالرغوات البلاستيكية ظاهرة في كلا حالتي التسخين والتبريد صيفاً وشتاءً كما أن هذه الخاصية تتوضح بشكل مثالي في استعمال كاسات القهوة المصنعة من رغوة البولي ستيرين، الحرارة الناتجة عن القهوة الحارة بالكاد أن تشعر عبر البلاستيك الرغوي، كما أن الخليوية المغلقة تمنع التسرب من هذه الكاسات، تتضمن تطبيقات العزل بالرغوة بطانات الثلاجات والمجمدات واللوحات التركيبية الجدارية وحافظات الأغذية والأواني الحافظة للأغذية وعربات القطار المبردة وحتى حشوات السفن العملاقة.

2- الخواص المشتركة للدائن الرغوية:

- ١- عدم نفوذ الماء والبخار بالنسبة للرغاوي ذات الخلايا المغلقة.
- ٢- العازلية الحرارية الممتازة.
- ٣- كثافة نوعية منخفضة جداً (15 kg/m^3) للبولي ستيرين والبولي يوريثان وقد تصل إلى (10 kg/m^3) لبعض مواد الأمينو بلاست.
- ٤- عازلة جيدة للصوت.

٥- يمكن أن تكون غير قابلة لجريان اللهب والاحتراق بإضافة بعض المواد الخاصة.

٦- سهل التصنيع.

٧- لا تتأثر بالفطريات والحشرات.

٨- تطفو على الماء لخفة وزنها النوعي سواء كانت الخلايا مغلقة أو مفتوحة (تمتص الماء حيث تبقى أخف من الماء) ولكن الخلايا المغلقة فقط هي المستخدمة عملياً بعمليات التعويم لأنها غير قابلة للغرق.

٩- تستخدم اللدائن الرغوية اللينة لامتصاص الصدمات والانضغاط والرجوع إلى الشكل الأصلي.

١٠- خواصها الميكانيكية جيدة وواحدة في جميع الاتجاهات. وتتوقف بشكل أساسي على الكثافة فإذا كانت الكثافة (32 kg/m^3) فيكون:

مقاومة الضغط: 150-220 KPa

مقاومة القص: 175 KPa

مقاومة الانحناء: 200 KPa

١١- عازلية كهربائية ممتازة حيث استخدم بنجاح في العديد من الأسلاك المقولبة وفي تصنيع الكابلات.

١٢- عدم تأثير الظروف الجوية كثيراً، فهو قليل الامتصاص للماء وقليل التأثير بضوء الشمس.

١٣- إن المشكلة الأساسية للبلاستيك الرغوي هي قابلية الاشتعال وسرعة انتشاره بمعدلات وسرعات عالية بسبب المساحة السطحية الكبيرة للتركيب الخلوي. ويمكن تقليل معدلات الاشتعال بإضافة مواد إعاقة للنيران تحتوي على الفوسفور أو الكلور.

١٤- يمكن تسليح البلاستيك الرغوي بألياف الزجاج (PA، PP، Ps، PC...) وهذه تقنية جديدة حيث تؤدي إلى زيادة القوة والصلابة. والبلاستيك الرغوي المسلح في طريقه لأن يحل محل المعادن والخشب في صناعة المعدات المختلفة والأثاث ومواد الإنشاءات. يبين الجدول التالي بعض المواصفات لمواد البلاستيك الرغوي (الحالة، شكل الخلية، مدى الكثافة وأعلى درجة حرارة الاستخدام).

المادة	الحالة	شكل الخلية	الكثافة Kg/cm ³	أعلى درجة حرارة الاستخدام T _{max} °C
PE	لدن بالحرارة - صلب	مغلق	21-800	82
Ps	لدن بالحرارة - صلب	مغلق	16-160	96
PVC	صلب مرن	مغلق مفتوح أو مغلق	32-64 64-960	93 62-107
SI	مستقر حرارياً - مرن أو صلب	مغلق	160-544	204-343
EP	مستقر حرارياً - صلب	مغلق	32-320	177
PUR	صلب مرن	مغلق مفتوح	24-640 15-320	93-121 66-93
PA	صلب	مغلق	640-960	149
PI	صلب	مغلق	224-640	316
PSU	صلب	مغلق	720-1040	171
PC	صلب	مغلق	800-1120	132
الفيلولات	صلب	مغلق أو مفتوح	5-352	149
أيلومير	مرن	مغلق	32-320	
ويستخدم هذا النوع بالعوامات البحرية بشكل خاص				

3- طرق إنتاج الرغاوي: Methods of forming

يتم إنتاج الرغاوي بثلاث طرق أساسية:

١- الطريقة الميكانيكية : Mechanical foaming : وتتلخص برج

الريزين السائل بقوة حتى يمتلئ بفقااعات الهواء مكوناً رغوة. يسخن الريزين بعد ذلك فيتحول إلى رغوة بلاستيكية صلبة. يتم إرغاء مادة الـ PVC بهذه الطريقة.

٢- الطريقة الفيزيائية : Physical foaming : وتستخدم غاز مضغوط أو مواد كيميائية تقوم بتغيير الحالة الفيزيائية للريزين أثناء عملية تكوين الرغوة. وكمثال على ذلك يستخدم غاز النيتروجين المضغوط تحت تأثير ضغط داخل مادة البولي إيثيلين (PE) حيث يتمدد هذا الغاز مكوناً رغوة الـ (PE).

٣- الطريقة الكيميائية : Chemical foaming : وهي عبارة عن خلط أو إذابة مركب كيميائي في الريزين السائل ليتفاعلا تحت تأثير الحرارة لإنتاج مادة غازية تحدث رغاوي داخل الريزين وبالتالي الحصول على مادة رغوية. مثال على ذلك مادة البولي يوريثان (PU).

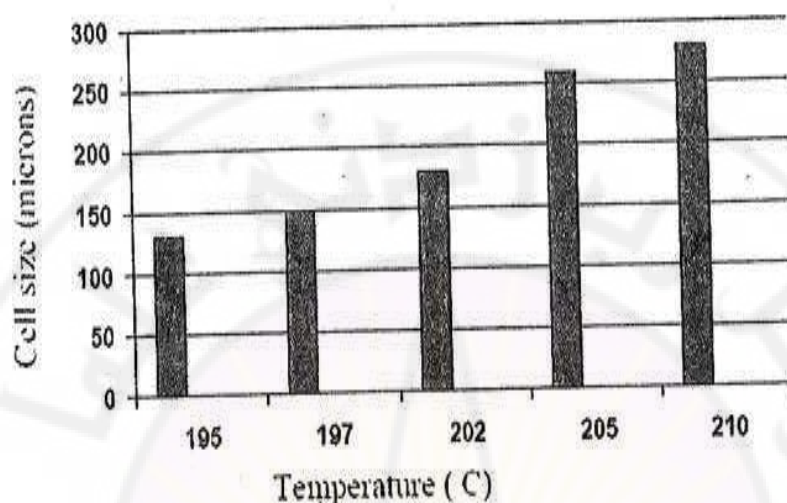
4- طرق قولبة البلاستيك الرغاوي : Foam Molding processes

العمليات الصناعية للقولبة بالرغوة كثيرة، عموماً تنتج الرغوة على شكل كتل سميكة أو ألواح يليها تطبيقات لاحقة بعض الرغوات تقوالب أو تبتق بينما رغوات أخرى ترغى في مكانها داخل القوالب أو تحقن، وأهم الطرق المستخدمة للقولبة هي:

١- قولبة الرغوة بالبتق : Extruded foam molding : يستخدم

البلاستيك المبتوق المرغى لإنتاج معظم الألواح أو الصفائح والقضبان، حيث تستخدم العملية نفس المبادئ في البثق للبلاستيك النظامي ما عدا عامل النفخ

أو إدخال غاز إلى داخل الباثق لترغيه الريزين الحار قبل أن يغادر مقطع التشكيل، ويبين الشكل (1) العلاقة بين درجة الحرارة وحجم الفقاعات.



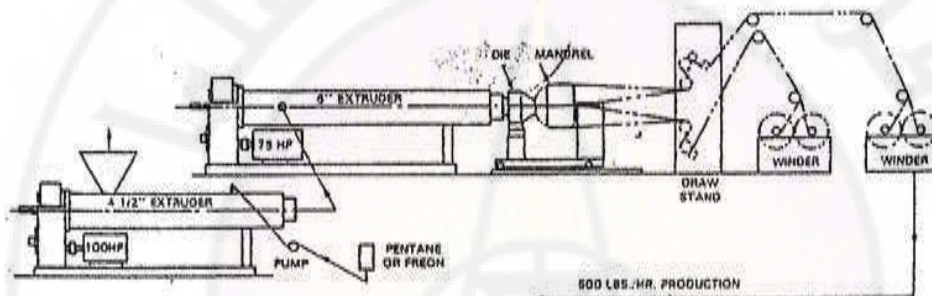
الشكل (1)

علاقة درجة الحرارة مع حجم الفقاعات في عملية البثق للبلستيك الرغوي.

معظم المواد البلاستيكية المرغاة هي مواد تعتبر أولية وتحتاج لعمليات تشكيل أخرى للوصول إلى المنتج النهائي، كمثال الألواح الرغوية المبتوقة يمكن أن تقطع وتلصق لتشكيل معظم الأشكال المطلوبة.

الإنتاج الأكثر شيوعاً للرغوة المبتوقة هو الصفائح المستوية المصنوعة من البولي ستيرين، البثق الأفضل للصفائح المستوية هو عن طريق مقطع تشكيل أنبوبي، فما إن تبرز الرغوة من مقطع التشكيل حتى تتمدد بشكل منتظم وهذا مختلف عن الرغوة المبتوقة من مقطع تشكيل مستوي، تتم العملية بواسطة باثقين، في الباثق الأول يسخن البلاستيك وعندها يحقن عامل النفخ كما في الشكل (2).

إذا تم البثق خارج مقطع التشكيل في هذه اللحظة ستكون المادة ساخنة بشكل كافٍ لتسبب بتمزيق الخلايا وذلك بسبب تمدد عامل النفخ بشكل سريع جداً، لذلك يضخ المصهور إلى باثق ثاني لتبريده ومن الباثق الثاني يتم خروجه عبر مقطع التشكيل. ومن ثم ستمدد الرغوة وستسحب على قالب التشكيل المعايير، في الحالة الاعتيادية يتم قص الرغوة إلى قسمين ويسحبان عبر سلسلتان من البكرات والملفات.

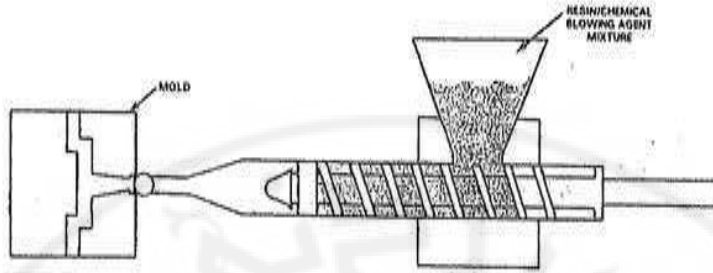


الشكل (2)

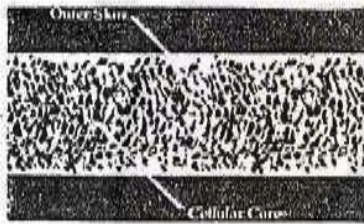
معظم الصفائح المرغاة تشكل بالخلاء، كتشكيل حاويات تعليب البيض وكذلك علب الأطعمة السريعة وأطباق التعليب.

٢- قولبة الرغوة بالهيكلية : Structural Foam molding

قولبة الرغويات الهيكلية عملية مشابهة لقولبة البلاستيك الحراري من النوع الصلب بالحقن، حيث تتم الترغية بإدخال غاز خامل (النيتروجين عادة) بشكل مباشر إلى داخل المصهور أو باستخدام مواد وعناصر نفخ تخطط بشكل مسبق مع الريزين، الشكل (3) يبين رسم تخطيطي لخط بثق صفائح مرغاة.



الشكل (3)

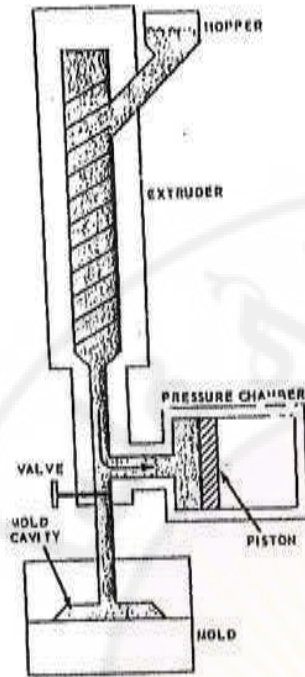


الشكل (4)

في حالة استخدام عناصر نفخ كيميائية تخلق مع الريزين يتولد الغاز النافخ ضمن الريزين المصهور حيث يتمدد بشكل الطبقة ويكون له طبقة سطحية قاسية كما في الشكل (4).

وإجمالاً يكون لسطوح قوالب الهيكلية الرغوية سطوح مستمرة، والأجزاء الكبيرة تصنع على آلات خاصة مجهزة بمجمعات، يغذى البائق المجمع بالريزين المصهور والمحتوى على عامل نفخ (أو يدخل في حجرة ضغط) حيث يخضع للضغط لمنع تمدده، وعندما تتجمع كمية من الريزين المصهور يفتح الصمام ويدخل الريزين المصهور المضغوط إلى فجوة القالب الشكل (5).

يمكن أن تعالج القطع ذوات الأوزن الأكثر من (45 kg) بهذه العملية. العديد من أنواع البلاستيك يمكن أن يصنع بهذه الطريقة، ومثال على ذلك (PE) و (PS) اللذان يستخدمان لصناعة الأغلفة الواقية من الصدمات وبعض



الشكل (5)

أجزاء المفروشات والمنتجات الخشبية، أما الـ (PC) والـ (ABC) والـ (PPO) فهي خاصة بالتطبيقات التي تتطلب متانة وسطوحاً قاسية، ومنتجاتها الشائعة هي الكراسي المقولبة وأجزاء بعض الآلات ومعدات المكتب.

يتفوق هذا النوع من القولبة بالعديد من المزايا على مثيلاته من أنواع القولبة بالحقن النظامي والقولبة المسلحة فبهذه

الطريقة نستطيع أن نصنع الأجزاء الضخمة، فالهيكل يقدم متانة وخفة مترافقة مع توفير في المواد والأجزاء المعدنية التي كانت تصنع سابقاً من عدة أجزاء يمكن الآن أن تصنع من قطعة واحدة بهذه العملية، أما مساوئ هذه العملية فهي الحجم الكبير لمعداتنا والحاجة إلى تغطية الأجزاء الحلزونية الكثيرة فيها.

٣- قولبة الرغوية بالحقن: Injection Mold

وتتم ضمن قوالب مع الأخذ بعين الاعتبار أن الضغط يلعب دوراً أساسياً، وهنا يجب التمييز بين ثلاثة حالات:

١- الضغط المنخفض: وهي الأكثر استخداماً لبساطتها، مناسبة للمنتجات المعقدة والكبيرة جزئياً.

العملية: يحقن المزيج نحو طبعة القالب حيث يتم توليد ضغط منخفض حوالي (1.4-3.5 MPa). يملأ المزيج القالب بشكل جزئي وينطلق الغاز ثم تتشكل قشرة صلبة رقيقة نسبياً عند جدران القالب، وتتم السيطرة على كثافة الرغوة من خلال التحكم بكمية المصهور المحقونة، درجة حرارة القالب، نوع وكمية عامل النفخ، درجة حرارة وضغط المصهور، سرعة الحقن.

٢-الضغط العادي : وهنا حجم طبعة القالب أكبر من حجم البلاستيك المصهور. يتم نمو الرغوة خلال إملء حيث تنمو الفقاعات وتحمّل إلى سطح القالب مولدة سطح غير منتظم يدعى (splay) حيث تكون الخشونة حوالي (25 µm).

متغيرات العملية الأساسية هي:

- ١- درجة حرارة القالب والمصهور.
 - ٢- معدل الحقن.
 - ٣- طببعة ونوع عامل الحقن وتركيبه.
 - ٤- درجة التسخين والتبريد لسطح القالب.
- ٣-الضغط العالي: يحقن المزيج المنصهر نحو القالب مولداً ضغط أكبر من ضغط غاز النفخ وهذا يضمن عدم فقدان الضغط أثناء الحقن. يكون الضغط حوالي (138-34.5 MPa).
- يتم إملء القالب مباشرة لذلك فإن الضغط يمنع أي رغوة من الظهور خلال تصلب القشرة، وحالما تتصلب القشرة إلى الثخانة المطلوبة فإن ضغط القالب ينخفض ليسمح للرغوة بالتشكل.

مستلزمات تصميم قوالب حقن الفوم:

- ١- تكلفة تصنيع رخيصة.
- ٢- التوصيل الحراري عالي مع حرارة نوعية منخفضة.

٣- مقاومة عالية للانضغاط.

٤- خفة الوزن.

٥- مقاومة التآكل.

٦- صلادة سطحية كافية.

٧- معامل التمدد والمعامل الحراري منخفض.

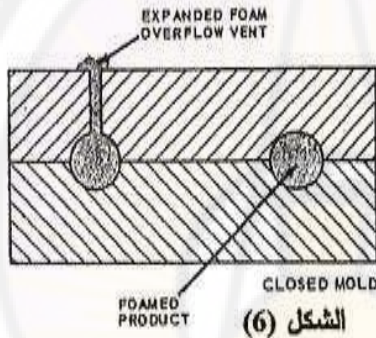
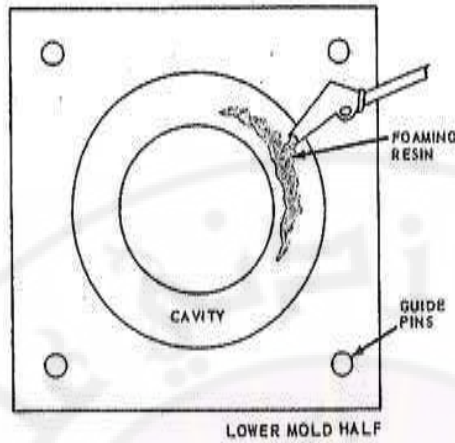
٨- درجة ثبات عند درجات الحرارة تكون كافية.

ومن الملاحظ أن مادة الألمنيوم من أفضل المواد التي تحقق هذه الشروط.

٤- صب الرغويات : Casting foams

تستخدم الريزينات السائلة والتي تحوي مواد محفزة وعوامل نفخ كيميائية في عمليات الصب الموضعي، وعادة يتم إنتاج الرغوة بخلط الريزين السائل بالمادة المحفزة مع عوامل النفخ الكيميائية وأثناء حدوث التفاعل الكيميائي تتمدد الخليطة لتشكل البنية الرغوية الخلوية.

البولي يوريثان الرغوي بنوعيه المرن والجاسئ وبلاستيوسول كلوريد البولي فينيل، تستخدم في هذه العملية بشكل مشابه لعمليات صب الريزينات السائلة. يزود عادة قالب الألمنيوم بفتحة في أعلاه لتسمح للرغوة بالتمدد (نادراً ما يتم الصب في القوالب المفتوحة لأن الرغوة تتمدد بشكل لا يمكن السيطرة عليه لعدم تطبيق أي ضغط). في هذه العملية يتم فصل نصفي القالب ثم يطلّى الجزئين بمانع التصاق ثم يصب رزين البولي يوريثان المخلوط بالمركبات المطلوبة وفق النسب المحددة في النصف السفلي من القالب ثم يغلق القالب ويتم ربط جزأيه بإحكام إلى بعضها البعض وبسرعة لمنع تسرب الرغوة التي تتمدد لئلا فجوة القالب شكل (6)، ومن المنتجات النموذجية المصنعة بهذه الطريقة العوامات وأغلفة القطع الواقية من الصدمات والكثير من الألعاب.



تشبه عمليات الصب الرغوي الموضعية عمليات الصب في القوالب إلا أنه في الصب الموضعي يكون القالب هو المنتج، ومثال ذلك باب الثلاجة حيث يصب الريزين ضمنه، والرغوة الأساسية المستخدمة في هذه الطريقة هي البولي يوريثان بنوعيه المرن والجاسئ.

تستخدم آلة توزيع لخلط مكونات الريزين بتأثير الضغط إلى التجويف الداخلي للمنتج، وبعد دخول الرغوة إلى داخل المنتج تتمدد وتتصلب. ثم يتم نزع الأجزاء الكبيرة باليد أما الرايش الزائد عن عملية الصب فيتم قصه. تعتبر عملية الصب في القوالب تطبيقاً حديثاً لعمليات الصب الموضعي. ومن التطبيقات الأخرى عزل جدران عربات القطار المبردة ولوحات قيادة السيارة

ومساند الذراعين في الكراسي وبعض أجزاء القوالب. وتلغى هذه العملية الحاجة للقوالب وتمكننا من تطبيق العزل والتخميد على التجويف المعقد للمنتج.

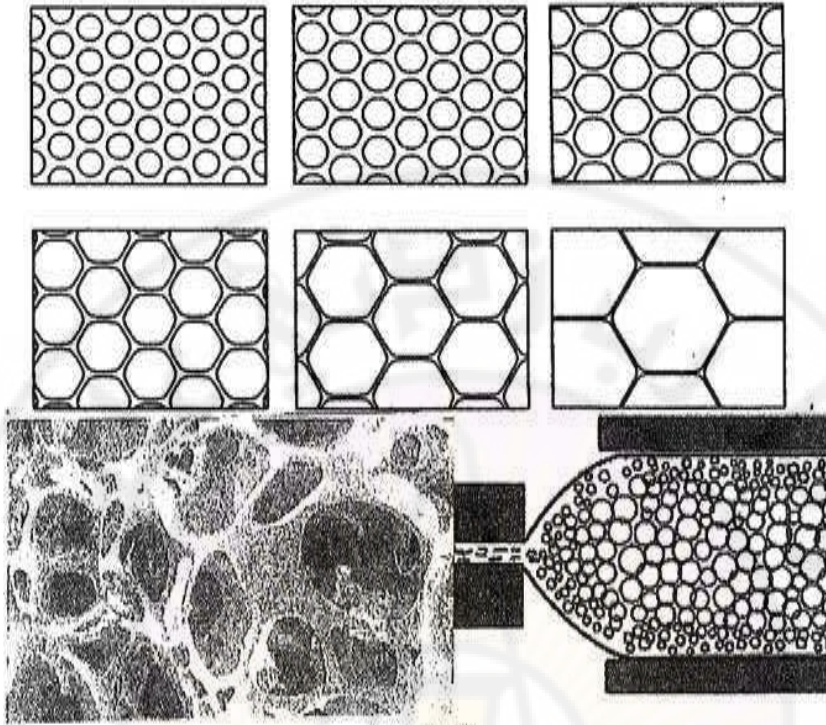
٥- قولبة الرغوة القابلة للتمدد: Expandable foam molding

يعدّ البولي ستيرين الريزين الأول المستخدم في إنتاج الحبيبات القابلة للتمدد، وإن كل كرية أو حبيبة صغيرة تحوي في جوفها على غاز، وعندما نطبق الحرارة عليها فإن الغاز أو عامل النفخ يجعل الحبيبة تتمدد وفي الوقت نفسه تصبح الطبقة الخارجية للاستيرين طرية مما يسمح للحبيبات بأن تنتفخ مثل البالون الصغير كما بالشكل (7) وبما أن الطبقة الخارجية طرية ومصهورة فإن الحبيبات سوف تلتحم معاً أثناء تمددها، عندما يوضع عدد كاف من الحبيبات في قالب مدعم وتسخن الحبيبات فإنها سوف تتمدد لئلا تجويف القالب وتسبب ضغطاً كافياً لئلا تلتحم الحبيبات معاً لتشكيل رغوة صلبة حيث تعطي بنية خلوية مغلقة وتسمى بعد القولبة بالرغوة المتمددة. تتوفر حبيبات البولي ستيرين القابلة للتمدد بعدة قياسات متدرجة، وتستخدم القياسات الكبيرة لإنتاج الكتل المقبولة وحقائب الأمتعة الكبيرة. وتستخدم الحبيبات الصغيرة لصناعة الأدوات مثل أكواب الشراب. عادة تصنع القوالب من الألمنيوم أو من الفولاذ الغير قابل للصدأ.

انطلاقاً من قواعد الإنتاج توضع الحبيبات في مكابس آلية الفتح والإغلاق وذلك من أجل دورات تحميل وتشكيل وتفرغ متلاحقة.

إن العمليات النموذجية للقولبة المتتالية تتألف من:

التمديد المسبق للحبيبات ثم ملء القالب بهذه الحبيبات ثم تعريض القالب للتسخين ثم للتبريد ثم فتح القالب ثم سحب المنتج.



الشكل (7)

يتم التسخين المسبق للحبيبات باستعمال البخار أو المشعات الحرارية أو الماء الساخن أو حرارة الفرن، وهذه العملية تؤمن للحبيبات كثافة قريبة من كثافة المنتج النهائي. ويمكن تغيير آلات التسخين المسبق التجارية لتؤمن الكثافة المطلوبة للحبيبات.

تسحب الحبيبات من آلات التمديد المسبق وتدخل إلى القالب إما بفعل الجاذبية أو بواسطة تيار من الهواء المضغوط حتى تملأ القوالب كاملة بالحبيبات المسبقة التمديد، ثم يتم تسخين القوالب من أجل تحقيق التمديد والالتصام للحبيبات وذلك بواسطة تمرير البخار ضمن فتحات من القالب أو بوضع القالب في الـ (auto clave) (مرجل بخاري ضخمة) أو بضخ البخار بضغط عال داخل القالب المحكم الإغلاق. بعد التمديد النهائي يبرد القالب بواسطة

الماء الجاري عبر أنابيب التبريد أو بواسطة رش الماء، ثم يتم نزع المنتج الرغوي المتمدّد من القالب بواسطة ضغط الهواء أو بواسطة مقلب نزع. معظم المنتجات المقولبة من حبيبات البولي ستيرين القابلة للتمدّد تستعمل لأهداف العزل والتغليف. البولي ستيرين القابل للتمدّد المتوفر على شكل شريط أو برّيم تستعمل بشكل خاص في التغليف. تمّدّد هذه المواد بواسطة مشعات حرارية أو بخار لتعطى مواد تغليف ذات امتصاص عال للصدمات وخفة وزن كبيرة.

٦- قولبة الرغوة في المخبر: Foam molding in laboratory

هناك عمليتان تتضمنان رغوة البلاستيك تعدّان مناسبتين للنشاط المخبري هما قولبة الحبيبات القابلة للتمدّد وصب سائل رغوة الريزّين. وتؤدي كل عملية بطريقة القولبة نفسها التجارية ما عدا تنوع الأدوات.. إن متطلبات قولبة الحبيبات القابلة للتمدّد هي:

١- قالب (غالباً من الألمنيوم).

٢- مصدر حراري أو بخاري.

يمكن تصنيع القوالب من الألمنيوم المشغل أو المصبوب والذي يمكن تشغيله بسهولة. وينقل الحرارة جيداً يمكن وضع القالب في الماء المغلي لتوفير المتطلبات الحرارية أو تمرير بخار ضمن القالب بواسطة أنبوب متصل مع مولد البخار أو بوضع القالب في حجرة البخار (auto clave).

من أجل إجراء عملية القولبة لحبيبات البولي ستيرين القابلة للتمدّد يجب اتباع الخطوات التالية:

١- تمديد حبيبات البولي ستيرين القابلة للتمدد بشكل مسبق بواسطة وضعهم في الماء المغلي أو باستعمال مشعات حرارية أو مسدس حراري لوحده تمديد مسبق.

٢- يملأ قالب بالحبيبات الممدة سابقاً مع التأكد من امتلاء كامل التجويف.

٣- يشد نصفا القالب إلى بعضهما بإحكام وتوضع سدادة في فتحة التعبئة.

٤- يوضع القالب المملوء لفترة زمنية (10-15 min) في وعاء من الماء المغلي ليتم التمدد والالتحام.

١- بعد التمدد يخرج القالب من الماء المغلي ويبرد ويرش الماء عليه وينزع المنتج.

يتم صب رغوة البولي ستيرين الصلبة أو المرنة بنفس الطريقة المشروحة في العملية التجارية ويجب اتباع تعليمات المصنع لمزج مكوني ريزين البولي يوريثان تعد قوالب الجص والمعدن مناسبة للاستخدام في عمليات الصب.

5- البولي يوريثان (الفوم) Polyurethane (PUR) (العازل الرغوي):

هو مادة بلاستيكية مؤلفة من جزيئات صلبة مفرغة تحوى في داخلها مجموعة من الغازات والأبخرة، وهي متعددة الاستخدامات حيث يمكن جعلها طرية (صناعة الوسائد ومقاعد السيارات...) أو صلبة (عزل الأسطح والبرادات...)، وبإضافة مادة الايلاستومير لها تزداد خاصية الارتداد للفوم الصلب فيمكن استخدامها هي تابلو ورفاريات السيارات والمصدات...

ويجب التنوية إلى أن نفايات الفوم لا تشكل مشكلة حيث أصبحت تفرم على شكل قطع صغيرة الحجم وتوضع في الطبقة السفلية للسجاد وهذا الاستخدام ناجح جداً.

ينتج الفوم من تفاعل كيميائي بين مادتين أساسيتين هما:

- ١- البوليول Polyol ويتم الحصول عليه من مشتقات بترولية.
- ٢- الايزوسيانات Isocyanate وله نوعان: Aliphatic و Aromatic بالإضافة إلى الماء، مواد نافخة، منشطات ووسيط للتفاعل ومواد مثبتة.

يحدث التفاعل عند مزج المادتين بنسب محددة وبظروف ملائمة وبوجود مواد وسيطة ومساعدة فترتفع درجة الحرارة وتتطلق مجموعة من الغازات، ويمكن أن يصل التغير الحجمي إلى (30) ضعفاً من الحجم الأساسي. يمر هذا التفاعل بثلاثة مراحل زمنية.

١- الزمن الأول Cream time .

٢- الزمن الثاني (الزمن الهلالي) Gel time .

٣- الزمن الثالث (زمن الاسترخاء) Tack time .

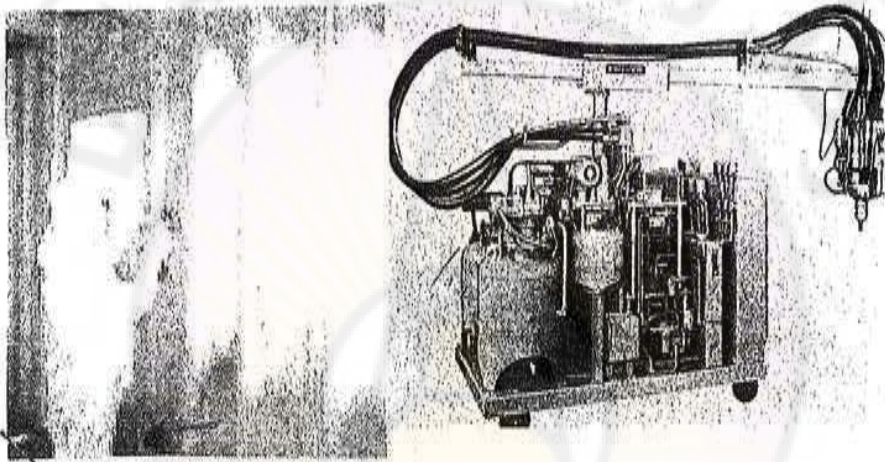
إن الماء (H_2O) يدخل في التفاعل حيث ينتج عن هذا التفاعل (CO_2) الذي يشكل حوالي (50%) من الخلايا المفرغة.

يستخدم غاز الفريون ($R11$) كمادة نافخة، ولكن هذه المركبات تؤثر على طبقة الأوزون وبالتالي أصبحت خاضعة للحظر التدريجي بموجب اتفاقيات مونتريال بكندا، ويتم الآن تشجيع استعمال مواد بديلة صديقة للبيئة مثل سايكلوبنتان.

العوامل المؤثرة على التفاعل:

- ١- مواصفات المواد الأساسية ونشاطها.

- ٢- طريقة المزج ونوعية الحقن (ضغط عالي - ضغط منخفض).
- ٣- درجة الحرارة لكل من الورشة، المادة والقالب.
- ٤- نسبة المواد النافخة إلى البوليول والأيزوسيانات.
- ٥- نسبة المزج (حسب نوع الفوم المراد الحصول عليه).
- ٦- خواص قالب الحقن.
- ٧- الطرق المتبعة لإخراج الغازات والهواء الناتج عن التفاعل.



شكل (8)

آلة. عامل يبخ الفوم على الجدران الداخلية لمنزل كعازل.

مميزات البولي يوريثان (الفوم):

- ١- عازل حراري جيد.
- ٢- عازل كهربائي جيد (استخدم بنجاح في تصنيع الكابلات).
- ٣- صناعة سهلة مقارنة بالمواد الرغوية الأخرى.
- ٤- مقاومة ميكانيكية جيدة (حسب الكثافة).
- ٥- مقاومة الاحتكاك.
- ٦- قليل التأثير بضوء الشمس والمناخ بشكل عام.

٧- قليل الامتصاص للماء (2-3%) وكثافته المتوسطة (24 kg/m^3)

لاشك أن هناك بعض العيوب والمساوئ للفوم ولكن معظمها ناتج عن الأخطاء المرتكبة بعملية الإنتاج (القولبة) ونسب مزج المواد كما يجب وهذه النقطة هامة جداً.

6 - تطبيقات واستخدامات البلاستيك الرغوي:

- يمكن تحديد الاستخدامات المختلفة للبلاستيك الرغوي في المجالات التالية:
- في مجال العزل الحراري، حيث يستخدم البلاستيك الرغوي الصلب ذو الخلايا المغلقة لعزل الجدران حيث تخفف حرارة الصيف وبرودة الشتاء. وتستعمل هذه الميزة كذلك من حشوات البرادات والفريزرات وعزل الأنابيب وما شابه ذلك.
 - في مجال المفروشات والأثاث، حيث تستخدم في تجديد مقاعد السيارات والمفروشات والوسائد الأحذية وصدادات السيارات الأمامية والخلفية.
 - في مجالات التغليف، حيث تستخدم للتعبئة والتغليف لكثير من المنتجات الغذائية، والأدوات المنزلية الكهربائية والغير كهربائية نظراً لخفة وزنها وتحملها العالي للصدمات بالإضافة لسهولة الحصول عليها بأشكال وحجوم مختلفة تلائم شكل وحجم الجسم المراد تغليفه، وغالباً تكون ذات لون أبيض.
 - في مجال الطفو، حيث تستخدم المواد الرغوية ذات الخلايا المغلقة في صناعة القوارب والطوافات، والطائرات وأطواق النجاة التي لا يمكن ثقبها كالأطواق المصنوعة من المطاط.
 - في المجالات العامة: إطارات الصور، عوازل الصوت، أثاث الشاليهات، عوامات خزانات الوقود، أكواب الشراب البارد والساخن، التجديد في معظم مجالات الأثاث، كراسي السيارات ... إلخ.

7- عيوب القولبة الرغوية وأسبابها وطرق المعالجة

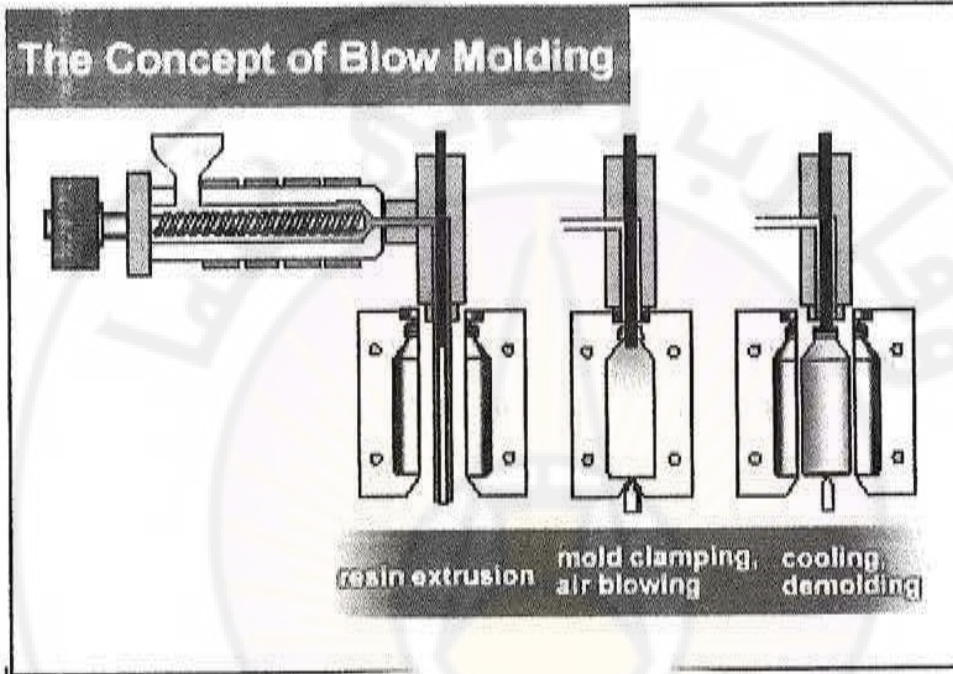
العيوب	السبب المحتمل	المعالجة
الفوم الطري	نسبة المواد غير ملائمة	أعادة تحديد النسب
بنية خلوية فقيرة	١- ضغط الصهار منخفض ٢- توقف طارئ في القالب ٣- ضغط منخفض على السطح . ٤- خلايا غير منتظمة.	١- زيادة سرعة الدوران. - خفض درجة حرارة جوف القالب. ٢- تقليل فجوة القالب. ٣- زيادة سرعة اللولب. ٤- استخدام قالب تغذية سفلي. - زيادة الضغط العلوي
اختلاف كبير في توزيع الكثافة	١- كمية المواد المحقونة غير كافية ٢- كمية المواد النافخة قليلة	١- زيادة سرعة اللولب. ٢- زيادة نسبة المواد النافخة.
تشكل قشرة فقيرة	١- عامل نفخ كبير . ٢- فقدان ضغط المصهور في محيط القالب. ٣- درجة حرارة القالب منخفضة جداً.	١- تخفيض مستوى عام النفخ. ٢- زيادة سرعة اللولب. - زيادة نسبة L/D ٣- زيادة سرعة اللولب. - زيادة درجة الحرارة.
بروز فقاعات على السطح أو ثقب صغيرة في الطبقة.	١- عامل نفخ كبير. ٢- درجة حرارة القالب عالية جداً. ٣- انصهار كبير للريزين. ٤- تحلل عامل النفخ فوراً. ٥- وجود شوائب. ٦- تدفق فقير خلال قشرة البوليمير.	١- تخفيض مستوى عامل النفخ. ٢- تخفيض حرارة القالب. ٣- تخفيض الريزين المصهور. ٤- تخفيض درجة حرارة العملية. - تخفيض مستوى عامل النفخ. - زيادة سرعة اللولب. ٦- تحسين التدفق في الأعلى وفي القالب.

عدم التصاق	١- كمية المواد المحقونة غير مناسبة. ٢- نسبة المواد غير صحيحة. ٣- حرارة القلب منخفضة. ٤- تلوث السطوح.	١- زيادة سرعة اللولب. ٢- تصحيح النسبة. ٣- رفع حرارة القلب. ٤- تنظيف السطوح.
انهيار الخلايا	١- انصهار الريزين عالي جداً ٢- التبريد سريع جداً	١- إنقاص المصهور داخلياً. - إنقاص درجة حرارة القولية ٢- تخفيض معدل التبريد.
انتفاخ القلب	١- كمية المواد النافخة كبير ٢- لزوجة المواد قليلة	١- تقليل الكمية.
فشل الكتلة	فترة التبريد قصيرة جداً	تخفيض ضغط البخار
وتفوسها أو انهيارها	يجب عدم تعرض الكتل الحديثة الإنتاج للتغيرات الهوائية	

الفصل الثامن

القولبة بالنفخ

Blow Molding

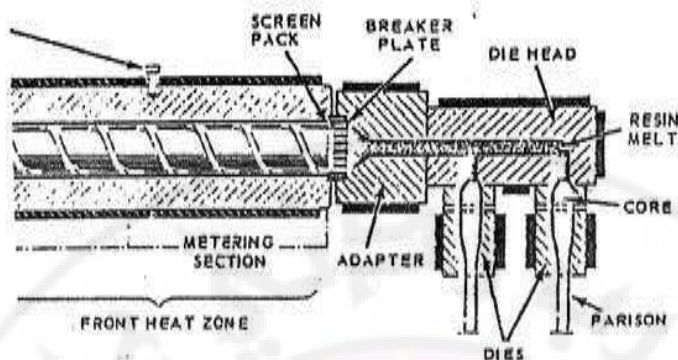


المبدأ:

تستعمل طريقة القولبة بالنفخ لإنتاج الأجزاء البلاستيكية المجوفة ذات الجدران الرقيقة. يتم وضع أنبوب أو أسطوانة من المادة البلاستيكية بين فكي القالب ويدعى هذا الجزء بالباريزون Parison ويتم إنتاجه بالبتق.

إن الباريزون هو الجزء الأساسي الذي يتم تشكيله قبل النفخ على شكل أسطوانة مجوفة وتتم عملية النفخ بداخله لإعطاء الشكل النهائي كما في الشكل (1).

مثال: مراحل صناعة القوارير كما بالشكل (2).



الشكل (1)

يتم إغلاق القالب لبعض على نهايات البلاستيك المسخن ثم يتم ضغط الهواء لنفخ المادة حتى تأخذ شكل جدران القالب التي أجبرت على الالتصاق بها. الأطوار الرئيسية الثلاثة لهذه العملية التجارية هي مبينة بالشكل (2).

١- تليدين الريزين بواسطة الحرارة.

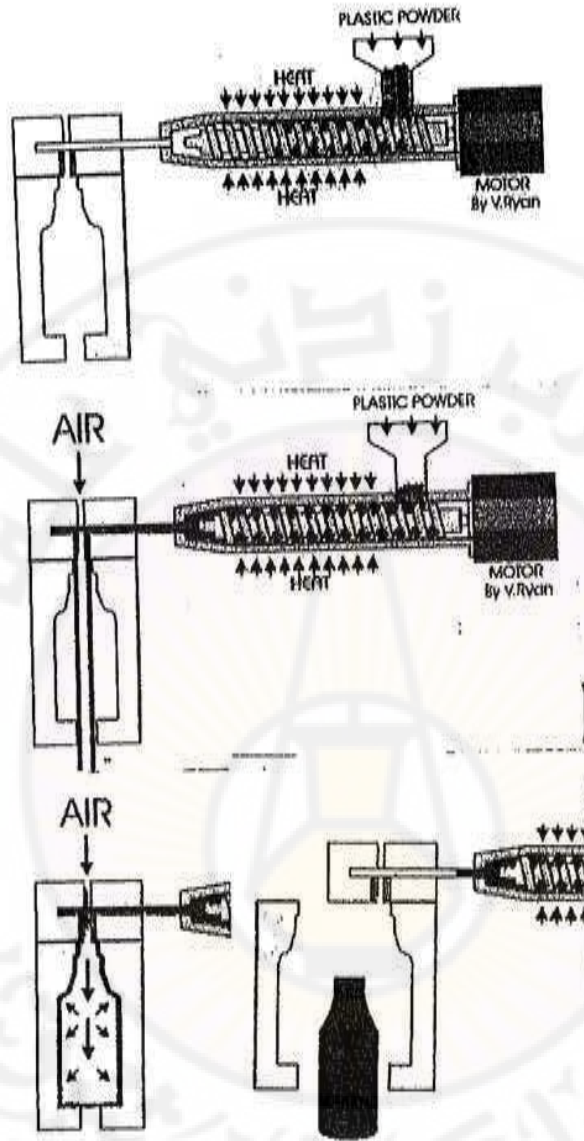
٢- تشكيل الباريزون (Parison).

٣- نفخ الباريزون في القالب.

تعتمد المرحلة الأولى على استخدام البائق لتسخين البلاستيك إلى مرحلة الانصهار ومن ثم ضغطه أو حقنه إلى رأس القالب، هذا الجزء من العملية شبيه تماماً بعمليات البثق العادية.

ثانياً يتم إعطاء قطر وسماكة جدران الباريزون المبتوق بواسطة القالب، أو أكثر من قالب "قوالب متعددة" حيث يصبح جاهزاً ليثبت بين نصفي القالب.

تتضمن المرحلة الثالثة إغلاق نصفي القالب بالاعتماد على الضغط الهيدروليكي وبالتالي يتم إمساك الباريزون ومن ثم يستخدم الهواء لمط البلاستيك إلى الشكل المتطابق مع شكل فجوة القالب.



الشكل (2) صورة توضيحية لتسلسل عملية صنع القوارير

1- تحليل القولبة بالنفخ : Anaalysis of Blow Moulding

كما ذكرنا مسبقاً، عندما يظهر البلاستيك المصهور من القالب (die) يتضخم بسبب الاستعادة الناتجة من التشوه المرن في المصهور. سوف يظهر لاحقاً أن العلاقة التالية تطبق:

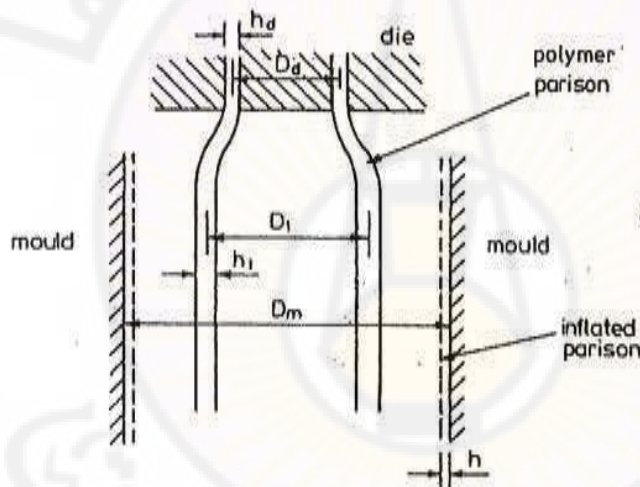
$$B_{sh} = B_{st}^2$$

B_{sh} : تضخم السماكة. $\frac{h_1}{h_d}$

B_{st} : تضخم القطر $\frac{D_1}{D_d}$

$$\frac{h_1}{h_d} = \left(\frac{D_1}{D_d}\right)^2 \Rightarrow h_1 = h_d \cdot B_{st}^2 \quad \text{لذلك :}$$

والآن باعتبار الوضع الذي ينفخ فيه الباريزون ليملى عنق اسطواني بقطر (D) بفرض ثبات حجمه وبإهمال تأثير التهدل، من الشكل (3):



الشكل (3) تحليل القولبة بالنفخ

$$\pi \cdot D_1 \cdot h_1 = \pi \cdot D_m \cdot h$$

$$h = \frac{D_1}{D_m} h_1 = \frac{D_1}{D_m} h_d \cdot B_{st}^2 = \frac{B_{st} \cdot D_d}{D_m} h_d \cdot B_{st}^2$$

$$\Rightarrow h = B_{st}^3 \cdot h_d \cdot \frac{D_d}{D_m}$$

يمكن هذا التعبير من حساب سماكة القطعة المصبوبة بدلالة أبعاد القالب ومعدل التضخم وقطر القالب يبين المثال التالي الفائدة من هذا التحليل:

مثال:

عنق قالب النفخ له قطر خارجي مقداره (30 mm) وقطر داخلي بمقدار (27 mm) يتم نفخ الباريزون بضغط هواء مقداره (0.4 MPa) لإنتاج قنينة بلاستيكية بقطر (50 mm) إذا كان معدل البثق المستعمل يحقق نسبة سماكة تضخم بمقدار (2) حدد قيمة سماكة جدار القنينة، اشرح شروط الإنتاج إذا كان تمزق المصهور يحدث عند إجهاد (6MPa).

الحل :

من معادلة سماكة الجدران نجد :

$$h = B_{ST}^3 \cdot h_d \cdot \frac{D_d}{D_m}$$

$$h_d = 0.5(30 - 27)1.5 \text{ mm}$$

$$B_{ST} = \sqrt{B_{sh}} = \sqrt{2} = 1.414$$

$$D_d = 0.5(30 + 27) = 28.5 \text{ mm}$$

$$H = (1.414)^3 \times 1.5 \times \frac{28.5}{50} = 2.42 \text{ mm}$$

سيكون الإجهاد الأعظمي في الباريزون المنفوخ هو إجهاد التحمل والذي يعطى بالعلاقة :

$$\sigma_0 \frac{P \cdot D_m}{2 \cdot h} = \frac{0.4 \times 50}{2 \times 2.42} = 4.13 \text{ MPa}$$

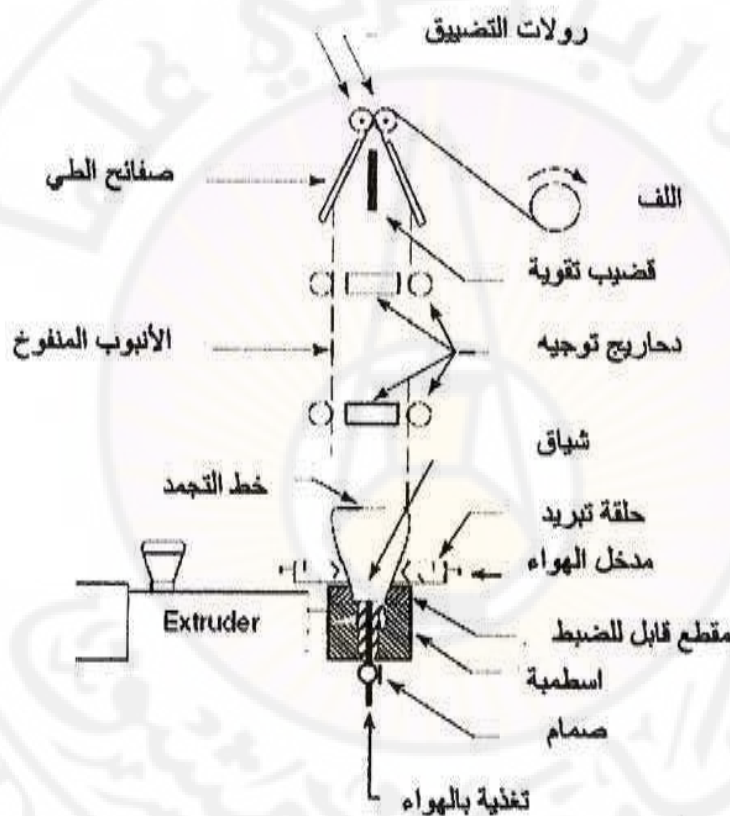
بما أن هذا أقل من إجهاد تمزق المصهور (6 MPa) ستكون هذه الشروط للإنتاج مناسبة.

2- طرق القولبة بالنفخ :

١ - القولبة بالنفخ بمساعدة البثق: Extruder Blow Molding

من أهم تطبيقات القولبة بالنفخ بمساعدة البثق الفلم المنفوخ ورقائق المواد البلاستيكية الأخرى. كما هو موضح بالشكل (4) حيث يخرج البوليمير في هذه الحالة من رأس البثق ليدخل القالب النفخ (die) حيث يمر حول شياق

لينبتق بشكل أنبوبي لينتد على شكل فقاعة بالقطر المطلوب بتأثير ضغط الهواء الداخلي المار عبر مركز الشياق الهواء الموجود داخل الفقاعة لا يستطيع الهروب من القالب ولا من الأعلى بالمحافظة على ضغط الهواء متوازن نضمن ثبات سماكة الفلم. تبرد فقاعة الفيلم إلى ما دون درجة حرارة نقطة التلدين للبوليمير بنفخ الهواء من حلقة تبريد متوضعة حول القالب.

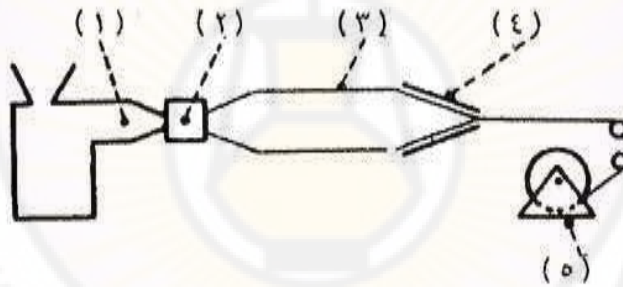


الشكل (4)

الشياق Mandrel قالب التشكيل للمصوبة الجوفاء

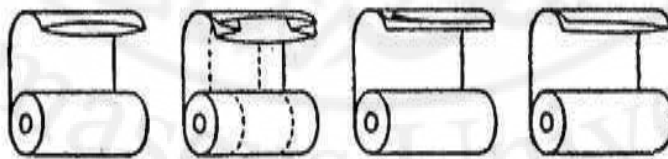
عندما يبرد البوليمير - مثل البولي إيثيلين - إلى ما دون درجة حرارة التلدين، المادة المتبلورة تكون أكثر غباشاً من العشوائية بالمقارنة مع المنصهر بشكل كامل خط المقطع الانتقالي يوافق هذا التحول ذلك يدعى خط التجمد نسبة

قطر الفقاعة إلى قطر القالب يدعى نسبة التكبير تتراوح هذه النسبة بين (4-5) كحد أعلى لكن تساوي (2.5) بشكل نموذجي أكثر. يحدث التوجيه الجزئي في الفيلم عند طارة التوجيه أثناء التكبير، والتوجيه باتجاه الآلة أي باتجاه جريان المواد المبتوقة من القالب يمكن أن يعزى إلى الشد من الرولات المتضيق التي تجعله مسطحاً. (البثق الشاقولي الموضح بالشكل هو الأكثر شيوعاً على الرغم من أن تقنية البثق الأفقي تستخدم بشكل ناجح). عملية البثق معقدة جداً حيث هناك عدد من المشاكل المتعلقة بإنتاج فيلم عالي الجودة، بالإضافة إلى التفاوتات في سماكة الفيلم، وعيوب السطوح مثل التجعد وانخفاض متانة الشد. إن العوامل المؤثرة في ذلك كثيرة، مثل المزج الغير كامل في الباثق أو تلوث البوليمير المنصهر. يمكن أن تكون عملية القولبة أفقية كما في الشكل (5).



الشكل (5)

(١): آلة بثق. (٢): مخرج حلقي. (٣): نموذج التبعاد. (٤): دليل. (٥): عملية اللف.



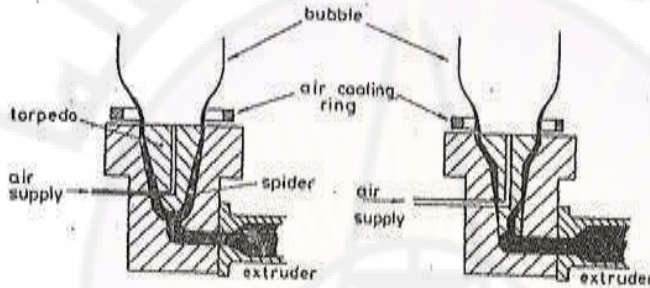
نماذج مختلفة من الطبقات الرقيقة (الأغلفة)

- نفخ الطبقات الرقيقة: Film Blowing الشكل (6)

إنه من الممكن أن نقدر تقديراً بسيطاً لعملية التوجيه في نفخ الرقائق حيث إن الآثار فقط المسببة لتضخم الفقاعة. بما أن معدل تدفق الحجم هو نفسه لكل من الفقاعة وقالب البلاستيك، ففي واحدة الزمن يكون:

$$\pi D_d \cdot h_d \cdot L_d = \pi D_b \cdot h_b \cdot L_b$$

حيث رمز لكل من القطر، السماكة والطول بما يلي على الترتيب (L, h, D) واللاحقة (d) ترمز للقالب أما اللاحقة (b) فترمز للفقاعة.



الشكل (6) نوعان من نفخ الطبقات

إذا يعطى التوجيه للآلة بالعلاقة:

$$Q_{md} = \frac{L_b}{L_d} = \frac{D_d \cdot h_d}{H_b \cdot D_b} = \frac{h_d}{h_b \cdot B_R}$$

حيث معدل النفخ : $B_R = \frac{D_b}{D_d}$

وكذلك التوجيه بالاتجاه العرضي : $Q_{td} = \frac{D_b}{D_d} = B_R$

لذلك يعبر عن نسبة التوجيه كما يلي: $\frac{Q_{md}}{Q_{td}} = \frac{h_d}{h_b \cdot B_R^2}$

مثال :

يراد إنتاج أكياس تغليف بلاستيكية بسماكة (0.05 mm) باستعمال نموذج حلقي بفتحة (0.8 mm) بفرض أن نفخ الفقاعة يسبب توجيهاً للطبقة، حدد نسبة النفخ المطلوبة لإعطاء توجيه ثنائي المحاور منتظم.

يبين الشكل (7) خط كامل لإنتاج الرقائق البلاستيكية.



الشكل (7)

الحل:

بما أن $Q_{md} = Q_{td}$ ستكون نسبة النفخ، B_R :

$$B_R = \sqrt{\frac{h_b}{h_d}} = \sqrt{\frac{0.8}{0.05}} = 4$$

تراوح نسب النفخ عادة ضمن المجال من (1.5) حتى (4.5).

يوضح هذا المثال شكلاً بسيطاً من أشكال النفخ الطبقي. لسوء الحظ تكون العمليات في الواقع أعقد كثيراً من هذا وذلك بسبب أن سماكة الطبقة تتأثر بالسحب السفلي، الاسترخاء بسبب الإجهادات والانفعالات الكامنة وظواهر انسياب المصهور مثل التضخم عند القالب. في الحقيقة، يشابه الوضع هنا الوضع المشروح من أجل القوالب بالنفخ.

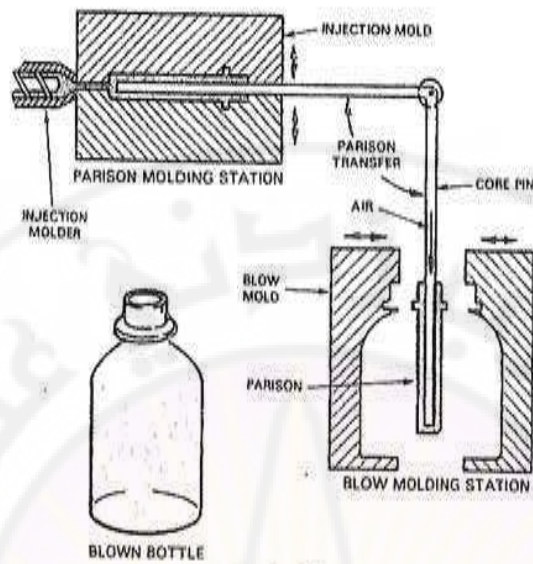
٢- القوالب بالنفخ بمساعدة الحقن: Injection blow molding

في عمليات القوالب بالنفخ بمساعدة الحقن يتم تشكيل الباريزون Parison بالحقن عوضاً عن البثق.

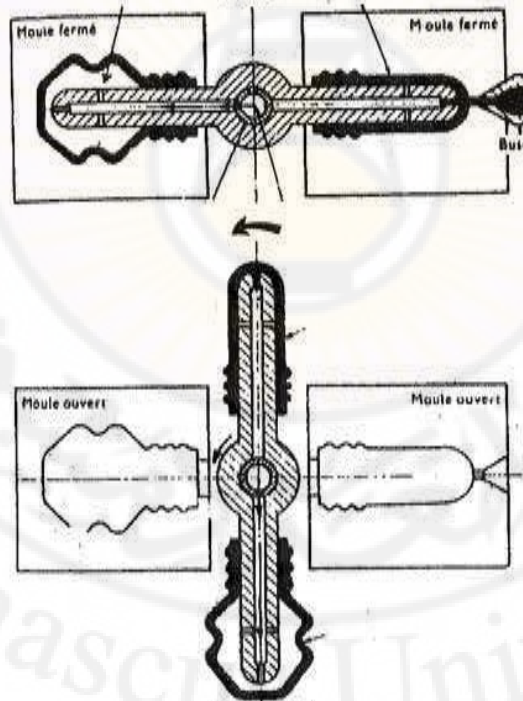
يتم حقن الباريزون حول نواة في القالب ثم يتم نقله وتثبيته في قالب النفخ والمبين في الشكل (8). يتم تحقيق الشكل الدقيق لعنق القارورة بالتأثير في ذلك الجزء من القارورة بعمليات الحقن.

من الممكن تشكيل الأوعية غير المنتظمة بتغيير مقدار سماكة جدران الباريزون.

إن تجهيزات القوالب أغلى من آلات القوالب التقليدية الأخرى لأنها تتطلب وجود قالبين وعملياتي تشكيل كما أنها ليست سريعة كغيرها من العمليات وحدود إنتاجها أضيق من غيرها من حيث درجة تعقيد المنتج ومدى حجمه. من أجل إنتاج أجسام مفرغة يمكن كذلك القيام بحقن نموذج القطعة الأولى، ومن ثم يحول هذا النموذج داخل قالب ثاني لينفخ بالهواء المضغوط ليعطي الشكل النهائي للقطعة المنتجة الشكل (9).



الشكل (8)



الشكل (9)

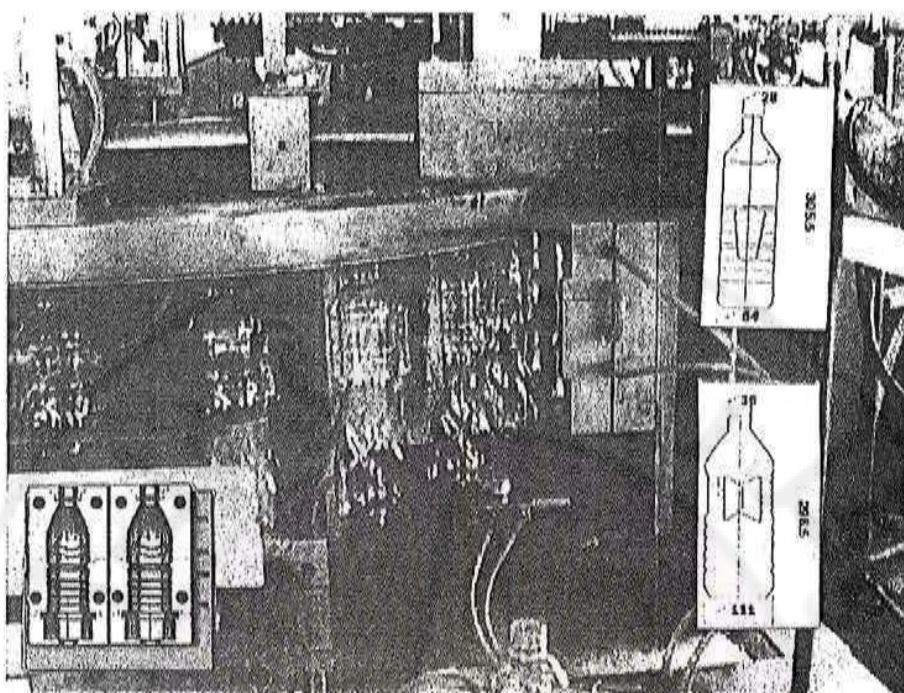
هذه التقنية لها فائدة أكبر بالنسبة البثق - النفخ. وهي لا تحتاج للحام الذي يكون ضعيف لبعض أنواع المواد مثل Polystyrene. من جهة أخرى، هذه التقنية تسمح بتحديد دقة جزء من القطعة بالدقة نفسها التي نرجوها من قولبة الحقن.

3- آلات النفخ وقوالبه :

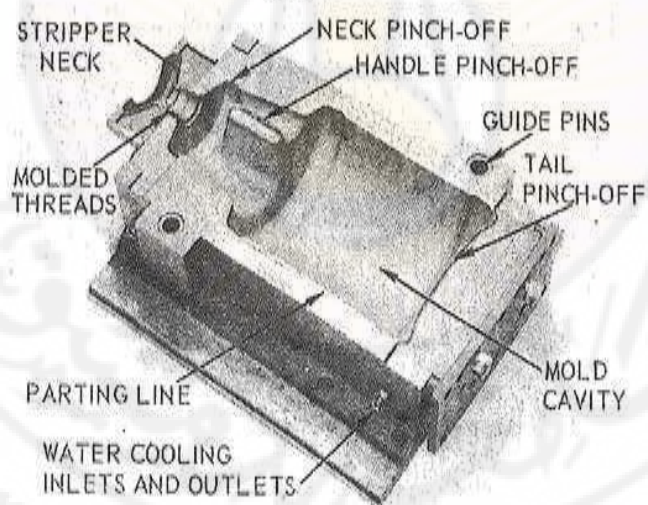
لقد أصبحت طريقة صناعة البلاستيك بالنفخ واحدة من أهم العمليات المستخدمة في هذا المجال.

في البداية تم تطوير هذه العمليات لإنتاج الأوعية الأسطوانية البسيطة ومع التقدم السريع لتقنيات وتصميم آلات القولبة بالنفخ وصلت العملية إلى مرحلة الإنتاج الكلي مع الحصول على منتجات ذات تصاميم فريدة من نوعها. نستطيع أن نقول تقريباً أنه أي جسم مجوف يمكن إنتاجه بطريقة النفخ. تستخدم ريزينات الـ (PE) بشكل واسع في عمليات النفخ حيث يعتبر مثالياً للمنتجات المختلفة من أوعية العصارات المرنة إلى الأوعية الصلبة، هذا وإن معظم البلاستيك الحراري قابل للتشكيل بالنفخ، (PVC , PC , ...) يتم تحديد حجم آلة النفخ وفقاً للعوامل التالية: قطر لولب البثق، وعدد رؤوس القالب وحجم القالب الذي تستخدمه الآلة، عادة تصمم أدوات القولبة بالنفخ برؤوس حقن مصفوفة بشكل خط مستقيم مع قوالب متوضعة على طاولة ثابتة أو برأس قالب وحيد على طاولة دوارة يتوضع عليها عدة قوالب كما بالشكل (10).

العامل الأهم الذي يجب إدراكه لفهم عملية القولبة بالنفخ هو معرفة تفاصيل القالب الشكل (11). يظهر خط الفصل على المنتج في مكان التقاء نصفي القالب.



الشكل (10)

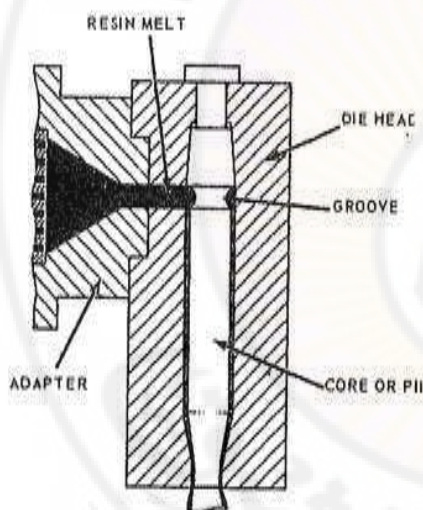


الشكل (11)

تعرف الأقسام التي تعمل على عصر الباريزون وتلحم مكان العصر قبل النفخ بالبينش أوف (قرص) (Pinch off) حيث البينش أوف هو عبارة عن بروز على محيط فجوة القالب يعمل على ضم وفصل الجزء الزائد من الباريزون عند إغلاق القالب على الباريزون قبل عملية النفخ "نسسميها أداة الختم".

الأجزاء التي تم ختمها والتي تبقى من الإناء تزال فيما بعد أثناء عمليات القص، ونسعى الأجزاء التي تم ختمها في أسفل الوعاء بالذيل. يعتبر الألمنيوم المشغل المادة الأساسية لتصنيع القوالب المستخدمة في عمليات القوالب بالنفخ.

تجهيز القالب: The molding operation



الشكل (12)

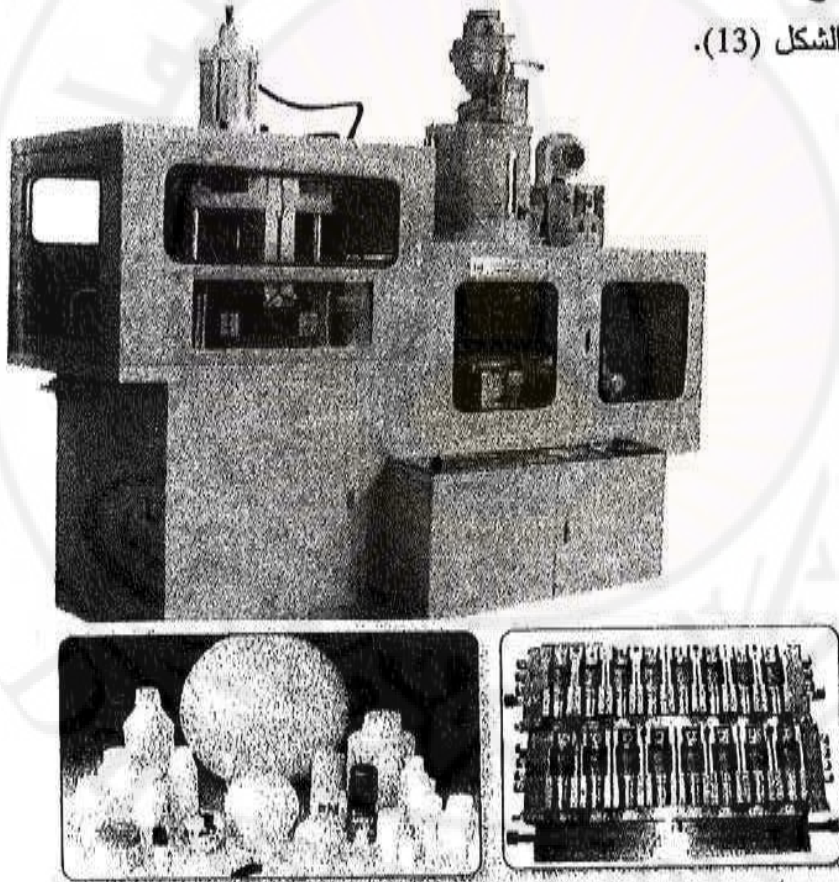
تبدأ سلسلة عمليات التجهيز بتهيئة القوالب المطلوبة على صوان هيدروليكية متحركة. القالب المبين في الشكل (12) معد لبثق الباريزون بسماكة جدران محددة، وقد تم تزويد القمع بحبيبات البلاستيك إما يدوياً أو بواسطة جهاز شفط أوتوماتيكي، يتم تشغيل المسخنات لمدة محددة حيث تتم تطرية الريزينات في أسطوانة البثق ورأس البثق.

الهواء المضغوط معد لإجراء عملية نفخ الإناء وتشغيل النوازع التي تنزع المنتج، يتم تشغيل نظام التبريد بالماء للحفاظ على درجة حرارة صحيحة للقالب، ويبدأ نظام العمل الهيدروليكي بالعمل مما يؤدي إلى فتح القوالب

المغلقة ثم يوضع البائق على وضعية العمل وتبدأ الدورة الأوتوماتيكية ويتم بثق الباريزون بين نصفي القالب المفتوح وبعد عملية النفخ يفتح نصف القالب ويتم نزع المنتج.

وكما هو الحال في عمليات تشكيل اللدائن الحرارية الأخرى فإن الفضلات والقطع المعطوبة يمكن أن يعاد طحنها ومن ثم تعود إلى القمع لتستخدم ثانية. تعدّ هذه السلسلة من عمليات القولبة بالنفخ باختلاف أنواعها من أفضل العمليات المستخدمة في إنتاج أغلب المنتجات المشكلة بالنفخ.

آلة النفخ لعبوات صغيرة وقوابلها وبعض المنتجات والمواصفات الأساسية للآلة الشكل (13).



الشكل (13)

المواصفات	الواحدة	1			2		
قطر اللولب	mm	40			50		
وزن الحقنة Ps	gr	175			300		
سرعة اللولب	r.p.m	0-190			0-180		
قوة إغلاق الحقن	Ton	15			21		
قوة إغلاق النفخ	Ton	3			6.5		
سرعة الإنتاج بالساعة	Pc/h	850-1600			1100-2000		
استطاعة المحرك	Kw	11			15		
استطاعة المسخنات	Kw	7			11		
ضغط الهواء	MPa	0.6-1.2			0.6-1.2		
ضغط ماء التبريد	Bar	1-3			1-3		
وزن الآلة	Ton	2.5			3.5		
عدد طبقات القالب		2	6	9	4	9	12
قطر عنق العبوة	mm	60	36	20	50	36	18
قطر العبوة الأعظمى	mm	100	60	42	110	55	40
طول العبوة	mm	180	150	80	200	180	80

المواد : PE , PP , Ps , SAN

آلة نفخ المواد البلاستيكية وأهم مواصفاتها لإنتاج قوارير بسعة (0.5 L):
الشكل (14):



الشكل (14) آلة نفخ البلاستيك لإنتاج قوارير سعة (0.5L)

المواصفات	الوحدة	2L	2L
الحجم الأعظمي للمنتجات	L	2Cavity	4Cavity
		$\leq 2L$	$\leq 2L$
سعة المنتج	Pcs/h	1980	3360
حجم رقبة المنتج	mm	$\phi 15 - \phi 40$	$\phi 15 - \phi 60$
المساحة الفعالة لصحن القالب	mm	450×380	380×500
السماكة الأعظمية للقالب	mm	250	250
السماكة الأصغرية للقالب	mm	197	197
شوط القالب	mm	157	220
قوة الشد	KN	150	180
شوط التمدد	mm	350	350
الضغط العامل	MPa	≤ 1.0	≤ 1.0
ضغط هواء النفخ	MPa	≤ 4.0	≤ 4.0
قوة النافخ الرئيسي	Kw	4	4
وزن النافخ الرئيسي	Kgs	2300	3500
أبعاد النافخ الرئيسي	mm	2005×1750×1800	2300×1770×2350

مثال: (موضوع للدراسة والتحليل)

إحدى الشركات المنتجة لألات النفخ قدمت مواصفات آلاتها وفق الجدول التالي:

لنعدّ حجم العبوة الأعظمي المقدر باللتر هو الأساس. أدرس وفسر أسباب تغير المواصفات الأخرى كتابع لتغير حجم العبوة المنتجة، ودون ملاحظتك استناداً لما سبق ودرسته في هذا الفصل بالإضافة لموضوعي الحقن والبنق.

الموصفات	الوحدة	1	2	3	4	5	6	7	8
حجم الجبيرة الأعظمي	L	0.5	5	25	50	120	250	1000	3000
عدد القطع للمنتجة بالمساعة	Pc/h	1860	1400	600	450	360	240	155	144
قطر للولب	mm	40	60	80	90	100	150	120×2	150×2
نسبة L/D		22	22	22	22	24	24	24	24
طاقة التسخين HDPE	kg/h	20	75	90	120	140	230	190×2	230×2
عدد منطلق التسخين		3	3	3	4	4	6	5×2	6×2
استطاعة المستندات	Kw	3.6	7.2	8.1	13	15	30	37	45
استطاعة مضخة الزيت	Kw	5.5	7.5	22	30	37	75	90	110
استطاعة محرك اللولب	Kw	7.5	18.5	37	45	55	132	110×2	132×2

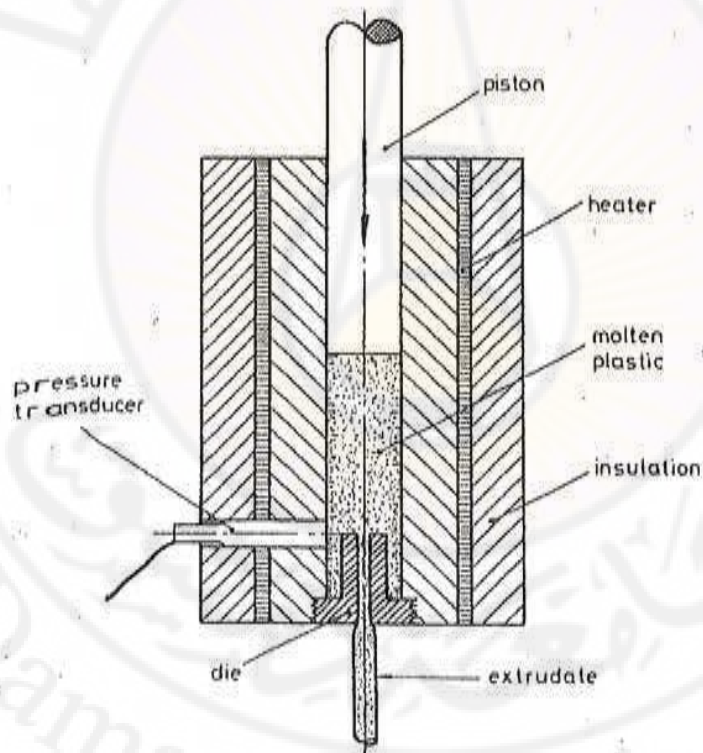
المواصفات	الوحدة	1	2	3	4	5	6	7	8
معدل استهلاك الماء	L/min	25	50	60	85	150	250	330	380
قطر القلب	mm	65	145	250	320	350	450	650	750
الأقصى									
ضغط الهواء	MPa	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	1	1
تدفق الهواء	m ³ /min	0.4	0.6	0.8	1	1.6	1.6	2	3.6
قوة الإغلاق	Ton	2	4.5	18	22	40	90	140	220
شوط القلب	cm	10-25	14-50	35-78	45-100	55-135	72-170	100-240	140-330
لبعد القلب	Cm	20×30	37×39	55×65	-	88×125	110×165	150×200	200×260
لبعد الآلة L×W×H	m	2.2×1.2×1.8	2.8×2.1×2.2	4.2×2.2×3.3	-	5.2×2.6 ×4.2	-	6.5×4.5×6.6	-
وزن الآلة	Kg	2.2	7.8	11.5	12	17	35	85	-

أهم المواد المقوية بالنفخ PP, PE, PVC, PS, PA, ABS

الباب الرابع

الدراسة التحليلية لجريان البوليمير المصهور

Analysis of Polymer melt flow



SECTION THROUGH RAM EXTRUDER.



مقدمة :

إن طرق إنتاج البوليمير تمر بصورة عامة بثلاث مراحل : تسخين، تشكيل (قولبة) ثم تبريد البلاستيك.

إن أغلب طرق قولبة المواد البلاستيكية غير مباشرة، ومعرفة الطريقة الواجب اختيارها يأتي بالخبرة وباستخدام طرق التجربة والخطأ. ويمكن القول أن طرق تصنيع المواد البلاستيكية تطورت من تقنيات أخرى (كالمعادن والزجاج) كفن أكثر منه كعلم.

في الماضي لم يكن جريان المواد البوليميرية مفهوماً، وكان معدل زيادة استخدام هذه المواد أكبر من التقدم في التقنيات المتعلقة بها. ولكن الموقف تغير هذه الأيام فأصبح الطلب على المواد وآلات القولبة قادراً على تحقيق كم في الإنتاج وأداء مقبولين.

إن معالجة بسيطة استناداً لقانون نيوتن تعطي تقريب أولي للعديد من العمليات، ولكن لسوء الحظ فإن اعتبار ثبات اللدونة يمكن أن يؤدي إلى سلسلة من الأخطاء في بعض الحالات، لهذا السبب فإن تحليل مفصل أكثر باستخدام نموذج غير نيوتن يكون عادة ضرورياً.

أكثر طرق المعالجة تتضمن الجريان في المقاطع المستطيلة والأنبوبية والتي يمكن أن تكون ثابتة المقطع أو متناقصة تدريجياً. لذلك فإن التقريب المأخوذ سيكون بتطوير النظرية الأولى لجريان نيوتن في هذه الألفية. ثم مع حالة اللانيوتونية Non-Newtonian تكون خطوات التحليل أكثر مطابقة على الرغم من أن المعادلات الرياضية ستصبح أكثر تعقيداً بقليل.

1- السلوك العام للبوليمير المصهور :

General behavior of polymer melt

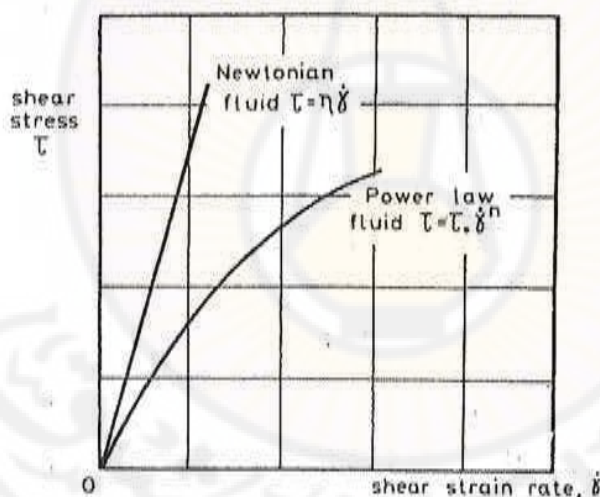
إن نسبة إجهاد القص (τ) إلى سرعة تغير الانفعال ($\dot{\gamma}$) في سائل معرض لإجهاد معين يدعى بلزوجة القص (η). وهذا المعامل شبيه بمعامل المرونة

للجسم الصلب، تأخذ اللزوجة للسوائل المثالية قيمة ثابتة خاصة بكل مادة أما بالنسبة للمواد البلاستيكية فهي تتعلق بعدة عوامل مثل الإجهاد وسرعة تغير الانفعال ودرجة الحرارة وغيرها.

يبين الشكل (1) العلاقة بين إجهاد القص وسرعة تغير الانفعال للمواد البلاستيكية، ولدراسة جريان البوليمير المصهور نجد أنه من المناسب الحصول على معادلة معبرة عن هذا السلوك اللاخطي وبالرغم من وجود الكثير من المعادلات إلا أن المعادلة الأكثر تعبيراً هي علاقة قانون الطاقة:

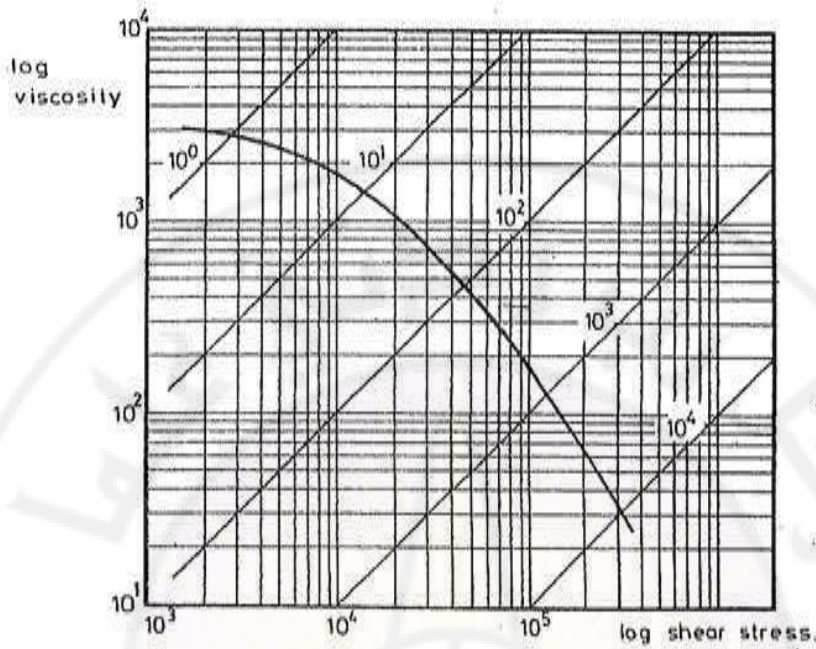
$$\tau = \tau_0 (\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

حيث : (n, τ_0) ثوابت .



الشكل (1) العلاقة بين إجهاد القص وسرعة تغير الانفعال

كنقطة بداية فمن المفيد أن نعدّ العلاقة بين إجهاد القص وسرعة القص كما في الشكل (1)، وذلك لأنها تكون مشابهة للعلاقة المطبقة على الجسم الصلب، ولكن عملياً يجب أن يعاد ترتيب المتغيرات والرسم البياني للزوجة مع الضغط كما في الشكل (2).



الشكل (2) مخطط تغير اللزوجة مع تغير إجهاد القص للبوليمير المصهور.

وعادة يتم استخدام مقياس الرسم اللوغاريتمي وبالتالي يمكن رسم العديد من قيم الضغط واللزوجة على المخطط، كما يمكن رسم خطوط ثبات سرعة القص للرجوع إليها بسرعة.

عند جريان سائل في قناة ذات مقطع منتظم سيتعرض فقط لإجهادات قص، أما إذا كان هناك تغير في مقطع القناة فستنشأ إجهادات شد إضافة للإجهادات السابقة، وعادة يكون من الضروري أن نحدد لزوجة الشد (λ) لاستخدامها في حسابات الجريان.

إذا كان إجهاد الشد (σ) وسرعة تغير انفعال الشد ($\dot{\epsilon}$) يكون

$$\sigma = \lambda \cdot \dot{\epsilon} \quad (2)$$

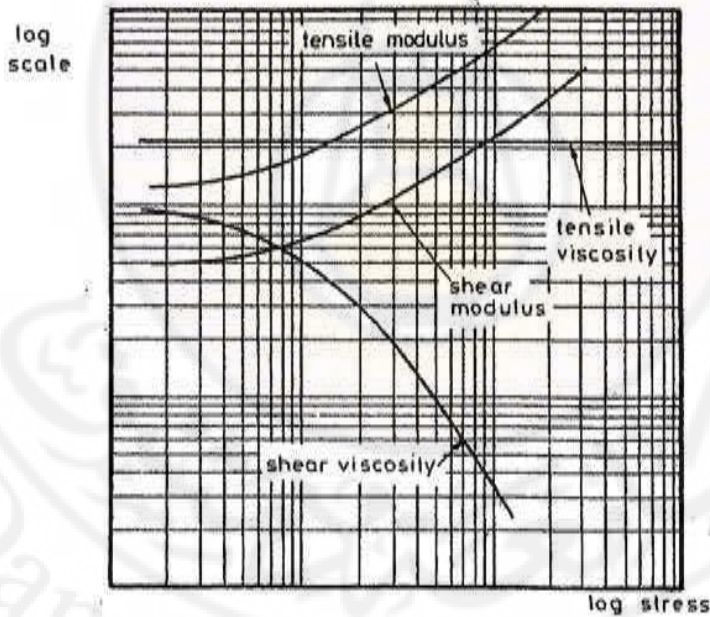
من أجل العديد من البوليميرات تكون لزوجة الشد ثابتة وتعادل من أجل إجهادات منخفضة ثلاثة أضعاف لزوجة القص.

بما أن المواد البلاستيكية هي مواد ريولوجية (لزجة مرنة) فسيكون هناك مركبة مرنة ستؤثر في سلوك السائل، وهذا يعني وجود معامل مرونة القص (G) وفي حال وجود تغير في مقطع القناة فيجب أخذ معامل مرونة الشد (E) بعين الاعتبار، وإذا كانت (γ_p) و (ϵ_R) هي قيمة الاسترجاع لانفعالات القص والشد على الترتيب فإن:

$$G = \frac{\pi}{\gamma_R} \quad (3)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_R} \quad (4)$$

لا يعتبر هذان المعاملان كثوابت للمادة ويبين الشكل (3) التغيرات النموذجية لهما



الشكل (3) خواص الجريان النموذجية للبوليمير.

من أجل الإجهادات المنخفضة تعادل قيمة معامل مرونة الشد حوالي ثلاثة أضعاف قيمة معامل مرونة القص كما هو الحال في السوائل اللزجة.

يتضمن الشكل (3) قيم هذه المعاملات كعناصر أولية لدراسة سلوك جريان البوليمير المصهور، وسيتم توضيح الطريقة المستخدمة للحصول على هذه البيانات عند دراسة كل من تأثير الضغط ودرجة الحرارة.

2- الجريان الإيزوثيرمي للسوائل النيوتونية :

Isothermal flow in channels (Newtonian fluids)

عند إجراء الدراسة التحليلية للجريان ضمن قناة ما سنفرض ما يلي:

- 1- لا يوجد انزلاق على الجدران .
 - 2- عدم قابلية المصهور للانضغاط .
 - 3- الجريان مستقر وصفائحي ومستقل عن الزمن .
 - 4- لا تتأثر لزوجة السائل بتغيرات الضغط على طول القناة .
 - 5- المراحل الحدية مهمة (الإقلاع والتوقف) .
- يعتبر الجريان الإيزوثيرمي المستقر للسوائل الغير قابلة للانضغاط عبر الأنابيب الأفقية المستقيمة مهماً في العديد من الحالات العملية.
- (a) جريان السوائل النيوتونية عبر القنوات دائرية المقطع (منتظمة)
- حيث إن القوى المؤثرة في عنصر من السائل هي المبينة في الشكل (4) يكون :

$$F_1 = \pi r^2 \left(P - \frac{\partial P}{\partial z} dz \right)$$

$$F_2 = \pi r^2 P$$

$$F_3 = 2\pi r dz \tau$$

$$\sum F_z = 0$$

وبما أن الجريان مستقر فإن:

$$\pi r^2 P = \pi r^2 \left(P - \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) + 2\pi r dz \tau$$

$$\tau = \frac{r}{2} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (5)$$

في العديد من الحالات يكون تدرج الضغط منتظماً وبالتالي فمن أجل انخفاض ضغط (P) على طول قدره (L) يكون إجهاد القص :

$$\tau = \frac{Pr}{2L} \quad (6)$$

$$\tau = n \cdot \dot{\gamma} = \eta \frac{\partial v}{\partial r} \quad \text{وبما أن :}$$

فسيكون العلاقة (5) :

$$\eta \cdot \frac{\partial v}{\partial r} = \frac{r}{2} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

وبمكاملة العلاقة السابقة نجد:

$$\int_0^v dv = \int_R^r \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dz} \cdot r \cdot dr$$

$$V = \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dz} \left(\frac{r^2}{2} - \frac{R^2}{2} \right)$$

$$r = 0, \quad v = v_0$$

من أجل

يكون

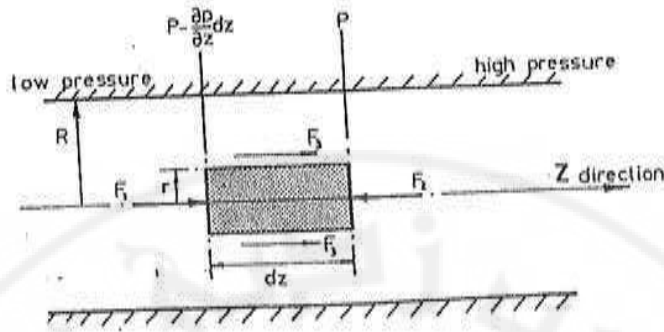
$$v_0 = -\frac{1}{4\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot R^2 \quad (7)$$

$$v = v_0 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (8)$$

ويكون التدفق للسائل (Q) معطى بالعلاقة:

$$Q = \int_0^R 2\pi v dr$$

$$Q = \int_0^R 2\pi \cdot r \cdot V_0 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \cdot dr = \frac{1}{2} \pi V_0 R^2$$



الشكل (4) عناصر الجريان في أنبوب شعري.

وبإعادة الترتيب واستخدام العلاقة (7) نجد :

$$Q = -\frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \quad (9)$$

وحيث إن انخفاض الضغط منتظماً يمكن اختصار العلاقة إلى الشكل :

$$Q = \frac{\pi \cdot R^4 P}{8\eta \cdot L} \quad (10)$$

ومن المناسب الحصول على تعبير رياضي يعبر عن سرعة القص ($\dot{\gamma}$) :

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial r} \quad \text{بما أن :}$$

يكون :

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial}{\partial r} [V_0 (1 - (\frac{r}{R})^2)] \quad (11)$$

ويمكن إعادة ترتيب هذه العلاقة باستخدام سرعة الجريان (V_0) للحصول

على سرعة القص عند النقطة ($r = R$) بالشكل التالي :

$$\dot{\gamma} = -\frac{4Q}{\pi R^3} \quad (12)$$

والإشارة السالبة للسرعة أو لكمية التدفق تشير إلى أنها في الاتجاه المخالف

للاتجاه المفروض (Z).

(b) جريان السوائل النيوتونية بين صفيحتين متوازيتين:
حيث إن القوى المؤثرة في وحدة عنصرية من السائل هي كالمبينة في الشكل (5) يكون :

$$F_1 = (P - \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dz) 2y$$

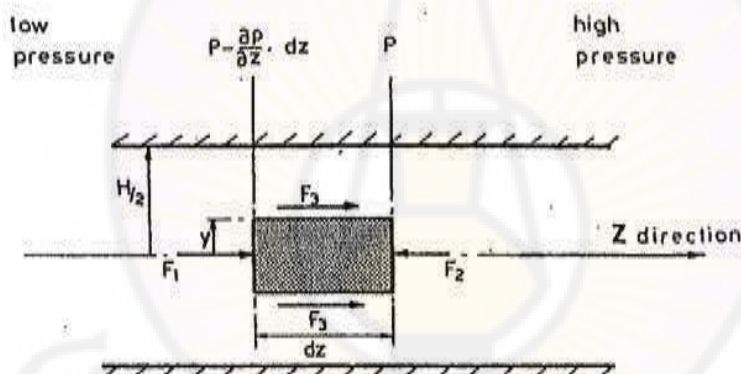
$$F_2 = P \cdot 2y$$

$$F_3 = \tau dz$$

من أجل الجريان المستقر يجب أن يكون هناك توازن بين القوى وبالتالي :

$$P 2y = (P - \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dz) 2y + 2\tau dz$$

$$\tau = y \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \quad (13)$$



الشكل (5) عناصر الجريان بين صفيحتين متوازيتين.

في العديد من الحالات يكون تدرج منتظماً وبالتالي يعطى إجهاد القص عند الجدار بالعلاقة:

$$\tau = \frac{PH}{2L} \quad (14)$$

ومن أجل السوائل النيوتونية يعطى إجهاد القص بالعلاقة:

$$\tau = n \dot{\gamma} = \eta \frac{\partial V}{\partial y}$$

وباستخدام العلاقة (13) يكون :

$$\eta \frac{\partial V}{\partial y} = y \frac{\partial P}{\partial z}$$

بالمكاملة نجد:

$$\int_0^V dV = \int_{H/2}^y \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dz} \cdot y dy$$

$$V = \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dz} \left[y^2 - \left(\frac{H}{2} \right)^2 \right]$$

ومن أجل $y = 0$, $V = V_0$

يكون :

$$V_0 = -\frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dz} \left(\frac{H}{2} \right)^2 \quad (15)$$

وبتبديل قيمة (dP/dz) بقيمة V يكون :

$$V = V_0 \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right] \quad (16)$$

ويعطى معدل التدفق بالعلاقة :

$$Q = 2 \int_0^{H/2} TV dy$$

$$= 2 \int_0^{H/2} TV_0 \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right] dy$$

$$Q = 2TV_0 \left(\frac{H}{3} \right)$$

وباستخدام المعادلة (15) يكون :

$$Q = -\frac{T H^3}{12\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \quad (17)$$

والتي يمكن اختصارها باعتبار أن تدرج الضغط ثابت إلى الشكل:

$$Q = \frac{T P H^3}{12\eta \cdot L} \quad (18)$$

يمكن اشتقاق العلاقة المعبرة عن سرعة القص كما يلي:

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial y}$$

$$= \frac{\partial}{\partial y} \left\{ V_0 \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right] \right\} \quad (19)$$

$$\dot{\gamma} = -8V_0 y / H^2$$

ولكن كما هو مبين سابقاً فإن:

$$V_0 = \frac{3Q}{2TH}$$

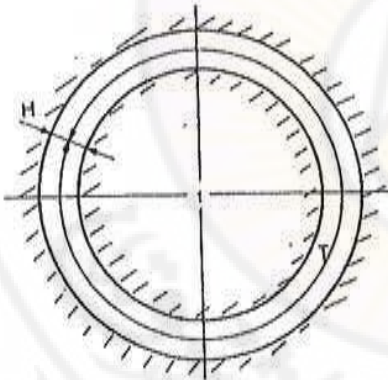
وبالتالي يكون :

$$\dot{\gamma} = -\frac{12Qy}{TH^3}$$

وعند الجدار فإن:

$$y = \frac{H}{2}$$

$$\dot{\gamma} = -\frac{6Q}{TH^2} \quad (20)$$



من الجدر بالملاحظة أن المعادلات الخاصة بالجريان بين صفيحتين متوازييتين يمكن أن تستخدم بدقة مقبولة لحالات الجريان على طول مجرى حلقي والمصطلحات اللازمة موضحة في الشكل (6).

الشكل (6) الجريان في المجاري الحلقية.

3- الجريان الإيزوترمي في القنوات للسوائل اللانيوتونية :

Isothermal flow in channels (non-newtonian fluids):

تعطى العلاقة بين إجهاد القص (τ) وسرعة القص ($\dot{\gamma}$) واللزوجة بقانون الطاقة التالي:

$$\eta = \eta_0 \left[\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1} = \eta_0 \left[\frac{\tau}{\tau_0} \right]^{\frac{n-1}{n}} \quad (21)$$

حيث: $(\dot{\gamma}_0)$ و (τ_0) تمثل قيم سرعة القص وإجهاد القص في بعض الحالات القياسية المختارة، و (η_0) هي اللزوجة الموافقة لهذه الحالات وتؤخذ قيمة $(\dot{\gamma}_0)$ عادة $[1/\text{sec}]$.
ومن العلاقة (21) نجد :

$$\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} = \left[\frac{\tau}{\tau_0} \right]^{1/n}$$

$$\tau = \tau_0 \left[\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right]^n \quad \text{أو}$$

وإذا كانت قيمة $(\dot{\gamma}_0)$ مساوية الواحد فإن:

$$\tau = \tau_0 \cdot \dot{\gamma}^n$$

وهي العلاقة الأكثر شيوعاً من علاقة قانون الطاقة.

(a) جريان السوائل عبر قناة ذات مقطع دائري منتظم :

بالعودة للشكل (4) تذكر أن الشرط الوحيد الضروري لاشتقاق المعادلة (5) هو توازن القوى وبعد ذلك يمكن استخدام هذه المعادلة كنقطة بداية لإجراء الدراسة التحليلية على أي سائل.

$$\tau = \frac{r}{2} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$\tau = \eta \dot{\gamma} = \eta \frac{\partial V}{\partial r}$$

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r}{2\eta} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (22)$$

ومن العلاقة (21) نجد :

$$\eta = \eta_0 \left[\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1} = \eta \left[\frac{\partial v}{\partial r} \right]^{n-1}$$

وبالتالي فإن العلاقة (22) تصبح

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r}{2\eta_0 \left[\frac{\partial V}{\partial r} \right]^{n-1}} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial r} \right)^n = \frac{r(\dot{\gamma}_0)^{n-1}}{2\eta_0} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

وبالمكاملة ضمن المجال التالي:

السرعة V عند القطر (r) والسرعة 0 عند القطر (R)

$$V = \left(\frac{n}{n+1} \right) \dot{\gamma}_0^{\frac{n-1}{n}} \left[\frac{\partial P / \partial z}{2\eta_0} \right]^{1/n} \left[r^{\frac{n+1}{n}} - R^{\frac{n+1}{n}} \right]$$

من أجل: $(r=0)$ ، $(V=V_0)$ يكون :

$$V_0 = - \left(\frac{n}{n+1} \right) \dot{\gamma}_0^{\frac{n-1}{n}} \left[\frac{\partial P / \partial z}{2\eta_0} \right]^{1/n} R^{\frac{n+1}{n}} \quad (23)$$

وبالتالي فإن العلاقة المستخدمة من أجل أي قطر هي:

$$V = V_0 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (24)$$

يعطى معدل التدفق (Q) بالعلاقة :

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^R 2\pi r V dr \\ &= 2\pi V_0 \int_0^R r \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] dr \end{aligned} \quad (25)$$

$$Q = \left(\frac{n+1}{3n+1} \right) \pi R^2 V_0$$

أما سرعة القص فتعطى بالعلاقة:

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial r}$$

$$= \frac{\partial}{\partial r} [V_0 (1 - (\frac{r}{R})^{\frac{n+1}{n}})] \quad (26)$$

$$\dot{\gamma} = -\frac{(\frac{n+1}{n})V_0}{R} \cdot (\frac{r}{R})^{1/n}$$

يتم الحصول على سرعة القص عند الجدار بالتعويض (r=R) .
وتصبح المعادلة أكثر ملاءمة إذا تم تعويض (V₀) بدلالة (Q) من المعادلة
(25) وفي هذه الحالة فإن سرعة القص عند الجدار تعطى بالعلاقة :

$$\dot{\gamma} = -(\frac{3n+1}{n}) \frac{Q}{\pi R^3}$$

من الجدير بالملاحظة أن السوائل النيوتونية عبارة عن حالة خاصة تخضع
للقانون السابق وذلك من أجل (n = 1) ، وعندها تتحول هذه المعادلة إلى
المعادلة التي اشتقناها سابقاً.

(b) الجريان بين صفيحتين متوازيتين:

بالعودة للشكل (5) وبملاحظة أن العلاقة (13) لا تعتمد على نوع السائل
يكون:

$$\tau = y \frac{\partial P}{\partial z}$$

$$\tau = \eta \frac{\partial V}{\partial y} \quad \text{and} \quad \eta = \eta_0 \left[\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1} \quad \text{ولكن}$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} = \frac{y}{\eta_0 \left[\frac{\partial V / \partial y}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1}} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} = \dot{\gamma}_0^{\frac{n-1}{n}} \cdot y^{\frac{1}{n}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{\frac{1}{n}}$$

بالمكاملة بين الحدود :

السرعة تساوي (V) عند المسافة (y).

السرعة تساوي الصفر عند المسافة (H/2).

$$V = \left(\frac{n}{n+1}\right) \dot{\gamma}_0 \left(\frac{1}{\eta_0 \dot{\gamma}_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{1}{n}} \left[y^{\frac{n+1}{n}} - \left(\frac{H}{2}\right)^{\frac{n+1}{n}} \right]$$

من أجل (y = 0) و (V = V₀) يكون :

$$V_0 = -\left(\frac{n}{n+1}\right) \dot{\gamma}_0 \left(\frac{1}{\eta_0 \dot{\gamma}_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial z}\right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{H}{2}\right)^{\frac{n+1}{n}} \quad (27)$$

ويتبسط العلاقة:

$$V = V_0 \left[1 - \left(\frac{2y}{H}\right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (28)$$

يمكن الحصول بعد ذلك على معدل التدفق من العلاقة :

$$\begin{aligned} Q &= 2T \int_0^{H/2} V dy \\ &= 2T \int_0^{H/2} V_0 \left[1 - \left(\frac{2y}{H}\right)^{\frac{n+1}{n}} \right] dy \\ Q &= \left(\frac{n+1}{2n+1}\right) TV_0 H \end{aligned} \quad (29)$$

كما في السابق $\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial y}$

$$= \frac{\partial}{\partial y} \left\{ V_0 \left[1 - \left(\frac{2y}{H}\right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \right\}$$

$$\dot{\gamma} = -V_0 \left(\frac{2}{H}\right)^{\frac{n+1}{n}} \left(\frac{n+1}{n}\right) y^{\frac{1}{n}}$$

عند الجدار $y = \frac{h}{2}$ ومن العلاقة (29) عندئذ يكون

$$\dot{\gamma} = -\left(\frac{2n+1}{n}\right) \frac{2Q}{TH^2} \quad (30)$$

يمكن أن نلاحظ أن الحالة التي يكون بها ($n=1$) فإن المعادلات السابقة تصبح ممثلة لجريان نيوتن.

4- الجريان الإيزوثيرمال isothermal في الأقنية المتغيرة المقطع:

Isothermal Flow in Non-Uniform Channels

في العديد من الحالات العملية يكون جريان المصور عبر القوالب (dies) أو على الأقنية حيث المقطع متناقص. في هذه الظروف يظهر إجهاد الشد في السائل وتأثيره سيتراكب مع تأثير إجهاد القص كما في التحليل السابق. حلت هذه المشكلة مع اعتبار أنه جريان لسائل قليل القوة على طول الأقنية الأسطوانية - المخروطية والأقنية الوتدية.

الجريان في هذه المقاطع يتأثر بثلاث عوامل :

١- مؤثرات الدخول (o).

٢- مؤثرات القص المعطاة (S).

٣- مؤثرات الشد extensional المعطاة (E).

كل من هذه التأثيرات ستؤثر على سلوك السائل على الرغم من أن كل نتيجة ستكون من شكل تشوه مختلف، إلا أن تأثير واحد سيكون هو الواضح والمسيطر وهذا سيظهر واضحاً عند حل مسائل تصميم محددة.

a- الجريان في المجاري المخروطية الأسطوانية:

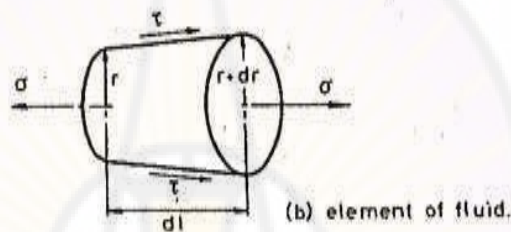
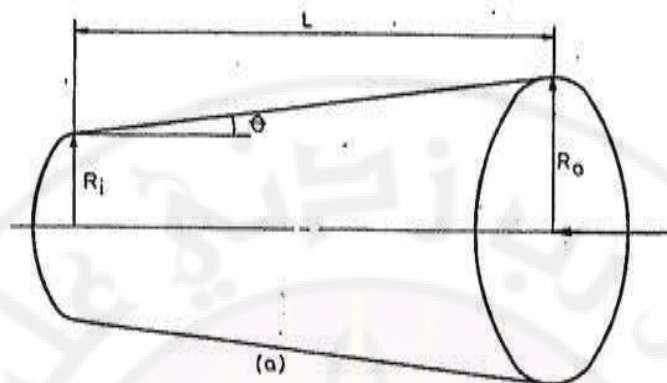
ليكن لدينا مقطع القناة المبين في الشكل (7-a) والتي تم أخذ عنصر سائلي كالمبين في الشكل (7-b).

انخفاض الضغط بسبب القص P_s :

لنفرض أن الأشكال المختلفة للتشوه منفصلة عن بعضها البعض، وباعتبار وجود توازن في القوى، وحيث إن وجود إجهاد قص فقط نجد:

$$dP_s \cdot \pi \cdot r^2 = 2\pi r dl \cdot \sec\theta \cdot \tau \cdot \cos\theta$$

$$dP_s = \frac{2\tau}{r} \cdot dl \quad (31)$$



الشكل (7) حلقة من مجرى أسطوانى مخروطى.

ومن أجل قانون الطاقة لجريان السوائل نجد:

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{3n+1}{n}\right) \frac{Q}{\pi r^3} \quad \text{و} \quad \tau = \tau_0 \dot{\gamma}^n$$

وباستخدام العلاقة :

$$dl = \frac{dr}{\tan \theta}$$

تصبح المعادلة (31) :

$$dP_s = \frac{2\tau_0}{\tan \theta} \left[\left(\frac{3n+1}{n}\right) \frac{Q}{\pi} \right]^n \frac{dr}{r^{1+3n}}$$

بالمكاملة :

$$P_s = \frac{2\tau_0}{\tan \theta} \left(\left(\frac{3n+1}{n} \right) \frac{Q}{\pi} \right)^n \int_{R_1}^{R_0} \frac{dr}{r^{1+3n}}$$

$$P_s = \frac{2\tau_0}{3n \tan \theta} \left(\left(\frac{3n+1}{n} \right) \frac{Q}{\pi R_1^3} \right)^n \left[1 - \left(\frac{R_1}{R_0} \right)^{3n} \right]$$

$$P_s = \frac{2\tau_1}{3n \tan \theta} \left[1 - \left(\frac{R_1}{R_0} \right)^{3n} \right] \quad (32)$$

انخفاض الضغط بسبب الجريان الشدي PE:

باعتبار وجود توازن في قوى الشد نجد:

$$dP_E \cdot \pi r^2 = \sigma \cdot [\pi(r+dr)^2 - \pi r^2]$$

$$dP_E = \frac{2\sigma dr}{r}$$

وبالمكاملة :

$$P_E = \int_{R_1}^{R_0} \frac{2\sigma dr}{r} \quad (33)$$

كي نكامل الجزء اليميني من هذه المعادلة يجب أن نحصل على المعادلة (σ)

بدلالة (r)، ونحصل عليها كما يلي:

حيث إن وجود حلقة متضيقه بسماكة (h) وقطر (a) ضمن القالب (die)

حيث إن زاوية التضيق (Φ) عندئذ يمكن باستخدام العلاقات الهندسية

البسيطة أن نجد:

$$\frac{dh}{h} = \frac{da}{a} \quad \text{و} \quad \tan \Phi = \frac{a}{r} \tan \theta$$

عندئذ فإن انفعال الشد البسيط يعطى بالعلاقة:

$$\epsilon = \frac{dA}{A}$$

عندئذ فإن سرعة الانفعال ($\dot{\epsilon}$) ستعطى بالعلاقة :

$$\dot{\epsilon}_a = \frac{1}{\text{area}} \frac{d(\text{area})}{dt} = \frac{1}{2\pi ah} \cdot \frac{d(2\pi ah)}{dt}$$

$$= \frac{2}{a} \frac{da}{dt}$$

ولكن:

$$\frac{da}{dt} = r \sin \phi \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{a}{r} \tan \theta \cdot V$$

حيث (V) سرعة السائل الموازية لمحور الحلقة.

ومن العلاقة (24) و (25) نعطى هذه السرعة بالعلاقة:

$$V = \left(\frac{3n+1}{n+1} \right) \frac{Q}{\pi r^3} \left[\left(\frac{a}{r} \right)^{\frac{n+1}{n}} - 1 \right]$$

$$\dot{\epsilon}_a = \frac{2}{r} \tan \theta \left(\frac{3n+1}{n+1} \right) \frac{Q}{\pi r^3} \left[\left(\frac{a}{r} \right)^{\frac{n+1}{n}} - 1 \right]$$

نحصل على وسطي إجهاد الشد من مكاملة العنصر السائلي السابق:

$$\sigma \cdot \pi \cdot r^2 = \int_0^r \sigma_a 2\pi \cdot a \cdot da$$

ومن التعريف نجد:

$$\sigma_a = \lambda \cdot \dot{\epsilon}_a$$

$$\sigma \cdot \pi \cdot r^2 = \int_0^r \lambda \dot{\epsilon}_a 2\pi \cdot a \cdot da$$

$$= \int_0^r \lambda \cdot \frac{2}{r} \tan \theta \left(\frac{3n+1}{n+1} \right) \frac{Q}{\pi r^3} \left[\left(\frac{a}{r} \right)^{\frac{n+1}{n}} - 1 \right] 2\pi \cdot a \cdot da$$

$$\sigma = \lambda \left(\frac{2Q}{\pi r^3} \right) \tan \theta \quad (34)$$

وبالتالي تصبح العلاقة (33) :

$$P_E = \int_{R_1}^{R_0} \lambda \left(\frac{2Q}{\pi r^3} \right) \tan \theta \cdot dr$$

$$= \frac{\lambda \cdot \tan \theta}{3} \left(\frac{4Q}{\pi R_1^3} \left[1 - \left(\frac{R_1}{R_0} \right)^3 \right] \right)$$

وباستخدام العلاقة (34) :

$$P_E = \frac{2}{3} \sigma_1 \left[1 - \left(\frac{R_1}{R_0} \right)^3 \right] \quad (35)$$

انخفاض الضغط (P_0) عند مدخل القالب (die):

يدخل السائل إلى القالب من أسطوانة التغذية بشكل انسيابي ولذلك إن انخفاض الضغط يكون بحده الأدنى وهذا المدخل يكون بشكل أسطواني شبه مخروطي ويمكن تحديد انخفاض الضغط (P_0) باعتبار وجود عدد لانهايني من الشرائح المخروطية القصيرة المشكلة للمخروط الرئيسي.

لنفرض أن القالب عبارة عن أسطوانة مخروطية قطر مدخلها (R_1) وقطر مخرجها (R_0) وزاوية مخروطها ($2\alpha_0$):
من العلاقة (32) نجد:

$$P_s = \frac{2\tau_0}{3n \tan \alpha_0} (1 - x^n)$$

من العلاقة (35) نجد :

$$P_E = \frac{\lambda \cdot \tan \theta}{3} \left(\frac{4Q}{\pi R_0^3} \right) (1 - x)$$

حيث تعطى (x) للتضيق بالعلاقة:

$$x = \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^3$$

ويعطى انخفاض الضغط في مثل هذه الحالة بالعلاقة :

$$\begin{aligned} P_1 &= P_s + P_E \\ &= \frac{a}{\tan \alpha_0} + b \tan \alpha_0 \end{aligned}$$

حيث:

$$a = \frac{2\tau_0}{3n} (1 - x^n) ; b = \frac{\lambda}{3} \left(\frac{4Q}{\pi R_0^3} \right) (1 - x)$$

ومن أجل هبوط ضغط أصغري يجب أن يكون مشتق هبوط الضغط بالنسبة للزاوية (α_0) مساوياً للصفر، أي:

$$\frac{dP_1}{d(\tan \alpha_0)} = -\frac{a}{\tan^2 \alpha_0} + b = 0$$

$$\tan \alpha_0 = \left(\frac{a}{b}\right)^{1/2}$$

وبالتالي إن القيمة الدنيا لانخفاض الضغط تعطى بالعلاقة:

$$P_1 = a^{1/2} b^{1/2} + a^{1/2} b^{1/2} = 2a^{1/2} b^{1/2}$$

وإذا تم تكرار هذه العملية من أجل مجاري أسطوانية مخروطية يمكن أن نجد:

$$P_2 = x^{\frac{1+n}{2}} P_1$$

$$P_3 = (x^{\frac{1+n}{2}})^2 P_1$$

وبالتالي إن الضياع الإجمالي للضغط عند المدخل يعطى بالعلاقة:

$$P_0 = \lim_{x \rightarrow 1} \sum_{i=1}^{i=\infty} P_i$$

$$= \frac{2\sqrt{2}}{3} \left(\frac{4Q}{\pi R_0^3} \right) \left(\frac{\eta \lambda}{n} \right)^{1/2} \cdot \lim_{x \rightarrow 1} f(t)$$

حيث :

$$f(x) = [(1-x^n)(1-x)]^{1/2} \cdot [1 + x^{\frac{1+n}{2}} + (x^{\frac{1+n}{2}})^2 + (x^{\frac{1+n}{2}})^3 + \dots]$$

(η) تساوي اللزوجة لسرعة القص عند مدخل القالب (die):

$$P_0 = \frac{4\sqrt{2}}{3(n+1)} \left(\frac{4Q}{\pi R_0^3} \right) (n\lambda)^{1/2} \quad (36)$$

$$\tan^2 \alpha_0 = \frac{2\tau_0}{3n} \cdot \frac{3}{\lambda} \left(\frac{\pi R_0^3}{4Q} \right) \lim_{x \rightarrow 1} \left[\frac{1-x^n}{1-x} \right]$$

$$\tan \alpha_0 = \left(\frac{2n}{\lambda} \right)^2$$

ومن العلاقة (34) نجد :

$$P_0 = \frac{8\sigma}{3(n+1)} \quad (37)$$

b- الجريان في القوالب (die) الوتدية الشكل:

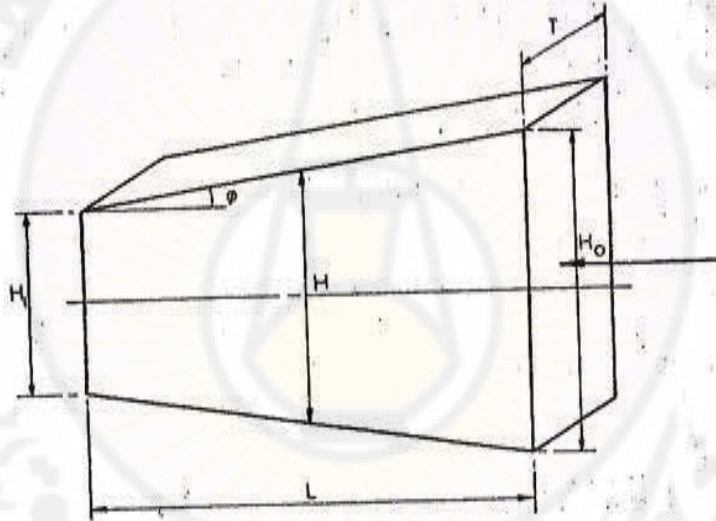
بالعودة للشكل (8) وبإجراء تحليل مشابه للسابق يمكن أن نجد أن ضياع القص والشد وضياع الضغط عند مدخل القالب تعطى بالعلاقة التالية:

$$P_s = \frac{\tau_1}{2n \cdot \tan \phi} \left[1 - \left(\frac{H_1}{H_0} \right)^{2n} \right] \quad (38)$$

$$P_E = \frac{\sigma_1}{2} \left[1 - \left(\frac{H_1}{H_0} \right)^2 \right] \quad (39)$$

$$P_0 = \frac{4}{(3n+1)} \left(\frac{6Q}{TH_0^2} \right) (\eta \cdot \lambda)^{1/2} \quad (40)$$

حيث (η) توافق سرعة القص عند مدخل القالب



الشكل (8) تحليل الجريان في القنوات المتضيق.

كذلك إن :

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{2n+1}{n} \right) \left(\frac{2Q}{TH^2} \right) \quad (41)$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{3} \dot{\gamma} \tan \phi \quad (42)$$

$$\tan \beta_0 = \frac{3}{2} \left(\frac{\eta}{\lambda} \right)^{1/2} \quad (43)$$

حيث (β_0) هي نصف زاوية رأس مخروط القالب :

5- السلوك المرن لمصهور البوليمير :

Elastic behaviour of polymer melts

كما هو مبين سابقاً فإن مصهور البوليمير يبدي بعض المرونة، فهو يمتلك خلال التدفق القابلية لاختزان طاقة الانفعال وعندما يرفع الإجهاد عنه يحصل استرجاع لهذا الانفعال.

مثال جيد على الاسترجاع المرن هو الانتفاخ الحاصل بعد البثق حيث تكون أبعاد المنتج المبتوق أكبر من أبعاد مما قد يسبب مشاكل إذا ما كان مطلوب الحصول على أبعاد على أبعاد دقيقة للمنتج المبتوق، وفي هذه الحالة فإن بعض المعرفة بمقدار الانتفاخ المحتمل حدوثه شيء أساسي عند تصميم القالب (die).

إذا كان مقطع القالب غير منتظم (متوسع مثلاً) فسنحصل على استرجاع لكلى انفعالي القص والشد، بينما إذا كان مقطع القالب منتظماً وطويلاً نسبة لمقطعها العرضي فإن انفعال الشد الناتج عند مدخل القالب سيسترخي وبالتالي نحصل على مركبة انفعال قص فقط، وهي التي تظهر بشكل انتفاخ عند مخرج القالب، أما إذا كان القالب (die) قصير جداً (الحالة المثالية للطول تتحقق عند مساواته للصفر) فإن إجهاد القص سيساوي الصفر وسينتج الانتفاخ عند مخرج القالب عن عملية استرجاع إجهاد الشد فقط.

لكي ندرك ظاهرة الانتفاخ في عملية البثق يجب أن نعرف أولاً نسبة الانتفاخ (B) حيث :

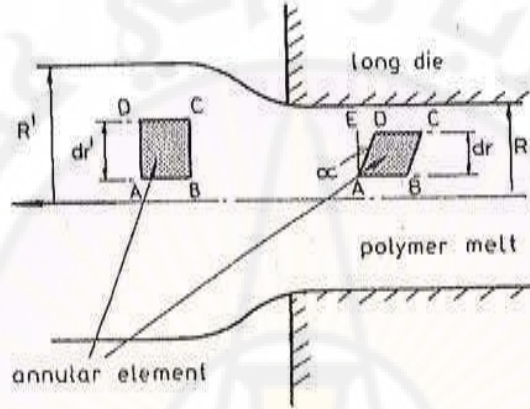
B : نسبة بعد المنتج المبتوق إلى بعد القالب.

نسبة الانتفاخ الناتجة عن إجهاد القص:

Swelling Ratios due to shear stresses

(a) حالة أنبوب شعري طويل :

يبين الشكل (9) عنصراً حلقياً من السائل بقطر (r) وسماكة (dr) في أنبوب شعري لإجهادات قص، وعندما يخرج هذا العنصر من القالب فسيأخذ الشكل المبين ABCD.



الشكل (9) خروج البوليمير المصهور من فتحة القالب.

إذا كان انفعال القص عند القطر (r) هو (γ_r) فإن:

$$\gamma_r = \tan \alpha = \frac{ED}{AE}$$

وكذلك فإن نسبة مساحة مقطع الحلقة المنتفخة إلى مساحة مقطعها الأصلي بالعلاقة:

$$\begin{aligned} &= \frac{2\pi r dr'}{2\pi r dr} = \frac{AD}{AE} \\ &= \frac{(AE^2 + ED^2)^{1/2}}{AE} \\ &= \left[1 + \left(\frac{ED}{AE} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= (1 + \gamma_r^2)^{1/2} \end{aligned}$$

وبالتالي من تعريف نسبة الانتفاخ وباستخدام الرموز (S) و (R) للإشارة إلى انتفاخ القص في الاتجاه القطري نجد أن:
 B_{SR} : نسبة مساحة المنتج المبثوق المنتفخ إلى مساحة مقطع الأنبوب الشعري.

$$B_{SR}^2 = \frac{\int_0^R (1 + \gamma_r^2)^{1/2} 2\pi.r.dr}{\int_0^R 2.\pi.r.dr}$$

وبفرض أن انفعال القص (γ_r) يتغير خطياً مع القطر (r) نجد:

$$\gamma_r = \frac{r}{R} \gamma_R$$

حيث أن (γ_R) هي انفعال القص عند جدار الأنبوب :

$$B_{SR}^2 = \frac{\int_0^R (1 + \frac{r^2}{R^2} \gamma_R^2)^{1/2} 2\pi.r.dr}{\pi.R^2} \quad \text{ومنه :}$$

أي

$$B_{SR} = \left[\frac{2}{3} \gamma_R (1 + \gamma_R^{-2})^{\frac{3}{2}} - \gamma_R^{-3} \right]^{1/2} \quad (44)$$

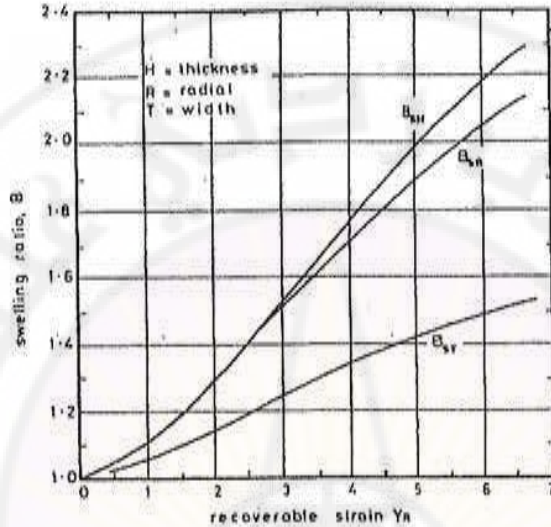
(b) القنوات الطويلة مستطيلة الشكل:

عندما يخرج مصهور البوليمير من القالب ذو المقطع المستطيل سيحصل الانتفاخ في كل من اتجاهي عرض المقطع المبثوق (T) والسماكة (H) وبتحليل مشابه لما سبق يمكن اشتقاق العلاقات المعبرة عن الانتفاخ في كلا الاتجاهين، والعلاقات الناتجة هي:

$$B_{ST} = \left\{ \frac{1}{2} (1 + \gamma_R^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2\gamma_R} \ln[\gamma_R + (1 + \gamma_R^2)^{\frac{1}{2}}] \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (45)$$

$$B_{SH} = B_{ST}^2 \quad (46)$$

إذا كانت العلاقات (46)، (45)، (44) تستخدم باستمرار فيمكن تمثيلها بشكل خطوط بيانية على مخطط يربط بين نسبة الانتفاخ ومقدار الانفعال للاسترجاع كما في الشكل (10).



الشكل (10) تغير نسبة الانتفاخ مع انفعال القص المسترجع للأنيبب الشعرية والشقوق.

نسبة الانتفاخ الناتجة عن إجهادات الشد:

Swelling Ratios due to tensile stresses

(a) حالة أنبوب شعري قصير (الطول صفر):

لنأخذ عنصراً حلقياً من السائل كالمبين في الشكل (11)، فيكون انفعال الشد لهذا العنصر (ϵ_R) معطى بالعلاقة:

لنأخذ عنصراً حلقياً من السائل كالمبين في الشكل (11)، فيكون انفعال الشد لهذا العنصر (ϵ_R) معطى بالعلاقة:

$$(\epsilon_R) = \ln(1 + \epsilon)$$

حيث (ϵ) الانفعال الاسمي ويساوي نسبة التمدد إلى الطول الأصلي.

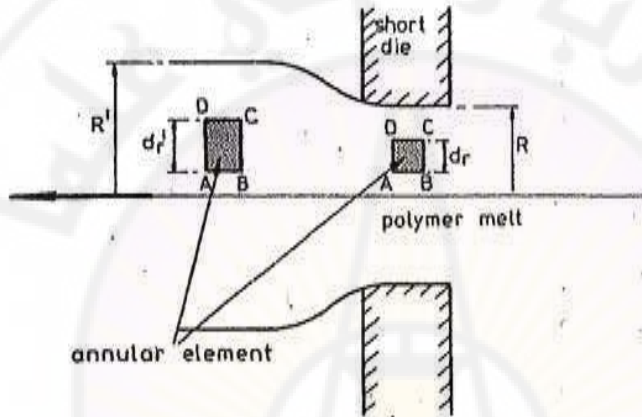
$$\epsilon_R = \ln\left[1 + \left(\frac{dr' - dr}{dr}\right)\right]$$

$$e^{\epsilon_R} = 1 + \left(\frac{dr' - dr}{dr}\right)$$

نسبة الانتفاخ تساوي :

$$B_E = \frac{R'}{R}$$

$$(e^{\epsilon_R} - 1)dr + dr = dr'$$



الشكل (11) خروج البوليمير المنصهر من فتحة القالب القصيرة.

نسبة مساحة الحلقة المنتفخة إلى مساحتها الأصلية تعطى بالعلاقة:

$$= \frac{2\pi r dr'}{2\pi r dr} = \frac{dr'}{dr} = \frac{(e^{\epsilon_R} - 1)dr + dr}{dr}$$

$$= e^{\epsilon_R}$$

ومن تعريف نسبة الانتفاخ وباستخدام الرمز (E) للإشارة لإجهادات الشد نجد

أن: $B_{ER}^2 =$ نسبة مساحة المنتج المبتوق المنتفخ إلى مساحة مقطع الأنبوب

الشعري:

$$= \frac{\int_0^R 2\pi r \cdot e^{\epsilon_R} dr}{\int_0^R 2\pi r dr}$$

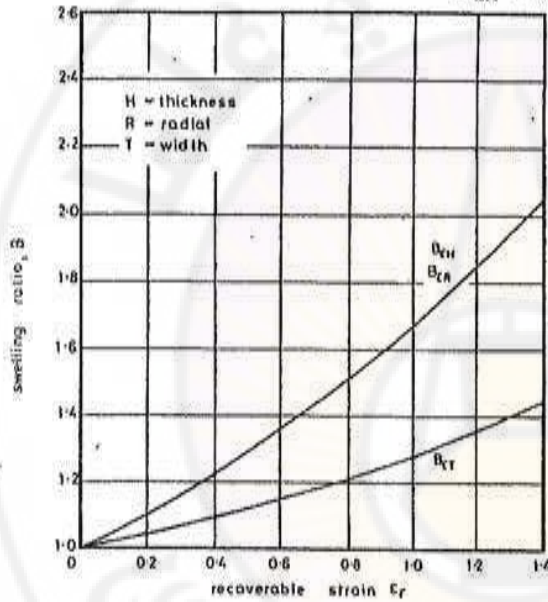
$$B_{ER} = (e^{\epsilon_R})^{\frac{1}{2}} \quad (47)$$

(b) القنوات القصيرة مستطيلة المقطع:

بتحليل مشابه للذي أجريناه سابقاً للمجاري مستطيلة المقطع فإن نسبة الانتفاخ باتجاه العرض (T) والسماكة (H) تعطى العلاقة التالية:

$$B_{ET} = (e^{\epsilon_R})^{\frac{1}{4}} \quad (48)$$

$$B_{EH} = (e^{\epsilon_R})^{\frac{1}{2}} \quad (49)$$



وعلى الرغم من أن استخدام هذه العلاقات أسهل من تلك المستخدمة لحالات القص إلا أنه يتم تمثيل هذه العلاقات على مخططات بيانية كالمبينة في الشكل (12).

الشكل (12) تغير نسبة الانتفاخ مع انفعال الشد المسترجع للقوالب والأنابيب الشعرية.

6- زمن الإقامة والاسترخاء :

Residence and relaxation time

(a) زمن الإقامة :

وهو يشير للزمن الذي يستغرقه مصهور البوليمير للمرور عبر القالب أو مقطع القناة، ويعطى رياضياً بالعلاقة:

زمن الإقامة (t_R) : نسبة حجم القناة إلى معدل التدفق.
ومن أجل المقاطع المنتظمة التي تمت دراستها سابقاً فمن البسيط أن نبين أن
زمن الإقامة هو :

1- للسوائل النيوتونية:

المقاطع الدائرية :

$$t_R = \frac{8\eta L^2}{P \cdot R^2} \quad (50)$$

المقاطع المستطيلة :

$$t_R = \frac{12 \cdot n \cdot L^2}{P H^2} \quad (51)$$

2- للسوائل الخاضعة لقانون القدرة:

المقطع الدائري:

$$t_R = \left(\frac{3n+1}{n+1} \right) \frac{L}{V_0} \quad (52)$$

المقطع المستطيل :

$$t_R = \left(\frac{2n+1}{n+1} \right) \frac{L}{V_0} \quad (53)$$

(b) زمن الاسترخاء:

وجدنا في بحث الخواص الميكانيكية عند تحليل كل من نموذجي ماكسويل
وكالفن أن ثابت الزمن للتشوهات كان يعطى بنسبة للزوجية إلى معامل
المرونة، والتي يشار إليها أحياناً على أنها زمن الاسترخاء، وهي تعطي
دلالة فيما إذا كان السلوك المرن أو اللزج هو المسيطر على تدفق المصهور.
إذا كان زمن الاسترخاء صغيراً مقارنة مع زمن الإقامة فإن سلوك السائل
سيكون لدناً.

الطاقة اللازمة لنبثق السائل عبر القالب:

القدرة اللازمة = انخفاض الضغط × المساحة × السرعة.

معدل التدفق = المساحة × السرعة

القدرة = انخفاض الضغط عبر القالب × التدفق

وباستخدام هذه العلاقة نستطيع الحصول بشكل تقريبي على مقدار ارتفاع درجة حرارة السائل عند بثقة عبر القالب. إذا فرضنا أن كامل العمل المقدم يتحول إلى حرارة بسبب قوى القص وأن كل الحرارة المتولدة امتصت من قبل البوليمير فعندئذ يمكن كتابة المساواة التالية:

القدرة = مقدار الطاقة اللازمة لتغيير درجة حرارة المصهور.
أي:

القدرة = الكتلة × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة.

$$PQ = \rho Q \times C_p \times \Delta T \quad (54)$$

$$\Delta T = \frac{P}{\rho C_p} \quad (55)$$

حيث (ρ) كثافة السائل و (C_p) حرارته النوعية.

تحليل عمليات انتقال الحرارة خلال عمليات تشكيل البوليمير :

Analysis of heat transfer during polymer processing

تستخدم معظم عمليات تشكيل البوليميرات عمليات تسخين وتبريد البوليمير وقد تم اعتبار تأثير الوسط المحيط على المصهور مهماً، حيث وجد أن الخبرة العملية تؤكد ذلك، على كل حال إنه من المفضل أن تؤخذ تأثيرات التبادل الحراري بين المصهور والوسط المحيط في الحسبان.

وقد أورنا في هذا البحث بعض الطرق الحسابية المستخدمة في حساب التبادل الحراري.

تعطى معادلة فورييه لتحديد الضياع الحراري في اتجاه محدد (x) بالعلاقة:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\tau = \frac{P.H}{2L} = 2.7 \times 10^5$$

$$P = \frac{2L.T}{H} = \frac{2 \times 40 \times 10^{-3} \times 2.7 \times 10^5}{10^{-3}} = 21.6 \text{ MPa}$$

حيث:

(P): مقدار انخفاض الضغط. (L): طول الطوربيد.

تنتج القوة على الأعصاب من :

١- القوة على الطوربيد بسبب تغيرات الضغط عليه.

٢- القوة على الطوربيد بسبب الشد الناتج عن لزوجة السائل.

مساحة مقطع الطوربيد = $\pi.r^2$

إذا القوة بسبب الضغط = $\pi.r^2.P$

$$\pi \times (11.5 \times 10^{-3}) \times 21.6 \times 10^6 =$$

$$8.97 \text{ kN} =$$

مساحة سطح الطوربيد = $\pi.D.L$

حيث :

(D): قطر الطوربيد. (r): نصف قطر الطوربيد. (L): طول الطوربيد.

قوة الشد الناتجة من اللزوجة = $\pi.D.L.\tau$

$$\pi \times (26 \times 10^{-3}) (40 \times 10^{-3}) (2.7 \times 10^5) =$$

$$0.78 \text{ KN} =$$

إذا القوة المحصلة = 9.75 KN

مثال ٢:

آلة بثق معدل تدفق البولي إيثيلين فيها $(30 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec})$. ذات منخل

معدني يحوي (80) ثقباً بقطر (4mm) وطول (12 mm). حد انخفاض

الضغط على طول الصفيحة باعتبار حرارة المادة (170°C) في هذه النقطة.

الحل:

يعتبر التدفق أيزوتيرمياً.

التدفق خلال كل ثقب (Q) يساوي

$$\frac{30 \times 10^{-6}}{80} \text{ m}^3 / \text{sec}$$
$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3}$$
$$= \frac{4 \times 30 \times 10^{-6}}{\pi \times 80 \times 2^3 \times 10^{-4}} = 59.6 \text{ S}^{-1}$$

(R): نصف القطر الأعظمي للثقب .

من الشكل (15) نجد أن إجهاد القص (τ) يساوي ($1.2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) وبما أن :

$$\tau = \frac{P.R}{2L}$$
$$P = \frac{2 \times 12 \times 10^{-3} \times 1.2 \times 10^5}{1 \times 10^{-3}} = 1.44 \text{ MPa}$$

حيث: (P) ضغط الحقن . (L) طول الثقب.

مثال ٣:

لدينا مائع ذو طاقة منخفضة يتصف بالثوابت التالية ($\eta_0 = 1.2 \times 10^4 \text{ NS/m}^2$) و ($n=0.35$) يحقن من خلال فتحة مركزية إلى فجوة قالب بشكل قرص ذو سماكة قدرها (2 mm) وقطر (200 mm)، فإذا كانت سرعة الحقن ثابتة ($6 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{sec}$) حدد الزمن المطلوب لملء فجوة القالب وضغط الحقن الأصغري المطلوب عند البوابة.

الحل:

إذا كان التدفق (Q) فإنه من أجل أي زيادة في الزمن (dt) يكون حجم المادة المحقونة في الفجوة (Q.dt) وفي نفس الوقت فإن مقدمة البلاستيك المصهور

ستنتقل من نصف قطر (r) إلى (r+dr). ومن مبدأ تساوي الحجم نحصل على :

$$Q.dt = 2.\pi.r.H.dr$$

حيث : (H) عمق الفجوة.

وبما أن (Q) ثابتة فيمكننا أن نجري التكامل التالي :

$$\int_0^t dt = \frac{2.\pi.H}{Q} \int_0^r r dr \Rightarrow t = \frac{\pi.R^2.H}{Q}$$

للحالة المعطاة :

$$t = \frac{\pi(100 \times 10^{-3})^2 (2 \times 10^{-3})}{6 \times 10^{-5}}$$

$$t = 1.05 \text{ [S]}$$

يجب الآن أن نشق صيغة لفقدان الضغط في القناة. وبما أن الفجوة تملأ بسرعة لذا نعتبر التأثيرات العائدة لتجمد المصهور مهملة. يخضع تدفق السائل لقانون الطاقة بين صفيحتين متوازيتين :

$$Q = \left(\frac{n+1}{2n+1}\right) T.V_0.H$$

حيث: (V_0): سرعة الحقن. (T) : المحيط اللحظي للمصهور.

الآن بالنسبة للقرص نجد: ($T = 2\pi.r$) وبتعويض (V_0) من العلاقة:

$$V_0 = \left[\left(\frac{n}{n+1}\right)\left(\frac{1}{n_0}\right)^{\frac{1}{n}}\left(\frac{dp}{dr}\right)^{\frac{1}{n}}\left(\frac{H}{2}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right]^{\frac{n+1}{n}}$$

$$Q = \left(\frac{n+1}{2n+1}\right)(2\pi.r.H)\left[\left(\frac{n}{n+1}\right)\left(\frac{1}{n_0}\right)^{\frac{1}{n}}\left(\frac{dp}{dr}\right)^{\frac{1}{n}}\left(\frac{H}{2}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right]^{\frac{n+1}{n}}$$

$$dP = Q^n \left(\frac{2n+1}{2\pi.n}\right)^n \frac{n_0(2)^{n+1}}{(H)^{2H+1}} \frac{dr}{r^n}$$

حيث:

(n): معامل قانون الطاقة.

(η_0): اللزوجة الصفريّة.

(r): نصف القطر الحظي.

بالمكاملة نحصل على الضغط كما يلي:

$$P = Q^n \left(\frac{2n+1}{2\pi n} \right)^n \frac{\eta_0 (2)^{n+1} R^{1-n}}{(H)^{2n+1} (1-n)}$$

حيث: (R): نصف قطر القرص.

بتعويض المعطيات نجد:

$$P = (6 \times 10^{-5})^{0.35} \left(\frac{1.7}{(0.7)^{0.35}} \right)^{0.35} \frac{(1.2 \times 10^4)(2)^{1.35} (100 \times 10^{-3})^{0.63}}{(2 \times 10^{-3})^{1.7} (0.65)}$$
$$= 12.42 \text{ MPa}$$

مثال ٤:

لدينا قالب (die) لنفخ فيلم من البوليثلين حيث يوضح الشكل (16) هندسة حوافها فإذا كان معدل الإنتاج (300 kg/h) وكثافة البوليثلين (0.76 g/cm^3)، حدد انخفاض الضغط عبر حواف القالب.

الحل:

في البداية سنعرف العلاقات والرموز التي سنستخدمها في المثال:

1- سرعة انفعال القص ($\dot{\gamma}$) عند النقطة (i).

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{TH_i^2}$$

2- انخفاض الضغط بسبب إجهادات القص (P_{sik}) للمجري المنتظمة:

$$PS_{12} = \frac{2L \cdot \tau_1}{H_1}$$

3- انخفاض الضغط بسبب إجهادات القص للمجري المخروطية (P_{sik}):

$$PS_{23} = \frac{\tau_2}{2n \tan \alpha} \left[1 - \left(\frac{H_2}{H_3} \right)^{2n} \right]$$

4- علاقة سرعة انفعال الشد للمجري المخروطية ε :

$$\varepsilon = \frac{1}{3} \dot{\gamma} \tan \alpha$$

5- انخفاض الضغط بسبب إجهادات الشد في المجري المخروطية (P_{Eik}):

$$P_{Eik} = \frac{\sigma_i}{2} \left[1 - \left(\frac{H_i}{H_k} \right)^2 \right]$$

6- انخفاض الضغط بسبب اجتماع التدفق عند مدخل القالب (P_0):

$$P_0 = \frac{4}{(3n+1)} \left(\frac{60}{TH_4^2} \right) \cdot (n, \lambda)^{\frac{1}{2}}$$

حيث:

(Q): التدفق، (H_i): عمق المجري، (T_i): عرض المجري (المحيط)،

(τ_i): إجهاد القص عند I، (L_{ik}): طول المجري بين المقطعين I, k،

(α): نصف زاوية المخروط، (n): معامل قانون الطاقة، (σ_i): انفعال الشد

عند المقطع I، (λ): لزوجة الشد.

حيث عادة الرمز (i) للمدخل و (k) للمخرج.

بتحويل التدفق إلى (m^3/sec) نجد

التدفق الحجمي:

$$\frac{300 \times 10^3 \times 10^{-6}}{60 \times 60 \times 1.076} = 1.09 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

يمكن تقسيم القالب (die) إلى المقاطع (A) أو (B) أو (C) وبالتالي يكون

مجموع الضغط هو مجموع الفواقد في كل مقطع.

المقطع (A): بما أن هذا الجزء ذو مقطع منتظم فسيكون انخفاض الضغط

ناتجاً عن القص. من أجل شق مستطيل الشكل إن سرعة القص الظاهرية

($\dot{\gamma}$) في (A) تعطى بالعلاقة:

The diagram illustrates a die casting mold with the following specifications:

- Dimensions:**
 - Top horizontal width: 260
 - Section A height: 4
 - Section B height: 11
 - Section C height: 40
 - Top left corner radius: 0.7
 - Internal vertical offset: 2
 - Internal vertical offset: 3
- Angles:**
 - Included angle: 3°
 - Angle β°
- Labels:**
 - Vertical arrows on the left and right sides are labeled "tube".
 - Horizontal arrows pointing into the mold cavity are labeled "die".
 - The bottom region is labeled "polymer melt".

لذلك من الشكل (15) بدلالة (γ) ومنحني (η) نجد:

$$PS_{I_2} = \frac{2L_1 \tau_1}{H_1} = \frac{2 \times 4 \times 3.2 \times 10^5}{0.7} = 3.66 \text{ MPa}$$

$$H_3 = H_2 + (2L \cdot \tan \alpha)$$

حيث: (α) هو نصف زاوية جذع المخروط و ($L = 11 \text{ mm}$)
 ($H_2 = 0.7 \text{ mm}$) ، ($H_3 = 1.276 \text{ mm}$)
 عند المقطع (B2):

$$\dot{\gamma} = 1.64 \times 10^3 \text{ S}^{-1}$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{3} \dot{\gamma} \tan \alpha = \frac{1}{3} \times 1.64 \times 10^3 \tan(1.5^\circ)$$

$$= 13.96 \text{ S}^{-1}$$

عند المقطع (B3) من العلاقة (1) :

$$\dot{\gamma} = \frac{60}{T.H_3^2} = \frac{6 \times 109.6 \times 10^{-3}}{\pi \times 260 \times 10^{-3} (1.276 \times 10^{-3})^2}$$

$$= 494.5 \text{ S}^{-1}$$

من العلاقة (4) :

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{3} (494.5) \tan(1.5^\circ)$$

$$= 4.3 \text{ S}^{-1}$$

من الشكل (15) يبدو منحنى التدفق مأخوذاً كمستقيم من أجل سرع القص
 التي تتراوح بين $[(500-1600) \text{ S}^{-1}]$.

ومعامل قانون الطاقة (n) يمكن أن يؤخذ (0.3) وبالتالي من المعادلة (3)
 نجد:

$$PS_{23} = \frac{\tau_2}{2n \tan \alpha} \left[1 - \left(\frac{H_2}{H_3} \right)^{2n} \right]$$

$$= \frac{3.2 \times 10^5}{2(0.3) \tan 1.5} \left[1 - \left(\frac{0.7}{1.276} \right)^{0.6} \right]$$

$$= 6.16 \text{ MPa}$$

كذلك باستخدام العلاقة (5) نجد:

$$PE_{23} = \frac{\sigma_2}{2} \left[1 - \left(\frac{H_2}{H_3} \right)^2 \right]$$

$$= 1.26 \text{ MPa}$$

$$\dot{\epsilon} = 13.96 \text{ S}^{-1}$$

ومن الشكل (15) بدلالة (ϵ) نجد :

$$\sigma_2 = 3.6 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$$

وبالتالي:

$$PE_{23} = \frac{3.6 \times 10^6}{2} \left[1 - \left(\frac{0.7}{1.276} \right)^2 \right]$$

$$= 1.26 \text{ MPa}$$

المقطع C:

بما أن هذا المقطع مخروطي من جهة واحدة فقط، وبما أن الزاوية صغيرة جداً يمكن أن نهمل الخطأ الناتج عن اعتباره مخروطياً من الجهتين حيث إن الزاوية تؤخذ (8°).

عند المقطع (C_3):

$$H_4 = H_3 + L \tan 8^\circ$$

$$= 1.276 + 40 \tan 8^\circ$$

$$= 6.9 \text{ mm}$$

$$\dot{\gamma} = 494.5 \text{ S}^{-1}$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{3} (494.5) \tan 4^\circ$$

$$= 11.52 \text{ S}^{-1}$$

عند المقطع (C_4) من (1):

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{TH_4^2} = \frac{6 \times 109.6 \times 10^{-6}}{\pi \times 260 \times 10^{-3} (6.9 \times 10^{-3})^2}$$

$$= 16.9 \text{ S}^{-1}$$

ومن (4) نجد :

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon} &= \frac{1}{3}(16.9) \tan 4^\circ \\ &= 0.39 \text{ S}^{-1}\end{aligned}$$

كما في السابق من (3) :

$$PS_{34} = \frac{\tau_3}{2n \tan \alpha} \cdot [1 - (\frac{H_3}{H_4})^{2n}]$$

من الشكل (15) من أجل:

$$\begin{aligned}\dot{\gamma} &= 494.5 \text{ [sec}^{-1}\text{]} \\ \tau_3 &= 2.3 \times 10^5 \text{ [N/m}^2\text{]} \\ PS_{34} &= \frac{2.3 \times 10^5}{0.6 \tan 4} [1 - (\frac{1.276}{6.9})^{0.6}] \\ &= 3.49 \text{ MPa}\end{aligned}$$

كذلك من (5):

$$PE_{34} = \frac{\sigma_3}{2} [1 - (\frac{H_3}{H_4})^2]$$

كذلك من الشكل (15) من أجل :

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon} &= 11.52 \text{ S}^{-1} \\ \sigma_3 &= 2.9 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2} \\ PE_{34} &= \frac{2.3 \times 10^6}{2} [1 - (\frac{1.276}{6.9})^{0.6}] \\ &= 1.4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

في هذه الحالة سيكون أيضاً هناك ضغط بسبب اجتماع التدفق على مدخل القالب. يمكننا أن نحصل عليه من العلاقة (6):

$$P_0 = \frac{4}{(3n+1)} (\frac{60}{TH_4^2})(\eta \cdot \lambda)^{\frac{1}{2}}$$

عند المقطع (C₄) :

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{TH_4^2} = 16.9$$

$$\eta = 4.4 \times 10^3 \text{ Nsm}^{-2}, \quad \lambda = 2.5 \times 10^5 \text{ Nsm}^{-2}$$

$$P_0 = \frac{4}{1.9} (16.9) (4.4 \times 10^3 \times 2.5 \times 10^5)^{\frac{1}{2}} \\ = 1.18 \text{ MPa}$$

إذا مجموع انخفاض الضغط على طول فوهة القالب تعطى كما يلي:

$$P = 3.66 + 6.16 + 1.26 + 3.49 + 1.4 + 1.18 \\ = 17.15 \text{ MPa}$$

مثال (5) :

حدد أبعاد الأنبوب الذي ينتجه القالب (die) في المثال (4) باعتبار وجود شد نحو الأسفل.

الحل :

بما أن آخر مقطع لفوهة القالب غير متوسع، يمكننا أن نعبر أن التضخم على مخرج القالب يحصل بسبب تأثيرات القص فقط.
عند المخرج:

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{TH_4^2} = 1.64 \times 10^3 \text{ S}^{-1}$$

حيث (T) محيط القالب و (H) عمقه.

من الشكل (15) وبدلالة ($\dot{\gamma}$) نجد :

$$\tau = 3.2 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}, \quad G = 5 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}$$

وبالتالي فإن الانفعال المسترجع يكون :

$$\gamma_R = \frac{\tau}{G} = \frac{3.2 \times 10^5}{5.0 \times 10^4} = 6.4$$

وباستخدام الشكل (10) نحصل على نسب التضخم كما يلي:

$$B_{SH} = 2.25, \quad B_{ST} = 1.51$$

إذا سماكة التضخم للفلم هي :

$$H_1 \times B_{ST} = 1.51$$

وقطر التضخم للفقاعة هو :

$$D \times B_{ST} = 2600 \times 1.51 = 39.6 \text{ mm}$$

مثال (6):

في الحالات العملية نحدد أبعاد الخرج، وعادة من الضروري أن نعود للورق لتصميم قالب (die) مناسب.

صمم قالب ينتج فيلماً رقيقاً من البلاستيك بسماكة (0.523 mm) بسرعة خطية (20 mm/sec)، وعرض هذه الرقيقة (450 mm)، ونسبة النفخ الضرورية لإعطاء التوجه الصحيح في الفيلم هي (1.91)، اعتبر أنه لا يوجد شد نحو الأسفل.

الحل:

لدينا :

$$2(L_{FW}) = \pi \cdot D_b$$
$$D_b = \frac{2 \times 450}{\pi} = 286.5 \text{ mm}$$

(D_b): قطر الفقاعة. (L_{FW}) : عرض الفيلم

الآن يصبح الحل أبسط باعتبار نسبة الانتفاخ هي (D_b/D_1) بدلاً من (D_b/D_m) هذا أيضاً يبدو عملياً أكثر لأن التغير من (D_1) إلى (D_b) سببه فقط التضخم بسبب النفخ بينما التغير من (D_m) إلى (D_b) يحتوي أيضاً على تأثيرات التضخم في القالب.

نسبة النفخ :

$$B_R = \frac{D_b}{D_1}$$

$$D_1 = 1.91 \times (286.5) = 150 \text{ mm}$$

وباعتبار ثبات الحجم نجد:

$$\pi D_1 h_1 = \pi D_b h_b$$

$$h_1 = \frac{286.5 \times 0.523}{150} = 1 \text{ mm}$$

وبأخذ الأبعاد التي تم الحصول عليها للأنبوب الذي سننتجه تبدأ عملية الإنتاج حيث إن عدم وجود تضخم في القالب، وهذا يعني أن أبعاد القالب ستكون نفسها أبعاد الأنبوب.

سرعة القص الظاهرية:

$$\dot{\gamma} = \frac{60}{TH^2}$$

ولدينا معدل التدفق الحجمي:

$$Q = V.T.H$$

حيث :

(V) سرعة البلاستيك المصهور.

(T) محيط فتحة القالب.

(H) عمق فتحة القالب.

$$\dot{\gamma} = \frac{6V}{H} = \frac{6 \times 20}{1} = 120 \text{ S}^{-1}$$

من الشكل (15) نجد :

$$G = 3 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}, \quad \tau = 1.5 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

حيث:

(τ): إجهاد القص ، (G): معامل مرونة القص.

يعطى انفعال القص المسترجع (γ_R) بالمعادلة التالية:

$$\gamma_R = \frac{\tau}{G} = \frac{1.5 \times 10^5}{3 \times 10^4} = 5$$

وباعتبار التضخم ناتجاً من تأثير القص فقط يكون من الشكل (11) وباعتبار

$$B_{ST} = 1.42 \text{ وكذلك } B_{SH} = 2 \text{ : } (\gamma_R = 5)$$

حيث :

(B_{SH}) نسبة الانتفاخ في السماكة .

(B_{ST}) نسبة الانتفاخ المحيطي.

أبعاد القالب الأولية يجب أن تعدل الآن بأخذ هذا التضخم في الحسبان حيث فتحة القالب الجديدة:

$$H' = 0.5 \text{ mm}$$

ومحيط القالب الجديد:

$$\frac{\pi \times 150}{1.42} = T'$$

وبما أن التدفق الحجمي ثابت يمكن تحديد سرعة المصهور في القالب:

$$Q = V.T.H = V'.T'.H'$$

$$V' = \frac{V.T.H}{T'.H'} = V.B_{SH}.B_{ST}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{6V'}{H'} = \frac{6 \times 20 \times 2 \times 1.42}{0.5} = 681.6 \text{ S}^{-1}$$

من الشكل (15) بدلالة (γ) نجد :

$$\tau = 2.5 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2} , G = 4.2 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}$$

$$\gamma_R = 5.95$$

من الشكل (10) نجد :

$$B_{ST} = 1.485 , B_{SH} = 2.175$$

$$H'' = \frac{1}{2.175} = 0.459 \text{ mm} \text{ وتكون فتحة القالب الجديدة :}$$

$$T'' = \frac{\pi \times 150}{1.485} \quad \text{ومحيط القالب الجديد :}$$

إذا أعيدت هذه العملية مرة ثانية فالأرقام التي سنحصل عليها

$$H''' = 0.455 \text{ mm} \quad \text{فتحة القالب :}$$

$$T''' = \frac{\pi \times 150}{1.49} \text{ mm} \quad \text{محيط القالب :}$$

هذه القيم قريبة إلى القيم السابقة، إذا أبعاد فتحة مخرج القالب هي (0.455 mm) وقطرها :

$$\frac{\pi \times 150}{1.49 \times \pi} = 100.67 \text{ mm}$$

سرعة القص ($\dot{\gamma}$) عند أسفل القالب هي :

$$\dot{\gamma} = \frac{6 \times 20 \times 1.49 \times 2.2}{0.455} = 864.5 \text{ S}^{-1}$$

من الشكل (15) نلاحظ أن هذا يتجاوز سرعة القص للجريان اللاصفائحي (حوالي 30 S^{-1}) وبالتالي فإن مكان الدخول لهذه المنطقة يجب أن يكون انسيابياً.

يظهر الشكل (15) أنه لتجنب حصول اضطراب في الجريان فإن سرعة الانفعال الشدي ($\dot{\epsilon}$) في مدخل منطقة المدخل المتوسعة يجب أن لا يتجاوز (15 S^{-1}).

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{3\dot{\epsilon}}{\dot{\gamma}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{3 \times 15}{864.5} \right) = 2.97^\circ$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{3} \dot{\gamma} \tan \alpha$$

حيث:

(α): زاوية مخروط المدخل.

($\dot{\gamma}$): سرعة انفعال القص عند المدخل.

(ع): سرعة انفعال الشد عند المدخل .

وبالتالي إن الزاوية الكاملة لمقطع الدخول إلى أسفل القالب يجب أن تكون أقل من (5.95).

لإكمال تصميم القالب نحتاج إلى منطقة مخروطية ثالثة كما في الشكل (16)، وهذه ستكون مصممة بحيث يكون مدخل القالب متناسباً مع مكان اتصال القالب مع البائق.

إذا اخترنا طول المنطقة المخروطية ذات الزاوية (5.94) مساوياً (10 mm) يمكن أن نرى أن زاوية التضيق الأعظمية لمدخل هذا المخروط هي (58.5°).

وإذا ثبتنا طول هذا المقطع على أساس (40 mm) وفتحة الخروج من البائق على أساس (16 mm) فإن زاوية التضيق المناسبة ستكون حوالي (40°).

مثال (7):

يطلب نفخ قنينة بلاستيكية بقطر (60 mm) وسماكة جدران (2 mm) فإذا كان قالب البثق ذو فتحة بقطر خارجي (32 mm) وقطر داخلي (28 mm) احسب سرعة الخروج المطلوبة من البائق وحدد ضغط النفخ المناسب الذي تنصح به.

استخدام الشكل (15) الخاص بعملية النفخ علماً بأن كثافة البولي إيثيلين (760 kg/m³).

الحل:

من بحث الدراسة التحليلية لعملية النفخ نجد أن السماكة (h) للقنينة المنفوخة تعطى بالعلاقة:

$$h = B_{st}^3 h_0 \left(\frac{D_d}{D_m} \right)$$

حيث (h_d) تساوي فتحة القالب وتساوي (2 mm) وقطر القالب

$$(D_m = 60 \text{ mm})$$

قطر الـ (die) الوسطي

$$D_d = 0.5(25 + 32) = 30 \text{ mm}$$

$$B_{ST}^j = \frac{2 \times 60}{30 \times 2} = 1.26$$

من الشكل (10) ومن أجل :

$$\gamma_R = 3.15, \quad B_{ST} = 1.26$$

$$\frac{\tau}{G} = 3.15 \quad \text{لذلك}$$

من الشكل (15) نرى أنه من الضروري تحديد قيمة كل من إجهاد القص

(τ) ومعامل مرونة القص (G) لتحقيق هذه العلاقة، فمثلاً:

$$\tau = 10^5 \text{ N/m}^2 \Rightarrow G = 2.1 \times 10^4 \Rightarrow \gamma_R = 4.76$$

$$\tau = 5 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \Rightarrow G = 1.7 \times 10^4 \Rightarrow \gamma_R = 2.94$$

$$\tau = 6 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \Rightarrow G = 1.9 \times 10^4 \Rightarrow \gamma_R = 3.15$$

إذاً آخر مجموعة هي الصحيحة ومن الشكل (15) ومن أجل :

$$\tau = 6 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \Rightarrow \dot{\gamma} = 10 \text{ S}^{-1}$$

$$\dot{\gamma} = 10 = \frac{6Q}{TH^2}$$

$$Q = \frac{10 \times \pi \times 30 \times 2^2 \times 10^{-9}}{6} = 1.26 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= 1.26 \times 10^{-6} \times 760 \times 3600 = 3.45 \text{ kG/houer}$$

(B_{ST}): نسبة الانتفاخ المحيطي.

(D_d): القطر الوسطي لفتحة القالب .

(γ_R): الانفعال المحيطي المسترجع.

لحساب ضغط النفخ من الضروري أن نحصل على إجهاد التحطم للمصهور ومن الشكل (15) نرى أنه يساوي $(4 \times 10^6 \text{ N/m}^2)$.
إذا بما أن الإجهاد الأعظمي في البالون هو الإجهاد عند الحلقة (σ) إذاً ضغط النفخ (P) يعطى بالعلاقة:

$$P = \frac{2 \cdot h \cdot \sigma}{D_m} = \frac{2 \times 2 \times 4 \times 10^6}{60} = 0.13 \text{ MPa}$$

مثال 8:

قطعة منتجة بواسطة الحقن على شكل صفيحة مربعة بطول ضلع (100mm) وسماكة قدرها (4 mm) ، فإذا كانت درجة حرارة الانصهار (180°C) ، وحرارة القالب (60°C) وتتجمد المصهورة بحرارة (110°C) حدد:

- أ- درجة حرارة المواد في مركز المنتج بعد (7 sec) .
- ب- الوقت اللازم لتجمد المصهورة.

الحل:

أ- عدد فوريرة (F_0) هو

$$F_0 = \frac{\alpha \cdot t}{x^2} = \frac{1 \times 10^{-7} \times 7}{(2 \times 10^{-3})^2} = 0.175$$

من الشكل (13) نجد أن تدرج درجات الحرارة يساوي (0.82) وبالتالي:

$$\Delta T = \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2}$$

$$0.82 = \frac{T_3 - 60}{180 - 60}$$

$$T_3 = 158.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ب- من أجل الحصول على التجمد يجب أن يكون تدرج درجات الحرارة:

$$\Delta T = \frac{110 - 60}{180 - 60} = 0.42$$

من الشكل (13) نجد ($F_0 = 0.455$)، وبالتالي:

$$\frac{\alpha \cdot t}{x^2} = 0.455$$

$$t = \frac{0.455 \times (2 \times 10^{-3})}{1 \times 10^{-7}}$$

$$t = 18.2 \text{ sec}$$

حيث:

(T_1) : درجة الحرارة الابتدائية للمصهور.

(T_2) : درجة حرارة القالب.

(T_3) : درجة الحرارة في اللحظة (t).

(α) : معامل التبريد الحراري.

(t) : الزمن .

(x) : نصف سماكة المجرى.

مثال (9):

حدد انتقال الحرارة من المحيط إلى المصهورة عندما يمر عبر أسفل القالب كما في المثال (4).

الحل:

$$\pi D.H.L = (\pi \times 260 \times 0.7 \times 4 \times 10^{-9}) \text{ m}^3 \quad \text{حجم قعر القالب :}$$

(D): القطر ، (H): العمق، (L): الطول.

$$Q = 109.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\frac{V}{Q} = 2.8 \times 10^{-2} \text{ sec} \quad \text{إذا زمن الإبقاء :}$$

ورقم فورييه:

$$F_0 = \frac{\alpha \times 1}{x^2} = \frac{1 \times 10^{-7} \times 2.08 \times 10^{-2}}{(0.35 \times 10^{-3})^2} = 0.017$$

(α) : معامل التبريد الحراري.

(t) : الزمن

(x) : نصف سماكة المجرى.

يبدو من الشكل (14) أن خط تدرج الحرارة المركزي الموافق لرقم فورييه هو الواحد، وبما أن :

$$\Delta T = \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2} \approx 1$$

$$T_3 \approx T_1$$

إذاً درجة حرارة الصهر بعد (2.08×10^{-2} sec) هي نفسها الحرارة البدائية، حيث أنه عندما يمر المصهور خلال قعر القالب فإنها لا تتأثر نسبياً بدرجة حرارة القالب. أي ارتفاع يحدث لدرجة حرارة المصهور عند مروره عبر هذا المقطع سينتج عن العمل المطبق على هذا المصهور والذي يمكن أن يحسب بالعلاقة (55):

مقدار ارتفاع درجة الحرارة يساوي :

$$\frac{P}{\rho \cdot C_p}$$

$$C_p = 2.5 \times 10^3 \text{ j/kg.C}^\circ$$

حيث:

(C_p) الحرارة النوعية .

(P) مقدار انخفاض الضغط عبر القالب.

وبالتعويض نجد أن ارتفاع الحرارة يساوي (1.9 C°).

الباب الخامس البلاستيك المسلم





١- مقدمة :

يستخدم البلاستيك المسلح لزيادة متانة ومعامل مرونة هذه المواد، ويتألف البلاستيك المسلح من مركبين رئيسيين هما:

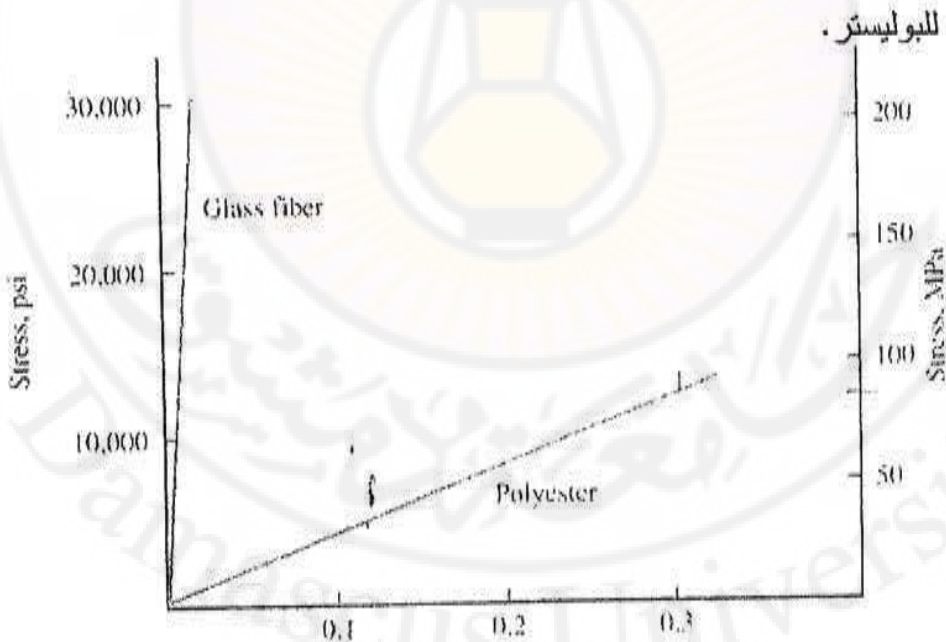
١- الريزين Resine ويمكن أن يكون حراري (Tp) أو متصلب حرارياً (Ts).

٢- مواد التسليح وتكون عادة بشكل ألياف Fibers.

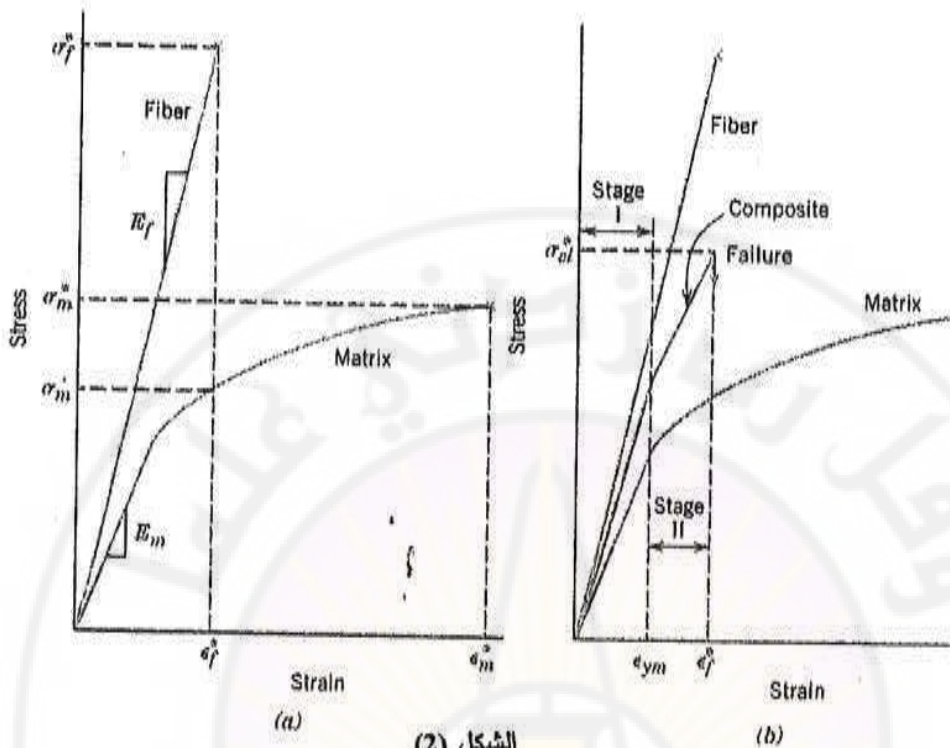
في الحالة العامة يكون الريزين أقل متانة من الألياف والتي تكون أقسى وأكثر هشاشة وهي التي تتحمل القسط الأعظم من الحمولة المطبقة. أما مهمة الريزين هي دعم الألياف ونقل الحمولة الخارجية إليها عبر سطوح تماس الألياف مع الريزين من خلال إجهادات القص الناتجة عن الحمولة.

ما هو تأثير التسليح بالألياف الزجاجية؟

لو درسنا مخطط الإجهاد والانفعال المبين بالشكل (1) لكل من ألياف الزجاج (fibre) والبوليستر Polyester كل على حدى لوجدنا أنه عند انفعال (0.003) للألياف يكون الإجهاد مساوي (207 MPa) للألياف و (8.3 MPa) للبوليستر.



الشكل (1) مخطط الإجهاد والانفعال للبوليستر وألياف الزجاج.



الشكل (2)

مخطط الإجهاد والانفعال للألياف الزجاجية والمادة ومزيجهما

من الشكل (2) نجد أن :

(a): يبين مخطط (الإجهاد - الانفعال) للزجاج المطاوع والمادة البلاستيكية

Matrix المطاوعة، كل من نقاط الانهيار لكل منها ϵ_f^* ، ϵ_m^* .

(b) يبين مخطط (الإجهاد - الانفعال) لمزيج الألياف والمادة البلاستيكية

composite (في الوسط) نلاحظ أن إجهاد الانهيار للمركب سيزداد أي تزداد

مقاومته، أما انفعال انهيار المركب سيبقى مماثل للألياف أي عند ϵ_f^* .

إذن التسليح يفيد بـ:

- زيادة المقاومة.

- تخفيض نسبة الانفعال.

٢- مواد التسليح وأنواعها : Types of Reinforcement

هناك مجال واسع لاختيار مواد التسليح سواء المتبلور أو عديم التبلور (العشوائي) وأهم هذه المواد الألياف الزجاجية والكربون والغرافيت والأسبستوس والبولرون والسيليكون ومادة الكيفلر Kevlar الحديثة نسبياً. يبين الجدول التالي بعض المواصفات لمواد التسليح المذكورة.

مواد التسليح	الكتلة الحجمية ρ	مقاومة انهيار الشد σ_R daN/mm ²	σ_R / ρ	التمدد حتى الانهيار %	معامل المرونة E daN/mm ²	معامل المرونة النوعي E/ ρ
a	كربون carbone	1.74	210	121	20000	11490
	غرافيت Graphite					
	عالي المقاومة H.R	1.77	280	158	27000	15250
	عالي المعامل H.M	1.94	210	108	40000	20618
b	بور Bore	2.6	350	135	40000	15384
c	زجاج Verre	2.55	220	86	7800	3058
	عالي المقاومة S(H.R)	2.55	350	137	7500	2942
d	الفولاذ سلك شد Acier	7.75	350	45	21000	2710
e	Kevlar 49	1.45	300	20	13000	890

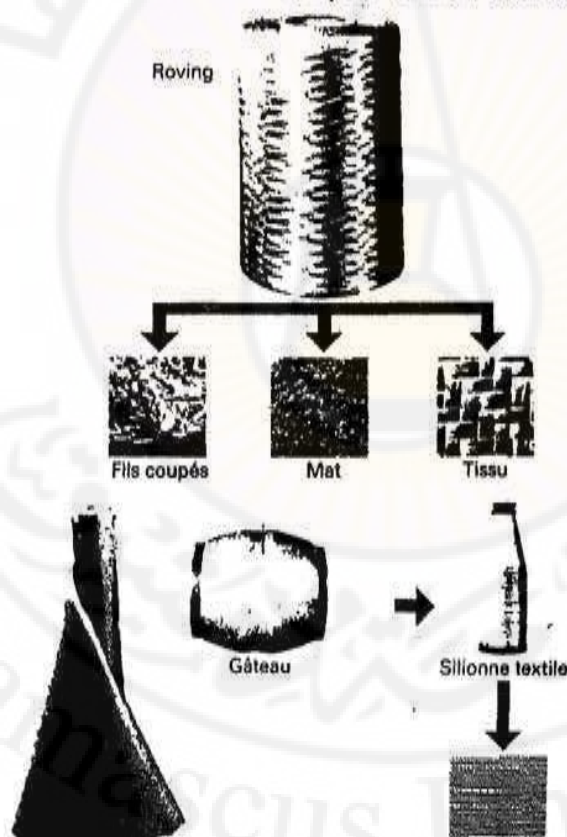
(a) ألياف الكربون والغرافيت: وهي ذات أهمية كبيرة في الحالات التي تتطلب تحملاً لدرجات حرارة عالية حيث لا يمكن أن تتصهر (يمكن أن تتبخر) وغير قادرة على الانسياب مع المواد الأخرى. إن الكربون ذو تركيب جزيئي عشوائي وهو صلب وتشغيله صعب وتوصيله الحراري جيد، في حين أن الغرافيت ذو تركيب جزيئي منتظم تقريباً وهو لين وتشغيله أقل صعوبة من الكربون كثيراً وتوصيله الحراري ممتاز.

يمكن أن يستخدم الكربون بحالات خاصة حيث التكلفة لا تؤدي دوراً أساسياً، كما يمكن استخدام الكربون والجرافيت في آن واحد.

(b) ألياف البورون Boron fibres : وهي تتميز بالصلابة العالية والكثافة المنخفضة وقدرتها على تحمل الإجهادات العالية حيث تستخدم مع مادة الإيبوكسي (EP) المتصلبة حرارياً في صناعة الطائرات.

(c) الألياف الزجاجية : Glass fibers : إن الألياف الزجاجية هي الأكثر استخداماً في الإنتاج نظراً لمواصفاتها الجيدة ورخص ثمنها، وتوجد الألياف بأشكال وحجوم مختلفة وبما يتناسب مع العديد من طرق الإنتاج.

يبين الشكل (3) الأشكال المختلفة للألياف.



الشكل (3)

تتمتع الألياف الزجاجية بالمواصفات التالية:

- ١- كلفة الألياف الزجاجية منخفضة بالمقارنة مع مواد التسليح الأخرى.
 - ٢- تحمل قوة شد مرتفعة مقارنة لوزنها (خفة الوزن) بالإضافة إلى المرونة المثالية.
 - ٣- تخضع لقانون هوك Hooké Law أي تتجاوب بما يتناسب والقوة المطبقة عليها ثم تعود إلى شكلها الأصلي (تتحمل استطالة لا تزيد عن 5% قبل انقطاعها).
 - ٤- خواص حرارية مميزة. معامل تمدد حراري منخفض وتوصيل حراري جيد.
 - ٥- غير قابل للاشتعال.
 - ٦- ثبات ممتاز للأبعاد (لا تتمدد أو تنقلص ضمن حدود متانتها).
 - ٧- الألياف الزجاجية لا تتشوه أو تتآكل أو تتعفن، كما أنها مقاومة للمذيبات العضوية ولمعظم الأحماض والقلويات.
 - ٨- الألياف الزجاجية مقاومة للرطوبة بشكل ممتاز فلا تمتص الرطوبة ولا تتحلل ولا تستطيل أو تغير خواصها الكيميائية نتيجة الرطوبة.
 - ٩- تحافظ الألياف على (50%) من متانتها حتى (370°C)، وعلى (25%) من متانتها حتى (540°C).
 - ١٠- تتمتع الألياف الزجاجية بخواص كهربائية ممتازة وبمعامل عزل منخفض.
- إن هذه المواصفات التي تتمتع بها الألياف الزجاجية تجعل منها مادة مثالية نسبياً للتسليح.
- (d) الألياف المعدنية Metal fibers: ولها أشكال عديدة مثل شبكة السلك المعدني Metal wire mesh المشابهة لشبكة المنسوجات، إذ تستخدم هذه

الشباك لتوصيل التيارات الكهربائية الشاردة أو الشحنات الكهربائية الستاتيكية (للتوصيل بالنقاط الأرضية). وتستخدم مواد النحاس والصلب عديم الصدأ وأحياناً الألمنيوم في صناعة هذه الشباك.

يمكن أن تكون الألياف المعدنية على شكل سلك معدني مستمر Continuous metal wire وتستخدم للحصول على القوة والمتانة ولكن سيكون المنتج النهائي ثقيل الوزن وهذا عيب لا يمكن تداركه. كما يمكن أن تكون الألياف المعدنية على شكل صوف معدني Metal wool مؤلف من أسلاك ذات أقطار صغيرة ومجدولة على نحو عشوائي، ويمكن أن يستخدم الألمنيوم لتشكيل صوف يستخدم في صناعة القوالب لإنتاج كميات محدودة من القطع في القوالب بالحقن وفي القوالب بالتفريغ للألواح وكذلك أغشية الحماية للمعدات والآلات التي يتولد عنها حرارة مرتفعة أثناء التشغيل.

(e) ألياف الكيفلار Kevlar fibers : وهو الاسم التجاري لألياف النايلون أو ألياف الأراميد Aramid fibers، وتكون على شكل خيوط دقيقة وتتميز بقوة الشد العالية وقدرة الترابط مع الرزينات وتستخدم غالباً في صناعة الألواح المتعددة الطبقات.

(f) ألياف الاسبستوس Asbestos fibers: ويستخدم حالياً في تسليح المواد البلاستيكية، ولكن يجب ملاحظة أن هناك شروط يجب فهمها وتوافرها وذلك حسب المنتج مثل، التوصيل الحراري المنخفض والمقاومة الميكانيكية والحرارية والمتانة العالية وثبات الأبعاد .

(G) المواد المألئة والإضافات Fillers and Additives: تشكل المواد المألئة جزءاً هاماً في كل أنظمة الرزينات وتتراوح مستويات المواد المألئة بحدود (0-30%) من الوزن وأكثر المواد المألئة شيوعاً هي سيليكات الألمنيوم،

كربونات الكالسيوم (تزيد الوزن والحجم للتركيب وتعمل على خفض التكاليف جزئياً) .

طحين الرخام، طحين السيلكا، الرمل، مسحوق صخر الأردواز، ألياف زجاجية... إلخ.

٣- المواد البلاستيكية المستخدمة لإنتاج البلاستيك المسلح:

كما ذكرنا سابقاً، تتألف المادة البلاستيكية المسلحة من مادة التسليح (الألياف غالباً) والأساس البلاستيكي (الريزين) وأهم هذه المواد:

(a) البوليستر Polyester resins : ويمكن أو يوجد على نوعين:

أ- بوليستر مشبع (Saturated polyester (PTE) وهو بلاستيك (Tp) ومن أمثلتها مادة Butylene terephthalate (BTF) وتستخدم في القلوبة بالحقن.

ب- بوليستر غير مشبع (Unsaturated polyester (UP): وتعد من أفضل المواد المستخدمة للتسليح ولها عدة أنواع كثيرة حسب التركيب الكيميائي. إن هذه المادة لا تصلح للاستخدام منفردة لأنها ليست قوية أو صلبة، ولكن باستخدامها مع مواد التسليح كالألياف الزجاجية تكتسب خواص جديدة كالقدرة على تحمل الأحمال وعدم تغير طبيعتها بفترات قصيرة لأن الألياف هي من مادة الزجاج. ويمكن ملاحظة أن الـ (UP) مادة سائلة يمكن إشباع الألياف الزجاجية بها دون حاجة لضغط أو باستخدام ضغط خفيف جداً. ويمكن تلخيص ميزات البوليستر غير المشبع (UP) المسلح بالألياف الزجاجية بالتالي:

١- نسبة القوة إلى الوزن عالية.

٢- يمكن أن يكون حجم المنتج كبير جداً ومن دون حدود تقريباً، وتكون الأسعار مقبولة.

٣- عازلية جيدة للحرارة.

٤- مقاومة جيدة للماء الحلو والمالح، وكذلك للكثير من المواد الكيميائية، وكذلك مقاومة جيدة للعوامل الجوية.

٥- سهولة التقنيات المتبعة وتعددتها وعدم الاحتياج لرؤوس أموال كبيرة خاصة عند استخدام القلوبة بالتلامس (اليدوية).

٦- يمكن تلوينها بإضافة الملونات وخاصة الطبقة الخارجية Gel-Coat وتكون الألوان دائمة ولا تحتاج إلى دهان أو صيانة، ويمكن أن تكون المنتجات شفافة.

٧- المادة ذات إطفاء ذاتي.

٨- القوالب المستخدمة رخيصة نسبياً ويتعلق ذلك بعدد القطع المراد إنتاجها.

٩- تلتصق مادة (UP) المسلحة مع المواد الرغوية جيداً، وتستخدم هذه الخاصية في صناعة القوارب النهرية والبحرية بمختلف أنواعها.

١٠- يمكن تعديل تصميم المنتج بإضافة أو حذف جزء ما ببساطة، أو إصلاح الكسور والتشوهات كذلك لأن تفاعل البلمرة يستأنف في أي وقت.

(b) الإيبوكسي Epoxy resins: وتستخدم في مجالات نوعية كالاستخدامات الكهربائية. وإذا قورنت بمادة الـ (UP) نجد أنها تتميز باللزوجة العالية ونسبة الانكماش المنخفضة وقوى تلاحق عالية.

إن لهذه المادة المستقرة بالحرارة دوراً هاماً في مجال البلاستيك المسلح (لكنه أقل من الـ UP)، وتستخدم للوقاية والألصاق وفي مجال الصناعات الفضائية نظراً لخواصها الممتازة في الشد ومقاومة الثني والرطوبة.

يوجد بوليمير الإيبوكسي بعدة أشكال تختلف عن بعضها البعض بالتركيب الكيميائي وبالتالي ببعض المواصفات.

(c) السيليكون Silicon resins: إن مادة السيليكون هي الأعلى ثمناً بين المواد المستخدمة في التسليح، لذا ينحصر استخدامه في التطبيقات التي تتطلب مقاومة عالية لدرجات الحرارة المرتفعة كالاستخدامات الكهربائية. إن بوليمير السيليكون هو صلة الوصل بين البوليميرات العضوية والغير عضوية.

يتمتع السيلكون بالإضافة لثباته بدرجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة بمقاومة الرطوبة والظروف الجوية الحادة بالإضافة للخمول الكيميائي. (d) هناك العديد من البوليميرات الأخرى تستخدم كماد لإنتاج البلاستيك المسلح مثل:

PI - بوليمير البولي إيميد Polyimide resins.

M - بوليمير الميلامين Melamin resins.

UP - بوليمير اليوريا فورمالدهيد ureafarmaldehyde.

يجب أن نلاحظ وجود مواد أخرى، وجميع المواد ومشتقاتها لها أسماء تجارية مختلفة حسب الشركات المصنعة.

٤- مساوي البلاستيك المسلح :

- ١- عمليات الإنتاج تأخذ زمناً ليس بالقصير.
- ٢- عدم التوافق في الخواص الميكانيكية بين البوليمير ومواد التقوية.
- ٣- ارتفاع كلفة الآلات (إلا في حالة استخدام آلات ومعدات رخيصة الثمن (خاصة العمل اليدوي).
- ٤- تأثير الظروف الجوية في المنتج من ناحية الأداء وعمر الخدمة.
- ٥- مزايا البلاستيك المسلح:

- ١- نسبة القوة / الوزن عالية في البلاستيك المسلح.
- ٢- يمكن استخدامه في الأشكال المعقدة.

- ٣- الكلفة رخيصة نسبياً مقارنة بالمعادن.
- ٤- للبلاستيك المسلح حرية أكبر عند التصميم عن المعادن.
- ٥- مقاومة للتآكل وكثير من المواد الكيميائية.
- ٦- لا يتشوه كثيراً مقارنة بالمعادن بسبب مرونته.
- ٧- إمكانية إظهار التفاصيل الدقيقة على سطح المنتج إذا كان القالب جيد.

٨- مقاومته عالية للظروف الجوية.

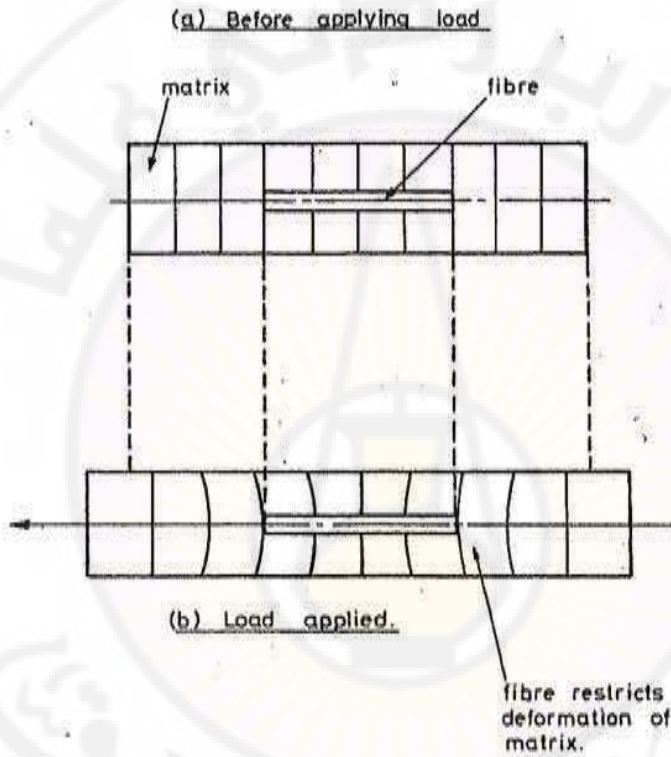
٦- القوالب المستخدمة في صناعة البلاستيك المسلح:

يعتبر تجهيز القالب للشكل المراد إنتاجه من الخطوات الأساسية والهامة حيث إن جودة القالب ستعكس مباشرة على جودة المنتج وسهولة القولبة. إن القالب غير الجيد يؤدي لمنتجات سيئة قد تكون غير صالحة للاستعمال. هناك العديد من أنواع القوالب والتي تصنع من مواد متعددة مثل الخشب أو الجبصين أو البوليستر أو الإيبوكسي أو المعادن. تتعلق مادة القالب المختارة بعدد القطع المراد إنتاجها وبحجمها، يستعمل الخشب لعدد محدود وصغير من القطع، أما الجبصين فيستخدم لصناعة الأشكال الأولية Prototype ومن ثم صناعة قوالب البلاستيك المسلح والمستخدم لإنتاج أعداد متوسطة أما القوالب المعدنية فتستخدم لإنتاج أعداد كبيرة من القطع. في كل الأحوال فإن دقة ونعومة سطح القالب تلعب دوراً أساسياً في جودة المنتج.

٧- ميكانيزم التسليح : Mechanism of Reinforcement

تحدث الإجهادات في الألياف نتيجة كبحها (ممانعتها) للتشوه الذي يصل للمزيج كما في الشكل (4) حيث ينتقل الحمل الخارجي المطبق على المزيج إلى الألياف عن طريق إجهاد القص على السطح الخارجي لهذه الألياف، إن

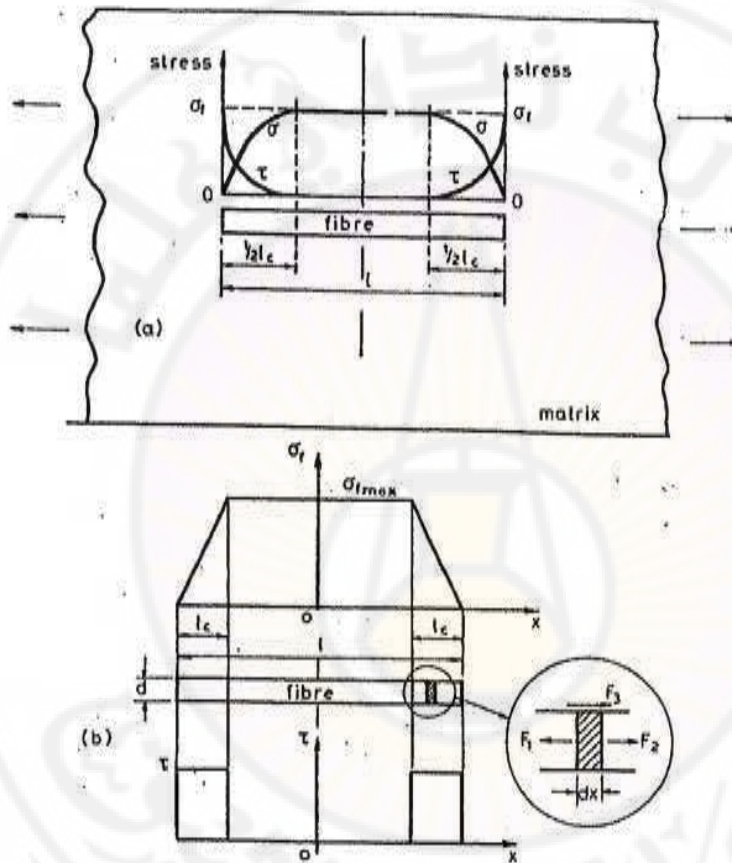
توزع هذا الإجهاد الناتج في الليف والمزيج يميل لأن يكون معقداً، في الألياف القصيرة يتوزع إجهاد الشد في الليف بحيث يتزايد من الصفر عند النهاية إلى القيمة العظمى (σ_f) والتي يتم بلوغها فيما إذا كان الليف ممتداً على طول المزيج.



الشكل (4) تأثير الليف على تشوه المزيج

أوضح ريشارد سون توزيع الإجهادات في النهاية الغير مجهزة لليف القصير (انظر الشكل (5-a))، وبما أن الحمل الخارجي ينتقل من المزيج إلى المواد الداعمة عبر السطح الجانبي للألياف، فإن مساحة السطح الجانبي لهذه الألياف يجب أن تكون ملائمة لتسمح للحمل بالكامل لكي ينتقل للألياف، هذا يعني أنه من أجل قطر معين لليف يوجد طول أصغري محدد والذي يجب أن

يكون الليف أكبر منه حتى يكون تحطم العنصر عن طريق شق (كسر) الليف
أفضل من أن يتم التحطم عن طريق القص على طول السطح الجانبي
للألياف في تماسها مع المزيج ويدعى هذا الطول بالطول الحرج (l_c) .



الشكل (5)

توزع الإجهاد في الليف وعلى سطح اتصال الليف والمزيج

وبما أن قوة القص تعطى بالعلاقة $(\frac{1}{2} \tau \cdot \pi \cdot d)$ وقوة الشد تعطى بالعلاقة

$(\frac{\sigma_f \cdot \pi \cdot d^2}{4})$ ونحصل على الطول الحرج لليف من خلال موازنة القوى مما

يعني أن:

$$L_c = \frac{\sigma_f \cdot d \cdot \tau_i}{2}$$

حيث أن (σ_f) هي متانة الليف و (τ_i) هي متانة القص لليف على طول السطح الجانبي له بقيمته الدنيا والنسبة بين طول الليف وقطره تدعى في بعض الأحيان بالنسبة الطردية (Aspect ratio)

: Analysis of Reinforced Plastics تحليل البلاستيك المسلح

إن التحليل النظري للأنظمة التركيبية معقد لأن طول الليف وقطره ومنحاه كلها عوامل تدخل في الحساب. إن الاتجاه المتبع هو إلى حد كبير تجريبي ويعتمد على الخبرة في مثل هذه التصاميم.

إن المعالجات النظرية البسيطة مبنية على أساس حقيقة أن المزيج يرتبط بمتانة ومعامل مرونة المواد المسلحة، إن هذه العلاقة هامة من أجل المركبات التي تحوي الألياف المستمرة ذات الترتيب وحيد الاتجاه في مزيج موحد المرونة وعند عملية الفحص في الاتجاه نفسه للألياف التدعيم، وبالتالي يعطى معامل مرونة المركب ككل (E_c) من العلاقة:

$$E_c = E_f V_f + E_m (1 - V_f)$$

حيث إن (V) تدل على الحجم و (m) تدل على المادة matrix و (f) تدل على الألياف.

وبطريقة مشابهة يكون الإجهاد (σ_f) في المركب معبر عنه من خلال الإجهاد في كل من الليف والمزيج بالعلاقة:

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f)$$

من الناحية العملية إنه لا تكون كل أنواع الألياف مصفوفة وفق اتجاه الحمل، وفي هذه الحالة فإن مردود مواد التسليح سينقص ويجب أن يتم تعديل العلاقة لتصبح من الشكل:

$$E_c = K_1 E_f V_f + E_m (1 - V_f)$$

$$\sigma_o = K_2 \sigma_r V_r + \sigma_m (1 - V_r)$$

في عمليات الإنتاج التجاري الكمي والمستخدم لإنتاج ألياف التسليح المستمر فإن المتانة يجب أن يتم إنقاصها من خلال معامل قيمته حوالي (0.65) بالرغم من أن معامل المرونة لا يتأثر نسبياً، ويكون المعامل (K_1) في العلاقة السابقة قريباً من الواحد .

إذا كانت الألياف ثنائية الاتجاه فإن التخفيض في قيمة المتانة ومعامل المرونة تكون من خلال ضرب بمعامل قدره على الترتيب (0.3) و (0.65) وإذا كانت الألياف غير مستمرة وبالتالي وجود نهايات للألياف غير متأثرة فإن الإجهاد الوسطي في الليف سيكون أقل من (σ_{fmax}) وقيمة هذا الإجهاد الوسطي تعتمد على توزيع الإجهاد في نهاية الألياف وعلى طول الألياف فإذا افترضنا أن توزيعها كما في الشكل (5-b) فإننا نستطيع أن نحلل الإجهاد كما يلي:

من الشكل (5-b) نجد :

$$F_1 = \sigma_r (\pi d^2 / 4)$$

$$F_2 = [\sigma_r + (d\sigma_r / dx)]. (\pi d^2 / 4)$$

$$F_3 = (\tau \pi d) dx$$

ومن توازن العنصر:

$$F_1 = F_2 + F_3$$

$$\Rightarrow \sigma_r (\pi d^2 / 4) = \sigma_r + (d\sigma_r / dx) dx (\pi d^2 / 4) + (\tau \pi d) dx$$

$$\Rightarrow (d / 4) d\sigma_r = \tau dx$$

$$\Rightarrow (d / 4) \int_0^{\sigma_r} d\sigma_r = - \int_{1/2}^x \tau dx$$

$$\Rightarrow \sigma_r = \frac{4\tau (1/2 - x)}{d}$$

ونأخذ هنا ثلاث حالات في الحساب :

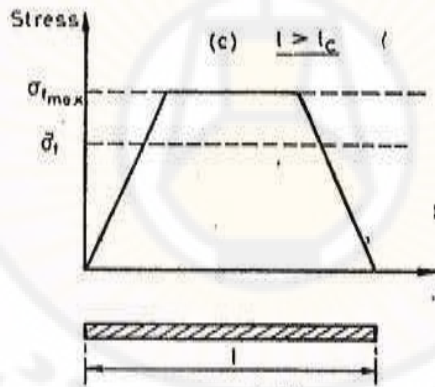
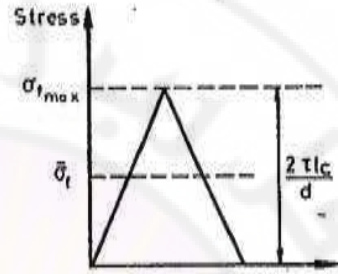
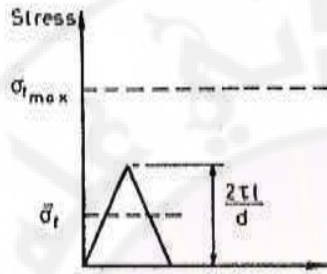
١- طول اللبف أقل من (l_c) اسن (6-a)

في هذه الحالة تكون ذروة قيمة الإجهاد عندما

$$x = 0 \Rightarrow \sigma_r = \frac{2\tau \cdot l}{d}$$

(a) $l < l_c$

(b) $l = l_c$



الشكل (6)

أنواع الإجهاد في اللبف القصير والطويل

ويكون الإجهاد الوسطي في اللبف $(\bar{\sigma}_r)$ ناتج عن قسمة المساحة الواقعة تحت

منحني الإجهاد على طول اللبف:

$$\bar{\sigma}_r = \frac{\frac{1}{2} l \left(\frac{2\tau \cdot l}{d} \right)}{l} = \frac{\tau \cdot l}{d}$$

وبالتعويض في العلاقات السابقة لحساب (σ_r) نجد:

$$\sigma_o = \left(\frac{\tau \cdot l \cdot k}{d}\right) V_r + \sigma_m (1 - V_r)$$

٢- طول الليف مساوي لـ (l_o) (الشكل 6-b):

في هذه الحالة قيمة قمة الإجهاد مساوية للإجهاد الأعظمي في الليف وعندما:

$$X = 0 \Rightarrow \sigma_{f, \max} = \frac{2 \cdot \tau \cdot l_o}{d}$$

ويكون الإجهاد الوسطي في الليف:

$$\bar{\sigma}_f = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{2 \tau \cdot l_o}{d} \right) l_o}{l_o} = \frac{\tau \cdot l_o}{d}$$

بالتعويض في معادلة (σ_o) يكون:

$$\sigma_o = \left(\frac{\tau \cdot l_o}{d}\right) y_r + \sigma_m (1 - V_r)$$

٣- طول الليف أكبر من (l_o) (الشكل 6-c):

لحالة: $\frac{1}{2} l > X > \frac{1}{2} (l - l_o)$

$$\sigma_f = \frac{4\tau}{d} \left(\frac{1}{2} l - X \right)$$

لحالة: $\frac{1}{2} (l - l_o) > X > 0$

$$\sigma_f = \text{const} = \sigma_{f, \max}$$

$$\sigma_f = \frac{2 \tau \cdot l_o}{d}$$

وكذلك كما سبق يتم الحصول على الإجهاد الوسطي في الليف من العلاقة:

$$\bar{\sigma}_f = \frac{\sigma_{f, \max} (l - l_o) + \frac{1}{2} l_o \sigma_{f, \max}}{l}$$

$$\bar{\sigma}_f = \sigma_{f, \max} \left(l - \frac{l_o}{2} \right)$$

ومن علاقة (σ_o) السابقة نجد:

$$\sigma_0 = K.V_r.\sigma_r(1 - \frac{l_c}{2}) + \sigma_m(1 - V_r)$$

لاحظ أنه من أجل الحصول على إجهاد وسطي للليف يعادل الإجهاد الأعظمي للليف، فإن الليف يجب أن يكون أطول بشكل ملحوظ من الطول الحرج، حيث إنه عند الطول الحرج للليف فإن الإجهاد الوسطي يكون فقط معادل لنصف الإجهاد الذي يتحمله الليف المستمر.

لقد أثبتت التجارب أن المعادلة الأخيرة أعطت قيم مرضية وقريبة من هذا الواقع لمقاومة ومعامل المرونة صفائح البوليستر المسلحة بالألياف الزجاجية المقطعة، وبالمطابق فإن هذه القيم للمقاومة ومعامل المرونة تعادل فقط حوالي (20-25%) من القيم التي يمكن التوصل إليها في حالة الألياف المستمرة، إن هذا الأمر ناتج من التوزيع العشوائي في اتجاهات الألياف القصيرة حيث أن نسبة مئوية صغيرة من هذه الألياف تكون واقعة في اتجاه تطبيق القوة وتحت تأثير الإجهاد المطبق، وكذلك فإن مردود التسليح يكون منخفض ويصل إلى نصف المردود الذي يمكن أن نحصل عليه عندما تكون الألياف مستمرة. للحصول على أفضل نتيجة من استخدام التسليح فإنه يتم زيادة كمية الألياف مع المحافظة على وزن الريزين مع الألياف.

في حالة تطبيق عزم انعطاف (انحناء) وجد أن المتانة المثلّي التي يمكن الوصول إليها هي عندما يتم استخدام نسبة للحجم (0.2) للألياف المقطعة والمنسوجة بشكل حصيرة (C.S.N) و (0.37) من أجل الألياف المستمرة .

مثال:

أحسب الإجهاد الأعظمي والوسطي للليف من أجل الألياف الزجاجية ذات القطر (15µm) وطول (2.5 mm) حيث يتعرض المزيج لإجهاد قص قدره (4MPa) على سطح الألياف (بفرض $l_c/l=0.3$)

الحل :

بما أن $l > l_c$ فيكون :

$$\sigma_{f,max} = \frac{2 \cdot \tau \cdot l_c}{d} = \frac{2 \cdot \tau \cdot l}{d} \left(\frac{l_c}{l} \right)$$
$$\sigma_{f,max} = \frac{2 \times 4 \times 2.5 \times 10^{-3} \times 0.3}{15 \times 10^{-6}} = 400 \text{ [MPa]}$$

وكذلك :

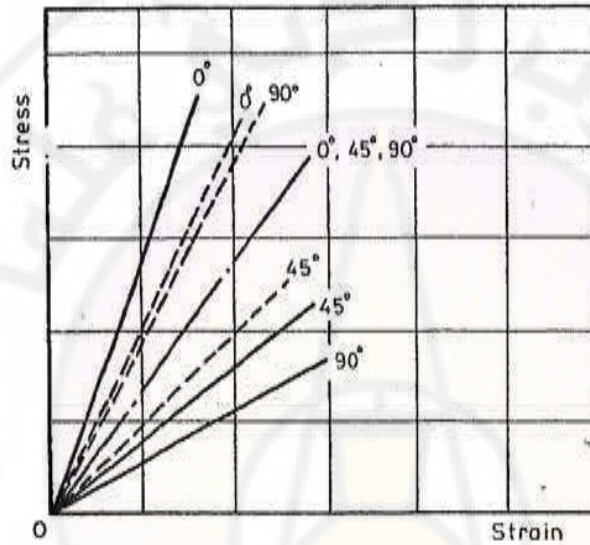
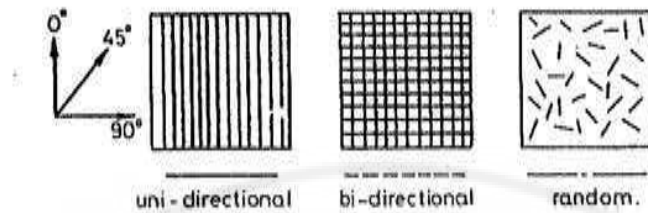
$$\bar{\sigma}_f = \sigma_{f,max} \left(1 - \frac{l_c}{2 \cdot l} \right)$$
$$\bar{\sigma}_f = 400 \times \left(1 - \frac{0.3}{2} \right) = 340 \text{ [MPa]}$$

السلوك التشوهي الشدي للبلاستيك المسلح بالألياف :

Tensile Deformation Behaviour of Fibre Reinforced Plastics :

يظهر الليف الزجاجي علاقة خطية بين الإجهاد والانفعال حتى حدوث التشقق والتحطم عند الإجهادات العالية، وبشكل عام فإن الليف الزجاجي التجاري يتحطم عند (2.5 GPa) وبانفعال حوالي (3.5%) وعلى العكس لا تكون علاقة الريزين خطية وممانتها صغيرة نسبياً وتكون عادة في حدود (40-90 MPa.) ووجود الليف في المزيج النهائي يعطي زيادة في متانة وقساوة المزيج.

إن الاختلاف بين البلاستيك المسلح بالألياف والمواد التركيبية الأخرى هو في كونها تملك خواص غير إيزوتروبية على نحو ملحوظ، حيث تتنوع أنواع المواد المسلحة من المواد المسلحة بالألياف المصفوفة وفق اتجاه وحيد المحور عبر التوزيع ثنائي المحاور حتى التوزيع العشوائي تماماً للألياف القصيرة، وبهذا فإن السلوك الشدي لهذه المركبات يعتمد على علاقة جهة الإجهاد المطبق والتوزيع إلى حد كبير كما هو موضح في الشكل (7).



الشكل (7)

تحديد السلوك (إجهاد - انفعال) لعدة أنماط من ألياف التسليح

ففي حالة الألياف وحيدة الاتجاه يكون الإجهاد موافق لجهتها والزاوية بينهما صفر وبالتالي نحصل على أكبر متانة ومعامل مرونة، أما عندما يطبق الإجهاد وفق زاوية (45°) بالنسبة للألياف فينخفض تأثير الألياف في عملية التسليح، وبالتالي ستعاني كلاً من المتانة ومعامل المرونة من النقص حسب الزاوية، وعندما يكون الإجهاد المطبق عمودي على اتجاه الألياف فلن يكون للألياف أي دور يدعم وستنقص بالتالي متانة المزيج.

من أجل حالات التسليح بالألياف الموزعة عشوائياً، فإننا نلاحظ أن الخواص في كافة الاتجاهات واحدة نوعاً ما، ولكن المتانة ومعامل المرونة أقل مما يمكن أن نبلغه في حالة الألياف المستمرة إلى حد ما حتى لو كانت الألياف مصفوفة في نفس اتجاه تطبيق الإجهاد ستكون الخواص أقل منها في حالة الألياف المستمرة، وهذا ناتج عن سببين هما:

- ١- الألياف القصيرة تحمل إجهادات أقل من الألياف المستمرة.
- ٢- حدوث إجهادات قص عالية على نهايات الألياف يؤدي إلى البدء في حدوث شقوق على السطوح الجانبية المشتركة للليف والريزين.

السلوك التشوهي الانحنائي للبلاستيك المسلح بالألياف:

Flexural Deformation Behaviour of fibre Reinforced Plastics:

في عدة وضعيات وحالات عملية تكون القساوة للمادة هامة كالمتانة، ففي حالة الشد نحصل على القساوة لوحدة الطول من خلال E, A حيث E معامل المرونة و A مساحة المقطع العرضي. إن القساوة أكثر أهمية عندما تكون المادة معرضة لعملية انحناء، وهنا تعطى قيمتها من خلال القيمة (E, I) حيث (I) عزم العطالة للمقطع العرضي وعليه فإن قساوة المادة تزداد بزيادة عزم العطالة للمقطع العرضي، وبما أن $(I \propto h^3)$ فإن مضاعفة سماكة المقطع مرتين تؤدي إلى أن مقاومة الانحناء تزداد بمقدار (8) مرات وفق ذلك الاتجاه، ولكن زيادة السماكة تعني زيادة الوزن وبالتالي الكلفة للعنصر.

لحسن الحظ أنه يوجد طريقة لزيادة عزم العطالة للمقطع العرضي دون زيادة السماكة، وذلك أنه في حالة الانحناء تكون الإجهادات العظمى على السطوح الخارجية وبالتالي يمكن وبشكل معقول تقوية المادة عند القشرة الخارجية فقط ونستخدم متانة أقل للمادة في المنطقة المركزية.

من هذه العملية نحصل على نموذج ذي حشوة حيث تشكل مادة التسليح الليفية قشرة، أما المنطقة المركزية فتنشكّل من مادة رغوية (فوم) أو ذات بنية أسفنجية .

إن الخاصة الأهم للنواة هي مقاومة القص العالية وفق نسبة الكثافة إذا كانت البنية مثلاً من الألمنيوم أو البلاستيك فسيكون الحال أفضل بخمس مرات من المادة الرغوية (الفوم) ولكن أكثر كلفة. المواد الرغوية الأكثر شيوعاً:

١- البولي يوريثان الصلب (كثافته 30 kg/m^3).

٢- الفينوليك (كثافته $30-500 \text{ kg/m}^3$).

٣- P.V.C (كثافته $40-100 \text{ kg/m}^3$).

في كل الحالات إن قوة الرابطة بين القشرتين السطحيّتين تكون في الحدود الحرجة.

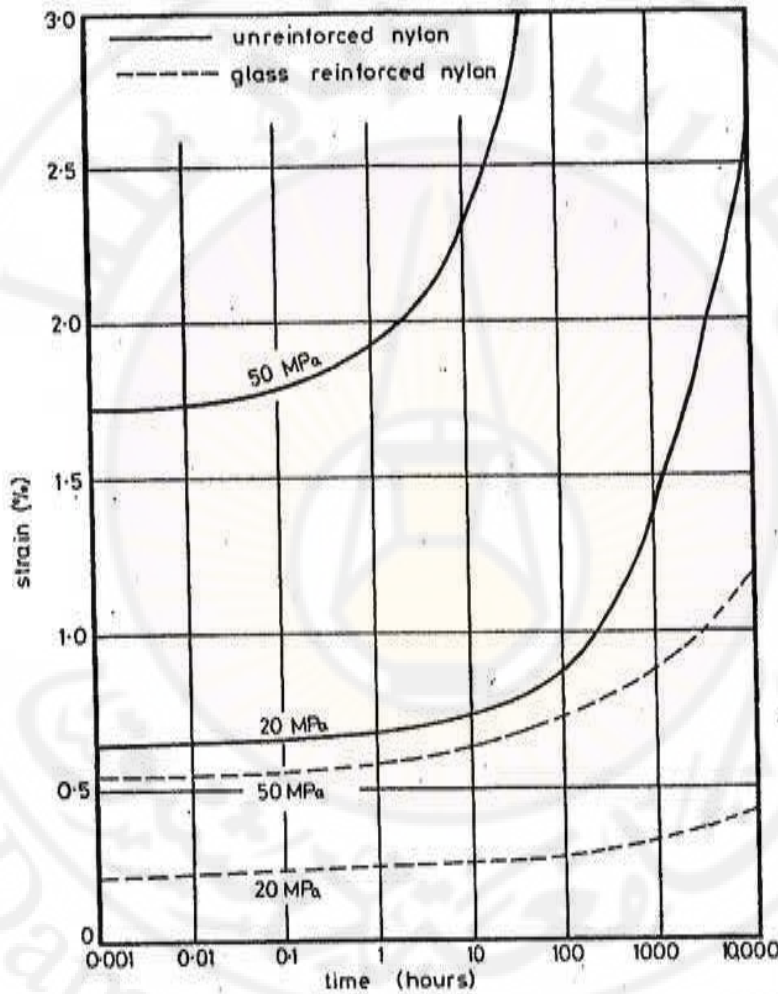
ذكرنا سابقاً في تحليل البلاستيك المسلح أن كمية الألياف يمكن أن يتم تحديدها من خلال القساوة لوحدة الوزن وبشكل مشابه أيضاً من أجل البنية ذات الحشوة حيث أنه من أجل وزن معين للمادة يمكن أن تحدّد سماكة القشرة لإعطاء مقاومة انحناء عظمى، وقد وجد أنه يتم الحصول على النتيجة الأفضل عندما يكون الوزن لوحدة المساحة للقشرة هو ثلث الوزن الكلي للقشور مع النواة.

سلوك الزحف للبلاستيك المسلح بالألياف :

Creep Behaviour of Glass Reinforced Plastics

إن الطبيعة الريولوجية للريزين في معظم أنواع البلاستيك المسلح بالألياف تؤدي إلى ارتباط خواصها بكل من الزمن ودرجة الحرارة فهي تحت إجهاد ثابت تتعرض لزحف والذي يكون أكثر حدة مع ارتفاع درجة الحرارة، ولكن

بما أن الألياف الزجاجية لا تتعرض لظاهرة الزحف فإن تأثير الزمن على الزحف في حالة البلاستيك المسلح بالألياف يكون أقل كثيراً منه في حالة استخدام التسليح والشكل (8) يوضح الانخفاض الواضح في الزحف عند تسليح النايلون بألياف الزجاج، كما أن نسبة امتصاص الرطوبة تقل أيضاً.



الشكل (8)

منحنيات الزحف للنايلون الجاف عند درجة حرارة (20 °C)

وفي الجدول التالي يبين الخواص العامة للألياف لمواد التسليح حيث:
 (α) : معامل التمدد الحراري، (k) : معامل الناقلية الحرارية.

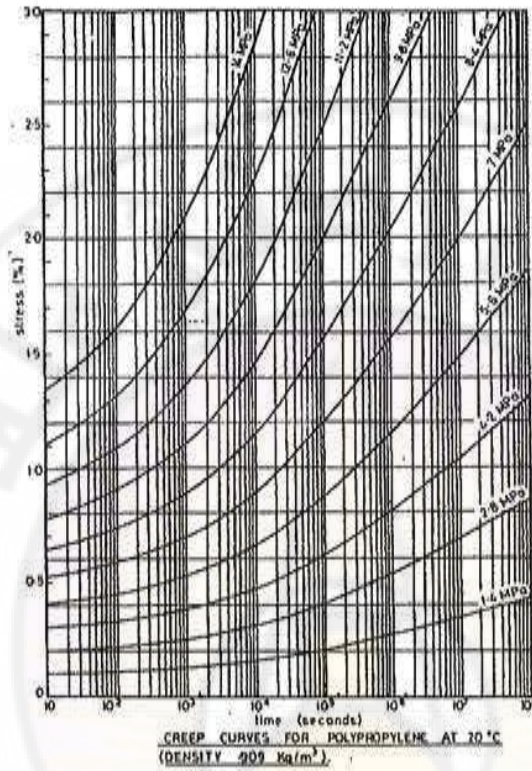
Material	Density (kg/m ³)	Strength (MPa)	Modulus (GPa)	$\alpha \times 10^{-6}$ (°C ⁻¹)	K (w/m°C)
Poyester	1210	45-90	2.5-4	50-100	0.11-0.28
Glass fiber	2560	2000	76	5	1.04
Carbon fibre*	1350	2060	380	0.5(30)	50(1)
Kevlar 49 fibre	1450	3300	130	-2(60)	
Continuous glass fibres/ polyester	1940	400-1250	20-50	5	0.2-0.3
Polyster/glassCSM	1470	60-180	6-11	22-36	0.2-0.24
Polyster/glassWR	1670	165	9-15	11-16	0.2-0.3
SMC	1700-2100	60-100	9-13	20-28	0.15-0.2

(α) = coefficient of thermal expansion.

(k) = thermal conductivity.

* = high modulus fibre .

والشكل (9) يبين منحنيات الزحف لمادة (PP) عند درجة حرارة (20°C) وكثافة (909 kg/m³)، وتساعد هذه المنحنيات لحل المسائل.



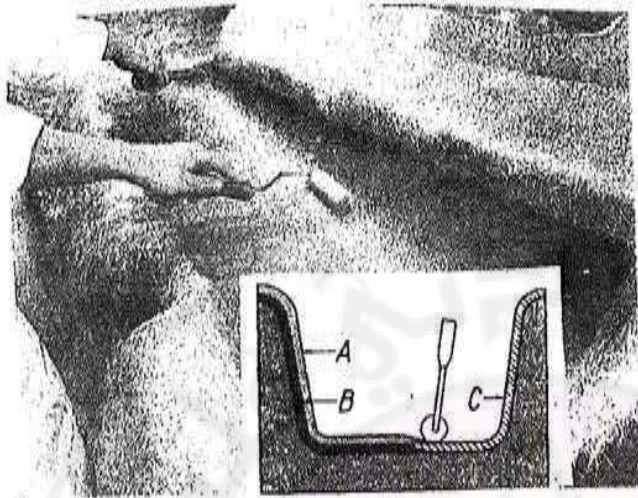
الشكل (9)

منحنيات الزحف للتايلون الجاف عند درجة حرارة (20°C)

٨- طرق تصنيع البلاستيك المسلح.

1- القوالب بالتلامس: Moulage au contact : الشكل (10)

كانت هذه الطريقة هي الأولى التي استعملت لقوالب الـ Polyester المسلح، وهي التي سهلت وعمقت مفهوم إنتاج البلاستيك المسلح. تركز هذه الطريقة ببساطة على وضع طبقات متتالية من مادة الزجاج التي تكون على أشكال مختلفة (Ruban , mat , Tissu ...) داخل قالب وتعشق أولاً بأول بمقدار معين من ريزين متصلب حرارياً (Ts).



الشكل (10)

A- الريزين.

B- الألياف الزجاجية.

C- البلاستيك المسلح.

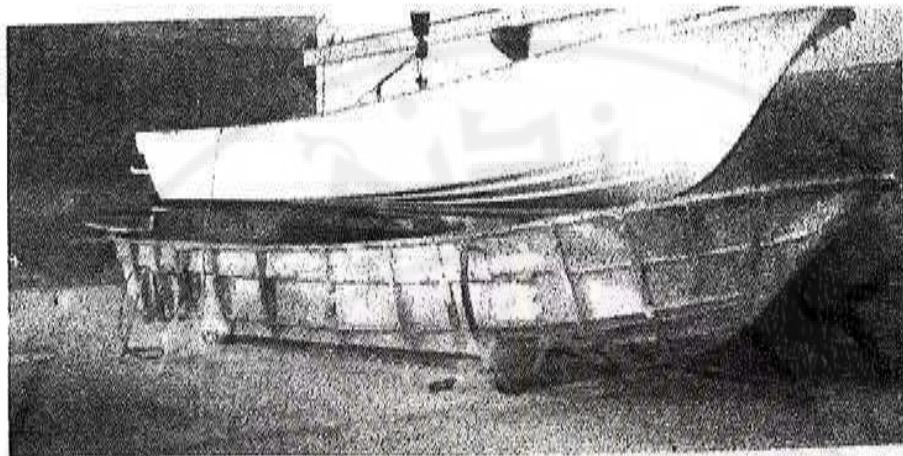
هذه الطريقة تستعمل بنجاح لأجل إنتاج قطع من كل الأبعاد والحجوم تبدأ بقطع المعدات الكهربائية وتصل إلى المسابح الكاملة، والقوارب بمختلف القياسات والأغطية والتماثيل.. وليس هناك من تحديدات لا على الحجم ولا على صعوبة وتعقيد الشكل المنتج.

عملية القولبة بالتلامس تحتاج مع ذلك إلى تهيئة شكل للقطعة المنتجة (من الجص أو الخشب... مثلاً) أو عند الاقتضاء من الحديد أو الفولاذ كما بالشكل (11) المشكل ويجب أن يتم تهيئة النموذج بعناية فائقة ونعومة كبيرة ومدرّوس بحيث يكون سهل الإنتاج، هذا ويمكن صناعة القالب من البلاستيك المسلح والمزود بالخشب في بعض الأماكن للتقوية كما يمكن أن يكون بقطعة واحدة أو متعدد القطع. بعد إخراج القطعة من القالب يتم إزالة الزوائد والعيوب بوساطة الورق الخشن الرطب.

في الحقيقة هذه الطريقة تسمح بإنتاج قطع ممتازة أو رديئة وذلك حسب العناية المبذولة وخبرة العمال.

القالب يحتاج أحياناً إلى محاليل مساعدة لإخراج القطعة المنتجة مثل Alcool polyvinyle الذي يرش بواسطة فرد أحياناً وهذا يسهل عملية إخراج

القطعة. نسبة التسليح المثوية تختلف حسب المواصفات المطلوبة وحسب نوع مادة التسليح.



الشكل (11)

كما لاحظنا فإن مبدأ هذه العملية بسيط، هناك تعديلات وتحسينات كثيرة طرأت على هذه التقنية.

ميزات هذه العملية هي البساطة في المعدات المطلوبة ولا تتطلب شروط خاصة، وتسمح بإنجاز تغيرات بالشكل للقطعة المنتجة من دون صعوبة وبمعدات إضافية بسيطة. يمكن الإنتاج بكميات متوسطة إذا توافر عدد كاف من القوالب وواسطة تسخين بمحم (فرن) حيث يسمح هذا بالإسراع بدورة البلمرة التي تأخذ وقت طويل بدرجة الحرارة العادية.

مساوي هذه العملية اعتمادها بالدرجة الأولى على العامل ومقدرته وبالتالي فالخواص قد تكون مختلفة قليلاً بين المنتجات، كما أن هناك إمكانية كبيرة لوجود الفقاعات والانتفاخات أو التجاعيد بالمنتجات.

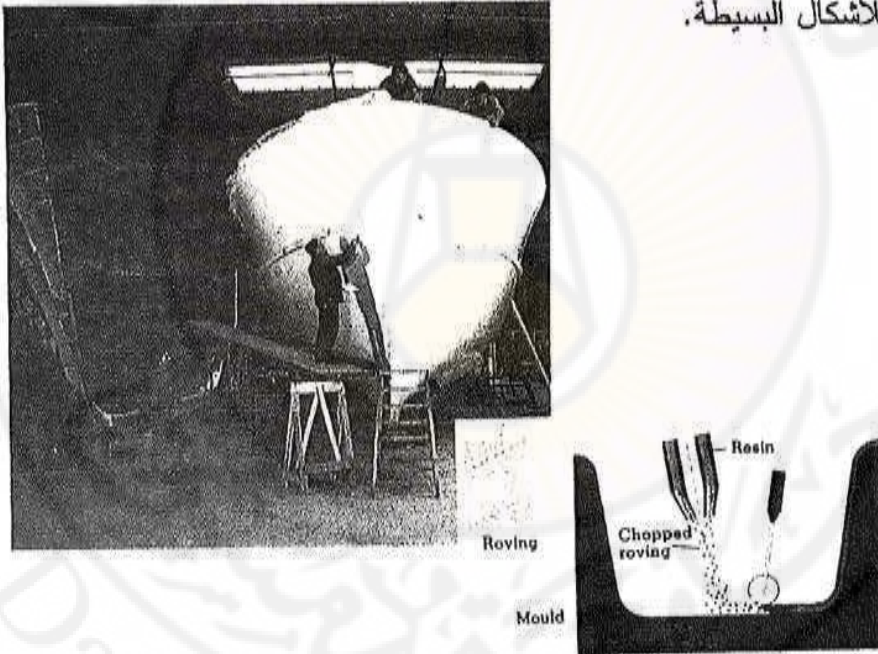
التطبيقات : بهذه الطريقة يمكن إنتاج:

- قوارب النزهات، قوارب الصيد، كواسح ألغام بطول (53m).
- صناديق سيارات الشحن، غرف الهوائيات.

- هياكل سيارات السباق وبعض السيارات الصغيرة.
- أحواض أو صهاريج للصناعات الكيميائية أو الغذائية.
- 2- القوالب بالقدف المتزامن للريزين والألياف الزجاجية المقطعة:

Moulage par projection simultanée de fils coupés et de Résine:

مبدأ آلات القدف لمختلف النماذج هو واحد، الشكل (12) يبين القدف المتزامن لألياف زجاجية مقطعة وللريزين على القالب. هذه العملية تلائم إنتاج القطع ذات الأبعاد المتوسطة والكبيرة بكميات صغيرة (1-500) قطعة، أو كميات متوسطة (500-5000) قطعة. الطريقة ملائمة للأشكال البسيطة.



الشكل (12)

آلات القدف تتضمن العناصر التالية:

- 1- مضخة غازية تمتص الريزين وتقوده نحو فرد (Gun) القدف.

٢- مضخة توجيه الكمية المطلوبة من محفز التفاعل السائل Catalyseur نحو فرد القذف، عملية المزج بين الريزين والمحفز تتم في رأس الفرد ومع الألياف المقطعة بأن واحد.

٣- أداة تقطيع الألياف الزجاجية.

٤- مخزن يتضمن المذيب Solvant الذي يؤمن تنظيف رأس أو رؤوس القذف.

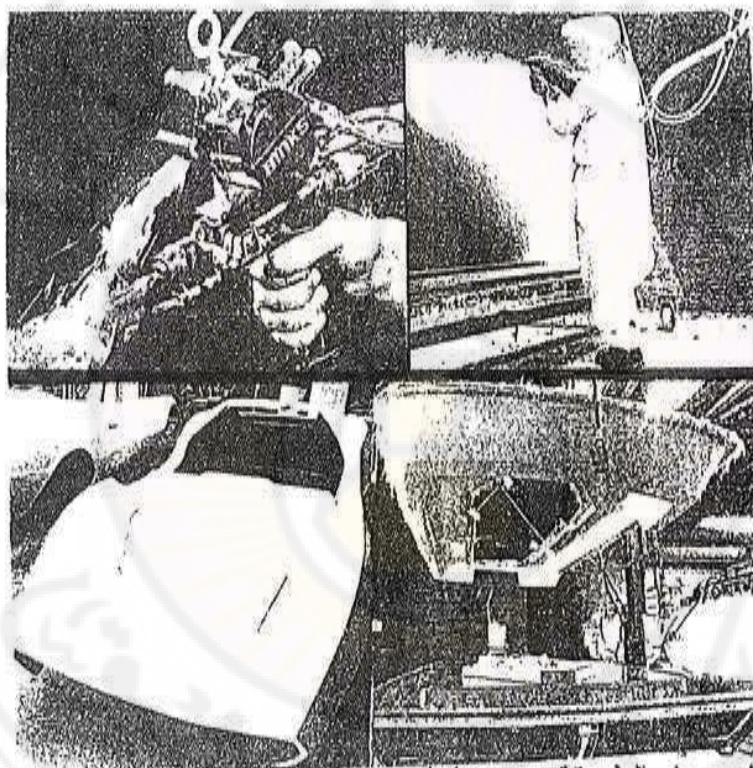
مع هذه المعدات فهناك حاجة إلى الهواء المضغوط طبعاً. تصنع القوالب بمعظم الأحيان من البلاستيك المسلح مع محلول مساعد لإخراج القطعة ويستخدم نموذج من الخشب مثلاً للقطعة المراد إنتاجها. يجب أن يتأمن المجفف المطلوب لإتمام عملية الإنهاء للقطعة المنتجة. الألياف الزجاجية المقطعة والمقذوفة تأتي من آلة تقطيع تغذى بشكل مستمر من بكرات Méches de Roving. كما يمكن استخدام الأنسجة Tissu من أجل التسليح الجانبي وغالباً توضع هذه الطبقة من الخارج عند التصنيع. العملية تتألف من نشر عدة طبقات بالتتالي من مزيج الـ Polyester المتضمن قطع الألياف. عدد الطبقات المقذوفة يتغير بصورة رئيسية كتابع لسماكة القطعة المنتجة.

زمن عملية القولبة Temp de moulage يتضمن مرحلة القذف ومرحلة الاضطراب وهو تابع لعدد من العوامل أهمها: مهارة العامل وهذا يؤدي دوراً أساسياً، أهمية الآلة ومدى مردودها في الأداء، أبعاد القطعة المنتجة. بعد تعريض القطعة لدرجة حرارة (60-80 °C) في فرن يجب القيام بعملية قص الزوائد، وهذه العملية ضرورية لأنه لا يمكن إنتاج قطعة لا تكون بحاجة لهذه العملية.

النسبة المئوية للتسليح بالزجاج تصل إلى (25-30%).

من ميزات هذه العملية أنها بسيطة وقوالبها غير باهظة التكاليف. تستطيع إنتاج قطع بأبعاد متوسطة وكبيرة وتطبيقاتها واسعة، كما أنها تستخدم الـ (Verre textile) Roving وهو الأكثر رخصاً.

نوعية القطع المنتجة ترتبط من دون شك بخبرة ودقة العاملين. خواص المواد المنتجة متوسطة ولكن يمكن تحسينها بصورة ملموسة بوصل طبقات الـ Tissu.



التطبيقات: هذه الطريقة تسمح بإنتاج:

- ١- أغطية بمساحات كبيرة.
- ٢- قوارب بأبعاد صغيرة (4-5 m).
- ٣- علب لنقل السلع وللتخزين، صناديق للأدوات والأجهزة الكبيرة.
- ٤- معدات مختلفة للمعارض ومدن الملاهي... إلخ.

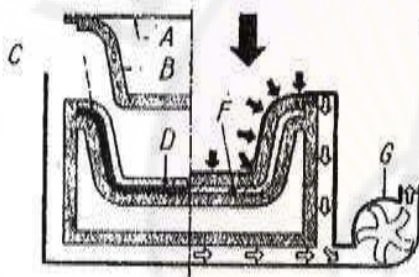
3- القولبة بالفراغ أو بانخفاض الضغط (الهبوط):

Moulage sous vide ou par déperssion

المبدأ:

ويعتمد على تطبيق ضغط معادل للضغط الجوي، يغلف جيب قابل للتشوه (صفيحة رقيقة كاوتشوكية من الأعلى) موجود على مجموعة القالب وغطاء، حيث منه يتم إخلاء الهواء، الشكل (13). يصنع القالب من البلاستيك المسلح. إذا كان حرف غطاء القالب مهين للسد بإحكام فإن الجيب القابل للتشوه لا يعود ضرورياً.

الشكل (13)



A- صفيحة أو غشاء رقيق من المطاط.

B- غطاء القالب.

C- الألياف الزجاجية.

D- الريزين.

F- البلاستيك المسلح.

G- مضخة التخلية.

تستعمل هذه الطريقة لقولبة القطع بكميات صغيرة ومتوسطة، تسمح بالحصول على قطع ذات سطوح ممتازة على الوجهين. تعتمد الطريقة على استخدام مضخة تفريغ للهواء على الجوانب وذلك تبعاً لأبعاد القطع المراد إنتاجها.

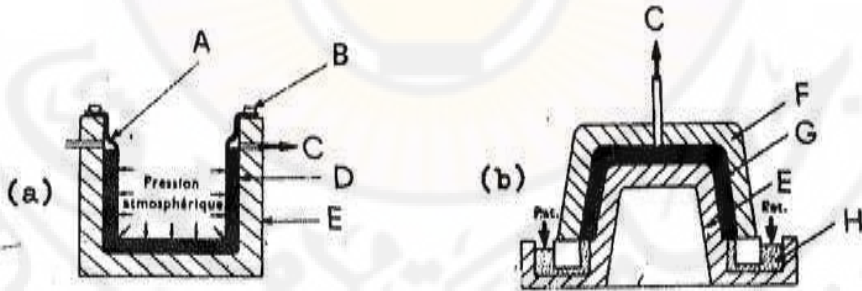
تكون القوالب صلبة، من البلاستيك المسلح ويمكن صناعتها بنفس طريقة صناعة القوالب المستعملة للقولبة بالتلامس. يجب أن تكون القوالب صلبة لتجنب التشوه الناتج من الضغط.

التسليح المستعمل يكون وفقاً لشكل القطعة المنتجة: Mat، خيط مقطع، خيط مستمر، بشكل نسيجي Tissu.

العملية:

القالب يهيئ ويشمع Cirée ويغطى بمادة تسهل إخراج القطعة مادة التسليح توضع حيث يسكب الريزين اللازم فوقها، ثم يوضع فوقها القالب المعاكس وتوضع ورقة من المطاط المرنة جداً تضغط بواسطة طوق حديدي مسطح حول المحيط يثبت بواسطة أربطة لتؤمن السد المحكم. المضخة تبدأ العمل بالتفريغ (التخلية)، وعند إتمام هذه العملية نعرض المجموعة للحرارة للإسراع بعملية البلمرة. القطعة المنتجة يجب أن تتظف من الزوائد. هذه الطريقة تعطي منتجات خواصها الميكانيكية مماثلة تقريباً لمنتجات الآلات بنفس نسبة التسليح للألياف الزجاجية. من مميزات أنها تعطي سطوح جيدة، تكاليفها أقل وخواصها الميكانيكية متوسطة.

يجب المحافظة على فرجة ثابتة بين القالب وغطاءه، على الأقل وضع مقويات جانبية في بعض الأماكن حيث سماكة القطعة تكون كبيرة. هذه الأمور تحتم دقة في بناء القالب الذي يمكن أن يكون صعباً، وهذا ضروري خاصة عند إنتاج قطع كبيرة الأبعاد حيث يجب استخدام قوالب صلبة ودقيقة جداً. الشكل (14) يبين بعض الحالات المشابهة والتي تعمل على نفس المبدأ.



الشكل (14)

- A - طبقة رقيقة من الكاوتشوك. B - التثبيت. C - إلى مضخة التفريغ (التخلية).
- D - التنضيد. E - القالب. F - غطاء القالب (القالب المعاكس). G - مواد التسليح.
- H - الريزين. (a) - القوالب بالتفريغ (b) - القوالب بامتصاص الريزين.

التطبيقات:

- قطع مختلفة للطائرات .
- ألواح داخلية للعزل الحراري في الشاحنات وبعض الاستعمالات الأخرى.

مثال:

المطلوب صنع وعاء للنقل بالأبعاد التالية (الطول 500mm، العرض 400mm، العمق 150 mm).

السطح الكلي يكون حوالي (0.5 m^2).

كلفة القالب بهذه الحالة يساوي خمسة أضعاف كلفة القالب بالطريقة الأولى (القولبة بالتلامس).

يستعمل التسليح بشكل طبقتين من الخليط الزجاجي المستمر Mat بمعدل (450 gr/m^2) أي يحتاج إلى (475 gr) من مادة التسليح (تم اعتبار ضياع بسيط من مادة التسليح).

هذه القطعة تحتاج إلى (2300 gr) من ريزين الـ Polyester أي (2775 gr) من المواد الأولية. كتلة القطعة المنتجة (2200 gr). كمية الإنتاج بهذه الطريقة هي (5-6) قطعة بالساعة. بالإضافة لذلك فهناك كلفة المعدات الغير قليلة.

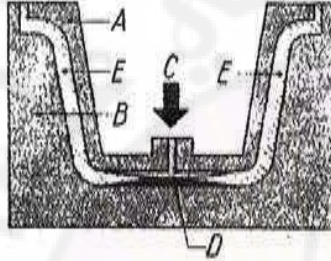
هل هذا اقتصادي إذا ما قورن بالطريقة الأولى لإنتاج القطعة نفسها ؟

4- القولبة بالحقن للريزين :

Moulage par injection de résine

هذه الطريقة تركز على ملء تجويف القالب بالمادة البلاستيكية بعد أن تكون الألياف الزجاجية خاصة: Tissu , Mat , Fils coupes قد وضعت داخل القالب، الشكل (15). نسبة مادة التسليح تكون بحدود (20-25 %).

يمكن أن يكون القالب من الب. سيك المسلح (تستخدم عادة طريقة التلامس بصناعته)، ويجب أن يكون صلب بشكل ممتاز ليقاوم الضغط المتولد عن حقن المادة البلاستيكية. إذا كان القالب من الفولاذ أو الخلائط الخفيفة فيمكن أن يتحمل عدد كبير من الدورات الإنتاجية. إغلاق القالب يتم بواسطة رافعة أو بواسطة رباط (لجام) أو وصلات شد.



الشكل (15)

A - غطاء القالب.

B - القالب.

C - الريزين.

D - مادة التسليح الزجاجية.

E - البلاستيك المسلح.

حالياً هناك آلات للحقن مجهزة بكافة المعدات اللازمة، وتقوم بالعمل بشكل أوتوماتيكي سريع، ولكن سعرها مرتفع نسبياً.

هذه الطريقة تسمح بالحصول على قطع بنسب ثابتة من زجاج التسليح، من دون فقاعات هوائية واستهلاك المواد الأولية معروف بدقة. عملية الحقن تسمح بالحصول على الأشكال المعقدة وبدقة كبيرة وهذا يعتمد بالدرجة الأولى على القالب ودقة صناعته. زمن الحقن سيكون تابع لأبعاد ولشكل القطعة المنتجة.

التطبيقات:

- أوعية وأحواض للنقل والتخزين.
- قطع مختلفة لهياكل السيارات.
- أغشية للاستعمالات الكهربائية.

مثال:

وعاء للنقل أبعاده مماثلة لإبعاد المثال السابق تكاليف القالب وتوابعه تعادل حوالي عشرة أضعاف تكاليف قوالب طريقة التلامس. كمية الريزين ومادة التسليح نفسها للحالة السابقة.

عند استخدام قالب وغطاءه من البلاستيك المسلح، كمية الإنتاج حوالي (5) قطع خلال الساعتين الأولى، (3) قطع بالساعة بعد ذلك.

ضغط الحقن: $(1-2 \text{ bar}) = (0.1-0.2 \text{ MPa})$.

سرعة سير الريزين : (0.5 m/min) .

ضغط الإغلاق يجب أن يوازي ضغط الحقن للريزين، وتوزع القوة هذا يعتمد بصورة أساسية على صلابة القالب.

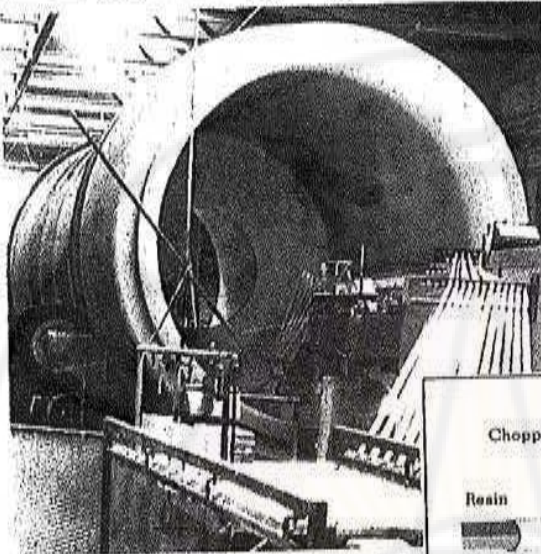
إذا أردنا إنتاج (100) قطعة من النوع المذكور، ما المعطيات الاقتصادية لهذه العملية الإنتاجية بالمقارنة مع الطرق الأخرى؟.

5- القوالب بالقوة الطاردة المركزية: Moulage par Centrifugation

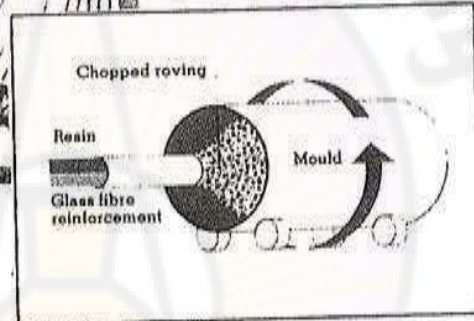
هذه الطريقة مشتقة من الطرق المعروفة لقوالب حديد الصب مثلاً أو البيتون. القوالب بهذه الطريقة تتم بإدخال مادة التسليح الزجاجية داخل قالب دوار ومن ثم إدخال الريزين البلاستيكي مع بعض الإضافات الضرورية اللازمة لإنجاز عملية البلمرة بالمشاركة بسرعة. بعد ذلك نعطى القالب سرعة دوران كافية بحيث يتم امتزاج وتعشيق جيد للريزين ولزجاج التسليح بتأثير القوة الطاردة المركزية. بعد التصلب الكامل يتم إخراج القطعة.

هذه الطريقة لا تناسب إلا إنتاج القطع الدائرية ذات السطح الداخلي الأسطواني، مع ذلك وبواسطة التقنية المتطورة فقد أمكن الحصول على بعض التفاصيل والأشكال على القطعة المنتجة.

المعدات المستخدمة كما بالشكل (16) هي في الحقيقة عبارة عن قالب،
التجهيزات اللازمة للعملية هي مجموعة تخرق القالب لتوزيع الريزين
وأحياناً زجاج التسليح، وكذلك مجموعة للتسخين تكون عادة خارج القالب
ومجموعة لتغيير السرعة.



Large diameter centrifugal moulding.



Centrifugal moulding.

الشكل (16)

يصنع القالب عادة من الفولاذ وبدقة متناهية ويكون سطحه ناعم جداً ويتألف
من قطعة واحدة أو عدة قطع وذلك حسب الشكل المراد إنتاجه وإمكانية
إخراج القطعة. كما يجب أن يكون متوازن بشكل جيد لأن السرعات التي
يدور بها عالية.

تبعاً لشكل القطعة المنتجة وللخواص المطلوبة يتم اختيار نوع ونموذج زجاج
التسليح وخواصه غالباً وبمعظم التطبيقات يستعمل الـ Mat وذلك حتى قطر
(600-800 mm)، للأقطار الكبيرة يستعمل الـ Roving (بشكل خيوط
مقطعة). النسبة المئوية لمواد التسليح بحدود (30-50 %).

هذه الطريقة هي الوحيدة للإنتاج التي لا يستخدم بها غطاء للقالب وتنتج مواد بلاستيكية مسلحة ناعمة السطوح جداً وعلى الوجهين وخالية من فقاعات الهواء، لذا فمقاومتها للصدم عالية وكذلك للتآكل.

هذه الطريقة تحتاج إلى استثمارات مالية نسبياً مرتفعة، ولكن تسمح بإنتاج كميات جيدة من القطع الجاهزة فوراً للتسويق والاستخدام، ضيق مجال تنوع الأشكال المنتجة هي السيئة الرئيسية لهذه الطريقة.

المتغيرات المؤثرة في سرعة الدوران هي:

١- قطر القطعة المنتجة.

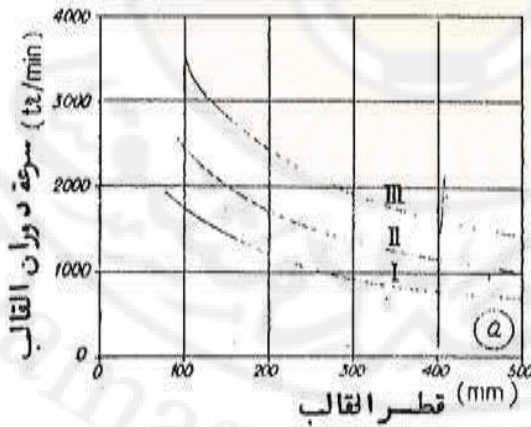
٢- خواص مادة التسليح، المرونة وإمكانية الانتفاخ.

٣- خواص الريزين، اللزوجة ومقدرة الانضغاط.

٤- النسبة المئوية لمادة التسليح الزجاجية.

٥- سماكة القطعة المنتجة أو عدد طبقات مادة التسليح.

الشكل (17) يبين تغيرات سرعة الدوران بوصفه تابعاً لقطر القالب عند نسبة مئوية ثابتة لمادة التسليح الزجاجية.



الشكل (17)

النسبة المئوية لمادة

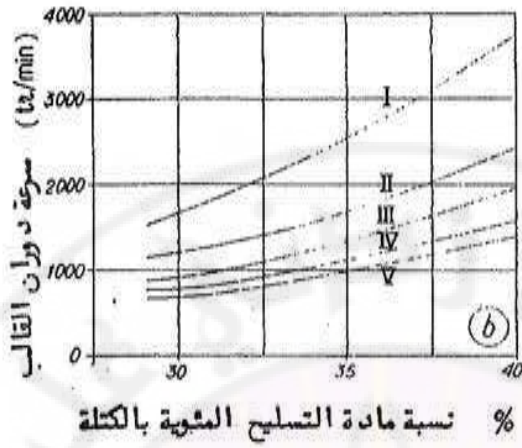
التسليح الزجاجية :

30% - I

35% - II

40% - III

الشكل (18) يبين تغيرات سرعة الدوران بوصفه تابعاً لنسبة مادة التسليح المئوية عند قطر ثابت.



الشكل (18)

قطر القالب:

100 mm - I

200 mm - II

300 mm - III

400 mm - IV

500 mm - V

التطبيقات:

- الأنابيب والقساطل.

- أوعية لطمر الغلال والمحاصيل.

- معاصر للنبذ.

- أجسام الصهاريج.... إلخ.

6- القولبة باللف الخيطي :

Moulage par enroulement filamentaire

وله نوعان: اللف المتقطع واللف المستمر:

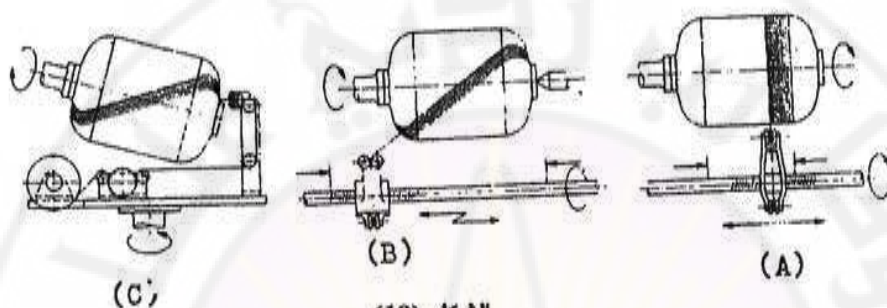
أ- اللف المتقطع : Enroulement discontinue

المبدأ:

يعتمد على الخواص الممتازة لمقاومة الخيوط الزجاجية على الشد. وترتكز هذه العملية على لف خيوط زجاجية لمسافة عريضة حول أسطوانة متحركة بشكل مستمر ويكون الخيط مشدود كثيراً ومعشوق (مغطى) قبل ذلك بريزين متصلب حرارياً. تتوضع الطبقات دائماً باتجاه قوة الشد وتستمر حتى السماكة المطلوبة. بعد انتهاء عملية البلورة تستبعد طبعاً الأسطوانة من القطعة المنتجة. يستخدم أحياناً محم حراري لإنجاز عملية البلورة بسرعة.

تستخدم هذه العملية لإنتاج القطع الأسطوانية الصغيرة والمتوسطة والكبيرة الحجم. الشكل (19) يبين عملية القولبة باللف الخيطي الغير مستمر ونلاحظ ثلاثة نماذج للملفات:

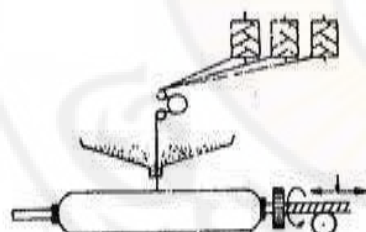
(A): ملف دائري. (B) : ملف حلزوني (الولبي). (C): ملف كوكبي (قطبي).



الشكل (19)

(A): ملف دائري. (B) : ملف حلزوني. (C): ملف كوكبي.

يجب تنعيم سطح القطعة المنتجة قبل تسويقها، وأحياناً تغلف بطبقة للتأكد من عدم نفاذيتها.



نسبة مواد التسليح الزجاجية قد تصل إلى (70-80%) حيث يعطي منتجات ذات مقاومة نوعية مرتفعة جداً. استعمال مثل هذه المواد ذات الخواص النوعية الممتازة مخصص بصورة عامة للاستخدامات العسكرية وفي مجال الفضاء.

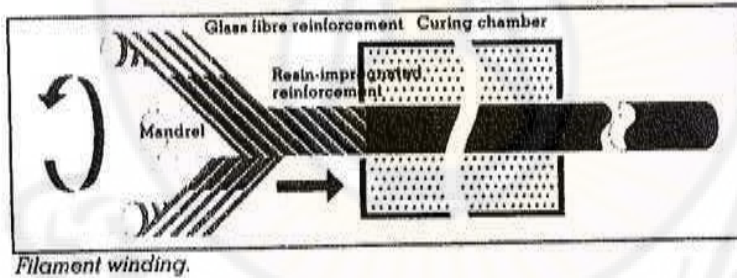
التطبيقات:

- صهاريج للنقل والتخزين.
- مخازن مطمورة لحفظ الغلال والمحاصيل.

- أنابيب وأقنية.
- نماذج معينة من الرادوم (قبة يحفظ فيها هوائي الرادار).
- خزانات.
- أجسام الصواريخ.
- أنابيب سلاح البازوكا (سلاح تطلق منه الصواريخ على الدبابات وغيرها).

ب- اللف المستمر: Enroulement continu

نماذج الملفات المختلفة التي رأيناها تسمح بإنتاج قطع مختلفة الحجم إنما محدودة. في السنوات الأخيرة ظهرت آلات تسمح بإنتاج أجسام أسطوانية وباستمرار. مادة التسليح تكون بعدة أشكال حسب الخواص الميكانيكية المطلوبة. الأسطوانة المتحركة (لينة أو صلبة) مغطاة بشكل حلزوني كما بالشكل (20).



الشكل (20)

التطبيقات:

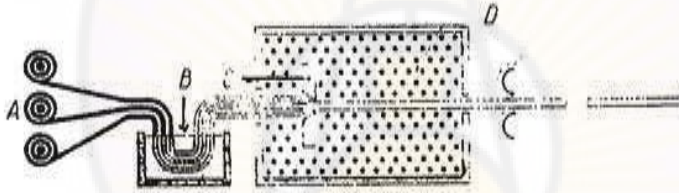
أنابيب وأقنية. أجسام أسطوانية لتصنيع الصهاريج والمخازن المظمورة.... إلخ.

7- القولية بالتغطيس:

هذه العملية تستعمل للإنتاج المستمر للعناصر الأسطوانية وللمقاطع المختلفة المصممة أو المجوفة.

المبدأ:

المجموعة كما بالشكل (21) تتضمن مقاطع محددة بدقة. المقطع الأول يتغذى بملفات الـ Roving أو بأشرطة من الـ Mat وتتضمن حوض للتعشيق (بين الريزين وزجاج التسليح). عند مخرج الحوض هناك مجموعة للعصر لا تترك على مادة التسليح سوى كمية محددة من الريزين وفق المطلوب، وبذلك يمكن ضبط النسبة المثوية للتسليح تماماً. مجموعة الأشرطة تدخل بعد ذلك فتحة مستقيمة Filière rectiligne مسخنة، طولها متغير. المادة تتبلر ثم تسحب عند خروجها بواسطة آلة سحب وتقطع بالأطوال المطلوبة. بصورة عامة المنتج لا يحتاج لعمليات إنهاء. النسبة المثوية لمادة التسليح الزجاجية بحدود (25-60%). المنتجات لها مواصفات ممتازة بالشد والانحناء.



الشكل (21)

A- زجاج التسليح. B- الريزين. C- الفتحة. D- منطقة البلمرة المسخنة.

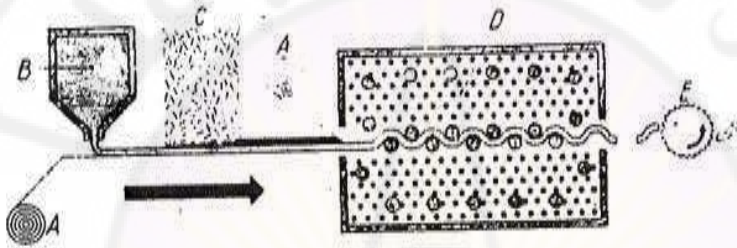
التطبيقات:

- سيقان للتثبيت والترسيخ.
- بروفيلات بمقاطع مختلفة.
- زوايا (أقنية زاوية، دعائم زاوية... إلخ).

8- القولبة المستمرة : Moulage en continu

الآلات المستخدمة للإنتاج بالقولبة المستمرة تستعمل بالأصل لإنتاج الألواح المصقولة والبروفيلات المختلفة وترتكز على المبدأ التالي:

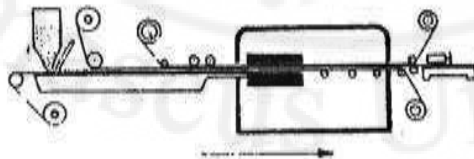
- تعشيق الألياف الزجاجية (Mat , Fils coupes) بريزين البوليمير الثابت بالضوء.
- حشو هذه المادة بين قشرتين رقيقتين من الـ Cellulosiques أو الـ Polyester.
- إمرار المنتج بصورة تدريجية بدورة من البلمرة حيث نحصل على المنتج النهائي الذي يخرج من المحم (الفرن) ليقطع بعد ذلك حسب الأبعاد المطلوبة كما في الشكل (22)



الشكل (22)

- A- طبقة رقيقة من الـ Cellulosique . B- الريزين . C- زجاج التسليح .
- D- منطقة البلمرة المسخنة . E- منشار .

المادة تمر بين دولابين للصقل قبل دخولها الفرن وذلك لتحديد السماكة المراد إنتاجها. قشرتي الـ Polyester والـ Cellulosiques تسترجع عند الخروج من الفرن وقبل التقطيع حيث تنظف وتستهمل لعدد من الدورات. النسبة المئوية لمادة التسليح الزجاجية تكون بحدود (25-30%). المادة الحاوية هذا التركيب تكون نصف شفافة ولكنه باللون الطبيعي أي (ريزين بوليستر) تنقل الضوء بنسبة تصل إلى (85%).



التطبيقات:

هذه الطريقة من القولية تسمح بالإنتاج الصناعي للألواح المصقولة بأطوال مختلفة أو بشكل بكرات أو بروفيلات مختلفة.

9- طريقة التشكيل المسبق: Préformage

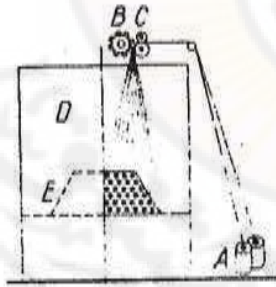
تعتمد هذه الطريقة على توزيع أو قذف فوق دريئة مثقبة (لها تماماً نفس شكل جوانب القالب) سماكة معينة من الخيوط الزجاجية المقطعة المتجمعة بواسطة الريزين القابل للذوبان الذي غالباً ما يكون بمرحلتين:

١- بشكل بوردة عند عملية التشكيل.

٢- بشكل مستحلب عند مرحلة الانتهاء ليعطي سطح جيد، كما يمكن استعمال خيوط زجاجية ناعمة وصغيرة جداً في هذه المرحلة لنفس السبب.

العملية كما بالشكل (23) تتضمن تقطيع الخيوط وتوزيعها على الدريئة مع الروابط المخصصة للصق بينها.

الشكل (23)



A- بكرات تحمل خيوط الـ Roving.

B- آلة التقطيع.

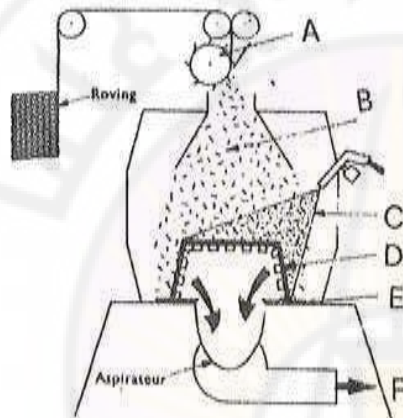
C- بكرات سحب الخيوط الزجاجية.

D- غرفة التشكيل المسبق.

E- دريئة التشكيل المسبق.

التسخين يتم بوضع الدريئة المشكلة مسبقاً خلال عدة دقائق في محم أو بدرجة حرارة (160-180 °C) التي تؤمن التجفيف والبلمرة، وبذلك نحصل على التصاق جيد للخيوط الزجاجية المقطعة بين بعضها البعض أي تسليح متجانس.

للقطع الكبيرة الأبعاد (سطح أكبر من $4m^2$) تستعمل معدات أخرى وتدعى الطريقة بالتشكيل المسبق المفتوح Préformage ouverte حيث توزيع الزجاج والبلاستيك يتم يدوياً على دريئة دوارة (يمكن استخدام آلات خاصة للقيام بهذا التوزيع). هذه الطريقة تسمح بإنتاج القطع ذات العمق الكبير. الشكل (24) يبين إمكانية استخدام مجموعة امتصاص للهواء وحامل دوار للإنتاج.



الشكل (24)

- A - أداة تقطيع خيوط الزجاج.
- B - زجاج مقطع.
- C - قذف مادة الوصل (ريزين).
- D - شبك.
- E - دعامة دوارة.
- F - خروج الهواء.

التطبيقات:

من أهم تطبيقات هذه الطريقة :

١- الأحواض بمختلف القياسات.

٢- صناديق السيارات الشاحنة وما شابه ذلك.

10- القولية بالضغط: Moulage par compression

لطريقة القولية هذه نوعان:

آ- القولية على الآلة وعلى البارد:

المبدأ: مبدأ هذه الطريقة الآتي:

مادة التسليح الزجاجية تكون على شكل Mat, F. coupes, F.continu حيث توضع على الأداة الضاغطة للقالب (غطاء القالب) أو بداخل القالب المصنوع غالباً من البلاستيك المسلح، والريزين اللازم يوضع بلا تنظيم على مواد

التسليح. القالب يثبت على صفائح آلة هيدروليكية تستطيع أن تؤثر بضغط (2-5 bar) سرعة حركة الإغلاق بالآلة يجب أن تكون قابلة للتنظيم والضغط Réglable.

إغلاق الآلة يتم بزمانين: السرعة الأولى (سرعة التقريب) (2-5 m/min) تسمح بإنجاز الشوط بسرعة، السرعة الثانية (1-30 cm/min) تسمح بقيادة القالب بحيث لا يلامس المادة الغير مبلمرة.

زيادة الضغط يجب أن تؤمن التوزيع الجيد للريزين في الحجم ما بين القالب وغطاءه وكذلك طرد الهواء المحصور مع تجنب ضياع الريزين بواسطة الإغلاق السريع الأكثر من اللازم.

نسبة مواد التسليح بحدود (20-40%). سطوح المنتجات بهذه الطريقة تكون ناعمة على الوجهين. هذه الطريقة صالحة لإنتاج الكميات المتوسطة. يمكن استخدام القالب لإنتاج حوالي (1500) قطعة.

التطبيقات:

١- أحواض وأوعية مختلفة.

٢- علب كهربائية... إلخ.

ب- القوالب على آلة وعلى الساخن: Moulage à la presse à chaud

هذه التقنية تسمح بإنتاج قطع بكميات كبيرة ومتوسطة (غالباً أكثر من 100000 قطعة)، بواسطة آلة هيدروليكية وقوالب معدنية مسخنة. يوضع كل من مادة التسليح والريزين بين القالب وغطاء المثبت على صفائح الآلة. بعد الإغلاق وإتمام دورة البلمرة، القطعة المنتجة تكون ذات سطحين ناعمين.

هذه العملية تستعمل لإنتاج قطع ذات أبعاد صغيرة ومتوسطة، مثلاً عندما يكون السطح الكلي ($3m^2$) فصفائح الآلة يجب أن تكون أبعادها بحدود (2000×2000mm).

تصنع القوالب من الفولاذ ذي السطح الناعم جداً والمغطى بطبقة من الكروم الصلب. تثبت القوالب على صفائح الآلة الهيدروليكية حيث تتعرض لضغط (10-30 bar).

العملية تتم بثلاثة أزمنة: السرعة الأولى هي سرعة التقريب وتكون بحدود (6-8 cm/min) والثانية هي سرعة الدنو (الاقتراب البطيء) وهي بحدود (5-30 cm/min) حيث تسمح بجلب الصفيحة العلوية بملامسة المادة الغير مبلمرة.

أما الزمن الأخير فهو زمن ارتفاع الضغط والذي يجب أن يؤمن توزيع الريزين بشكل جيد في الحجم ما بين القالب وغطائه وطرده الهواء المحصور مع تجنب أي ضياع بالريزين من جراء الإغلاق السريع جداً.

المحافظة على الضغط والتسخين للقالب يوفران بوساطة الآلة كهربائياً أو بوساطة جريان السائل وهذا يسمح بعملية البلمرة.

زمن القولبة الكلي هو (2-3 min) أي كمية الإنتاج بالساعة الواحدة (20-30) قطعة. يجب إزالة الزوائد عن القطعة المنتجة.

نسبة مواد التسليح الزجاجية بحدود (30-40%).

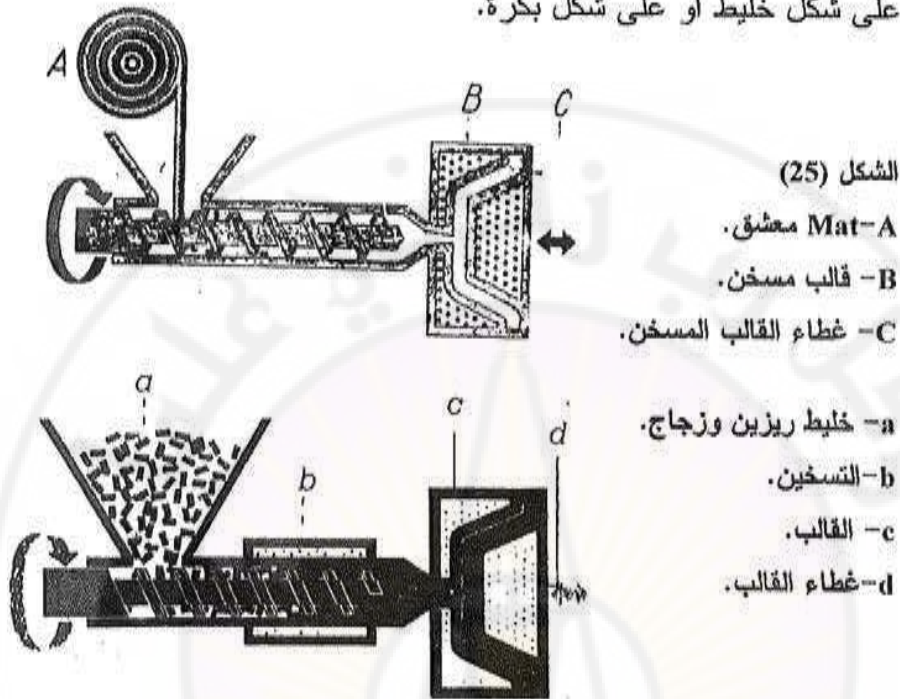
التطبيقات:

- إنتاج قطع مختلفة للسيارات الصغيرة والشاحنة.
- قطع صناعية مختلفة.
- كثير من القطع المخصصة للاستعمالات الكهربائية والعزل.

11- القولبة بحقن الزجاج والريزين المتعشقين:

هذه الطريقة قليلة الاستعمال وهي قريبة من طريقة التحويل (التي رأيناها سابقاً). تتركز على حقن البلاستيك ومواد التسليح داخل قالب مصنوع من

الفولاذ كما بالشكل (25). أسطوانة الحقن تتغذى بشكل أوتوماتيكي بالمواد على شكل خليط أو على شكل بكرة.



ضغط القوالب يكون أكبر من (100 bar) ودرجة حرارة القالب (140-160 °C).

هذه الطريقة جيدة للإنتاج بكميات كبيرة وحتى (60) قطعة بالساعة. القطع المنتجة تكون صغيرة الأبعاد (10×10 cm) وبسماكة نسبياً مرتفعة (4-6mm) ومخصصة غالباً للاستعمالات الكهربائية.

٩- تطبيقات الفايبركلاس : Fiberglass applications

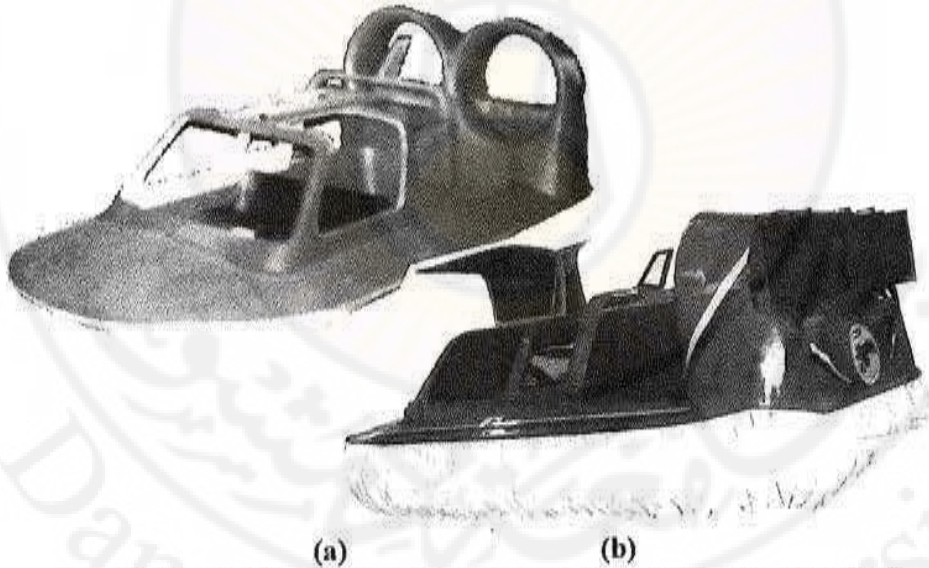
يتم الحصول على الفايبركلاس كما هو معلوم من خلال تشكيل السيلكا أو مركبات زجاجية أخرى على شكل ألياف صغيرة القطر ومن ثم يتم إدخال هذه الألياف ضمن طبقات من ريزين متصلب حرارياً معين مما يعطي لهذه المادة مواصفات وإمكانات استثمارية متعددة.

كما أن هذه المواد تسمح بإنتاج قطع من كل الأبعاد والحجوم. وليس من تحديد لا على الحجم ولا على صعوبة وتعقيد الشكل المنتج.

ولقد لاقت هذه المادة انتشاراً في العالم واستخدمت في تطبيقات كثيرة متعددة بعضها معروف وبعضها الآخر يندرج في إطار الأسرار الثمينة. وإن التميز الكبير في التطبيقات التي يمكن الحصول عليها باستخدام هذه المادة يعود إلى المرونة العالية في إمكانية التحكم والتغيير بـ (مكونات المادة - طريقة تصنيعها - المواد المضافة إليها - طريقة التطعيم بالألياف الزجاجية). حيث إن أي تغير في أي من هذه المؤثرات يؤدي للحصول على مادة جديدة بمواصفات مختلفة ومجال استخدام جديد.

أهم التطبيقات :

- * القوارب الصغيرة والمتوسطة الحجم واليخوت.
- * الحوامات البرمائية (الهوفر كرافت) ويمثل الشكل (26) وهو الشكل الواضح على غلاف هذا الكتاب هوفر كرافت صممت وأنتجت في ورشات كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق مشروعاً لتخرج مجموعة من الطلاب المتفوقين بإشراف الدكتور المهندس مؤلف هذا الكتاب.



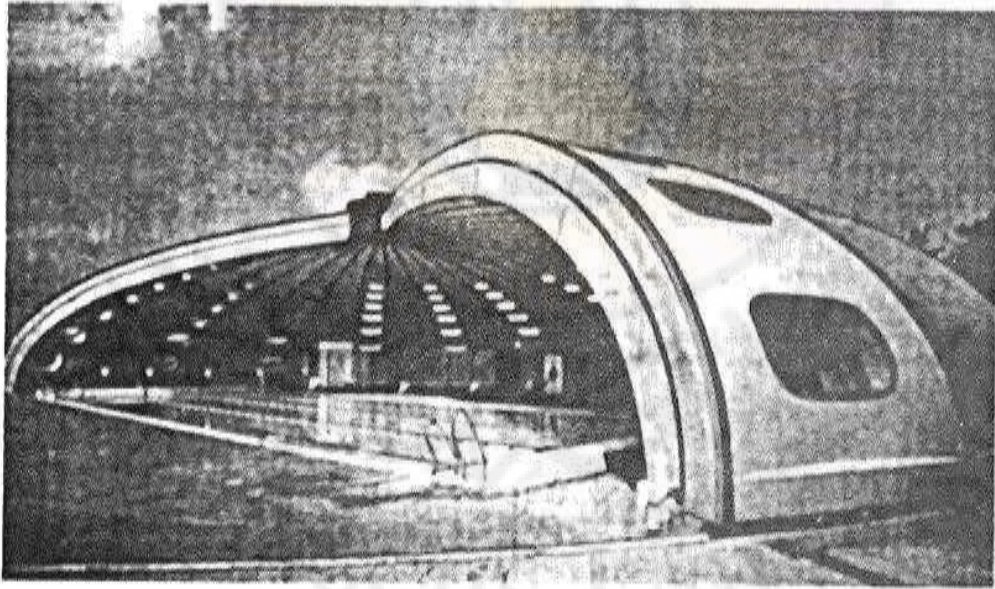
الشكل (26) (a): الهيكل مصنوع من الفايبركلاس مع مادة UP بواسطة قالب من الفايبر ويتألف من عدة أجزاء. (b): الهوفر كرافت بعد إضافة لوازم القيادة والأبواب والمراوح وعددها (2) وأكياس الوسادة الهوائية والمحرك والمقاعد.. تتسع الحوامة لخمس أشخاص وطولها (5.5 m) وعرضها (2.3 m).

* الكرافانات وصناديق سيارات كما فى الشكل (27)



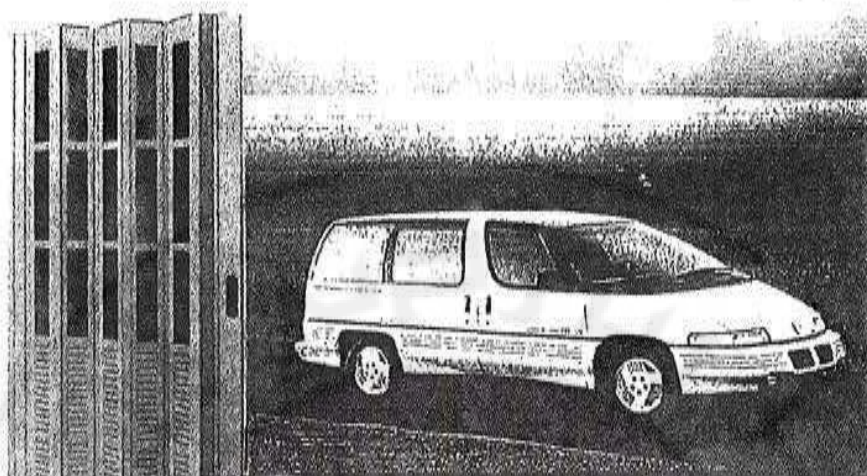
الشكل (27)

* مسابح كاملة مع الأرضية. أغطية بمساحات كبيرة (ملاعب رياضية، صالات) كما بالشكل (28).



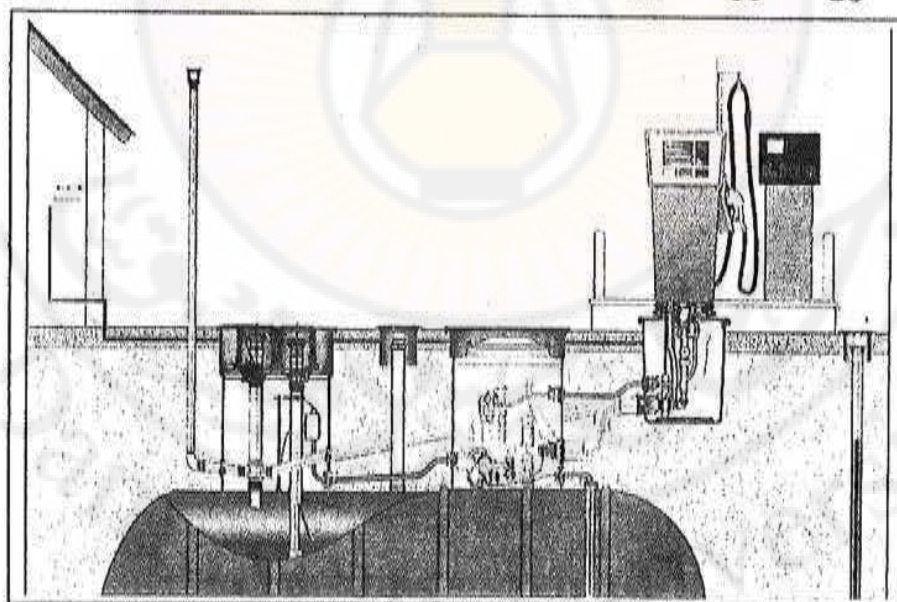
الشكل (28)

* السيارات والطائرات الشراعية ، أبواب والنوافذ كما بالشكل (29).

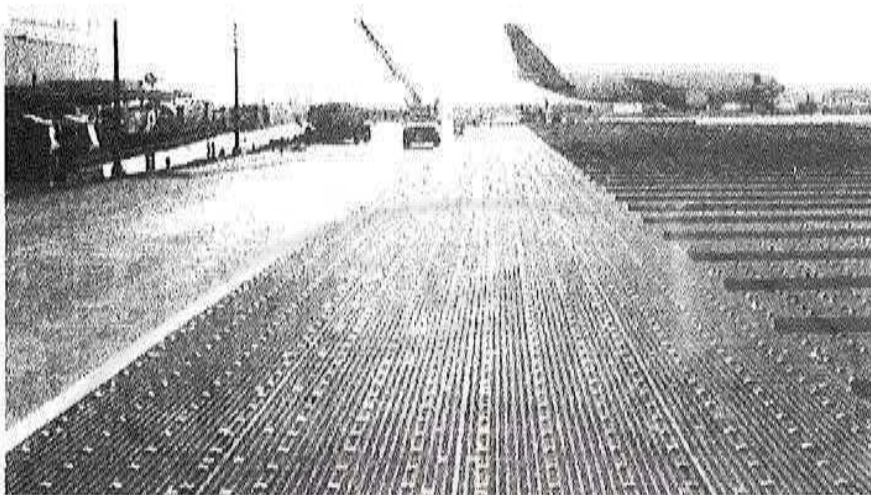


الشكل (29)

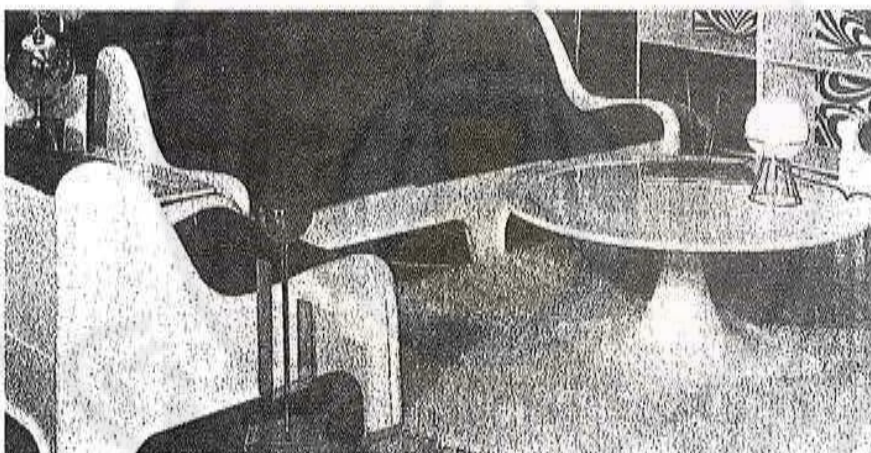
* مخزن وقود تحت الأرض لمحطات الوقود الشكل (30). أرضيات المطار الشكل (31). أثاث ومفروشات الشكل (32) ومطابخ بأشكال مختلفة. كذلك مخازن مضمورة لتخزين المواد المختلفة. خزانات للماء والسوائل.



الشكل (30)



الشكل (31)



الشكل (32)

* غرف هواتف.

* قطع مختلفة للطائرات، في الأقمار الصناعية.

* أنابيب وقساطل للصرف الصحي، وصناعة أنابيب تتحمل ضغوط عالية جداً، أوعية الأزهار.

- * صناديق النفايات، صناديق للأدوات والأجهزة الكبيرة.
- * ألواح داخلية للعزل الحراري.
- * الطاولات والمقاعد وكراسي البحر وطاولات التنس وكثير من المعدات الرياضية التي تحتاج صلابة.
- * ألعاب الأطفال في الحدائق ومدن الملاهي.
- * استخدامات واسعة في المجالات العسكرية منها:
 - تصنيع أجسام الصواريخ وبعض أجزاء منصات إطلاقها.
 - تصفيح الآلات العسكرية.
 - طائرات التجسس صغيرة الحجم.
 - صناعة الدروع والخوذ للجنود.
 - صناعة مخازن الأسلحة .
 - في أجزاء من القطع البحرية.
 - في تموينها الأهداف وهذا مجال واسع جداً.

١٠- بعض العيوب الناتجة من إنتاج البلاستيك المسلح GRP:

العيوب	الأسباب
- التجعد والانتفاخ السطحي	عدم ترك الجل الوقت الكافي قبل تطبيق ريزين التصنيع.
- فقاقيع هواء على المنتج.	التراب الموجود على القالب، طاقة مسدس البخ أكثر من اللازم، الإخراج الخاطئ للمنتج من القالب، زيادة مادة تسريع التفاعل يؤدي إلى البلمرة السريعة ويؤدي لاحتباس فقاعات الهواء، تلوث المواد وخصوصاً الجليكوت أو الرطوبة الزائدة.
- تغيرات في البريق أو لطف خارجية	إخراج المنتج مبكراً من القالب، زيادة كمية الشمع المستخدم مما يؤدي لبقاء قسم منه غير مستخدم.

-تقشير الجل.	التصاق رديء بين الحل وريزين التصنيع بسبب ترك الجليكوت زمناً طويلاً قبل تطبيق ريزين التصنيع.
-مناطق داخلية جافة.	الأكيايف الزجاجية غير مشبعة بشكل كافي بالريزين أو أن الأكيايف غير موضوعة داخل الريزين بشكل جيد. الزمن بين إنشاء طبقة وطبقة أخرى قصير.
-انفصال الطبقات	عدم وجود ريزين كافٍ بين الطبقات، إشباع الأكيايف الزجاجية غير كاف، تلوث الأسطح بين الطبقات.
-التغير باللون	سوء انتشار اللون لأنه غير مخلوط بشكل جيد، استخدام ضغط أكثر من اللازم، قرب مسدس البخ من سطح المنتج.
-البقع على السطح	انتشار الملونات أو المواد المائلة أو المضافة بشكل غير متجانس، وجود أتربة أو شوائب على سطح القالب.
-ظهور الأكيايف	طبقة الجليكوت رقيقة، إخراج المنتج من القالب بسرعة، ارتفاع درجة حرارة البلمرة.
- حفر سطحية	التشميع غير كافي.
-شقوق سطحية	سماكة طبقة الجليكوت، الريزين المستخدم غير مناسب، نسبة المادة المساعدة غير صحيحة، زيادة المواد المائلة، تعرض المنتج للصدم أو إجهادات غير طبيعية. هذا العيب يمكن أن يظهر مباشرة أو بعد عدة شهور من الإنتاج.
-اصفرار المنتجات	وجود رطوبة خلال عملية الإنتاج، اختيار سيئ للريزين، لنصح الطبقات غير كافي.
- السطح اللزج	الإنتاج في ظروف الجو البارد أو الرطب، نقصان العامل المساعد أو المحفز.
-مناطق مشوهة	الحرارة العالية نتيجة البلمرة. عدم ضبط نسب العامل المساعد والمادة المحفزة.
-صلابة قليلة وقساوة منخفضة	العمل تحت ظروف الجو البارد والرطب، الأكيايف غير كافية، نسب العامل المساعد والمحفز غير صحيحة.

ملاحظة: من خلال ما ذكرناه للأسباب المؤدية للعيوب يمكن للطالب أدراك سبل معالجة العيب.

١١- تطبيق عملي مخبري:

لإنتاج البلاستيك المسلح بالألياف الزجاجية (GRP) يجب تهيئة كل من المواد والأدوات التالية:

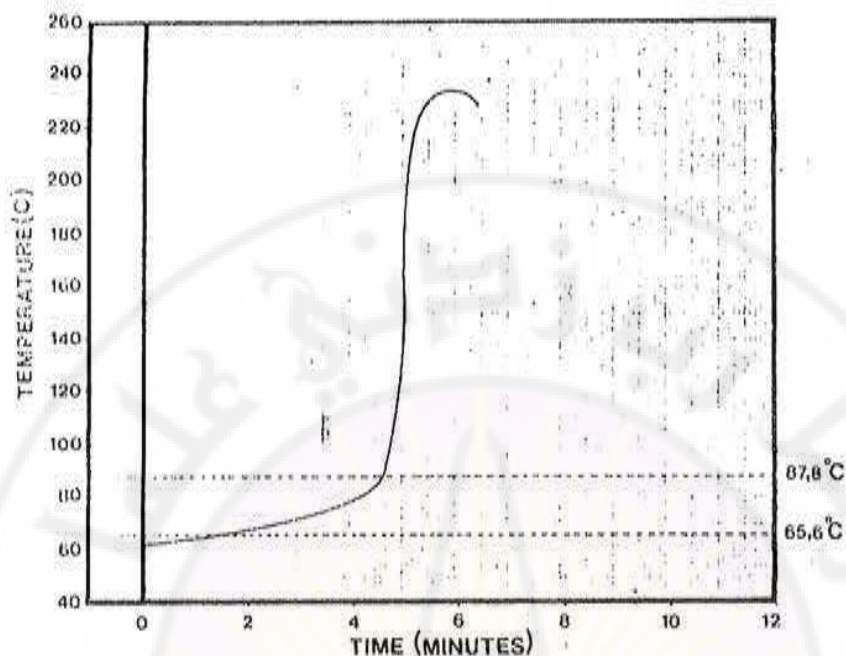
١- ريزين بوليستر غير مشبع

Unsaturated Polyester Resins (A-50) (UP)

والجدول التالي يبين كافة خواص هذه المادة مع مخطط زمن تفاعله (تجمدة) كتابع لدرجة الحرارة.

Resin characteristics (Before polymerization)

State	Liquid
Monomer content (Styrene)	33%
Viscosity at 25°C (drage viscometer)	5 poises
Aspect	Nearly colourless
Hazen colouring minimum	50
Lovibond colouring : Red compnent	0.2
Lovibond colouring : Yellow compnent	1.5
Lovibond colouring : Blue compnent	0.0
Specific gravity	1.12 g/cm ³
Acid index (mg KOH/g resin)	24
Refractive index at 25 °C	1.1542
Conservation at 25 °C in closed package min	6 months



٢- مادة الكوبالت السائلة وهي مسرعة تفاعل Accelerator (C3).

٣- مادة محفزة Catalyst لتسريع التفاعل (M8).

والجدول التالي يبين مواد تسريع التفاعل وتحفيزه والنسب المئوية لاستخدامه عند درجات حرارة معينة والزمن اللازم لبدء التصلب Gel time مقدر بالدقيقة.

Accelerator	Catalyst	Temperature	Gel tim (min)
C3 0.30 %	M8 2.0 %	20 °C	6
C3 0.12 %	M8 1.5 %	20 °C	15
C3 0.06 %	M8 0.96 %	25 °C	35
DMA 0.2 %	B2 2.0 %	25 °C	10

C3 = cobalt octoate of 6% co M8=Mek peroxide of 50%
DMA= Dimethylaniline 100% B2 = Benzoyl peroxide of 50%

ملاحظة هامة:

أ- أن خلط مادة المسرع ومادة المحفز معاً مباشرة يسبب انفجاراً مؤذياً وهذا ما يجب مراعاته فيتم خلط الريزين أولاً مع المادة المسرعة - الكوبالت- ثم تضاف المادة المسرعة ونسبة (1.5%) تقريباً إلى المزيج السابق وقبل الاستعمال مباشرة وحسب كمية المادة المطلوب استعمالها وزمن التجمد الأولي المطلوب Gel time ويقدر بالدقائق.

ب- الحذر الشديد عند استعمال مادة المحفز Catalyst، لأن دخول قطرة واحدة منه إلى العين يسبب تلفها إن لم تسارع وخلال ثوان إلى غسلها بالماء ومعالجتها. لذا يجب أن يكون بورشة أو مخبر العمل مصدر مائي.

٤- مادة الجيلكوت Gel coat وهي مزيج من الريزين والأيزوزين والأموميا والأصبغة المختلفة.

٥- ألياف زجاجية Fiber glass ويحبذ أن يكون ذو تركيب عشوائي ووزنه 600 gr/ m^2 أو أي نوع آخر.



٦- مادة لمنع الالتصاق
(كالشمع السائل)
مثلاً بال قالب.

٧- فرشاة دهان لفرش
الريزين ومقص وسكين
لقص الزوائد ومادة
الأسيتون للتنظيف.

٨- كفوف طبية ونظرات
بيضاء وكمامات للوقاية
كما يبينه الشكل (33):

الشكل (33)

مراحل العمل: كما بالشكل (34).

المرحلة الأولى (a) :

تجهيز القالب بحيث يكون سطحه ناعماً وصقياً وخالياً من أي تشوهٍ ذي ميل جدارية تسمح للقطعة المنتجة الخروج من القالب بسهولة. أي على الطالب دراسة القالب والتفكير عملياً بآلية إخراج القطعة بعد إنتاجها بسهولة. وهنا استخدمنا قالباً هو عبارة عن غلاف لمروحة مبرد صحراوي.

وتتضمن هذه المرحلة طلي القالب بمادة مانعة للالتصاق بعد أن نكون قد جهزنا القالب بحيث يكون نظيفاً وإذا سطوح ناعمة قدر الإمكان. ويمكن أن يكون القالب من المعدن أو الجبصين أو الخشب أو البلاستيك المسلح.

المرحلة الثانية (b) :

نقوم بطلاء مادة الجيلكوت وحسب اللون المرغوب فيه بسمكة تقريبية (0.3-0.4 mm).

ولابد من الإشارة إلى أننا أضفنا المحفز إلى مادة الجيلكوت بعناية شديدة وقبل الاستخدام مباشرة وحسب الكمية المستخدمة فقط.

تقوم هذه المادة بإخفاء عدم الانتظام بشبكة الألياف الزجاجية وهذا يحسن من المظهر الخارجي للمنتج بعد نزعها من القالب خصوصاً إذا كانت ملونة حيث تعطي جمالاً أكثر. كما يقوم الجيلكوت بحماية المادة المسلحة من التآكل بسبب الرطوبة والتي قد تؤدي إلى حدوث انفصام في السطح بين الفايبر والريزين.

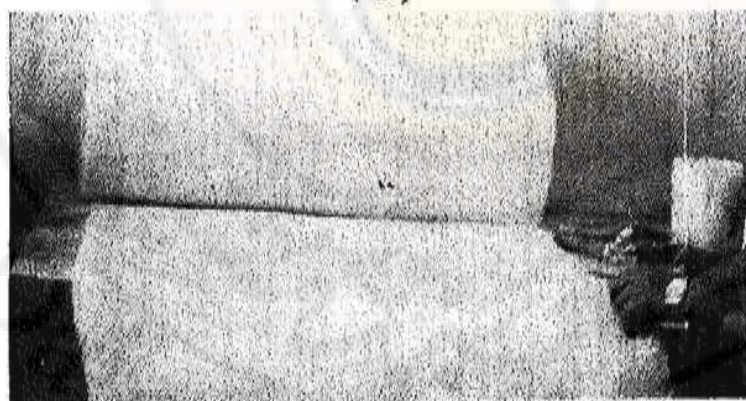
يستخدم أحياناً حصير نسيجي من الفايبر لدعم طبقة الجيلكوت وهذا يحسن من مقاومة الصدم للسطح كما أنه يؤدي إلى إخفاء خشونة مواد التسليح ولكن هذه العملية مكلفة نسبياً وتستخدم فقط عند الضرورة. تترك طبقة الجيلكوت فترة زمنية محددة حتى يحدث تصلب جزئي.



(a)

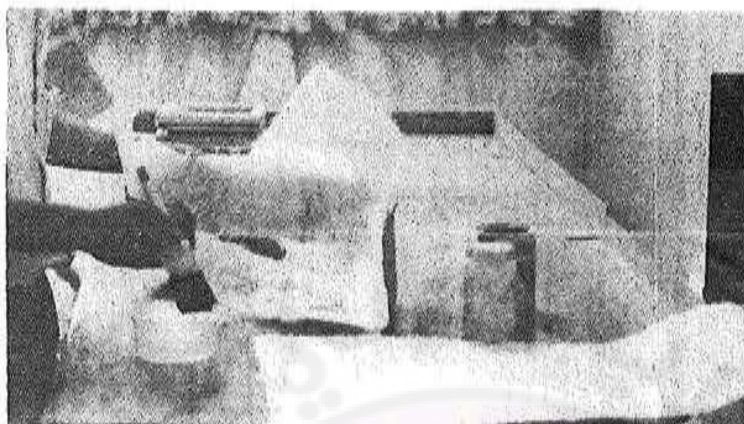


(b)



(c)

الشكل (34)



(d)



(e)



(f)

تتمة الشكل (34)

المرحلة الثالثة (c) :

نقوم بقص وتهيئة الألياف الزجاجية وحسب عدد الطبقات المراد استخدامها، وذلك خلال الفترة التي نترك بها مادة الجيلكوت لتتشف قليلاً. ومن الضروري فهم عمل القطعة المنتجة ليصار إلى تقويتها بشكل أكبر في الأماكن التي تعرض لقوى وإجهادات أكبر. كما يجب زيادة التقوية عند الزوايا والانحناءات، وقد استخدمنا طبقتين من الألياف الزجاجية لإنتاج هذه القطعة.

نهى كمية محددة من الريزين (المضاف له مسبقاً الكوبالت بنسبة حوالي 1.2%) نمزج منه كمية محددة من المادة المسرعة للتفاعل Catalyst. وهذه الكمية تكون بقدر ما نستطيع استخدامه مباشرة قبل أن تصبح جل Gel غير صالح للاستخدام.

المرحلة الرابعة (d) :

بعد وضع الألياف الزجاجية في الأماكن المحددة لها نبدأ بإشباعها بالريزين أي سائل البوليستر غير المشبع بعد أن نكون قد أضفنا له مادة المحفز Catalyst. أما مادة الكوبالت (المسرّع) فنكون مضافة للريزين بشكل مسبق وبنسبة (0.12%) تقريباً.

عملية الإشباع تتم يدوياً وبوساطة فرشاة. أما التقوية فتتم طبقة بعد الأخرى وذلك حسب عدد الطبقات المرغوب فيه (طبقتين)، ويجب عدم السماح لتشكيل الفقاعات وخاصة بين الطبقات أثناء عملية الإشباع. ويستخدم بهذه الحالة دحروج مسنن لإزالة فقاعات الهواء المتشكلة. إن المهارة والسرعة في العمل يؤديان دوراً رئيسياً في إنجاح المنتج. حيث أن مزيج الريزين والمسرّع والمحفز يتجمد بسرعة ويصبح غير قابل للاستعمال، وذلك حسب النسب المثوية لهذا المزيج، لذا يجب الإسراع قدر الإمكان بالعمل.

المرحلة الخامسة (e) :

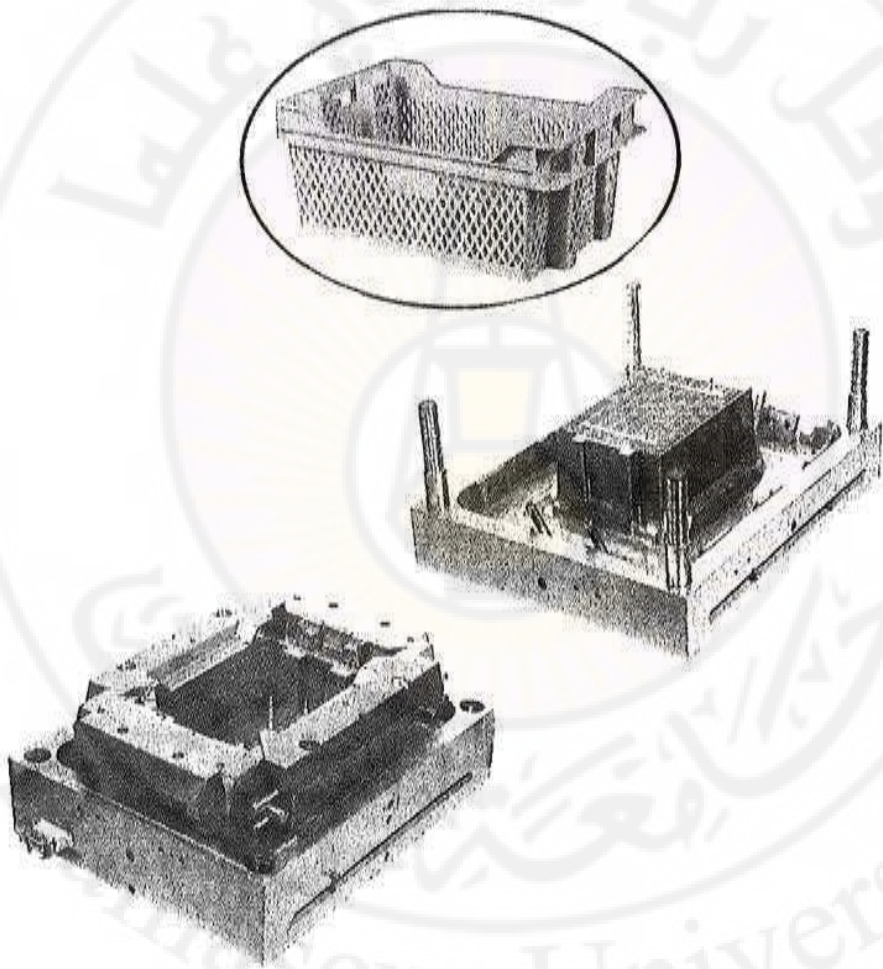
وهي المرحلة التي يتم فيها تفاعل البلمرة ويمكن ملاحظة ارتفاع درجة حرارة القالب الناتج من هذا التفاعل. يمكن استغلال هذه المدة لقص الزوائد من الأطراف حيث تكون طرية. إن تعريض القالب للحرارة يسرع كثيراً من التفاعل وهذا ما يوضحه المخطط البياني السابق. إننا لم نستخدم التسخين الحراري لأنه يتطلب معدات خاصة أكثر كلفة.

المرحلة السادسة (f) :

وهي المرحلة النهائية حيث تنزع القطعة من القالب، وهذه العملية تتم ببساطة كبيرة إذا كانت سطوح القالب ناعمة والمادة المانعة للالتصاق جيدة. بعد ذلك نزيل الزوائد كافة من الأطراف وتصبح القطعة جاهزة للاستعمال.

الباب السادس

القوالب





قوالب إنتاج المواد البلاستيكية

عند دراسة وتصميم أي مشروع إنتاجي للمواد البلاستيكية يجب أن نفكر بالقوالب (في حالة الطرق الإنتاجية التي تحتاج لقوالب)، ويؤخذ في الحسبان أن ثمنها باهظ وتصنيعها يحتاج إلى دقة كبيرة وخبرة ممتازة بالمواد البلاستيكية وكذلك لإمكانيات جيدة (وهذا غير متوافر دائماً).

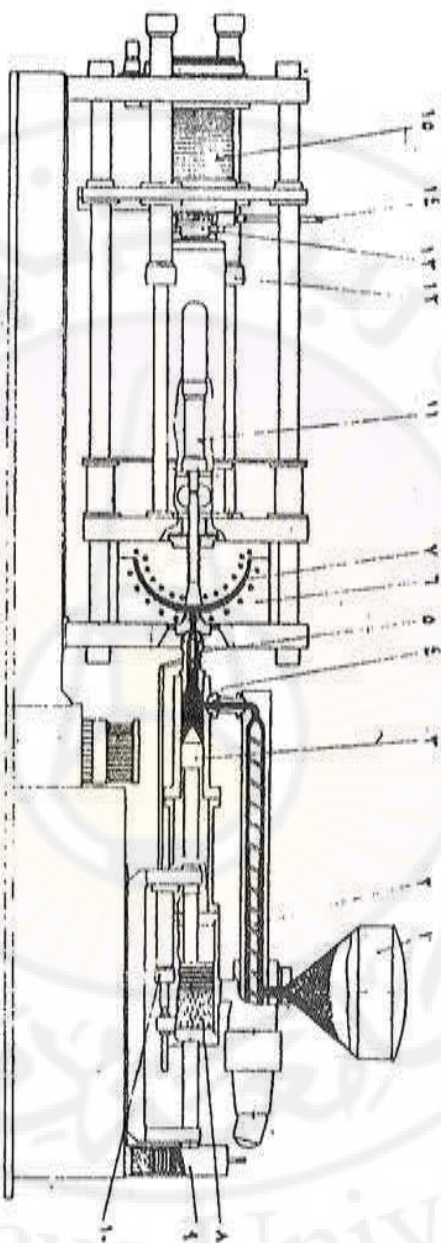
من ناحية اقتصادية، القالب الجيد هو الاقتصادي دائماً لأن القالب يكلف مرة واحدة، فلو قسمنا ثمن القالب على عدد القطع الممكن إنتاجها خلال مدة خدمته لوجدنا أن تكاليفه على القطعة الواحدة ضئيلة جداً، في حين أن القالب الذي لا تتوفر به الشروط الكاملة والجيدة يشكل عبئاً في حالة تلفه (حياته وإمكانية استخدامه تكون قصيرة) ويصبح قطعة معدنية ليست بذات قيمة. بالإضافة لذلك لو قارنا المنتجات في الحالتين من ناحية الجودة والخواص لوجدنا فرقاً كبيراً وبالتأكيد هذا يؤثر كثيراً في التسويق.

في هذا البحث سنتناول باختصار كبير قوالب الحقن والتشكيل للبلاستيك الحراري (Tp) وقوالب تصنيع البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) (حالات الضغط والتحويل والحقن)، كما سنطرح فكرة عن تنظيم درجة الحرارة في القوالب والقواعد العامة لتصنيع هذه القوالب.

لأخذ فكرة عن الآلة والقالب سوية لنستعرض الشكل (1) الذي يبين آلة حقن (تلدن مسبق) مع قالب لإنتاج قطع هلالية الشكل فنلاحظ أن القالب والأجزاء المتممة له المستخدمة للتثبيت والمعايرة.. وقد تفوق حجماً للآلة نفسها.

قوالب تصنيع البلاستيك الحراري (Tp) بالحقن:

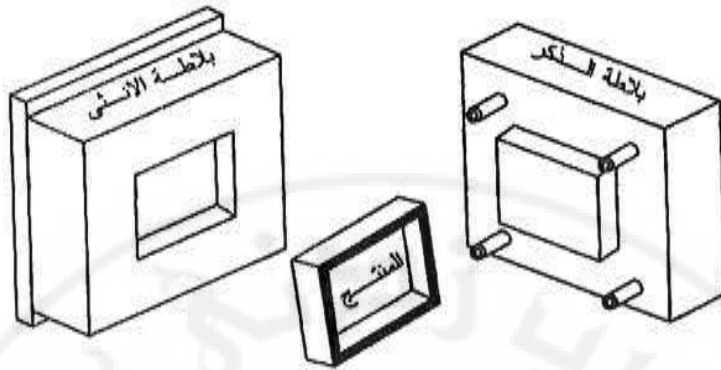
يتألف قالب حقن المواد البلاستيكية من مجموعة من القطع المعدنية مشغلة بحيث يحصل فراغ بينها مماثل لشكل القطعة المراد إنتاجها ويدعى بالطبعة كما بالشكل (2)، وتكون أبعاد الطبعة أكبر من أبعاد القطعة المنتجة بما يتناسب مع قيم انكماش المواد البلاستيكية التي سوف تحقق فيه.



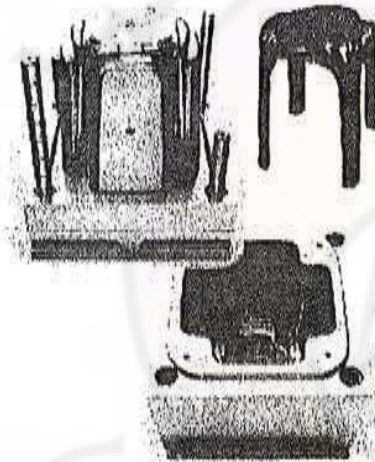
الشكل (1)

آلة حقن تعمل على مرحلتين: (1) تدخين المادة مسبقاً بواسطة اللولب (2) ملء القالب بواسطة المضخة.

- ١- قمع التغذية، ٢- اللولب، ٣- مكبس أسطوانة التحريك، ٤- صمام المطبوعة، ٥- القودة، ٦- القالب، ٧- القطع المراد إنتاجها، ٨- أسطوانة الحقن، ٩- مكبس التلقين (التغذية)، ١٠- مجموعة تثبيت أسطوانة الحقن، ١١- لفة قطعة المقعدة المنتجة، ١٢- مثبت الأسطوانة، ١٣- غشاء، ١٤- أداة تحريك غشاء الأسطوانة، ١٥- أداة ضبط.



الشكل (2)



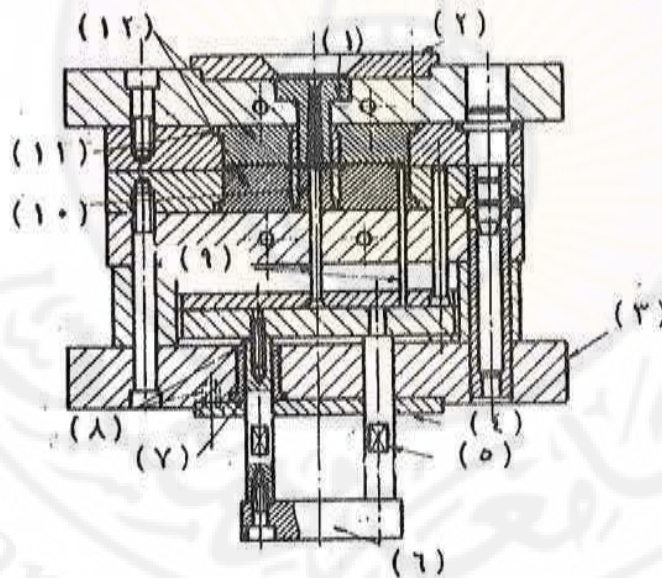
الشكل (3)

يبين الشكل (3) قالب حقل حقيقيين مع المنتج، ومن خلال التدقيق بالشكل يمكن القول إن القالب يجب أن يصنع بدقة متناهية ومن الفولاذ الجيد المعالجة ذي المقاومة العالية ($80-110 \text{ kg/mm}^2$) ليعطي منتجاً جيداً على الرغم من ارتفاع الكلفة قليلاً.

يجب أن يكون سطح القالب بحالة ممتازة (ناعم كالمرآة). يمكن أن يكون القالب وحيد الطبعة لإنتاج القطع المتوسطة والكبيرة أو متعدد الطبقات (إنتاج عدة قطع بنفس الوقت وبدورة حقن واحدة) للقطع الصغيرة، وهذا يكون أكثر كلفة والدورة الإنتاجية أطول ولكن الإنتاج يكون أكثر. في كل الحالات يجب وضع مجموعة لافطة للقطعة أو للقطع (بعد أتمام الحقن) تكون ميكانيكية أو غازية.

الجزء المغذي لل قالب من المادة المحقونة بأقنية التغذية يتصلب عند التبريد ويشكل هبوط بالمادة ندعوه بالعقب أو الجزرة، القيمة النسبية لهذا العقب في حالة القطع الكبيرة لا يتجاوز (2-5%) ولكن سيكون مرتفع عند الحقن بقالب متعدد الطبقات وهذا يعدّ هدراً يجب إنقاظه لأنه أولاً يجبرنا على تنظيف مكانه لإعادة الاستعمال (يجب اعتبار كلفة هذه العملية) وثانياً لأنه يجب فصل هذا العقب أو الأعقاب عن القطع المنتجة وهذه العملية تترك أثراً في هذه القطعة.

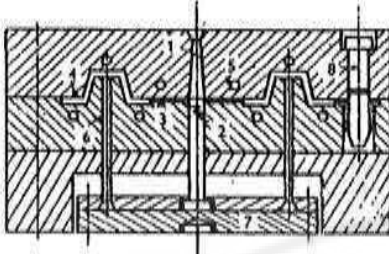
في الحقيقة أن إنشاء القالب يطابق غالباً عملية تجميع عناصر قياسية وغير قياسية والتي تصمم بشكل يسهل تصنيعها وفحصها وكذلك فكها وتركيبها. ويبين الشكل (4) والشكل (5) تفصيلات الإنشاء والتي نجدها تقريباً في كل قوالب الحقن المتعددة الطبقات.



الشكل (4) قالب الحقن

- ١- أسطوانة ، ٢- حلقة تحديد المركز، ٣- كتلة القالب، ٤- حلقة تحديد المركز،
- ٥- ساق اللاقط، ٦- قاعدة اللاقط، ٧- غلاف التوجيه، ٨- برغي سداسي بنهاية مجوفة.
- ٩- لافظ، ١٠- غلاف، ١١- وصلة أسطوانية، ١٢- طبقات مكررة.

الشكل (5)



- ١ - القناة الرئيسية، ٢ - قالع العقب (الجزرة): ساق أسطوانية تحوي أداة لإمساك الجزرة المكونة، ٣ - أقنية ثانوية لتغذية الطبقات، ٤ - طبعة القالب، ٥ - أقنية

يجري بها ماء أو أي مائع حراري بهدف المحافظة على حرارة القالب ثابتة، ٦ - قاذف للقطعة، ٧ - صفيحة القاذف وتحوي كل القوالب وتسمح بحركتهم بشكل متزامن، ٨ - مجموعة المعايرة: تؤمن ضبط الأوضاع الصحيحة لمختلف القطع الرئيسية للقالب.

يوضح الشكل (6) مساقط لقالب حقن صنع في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق في الجمهورية العربية السورية لإجراء اختبارات متعددة لمتغيرات الحقن مع جدول تفصيلي للقطع المستخدمة وعددها والمعدن المصنوعة منه، بالإضافة لأجزاء القالب موضحة بالشرح التالي:

- الرقم (1) يمثل بلاطة الربط الخلفية: وهي لربط القسم الثابت من القالب على صفيحة آلة حقن البلاستيك، كما تمنع الأدلة والجلب (2) و (7) من الحركة وتثبيتها في مكانها بالبلاطة السالبة (6)، حيث توفر هذه الأدلة والجلب الثبات الجيد بين البلاطتين (1) و (6).

- الرقم (2) يمثل البلاطة السالبة: وهي التي يحفر عليها أحد وجهي القطعة المنتجة (الوجه الحر) وتمثل الجزء الأساسي والرئيسي من القالب والتي تشكل مع البلاطة الموجبة (8) تجويف القالب، يمكن أن تحوي البلاطة السالبة كامل تجويف القالب، كما يمكن استخدام وليجة أو ولائج في هذا الجزء من القالب.

- رقم (8) يمثل البلاطة الموجبة: وهي الجزء الأساسي والرئيسي الثاني من القالب وتتضمن تجويف الجزء الآخر من القطعة المنتجة، وغالباً ما تكون هذه البلاطة مع الجزء المتحرك من القالب.

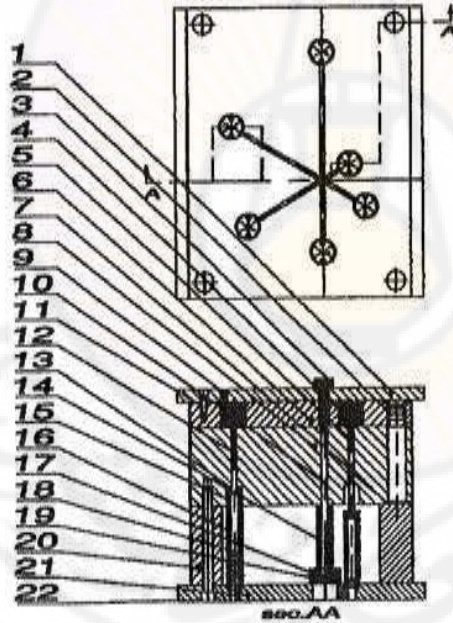
- الرقم (21) يمثل بلاطة الربط الخلفية: وتركب خلف البلاطة الموجبة وتبعد عنها بمسافة توازي ارتفاع كراسي المبعاد (مسافة حركة آلية لفظ

القطعة بعد الحقن وفتح القالب). تثبت هذه البلاطة مع البلاطة الموجبة عادة بأربعة براغي طويلة (11) تحصر بينهما كراسي المبادعة وبها ثقوب لمرور اللواظ (10,12,18).

- الرقم (20) يمثل كراسي المبادعة أو بلاطة المبادعة: وعددها اثنان أو أكثر (حسب تصميم القالب) وتركب بين البلاطة الموجبة (8) وبلاطة الربط الخلفية (21) ومهمتها توفير فراغ من أجل حركة نظام اللفظ.

-الرقم (3) يمثل جلب الحقن: وهي فولاذية محفور بها ثقب مخروطي (يجب أن يكون مصقول بشكل جيد) مهمتها إيصال المواد البلاستيكية المصهورة من رأس الحقن إلى داخل الطبقات.

- الرقم (2) و (7) تمثلان الجلبة (2) والدليل (7) مهمتهما توفير التسامت بين البلاطتين السالبة والموجبة وذلك عند فتح وإغلاق القالب.



المهندسين : فايز طويان	الرسم		جامعة دمشق	
	المصمم		كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية	
المهندسين : فايز طويان	المدقق		مقياس الرسم	
الدكتور المهندس : معتز جباري	السنة	الأبعاد		
قالب بلاستيك عياري	٢٠٠٦	٣	ملم	
لاختبارات مكثرات الحقن				

الشكل (6) مساقط قالب حقن

رقم القطعة	عدد القطع	المعدن	رقم القطعة	عدد القطع	المعدن
١	١	بلاطة الربط الخلفية	٢*	٤	فولاذ مقسى
٣*	١	جلبة الحقن	٤	٦	فولاذ مسبق المعالجة
٥		القطعة (المنتج)	٦	١	فولاذ مكربن
٧	٤	الدليل	٨	١	فولاذ مسبق المعالجة
٩	٦	برغي كرة	١٠	١	فولاذ مقسى
١١	٤	برغي ربط بلاطة الربط الأمامية مع الموجبة	١٢	٦	فولاذ مقسى
١٣	٦	رنديلة حصر اللافت	١٤	١	فولاذ
١٥	٦	رنديلة حصر لافظ دليل نابض لفظ القطعة	١٦	٦	فولاذ
١٧	١	قرص حصر لافظ العقب من الأعلى	١٨*	٦	فولاذ كربوني
١٩	١	قرص حصر لافظ العقب مع الأسفل	٢٠	٢	فولاذ كربوني
٢١	١	بلاطة الربط الخلفية	٢٢	٤	فولاذ

ملاحظة: الإشارة (*) تشير إلى أن القطعة المستخدمة عيارية (ستاندر)

قوالب تصنيع البلاستيك الحراري بالتشكيل (Tp):

رأينا في البحث الثالث الفصل الثالث (القولبة بالتشكيل الحراري) العديد من أشكال القوالب المستخدمة بالتشكيل، وهنا سنضيف بعض الملاحظات المتعلقة بهذه القوالب، هناك نوعين للقوالب المستخدمة بالتشكيل:

١- القالب السالب: وهو الذي له تجويف لإنتاج القطعة بالتشكيل الحراري.

٢- القالب الموجب: وهو الذي له بروز ظاهر لإنتاج القطعة بالتشكيل الحراري.

الشكل (7) يبين هذين النوعين، أما الشكل (8) فيبين القطع المنتجة بواسطتهما.



الشكل (7)

(1)-ورقة من البلاستيك الحراري. (2)-القالب



الشكل (8)

الجدول التالي يبين الخواص العامة للقطع المنتجة بهذين النوعين من القوالب.

القالب الموجب	القالب السالب
سطح خارجي ناعم وبراق.	سطح خارجي مطابق تماماً للقالب.
التفاصيل الداخلية واضحة بشكل جيد.	نعومة داخلية.
عمق سميك.	عمق وزوايا رقيقة.
حروف نحيفة.	عمق الشد محدود.
نسبة السحب أعلى	إخراج من القالب سهل.
إخراج صعب من القالب.	استهلاك أقل من المادة.

المواد المستعملة لصناعة القوالب بالتشكيل:

١- لأجل إنتاج كميات صغيرة (بضع مئات) يستخدم الخشب أو الجص الصلب.

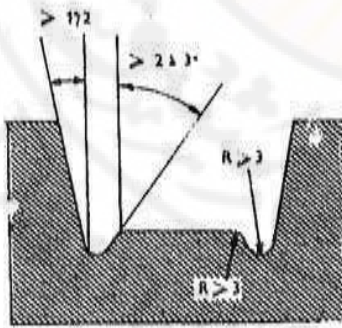
٢- لأجل الإنتاج بكميات متوسطة: (حتى العشرة آلاف قطعة) يستخدم الإيبوكسي (EP) المسلح.

٣- لأجل الإنتاج بكميات كبيرة (أكثر من عشرة آلاف قطعة) فيستخدم الألمنيوم أو الفولاذ غالباً.

القوالب المعدنية توافق جيداً متطلبات التشكيل الحراري بكميات كبيرة لكن المحذور هو انخفاض حرارة المادة خلال التشكيل سريعاً جداً، لذا يفضل غالباً المعدات المصنوعة من البلاستيك المتصلب حرارياً (T_s) والحاوي على بودرة ذات أساس معدني لأنها كذلك رخيصة السعر كبودرة الألمنيوم. القوى المؤثرة تكون نسبياً ضعيفة. يجب الاعتناء بسطوح القوالب لتعطي القطع الناتجة هيئة مناسبة.

في كل القوالب يجب توفير وتهيئة ثقوب للخروج بأقطار صغيرة ($\leq 0.5 \text{ mm}$) وذلك لتخلية الهواء المحبوس بين القطعة والقالب.

يجب الانتباه كذلك إلى أن عوامل التمدد للمواد البلاستيكية بصورة عامة أكبر عشر مرات من المعادن، كذلك يجب أن يكون ميلان السطوح مدروس بشكل جيد ليسهل عملية الإخراج من القالب وهناك بعض القواعد بهذا الخصوص مبينة على الشكل (9).

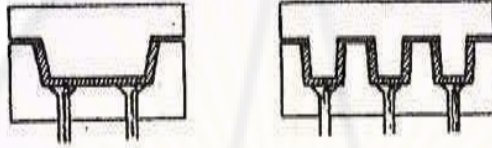


الشكل (9)

قوالب تصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (Ts) :

هناك شركات متخصصة لتصنيع القوالب المستعملة للمواد البلاستيكية باستثناء المصانع الكبيرة التي بإمكانها تصنيع قوالبها الخاصة بها. تصنيع القوالب عملية صعبة وتحتاج إلى فنيين وعمال باختصاص وخبرة ممتازة، وهي غالباً باهظة التكاليف.

يتألف القالب من جزأين يتوضعان الواحد فوق الآخر، بشكل يسمح بحساب درجة الحرارة والضغط المناسبين. يتضمن القالب الطبعة وهي التجويف حيث بداخلها تأخذ القطعة شكلها النهائي.



القالب ذو الطبعة الواحدة هو الأكثر بساطة. القالب بطبعات متعددة يسمح بإنتاج عدة قطع بأن واحد متشابهة أو مختلفة حسب طبقات القالب. تخلص القطعة من القالب يتم غالباً بواسطة قاذف القطعة المتحركة والعملية تتم أتموماتيكياً، توسيع فوهة الإغلاق وزاوية ميلان الجوانب تسهل كثيراً عملية إخراج القطعة.

تصنف أنواع القوالب حسب طريقة استخدامها إلى:

١- قوالب يدوية: كل الأعمال كالتعبئة ووضع أجزاء القالب تتم يدوياً وخارج الآلة. تستخدم بصورة عامة لتجارب القوالب بالضغط ولا تحتوي إلا على طبعة واحدة.

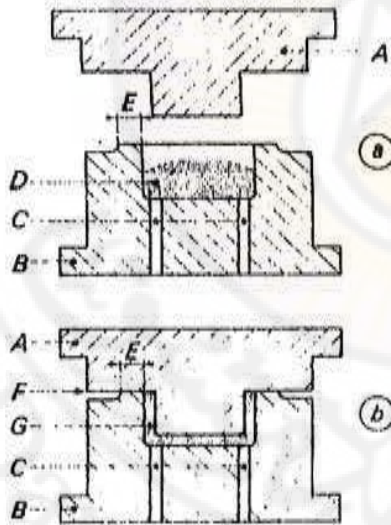
٢- قوالب الإنتاج: وتثبت على صفائح الآلة ولها نوعان:

١-٢ قوالب نصف أوتوماتيكية: مع تحميل وبدء الدورة يدوياً. الفتح والإغلاق يتم بواسطة حركة صفيحة متحركة من الآلة حيث أحد أجزاء القالب يكون ثابت.

٢-٢ قوالب أوتوماتيكية: حيث تتم كافة العمليات من فتح وإغلاق ولفظ للقطعة أوتوماتيكياً بواسطة حركة صفائح الآلة.

قوالب الضغط: هناك عدة أنواع خاصة للقوالب تستعمل فقط في طريقة الضغط:

١-قوالب بسكين (أو التهريب): مصمم بحيث أن الزيادة في المادة في الجزء السفلي تستطيع الخروج تحت ضغط الجزء العلوي حتى لحظة التلامس الذي يتم بين الجزئين عند مستويات الوصل. هذه القوالب نسبياً بسيطة الصنع وتخليقها سهل عند كل عملية. النتوء يقص بواسطة الأداة الضاغطة، الشكل (10).



الشكل (10)

قالب ضغط ذو سكين :

a-قالب مفتوح. B-قالب مغلق.

A- الأداة الضاغطة.

B- قالب.

C- قاذف للقطعة.

D- بوردة للقوالب.

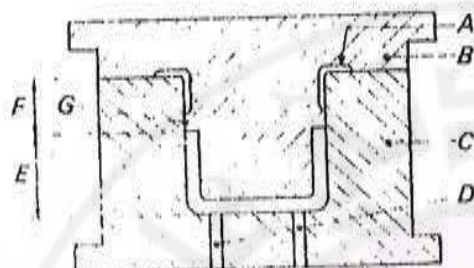
E- مسند.

F- مستوى الوصل.

G- القطعة المنتجة.

٢- القوالب الموجبة: وتحتوي على غرفة ضغط بنفس مقطع الطبيعة، الشكل (11)، هذا القالب لا يعطي أي منفذ للمادة الموجودة داخل الجزء

السفلي أي أن المادة تتحمل كل ضغط الجزء العلوي. في الحقيقة يتشكل نتوء شاقولي رفيع جداً يتصلب بسرعة، يسد الفراغ بين الجزئين بواسطة وصلة (جوان) شاقولي.

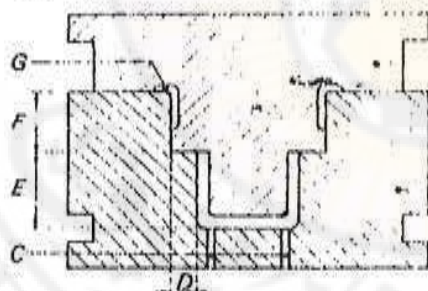


الشكل (11)

قالب ضغط موجب

- A - للتحرير.
- B - الأداة الضاغطة.
- C - قالب.
- D - قاذف للقطعة.
- E - الطبعة.
- F - غرفة ضغط.
- G - جوان شاقولي.

٣- القوالب النصف موجبة: ولها خواص القالب الموجب والقالب بسكين مجتمعين، الشكل (12)، ويحوي غرفة ضغط بمقطع أكبر قليلاً من الطبعة (بعض المليمترات) إذ يترك حرف في أعلى الطبعة. الفراغ بين الغرفة والأداة الضاغطة يسمح للمادة بالخروج ببداية الإغلاق خلال جزء من دورة الإنتاج ثم في نهاية الضغط فإن جزئي القالب ينطبقان تماماً ويصبح القالب موجباً.



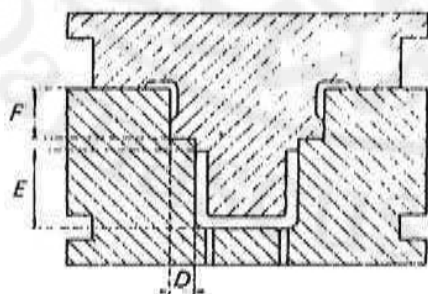
الشكل (12)

قالب ضغط نصف موجب :

(a)

B

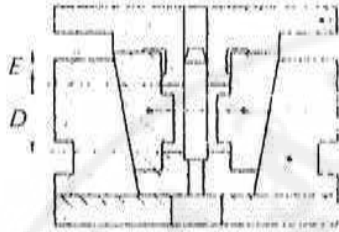
- A - أداة القطع.
- B - قالب.
- C - قاذف للقطعة.
- D - مسند.
- E - الطبعة.
- F - غرفة الضغط.
- G - للتحرير.



(b)

- a - قالب بنتوء أفقي،
- b - قالب بنتوء شاقولي.

٤- قوالب بصدفة: عبارة عن قالب يتضمن عدة قطع قابلة للفك، الشكل (13)، يسمح بتخليص القطعة المنتجة التي تكون مسلوكة عكسياً، أي إن القطعة لا يمكن إخراجها من دون فك القالب.



a

الشكل (13)

قالب ضغط بصدفة:

a- قالب مغلق.

B- قالب مفتوح.

A- الأداة الضاغطة.

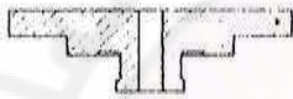
B- الصدفة.

C- طوق حديدي.

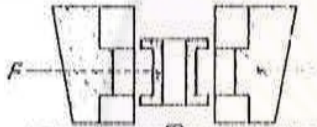
D- الطبعة.

E- غرفة الضغط.

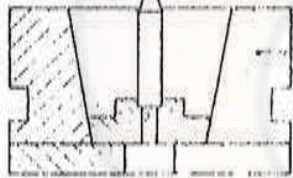
F- القطعة المنتجة.



A



B



C

الجدول التالي يبين ميزات ومساوئ

الأنواع المختلفة لقوالب الضغط:

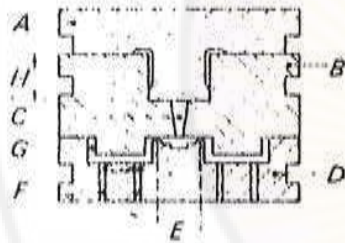
المساوئ	الميزات	القالب
- صعوبة وضع المادة في حالة القطع المسطحة الشكل الكاسي هو المفضل.	- سعر منخفض.	بسيكن أو ذو منفذ (مخرج)
- نقص الانضغاط والضغط محدد بشكل سيء.	- اهتراء ضعيف.	
- إنتاج القطع ذات العمق الكبير مستحيل.		
- الحاجة لكمية من المادة أكبر من الكمية المنتجة فعلاً.		

موجب	-ضبط دقيق للضغط. -انضغاط جيد.	-يتطلب معايرة دقيقة وهذا مكلف. -عدم إعطاء قطع بسماكات مختلفة عندما تكون المادة موزونة بشكل دقيق.
نصف موجب	-لا يتطلب وزن دقيق كما في حالة القوالب الموجبة. -يمكن أن تكون ذات طبقات متعددة.	-الضغط على المادة غير معروف تماماً مثل حالة القوالب الموجبة. -نتوءات أكثر أهمية.

قوالب التحويل:

قوالب التحويل لها نموذجين :

١- قوالب لأجل القولبة على آلة ضغط، الشكل (14)، واستعمالها يقلل تدريجياً.



(a)

الشكل (14)
قالب للتحويل لأجل القولبة على آلة
الضغط.

a- قالب مغلق،

b- قالب مفتوح (تحميل).

A- الأداة الضاغطة.

B- قالب علوي.

C- قناة أساسية.

D- قالب سفلي.

E- أفنية ثانوية.

F- قاذف القطعة.

G- الطبقة.

H- غرفة الضغط.

I- بودة القولبة.

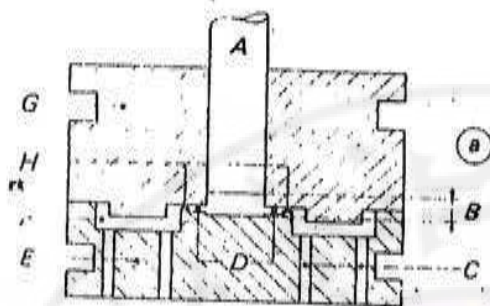


(b)

٢- قوالب للقولبة على آلات تحويل برافعتين، مع تحويل علوي أو تحويل سفلي الشكل (15). الفراغ بين مكبس التحويل والوعاء يجب أن يكون بحدود

(50-100mm) لتجنب صعود جديد للمادة حول المكبس. المكبس يجب أن لا يكون مسخن أو كرومي.

الشكل (15)



قوالب تحويل للقولبة على آلات تحويل برالعتين.

a- تحويل علوي، b- تحويل سفلي .

A- مكبس التحويل.

B- غرفة الضغط

C- قاذف القطعة.

D- أقتنية.

E- قالب سفلي.

F- الطبعة.

G- قالب علوي.

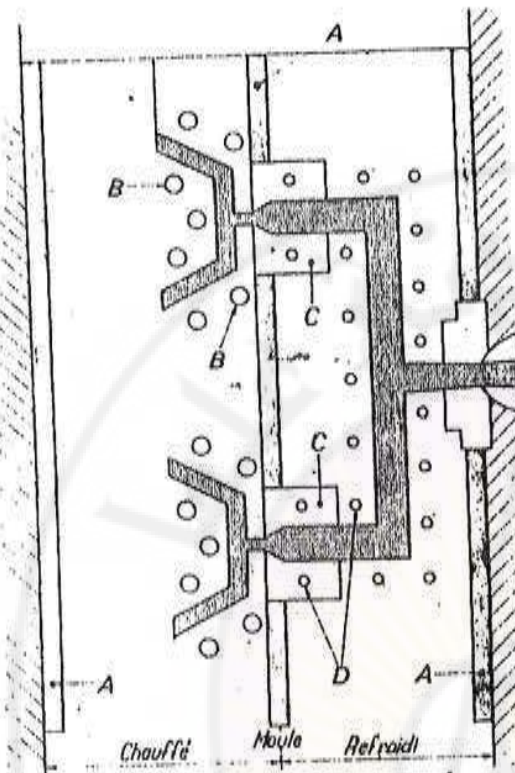
H- مداخل.

قوالب الحقن:

القوالب المستخدمة للقولبة بالحقن للمواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً تكون بلوحيين أو ثلاثة.

قوالب حقن بأقتنية باردة :

منذ زمن بدأت تتطور تقنية القولبة بأقتنية باردة. الشكل (16) يبين تخطيطاً لهذا القالب. هذه التقنية تركز على المحافظة على أنبوب القالب وأقتنية التغذية بدرجة حرارة مرتفعة كفاية لتسمح بالحقن ومنخفضة لتجنب التفاعل. هذا غير ممكن سوى بجريان مائع بدرجة حرارة منظمة. الحلقات (جوانات) المستخدمة لتأمين السد المحكم لمختلف دوائر التنظيم في القالب تكون من الكاوتشوك.



من أجل الفينوبلاست، درجة حرارة منطقة التغذية حوالي $(100-110^{\circ}\text{C})$. استخدام قوالب الأقمية الباردة لا يزيد زمن الدورة. في الحقيقة، من السهل رفع حرارة المادة لدرجة مرتفعة تصل إلى (150°C) الفينوبلاست) في الأسطوانة بدون أن يبدأ بالتصلب سابقاً لأوانه داخل أنبوب الأسطوانة بلامسة القالب. القوالب مع الأقمية الباردة تتطلب ملء متوازن

تماماً للطبقات. القوالب يجب أن بارد تكون مجهزة بمجموعة للتخلص في حالة تفاعل المادة داخل الأقمية.

الشكل (16) قالب حقن بأقمية باردة.
A- ألواح عازلة. B- تسخين كهربائي.
D- جريان مائع.

تنظيم درجة حرارة قوالب حقن البلاستيك المتصلب حرارياً:

إن المواد المتصلبة حرارياً (T_s) تحتاج إلى التسخين وليس التبريد لكي تتم بلمرتها وتحويلها إلى منتجات صلبة. ولتحقيق ذلك نقوم بتسخين مواد (T_s) في الأسطوانة إلى درجة حرارة $(65^{\circ}\text{C}-115^{\circ}\text{C})$ ، حسب نوع المادة ثم يتم حقنها في القالب الساخن ونترك لتأخذ شكلها النهائي عند درجة حرارة $(160-205^{\circ}\text{C})$ وبعد تصلبها تخرج من القالب الساخن.

يجب أن لا تبقى مادة الـ (s) في الأسطوانة فترة أطول من اللازم لأنها تتصلب داخلها وتسبب انسداد وإعاقة حركة الآلة.

يتم تسخين الأسطوانة والقالب بواسطة جريان مائع (بخار، ماء، زيت)، كما يمكن أن يتم تسخين القالب والأسطوانة بواسطة المقاومات الكهربائية على شكل حلقات تلف حول الأسطوانة أو عناصر موضوعة داخل صفائح التسخين أو موجودة داخل القالب وهو الأفضل. يمكن أن يكون تسخين الأسطوانة منفصل عن تسخين القالب من الناحية التقنية.

تسخين كل جزء من القالب يجب أن يكون مراقب بواسطة منظم لدرجة الحرارة، منظم إلكتروني مزود بمزدوجات حرارية Thermocouples موجودة ضمن الأجزاء الموافقة للقالب. غير أنه من الضروري التحقق بانتظام (مرة كل يوم على الأقل) من درجة الحرارة للسطوح المقولبة بمساعدة أملاح قابلة للانصهار أو بواسطة مقياس درجات حرارة مرتفعة معايير بشكل جيد.

إذا كانت (P_{total}) تمثل القدرة الكلية اللازم تأمينها في الآلة للقالب فقط وهي مجموع :

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3$$

P_1 (Kw) : القدرة اللازمة لتسخين القالب لدرجة حرارة معينة وتعتمد على القدرة الحرارية لكتلة المادة المصنوع منها القالب وهي تتناسب وكتلة القالب وارتفاع درجة الحرارة:

$$P_1 = \frac{C_1 m_1 (\theta_2 - \theta_1)}{3600}$$

حيث:

P_1 (W) : القدرة اللازمة .

C_1 (J/Kg.K) : الطاقة الحرارية لكتلة القالب وتساوي للفولاذ :

$$C_1 = 4.18 \times 10^2 \text{ J/Kg.K} = 0.1 \text{ cal/g.K}$$

m_1 (Kg) : كتلة القالب.

θ_2 ($^{\circ}\text{C}$) : درجة حرارة عملية القولبة.

θ_1 ($^{\circ}\text{C}$) : درجة حرارة القالب الابتدائية (درجة حرارة الورشة).

3600 (sec) : الزمن الضروري لتسخين القالب (اعتبرنا ساعة واحدة).

P_2 (Kw) : القدرة اللازمة والضرورية لموازنة الضياعات الحرارية

بواسطة: التوصيل ($P_{2,1}$) والحمل الحراري ($P_{2,2}$) والإشعاع ($P_{2,3}$) أي:

$$P_2 = P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3}$$

من الممكن تخفيض هذه الضياعات بإحاطة القالب بصفحة عازلة من
الأميانت .

القدرة ($P_{2,1}$) المبددة بالتوصيل تعطى من العلاقة:

$$P_{2,1} = \frac{\lambda \cdot S (\theta_2 - \theta_3)}{e}$$

حيث:

$P_{2,1}$ (W) : القدرة المبددة.

λ (w/m.K) : الناقلية الحرارية.

S (m^2) : سطح التبادل الحراري.

θ_2 ($^{\circ}\text{C}$) : درجة حرارة القالب.

θ_3 ($^{\circ}\text{C}$) : درجة الحرارة للطرف المعاكس للسطوح الملاصقة للقالب.

e (m) : سماكة الجدار الملاصق للقالب.

القدرة ($P_{2,2}$) المبددة بواسطة الحمل الحراري تحسب كالتالي (حسب معادلة
:(Fishendern

$$P_{2,2} = \frac{K \times 1.66 \times 4.18 \times 10^3 \times S (\theta_2 - \theta_1)^{5/4}}{3600}$$

حيث:

$P_{2,2}$ (W) : القدرة المبددة بالحمل الحراري.

S (m²) : سطح التبادل بالحمل الحراري.

K : ثابت يساوي إلى :

$K = 1$ من أجل الجدران الشاقولية.

$K = 1.3$ من أجل الجدران الأفقية المتجهة للأعلى.

$K = 0.65$ من أجل الجدران الأفقية المتجهة للأسفل.

θ_2 (°C) : درجة حرارة القالب.

θ_1 (°C) : درجة حرارة الورشة (درجة الحرارة العادية).

القدرة المبددة بالإشعاع ($P_{2,3}$) تتبع قانون ستيفان - بولتزمان :

$$P_{2,3} = \sigma S (T_2^4 - T_1^4) a$$

حيث:

$P_{2,3}$ (W) : القدرة المبددة بالإشعاع.

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ w/m².K⁴ : ثابت ستيفان ويساوي

S (m²) : مساحة السطح المشع.

T_2 (K) : درجة حرارة القالب : $T_2 = (273 + \theta_2)$

T_1 (K) : درجة حرارة الورشة : $T_1 = (273 + \theta_1)$

$a = 0.8$: قوة الإرسال (البث) لسطح القالب.

في الحقيقة إن حساب الحرارة المبددة طويل لذا اقترح العالم Mourgue من

أجل قوالب المواد البلاستيكية العلاقة التجريبية التالية لحساب هذه الحرارة

المبددة:

$$P_2 = \frac{4.8 \times 500 \times (50 S_1 + 27.5 S_2)}{60}$$

حيث:

60 (min) : زمن التسخين ويعتبر ساعة واحدة.

S_1 (m²) : السطح الجانبي للقالب.

S_2 (m²) : السطح الكلي الملامس للصفائح (ضعف سطح القالب).

P_3 (KW) : وهي مجموع قدرتين الأولى ($P_{3,1}$) وهي القدرة المبددة بوساطة

المادة البلاستيكية والثانية ($P_{3,2}$) وهي القدرة المبددة بسبب فتح القالب أي:

$$P_3 = P_{3,1} + P_{3,2}$$

القدرة المبددة بوساطة المادة البلاستيكية :

$$P_{3,1} = \frac{C_2 m_2 (\theta_2 - \theta_1) n}{3600}$$

حيث:

C_2 (J/Kg.K) : القدرة الحرارية لكتلة المادة المقولبة في حالة Phénoplaste

$$C_2 = 1.46 \times 10^3 \text{ J/kg} = 0.35 \text{ cal/g.K} \quad \text{وتساوي}$$

m_2 (Kg) : كتلة القطعة المقولبة.

θ_2 (°C) : درجة حرارة القالب.

θ_1 (°C) : درجة حرارة المادة لحظة دخولها القالب.

n : عدد مرات عملية القولبة بالساعة.

القدرة المبددة بسبب فتح القالب:

$$P_{3,2} = \frac{C_1 m_1 \Delta \theta_n}{3600}$$

حيث:

C_1 : القدرة الحرارية لكتلة القالب.

m_1 (Kg) : كتلة القالب.

$\Delta\theta$ (K) : انخفاض درجة الحرارة خلال عملية الفتح فيما لو لم يكن هناك موازنة لهذا الانخفاض.

يمكن القول الآن أن (P_{total}) تساوي إلى مجموع القدرات السابقة أي:

$$P_{total} = P_1 + P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3} + P_{3,1} + P_{3,2}$$

وهي تمثل الاستطاعة التي يجب أن توفرها الآلة للقلب الساخن ليعمل جيداً.
مثال تطبيقي:

المطلوب حساب القدرة الضرورية لأجل تسخين قالب لقطعة (نموذج : (Modèle CEMP

الأبعاد : $0.30 \times 0.30 \times 0.2$ m (الارتفاع 0.20).

الكتلة : 138 Kg

تسخين بوساطة مقاومة كهربائية ضمن القلب. صفائح الآلة معزولة بوساطة ألواح الأميانت بسماكة 0.025 m.

كل جزء من القلب مثبت على صفائح الآلة بوساطة 4/ مسامير كبيرة بمقطع (2 cm^2) $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ وبطول 0.10 m.

درجة حرارة القولية: $\theta_2 = 170^\circ \text{C}$

درجة حرارة الورشة: $\theta_1 = 20^\circ \text{C}$

نفرض درجة حرارة نهايات المسامير من الأعلى 170°C ومن الأسفل 70°C .

القدرة النظرية :

$$P_1 = \frac{4.18 \times 10^2 \times 138(170 - 20)}{3600} = 2400 \text{ W}$$

القدرة المبددة بوساطة التوصيل :

١- باختراق لوح الأميانت:

$$S = 0.30 \times 0.30 \text{ m}^2$$

$$e = 0.025 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.0836 \text{ W/m.K} = 0.0002 \text{ cal/S.cm.K}$$

$$P_{2,1a} = \frac{0.0836 \times 0.30 \times 0.30 \times 2 \times (170 - 20)}{0.025} = 90 \text{ W}$$

٢- بوساطة المسامير : 2×4

$$= 46 \text{ W/m.K} = 0.11 \text{ cal/S.cm.K}$$

$$P_{2,1b} = \frac{46 \times 4 \times 2 \times 10^{-4} [(170 - 70) + (170 - 30)]}{0.1} = 88 \text{ W}$$

القدرة المبددة بواسطة الحمل الحراري على كل السطح الجانبي للقالب:

$$S = (0.3 + 0.3 + 0.3 + 0.3) \times 0.2 = 0.24 \text{ m}^2$$

$$P_{2,2} = \frac{1 \times 1.66 \times 4.18 \times 10^3 \times 0.24 (170 - 20)^{5/4}}{3600} = 242 \text{ W}$$

القدرة المبددة بالإشعاع على كل السطح الجانبي للقالب:

$$P_{2,3} = 5.67 \times 10^{-8} \times 0.24 [(443)^4 - (293)^4] \times 0.8 = 339 \text{ W}$$

القدرة الكلية المبددة:

$$P_2 = 90 + 88 + 242 + 339 = 759 \text{ W}$$

القدرة الكلية اللازمة (P) لرفع درجة حرارة القالب هي:

$$P = 2400 + 759 = 3159 \text{ W}$$

ملاحظة: نحسب قيمة (P_2) وفقاً لمعادلة Nourgue التجريبية :

$$P_2 = \frac{4.18 \times 500 \times (50 \times 0.24) + (2.75 \times 0.18)}{60} = 590 \text{ W}$$

مثال تطبيقي:

كتلة القطعة المقبولة = 0.200 kg ، $\Delta\theta = 5 \text{ K}$

عدد القطع المصنعة بالساعة = 12 قطعة .

قابلة بدون إضافة حرارة للمادة البلاستيكية قبل دخولها القالب.

$$P_{3,1} = \frac{1.46 \times 10^3 \times 0.2 \times (170 - 20) \times 12}{3600} = 146 \text{ W}$$

$$P_{3,2} = \frac{4.18 \times 10^2 \times 1.38 \times 5 \times 12}{3600} = 961 \text{ W}$$

$$P = 759 \text{ W}$$

من المثال السابق :

$$P_3 = 759 + 146 + 961 = 1866 \text{ W}$$

مثال للحل:

يسخن قالب بوساطة مقاومة كهربائية ضمنه خلال (45 دقيقة). يثبت كل جزء من القالب على صفائح الآلة (المعزولة بألواح أميانت بسماكة 0.03 m) بواسطة أربعة مسامير كبيرة بمقطع (2.6 cm^2) وبطول (12 cm). أحسب:

١- القدرة الكلية الضرورية لتسخين القالب P_{total} .

٢- مقارنة القدرة اللازمة لموازنة الضياعات الحرارية نظرياً وتجريبياً

(Mourgue).

المعطيات :

$C_1 = 4.26 \times 10^2 \text{ J/Kg.K}$	أبعاد القالب: $(0.35 \times 0.35 \times 0.25 \text{ m})$
$C_2 = 0.35 \text{ cal/g.k}$ $= 1.46 \times 10^3 \text{ J/Kg.K}$	درجة حرارة المسامير من الأعلى 186°C ومن الأسفل 80°C
$\theta_2 = 185^\circ\text{C}$	وزن القطعة المنتجة $m_2 = 245 \text{ gr}$
$\theta_1 = 22^\circ\text{C}$	عدد القطع المنتجة بالساعة 16
$m_1 = 160 \text{ Kg}$	$\Delta\theta = 7^\circ\text{K}$
$\lambda = 0.084 \text{ w/m.k}$	$e = 0.035 \text{ m}$
$K = 1.2$	$\lambda = 46 \text{ w/m.k}$ للمسامير
$\sigma = 567 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{k}^4$	
$a = 0.75$	

أسس تصميم القوالب :

إن موضوع تصميم وتصنيع القوالب طويل ويحتاج وحده في كتاب أو أكثر (هناك بعض الكتب باللغة العربية منها لمهندسين عرب سوريين وعرب يمكن العودة إليها لمن يحتاج للمزيد). في هذا الموضوع سنلجأ لمبدأ "ما قل ودل" فقط.

يجب أن يكون القالب مصمم استناداً إلى شكل القطعة المراد إنتاجها وكذلك إلى المادة البلاستيكية المستعملة. صانعي القوالب يجب أن يكون لديهم معرفة جيدة بتقنية القولبة جيداً، وكذلك يجب مراعاة عدة عوامل من أهمها:

١- الشكل، الحجم، الوزن.

٢- طبيعة وخواص المادة البلاستيكية المستعملة (التراجع Retrait وزمن التفاعل).

٣- خواص الآلة التي سيركب عليها القالب.

٤- إمكانية إخراج القطعة وهذا يعتمد على تصميم القطعة.

٥- عدد القطع المراد إنتاجها ومعدل الإنتاج المحتمل.

على هذه العناصر يجب عدم نسيان إضافة عامل الكلفة الاقتصادية أي ثمن القالب. من المفضل دفع كثير من المال لقالب ينتج قطعاً تسويقية جيدة. القالب يكلف مرة واحدة لكن كلفة القولبة تتكرر بكل عملية، هذا القول يكرره دائماً العاملين بهذا المجال، وهو صحيح إلى حد كبير.

القوالب يجب أن تكون مقاومة للحرارة والضغط المرتفع اللازم لتصنيع المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً، وكذلك مقاومة للحث والتآكل Abrasion وللتآكل الكيميائي لبعض المواد.

تغطية القوالب بالكروم بسماكة (10 µm) ينقص التآكل ويمنع الالتصاق. إذا تعرضت طبقة الكروم للتلف بحادث فيجب إعادة عمل كامل الطبقة وليس

فقط الجزء النألف. استخدام الفولأذ بنسبة عالية من الكروم يمكننا من الاستغناء عن طبقة الكروم. سطوح القوالب يجب أن تكون ناعمة جداً. المعادن المستخدمة لصنع القوالب يجب أن تختار بعناية، ويكون لها بعض الخواص أهمها:

١- غياب الفراغات والفجوات.

٢- سهولة التصنيع ما أمكن.

٣- إمكانية التقيسة بالسقاية.

٤- مقاومة جيدة للاهتراء.

الخاصة الأساسية للقالب المخصص لإنتاج كميات كبيرة من القطع هي المقاومة السطحية الجيدة. استخدام الفولأذ القاسي جداً لتصنيع أجزاء القالب يحل المشكلة من ناحية، لكن السعر المرتفع لهذا النوع من الفولأذ وصعوبة تصنيعه تشكل مشكلة أخرى، لهذا السبب يلجأ إلى استعمال القوالب المجوفة التي تتضمن تجاويف في الفولأذ العادي، يستخدم بداخلها قطع من الفولأذ الخاص سواء للتجويف السفلي أم العلوي ويغطي القالب بطبقة من الكروم بسماكة (0.01 mm).

كما ذكرنا أن تصميم القوالب موضوع طويل، لذا سنلجأ لتحديد مجموعة من العوامل الواجب أخذها في الحسبان عند التفكير بتصميم قالب:

١- تحديد نسبة الانضغاط **Compression Ratio**:

وهي نسبة حجم مسحوق المادة قبل القولبة إلى حجمه بعد القولبة.

(نسبة الانضغاط لمادة HDPE هي 2).

(نسبة الانضغاط لمادة UP هي 1.8-2.5).

٢- تحديد انكماش القطعة **Mold shrinkage**:

وهو مقدار تقلص أبعاد المنتج المقولب عن البعد الأصلي بعد أن يبرد.

(نسبة الانكماش لمادة HDPE هي 0.02-0.05).

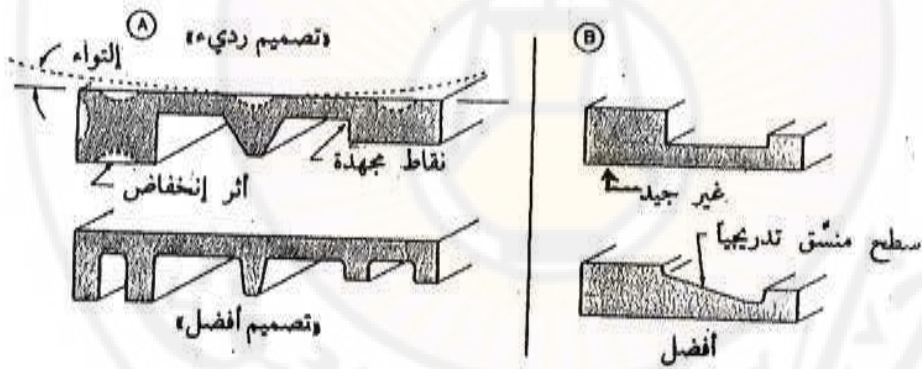
(نسبة الانكماش لمادة UP هي 0.003-0.010).

٣- حساب أبعاد القالب والتفاوت المسموح به:

بالنسبة للمعدن الذي لا يلامس المادة البلاستيكية فالتفاوت يؤخذ بحدود (± 0.2) . أما بالنسبة للمعدن الذي يلامس المادة البلاستيكية فيضاف عامل الانكماش إلى الأبعاد.

٤- تحديد سماكة جدران المنتج بالشكل المناسب:

إن السماكة يجب أن تكون ملائمة لحالات الاستعمال، ومحققة المتانة الكافية. إن سماكة الجدار المنتظمة تساعد في تفادي الإجهادات الداخلية وتحطم أو تصدع أو تشوه المادة. إذا كان لابد من اختلاف السماكة فيجب اللجوء إلى استخدام السماكة التدريجية كما بالشكل (17).



الشكل (17)

٥- ميلان السطوح:

يجب استخدام مبدأ الاستدقاق Taper (وهو ميل زاوي بسيط في جدران القالب) لتسهيل لفظ المنتج، ويمكن أن يكون داخل المنتج أو خارجه، تختلف درجة الاستدقاق حسب طريقة القولبة وسماكة جدران المنتج ونوع المادة

البلاستيكية المقولبة وتكون درجة الاستدقاق في مواد (Tp) من ($1/2^\circ$) إلى (3°)، ويفضل أن يكون الاستدقاق من جانبي الجدار (الداخلي والخارجي). ويمكن تحديد أهم فوائد ميل الجدران بـ

- ١- تأمين انفصال جيد للقطعة المنتجة من معدن القالب أثناء اللفظ.
- ٢- تجنب حدوث تشوهات وخطوط وعلامات على سطوح القطعة المنتجة نتيجة الاحتكاك أثناء اللفظ.

٦- احتباس الغازات في القالب (تنفيس القوالب Vinting molds):
يعد التنفيس في القالب من أهم العوامل التي تؤثر في المنتج فوظيفة فتحات التنفيس إخراج الغازات الناتجة من التحلل بالإضافة إلى الهواء المحبوس داخل القالب أثناء الإغلاق، لأن الاحتباس داخل القالب يؤدي إلى:

- ١- تشكل فقاعات هوائية في المنتج.
- ٢- حدوث حروق في أطراف المنتج واضحة مائلة للون البني.
- ٣- حدوث نقص في أطراف المنتج في المناطق المحقونة وتكون محروقة وصلدة.

وكلما ازداد الضغط ودرجة الحرارة والسرعة ازداد حدوث النقص في الأطراف.

تكون فتحات التنفيس بطول عرض القالب كله وبعمق ($0.03-0.05 \text{ mm}$) وبعرض ($3/5 \text{ mm}$) وذلك حسب حجم القالب ومادته وسماكة المنتج. ويجب ملاحظة ضرورة صيانة وتنظيف الفتحات التي قد تنسد بسبب المواد الدهنية أو الغبار.

٧- تصميم خط الفصل للقالب (مستوى الوصل):

وهو المستوى الفاصل بين جزئي القالب ويحوي ثقب للتنفيس ويجب أن يكون على كامل محيط القطعة. إن تكرار فتح وإغلاق القالب يسبب له

الاهتراء مما يؤدي إلى عدم توافق خطوط الفصل للمنتجات البلاستيكية على نحو كبير. إن الاختيار المناسب لخطوط الفصل يمكن أن يوفر الكثير من تكلفة عمليات الإنهاء.

٨- تصميم الأعصاب Ribs والبروزات Bosses:

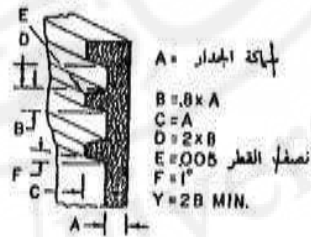
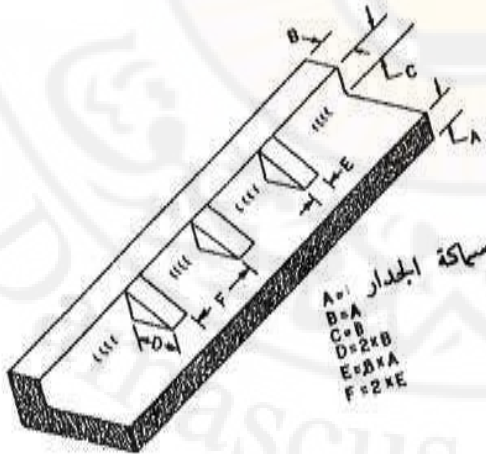
هدفها تجميع منتج مع منتج آخر كما مبثا زاوي بالشكل (18) هذه العناصر تشكل غالباً أعضاء بين منتجين، وقد ينكسر المنتج أو يكون معرضاً أكثر للإجهادات إذا لم توجد فيه أعصاب للتقوية.



الشكل (18)

٩- تصميم حواف التقوية Rim والوصلات الزاوية Gussets والتدوير:

الحواف هي بروز على محيط المنتج لزيادة متانتها، أما الوصلات الزاوية فتستخدم لتقوية الحواف والشكل (19) يبين ذلك. إن التدويرات بأنصاف أقطار مناسبة تقلل تركيز الإجهادات وتمكن من الحصول على تدفق خطي، وتبقى الزوايا نظيفة.

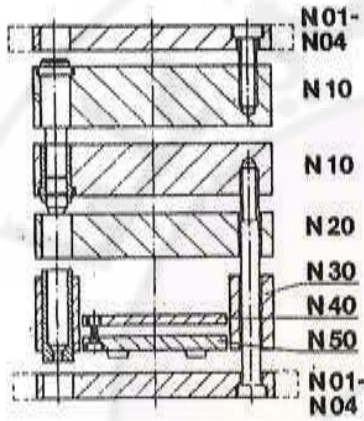


الشكل (19)

١٠ - الأوتاد المحاور، الجلب:

- وتد أو محور الدليل Guide Pin: هو الوتد الذي يحافظ على المحاذات لجزيئي القالب.

- جلبة الدليل Guide Bushing: وهي الجلبة التي تحدد وتحافظ على حركة وتد الدليل وتوضع غالباً في الجزء المتحرك من القالب.



- أوتاد القالب Mold pins:

مجموعة من الأوتاد الداخلة في

تركيب القالب لتؤدي مهام مختلفة

مثل وتد اللفظ Ejector pin، وتدد

الولائح Inserts hold pin. والشكل

(20) يبين طريقة تجميع الأوتاد

وجلب الدلائل بالقالب.

الشكل (20)

١١ - نظام اللفظ:

إن نظام اللفظ يهدف لتأمين وسيلة فعالة لإخراج القطعة المحقونة بعد تصلبها إلى خارج القالب، ويجب ملاحظة النقاط التالية:

- التوزيع الجيد للوافظ وذلك لإخراج القطع المحقونة بسهولة وبدون حدوث تشوهات أو استعصاءات باعتبار أن المواد البلاستيكية المحقونة لا تكون قد تصلبت بشكل نهائي.

- يجب أن يكون طول شوط اللافظ مناسب لضمان خروج القطعة من القالب.

- الأخذ في الحسبان القاعدة التالية "كلما زادت فعالية نظام اللفظ كلما زادت إنتاجية القالب".

- تحديد عدد اللواطف الضرورية وفقاً لنوع المادة البلاستيكية.

يتألف نظام اللفظ عموماً من:

١- بلاطة اللفظ وبلاطة ربط اللواطف وكراسي (*) اللفظ واللواطف (على

شكل أوتاد أو شفرات..).

٢- أوتاد الأمان Safety pins أو الإرجاع Push - Backs وهي الأكثر

استعمالاً في القوالب. تتحرك هذه الأوتاد مع تحريك اللواطف (عند

فتح القالب) إلى الأمام، ثم تتراجع نحو الخلف لتعيد صفيحة اللواطف

إلى مكانها عند إغلاق القالب.

٣- النوابض springs وتستخدم أحياناً لإرجاع نظام اللفظ إلى مكانه عند

إغلاق القالب. يعتمد عدد النوابض اللازمة لأي قالب على حجم

القالب واستطاعة الآلة.

١٢- نظام التبريد Cooling system design :

تحقق المواد البلاستيكية داخل القالب مصهورة أي بدرجة حرارة عالية. يتم

تصريف جزء من هذه الحرارة عن طريق التوصيل والإشعاع إلى جسم

القالب، أما الجزء الآخر فيتم تصريفه عن طريق دائرة تبريد داخل القالب.

يجب أن لا ترتفع حرارة القالب عن حد معين لأن هذا سينعكس سلباً على

زمن تجمد المنتج وبالتالي يزيد من زمن الدورة الإنتاجية، وبشكل عام

يتناسب زمن تصلب المادة في القالب طردياً مع مربع سماكة جدران القطعة.

تقوم دائرة التبريد بسحب الحرارة المنتقلة إليها من المادة المصهورة

وتصريفها إلى الخارج.

(*) - parallels وهي قطع معدنية متوازية المستطيلات.

تتألف دائرة التبريد المستخدمة للماء غالباً من مجموعة من الأقنية موزعة بأشكال مختلفة وبما يتناسب مع شكل وحجم القطعة المحقونة والقالب. ويجب أن نلاحظ أن تمرير دائرة التبريد بحيث لا تتعارض مع نظام اللفظ يعدّ عملاً تصميمياً ناجحاً لأنه يزيد من مردود الإنتاج. وملاحظة لا يمكن تجاهلها بتوجب الأخذ في الحسبان دراسة بعد الدائرة عن جدران الطبعة، فإذا كانت قريبة فقد يحدث انهيار بالجدار بسبب ضغط الحقن في الطبعة، وإن كانت بعيدة فيحدث عدم تجانس في تبريد القطعة.

١٣ - الولايج Inserts:

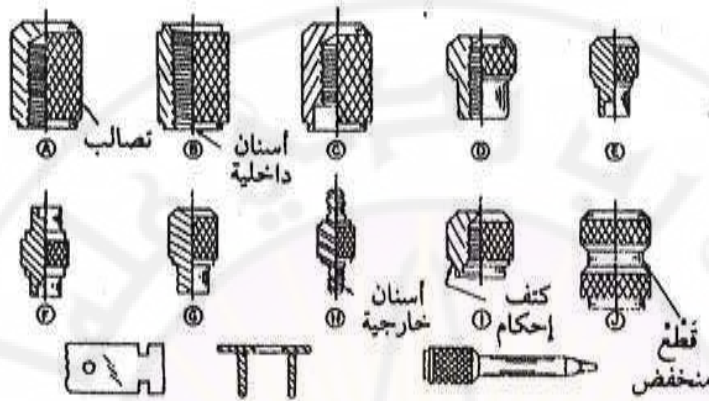
إن الوليحة عبارة عن قطعة مصنعة من مادة تختلف عن المادة المحقونة (غالباً معدنية)، يتم تركيبها ضمن جسم القالب وتحقن المادة البلاستيكية حولها لتصبح جزءاً من القطعة المحقونة.

تصمم الولايج بحيث يتم التأكد من سلامة تثبيتها في المنتجات البلاستيكية لتفادي دورانها ضمن المنتج أثناء الاستعمال أو خروجها منه، تستخدم أحياناً ولايج خشنة أو متصالبة أو مخرشة لزيادة المتانة. كما أن الجدار البلاستيكي المحيط بالوليحة يجب أن يتمتع بسماكة كافية لمنع التصدع الناتج من تعاقب التسخين والتبريد وتأثير مرور الزمن.

وبين الشكل (21) بعض أنواع الولايج المستخدمة في المنتجات البلاستيكية المقولبة.

تستعمل الولايج كثيراً في الحالات التي يطلب فيها تشكيل قلاووظ ذكر أو أنثى ضمن القطعة المحقونة وذلك لاستخدامها في عمليات الربط المختلفة. عند استخدام الولايج في القوالب فإن طبيعة العملية الإنتاجية سوف تختلف عن شكلها التقليدي. إن الحاجة إلى تركيب الولايج بكل شوط من أشواط

الحقن يحتم على المصمم مراعاة تأمين مدخل سهل للوصول إلى مكان تركيب الولايج في القالب من قبل العامل.



الشكل (21)

١٤ - القوالب العيارية:

نظراً للتشابه الكبير في البنية الأساسية لقوالب الحقن فقد تولدت فكرة إيجاد قوالب عيارية جاهزة باستثناء الأمور التي تتعلق بشكل القطعة المنتجة أي الطبعة ومجاري التغذية ونظام اللفظ ودارة التبريد. إن هذه الفكرة اقتصادية بالدرجة الأولى لأن تكاليف الأعمال المرتبطة بتصنيع بلاطات القالب والدلائل والقطع الأخرى وما يتبع ذلك من أعمال (قص وجلخ وتنعيم وخرطة...) ستكون مرتفعة أكثر مما لو اشتريت جاهزة، بالإضافة إلى الزمن الممكن اكتسابه.

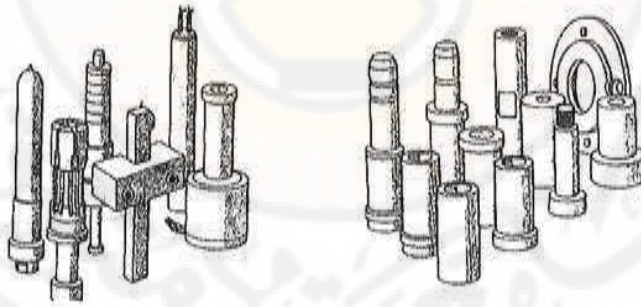
إن استخدام القوالب العيارية له ميزات وكذلك مساوئ لا بد من التنويه لبعض منها:

الميزات:

- ١- الاقتصاد بالزمن سوء من الناحية التصميمية أو من ناحية عمليات التشغيل.
- ٢- سهولة تقدير تكلفة قالب.
- ٣- عدم الحاجة لتخزين البلاطات والمواد الأخرى وما يتبع ذلك من احتياجات.

المساوئ:

- ١- إن حجم القوالب وسماكة البلاطات تكون صغيرة نسبياً.
 - ٢- الصعوبة التي تواجه المصمم عند تحديد مسار دائرة التبريد نظراً لوجود المحاور والدلائل والبراغي في أماكن محددة مسبقاً.
 - ٣- غالباً ما يكون شوط اللفظ والبعد بين كراسي اللفظ كبير، وهذا ما يستدعي الحاجة لإجراء ترتيبات خاصة لتلافي ذلك.
- والشكل (22) يبين قالب عياري للحقن مع بعض القطع العيارية.



الشكل (22)

- ١٥- المعادن المستخدمة في صناعة القوالب :
- يشكل الفولاذ القسم الأكبر من بنية القالب وأهم أنواعه:

١- الفولاذ الإنشائي: يستخدم في تصنيع جزء كبير من جسم القالب وخاصة أجزاء الدعم والربط واللفظ حيث يتميز بسهولة تشغيله وأدائه الممتاز للأجزاء المذكورة، إضافة إلى رخص ثمنه.

٢- الفولاذ الخلائطي : يجب أن يتمتع بالخواص التالية:

أ- لا يتشوه عند المعالجة الحرارية.

ب- مقاومة جيدة لـ :

- الصدأ

- الضغوط العالية.

-التفاعلات السطحية.

ج- اقتصادي وقابلية تنعيمه وتلميعه ممتازة.

على المصمم اختيار الخليطة التي تحقق أكثر ما يمكن من هذه الخواص مع مراعاة الكلفة الاقتصادية، وأهم هذه الخلائط:

- خليطة AISI P20 (فولاذ - كروم - مولبيديوم) وهي اقتصادية وتتميز بمقاومتها العالية للاهتراء وقابليتها الممتازة للتنعيم والتلميع.

- خليطة Polseter steel : وهي من خلائط فولاذ العدة الكربوني. يمكن

استخدام هذه الخليطة في تصنيع القوالب التي لا يطلب منها مواصفات عالية.

- خلائط AISI D2 - AISI D3: تستخدم في تصنيع قوالب الحقن التي يتم

الإنتاج عليها مدة طويلة من الزمن وتستخدم البوردة. وهذه الخلائط مناسبة

لعملية الطلاء الكهربائي بالكروم.

- خلائط AISI H13: تستخدم في صناعة الأجزاء المتحركة في القالب

والمعرضة للاحتكاك بشكل كبير (لوافظ، محاور، جلب...).

والجدول التالي يبين أجزاء القالب والآلة مع الفولاذ المستخدم ومقاومة الانهيار.

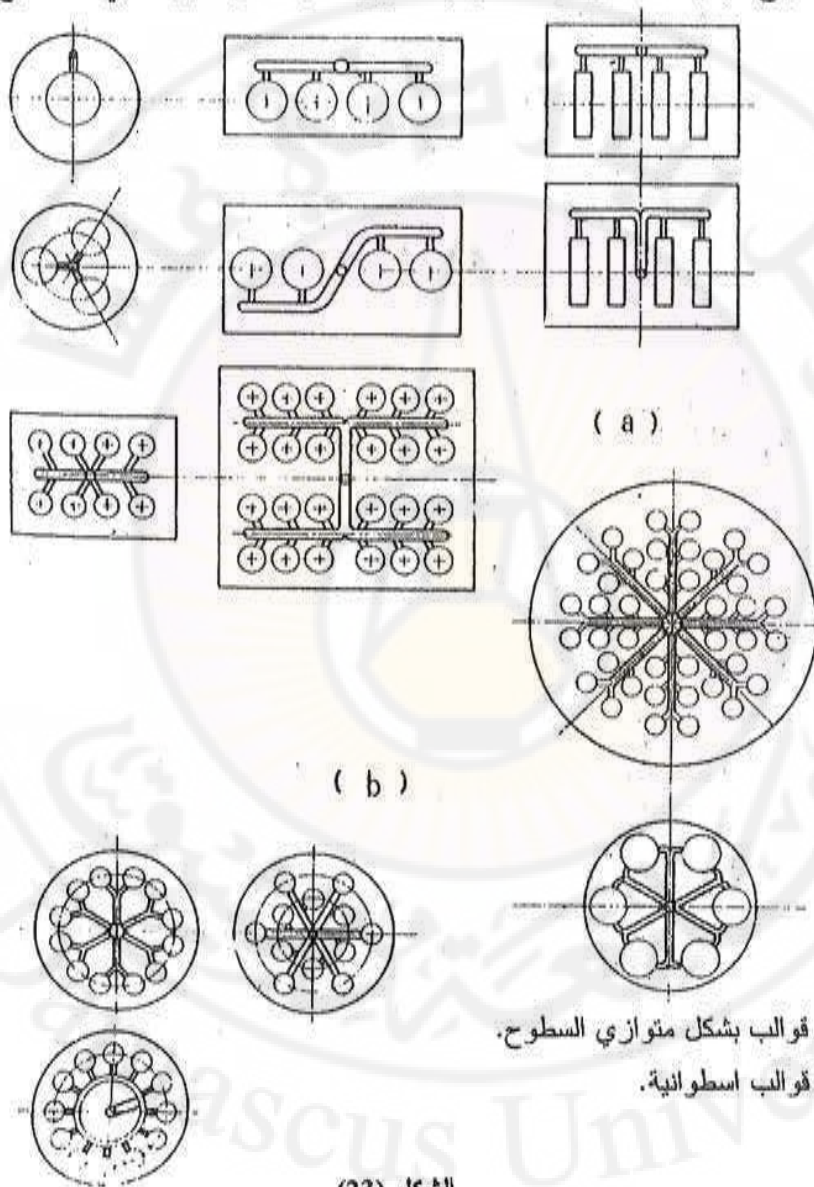
الفلاد		
مقاومة الانهيار		
مقاومة الانهيار	التسمية	جزء القالب
daN/ mm ² 80-90	XC 38 ou XC 42	قطع التركيب: دعامات. طوق حديدي.
180 180 90-100	16 NC 6 40 NC 17 XC 48	عناصر متحركة : حلقات التوجيه. قاذف (لافظ) القطع. الجزء الخلفي للقالب.
190-200 180-200 180-200 180-200 160 150-200	40 NC 15 50 NC 15 Z 200 C 13 Z 200 C 13 XC 12,10 N8, 40 NC15, Z200 C13 30NC 11, 35 NC 15, 80 M8, Z 200C 13, Z 30 C 13, Z 60 CD 14.	أجزاء القولية: فتحة الحقن أسطوانة التحويل مكبس التحويل الأداة الضاغطة طبغات قسرية طبغات مصنعة

١٦- توزيع الطبغات :

- في حالة القوالب المتعددة الطبغات يجب تحقيق الشروط التالية قدر الإمكان:
- ١- يجب أن يحتل التوزيع أقل مساحة ممكنة من القالب.
 - ٢- يجب أن تكون أفنية التوزيع أقصر ما يمكن وذلك لتخفيض الفقد بالحمل.
 - ٣- يجب تجنب توزيع الأفنية الغير متماثل.
 - ٤- يجب توفير توازن بين ضغط الحقن وضغط إغلاق القالب كي لا نحصل على منتجات بزوائد بلاستيكية.
 - ٥- يجب توفير ضغوط حقن متوازنة ضمن القالب كي لا يحدث إهتراء في محاور إنزلاق الآلة من جهة، وظهور عزوم ميكانيكية داخل القالب تؤدي

إلى حدوث إعاقة في عمليات فتح وإغلاق القالب وظهور زوائد بلاستيكية من جهة أخرى.

يمكن استخدام التوزيعات المبينة بالشكل (23) حيث (a) تمثل بشكل متوازي السطوح، (b) تمثل قوالب أسطوانية تكون غالباً أكثر سهولة في التصنيع.

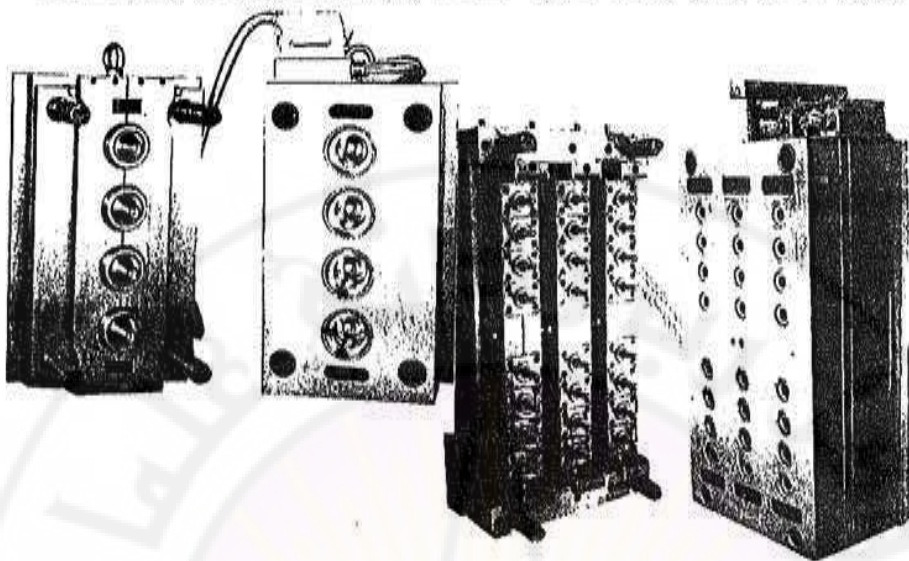


(a) قوالب بشكل متوازي السطوح.

(b) قوالب أسطوانية.

الشكل (23)

ويبين الشكل (24) قوالب حقيقية أحدهما (4) طبعات والآخر (24) طبعة.



الشكل (24)

تغذية الطبقات :

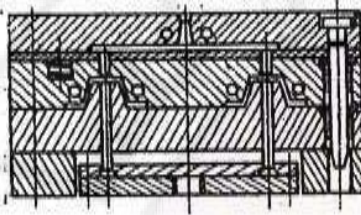
يتم تغذية الطبقات بصورة عامة عن طريق موجود داخل القالب تسلكه المواد البلاستيكية المصهورة من فوهة الحقن وحتى الطبعة ويتألف من:

١- جلبة الحقن: وهي جلبة معدنية تنقل المواد البلاستيكية من فوهة حقن الآلة إلى مجاري التغذية أو إلى الطبعة مباشرة في حالة القوالب ذات الطبعة الواحدة.

٢- مجاري التغذية: وتصل بين جلبة الحقن وبوابة التغذية. يجب تحديد مساحة مقطع مجاري التغذية بدقة كبيرة لتحقيق إملاء جيد للطبعة بأقل زمن وبأقل ضغط حقن وكذلك بأقل استهلاك للمواد البلاستيكية في مجاري التغذية.

٣- بوابة التغذية: هي عبارة عن تضيق في مجرى التغذية في منطقة دخول المواد البلاستيكية إلى الطبعة.

ويمكن أن تغذى الطبقات بواسطة مدخل مخروطي عريض قاعدته بحدود (5-12mm) حيث يصب غالباً على لوحة ومن ثم في الأقنية الدقيقة جداً. التغذية الشعرية يمكن أن تكون عمودية على القطعة في مستوى الوصل للقالب أو من الأسفل. المادة البلاستيكية في قسم التغذية من القالب تتجمد عند التبريد وتشكل العقب أو الجزرة لذا يجب تقليل هذه الظاهرة ما أمكن والأشكال التالية تبين عدة حلول للتغذية:

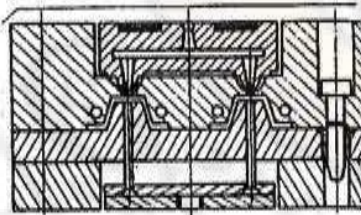


الشكل (25)

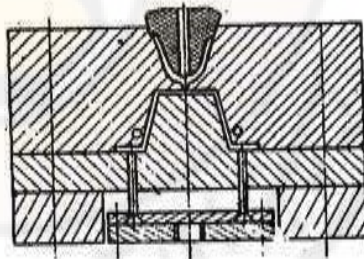
الشكل (25) يبين تغذية شعرية دقيقة لقالب متعدد الطبقات حيث نلاحظ أن المادة البلاستيكية المحقونة تصب على لوح قبل أن تدخل الأقنية المؤدية إلى طبقات القالب.

الشكل (26) يبين التغذية لطبقة واحدة بواسطة ثقب دبوس.

الشكل (27) يبين قالب متعدد الطبقات وأقنية مسخنة، القسم العلوي، يتضمن



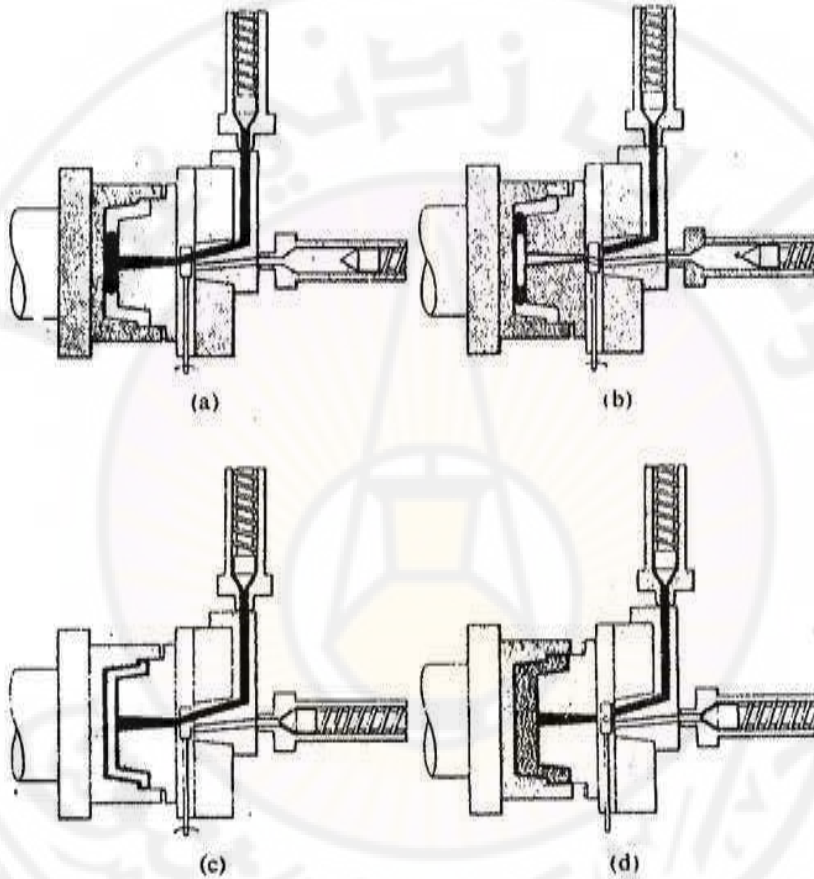
الشكل (27)



الشكل (26)

العقب (الجزرة) وأقنية التوزيع تكون مسخنة ومعايرة بحيث أن المادة التي تحويها تبقى مصهورة، هذا النوع من القوالب يستخدم لحقن الأدوات ذات الجدران الرقيقة (كؤوس) وتسمح بإنتاج أدوات ذات سماكات صغيرة حتى (0.4 mm) من البولي ستيرن (PS).

كما ذكرنا سابقاً، القوالب الوحيدة الطبعة أقل تعقيداً وأسهل استعمالاً ويمكن أن تستخدم لحقن مادتي بلاستيك مختلفتين داخل بعضهما البعض والشكل (28) يبين مراحل هذه العملية.



الشكل (28)

- (a) - حقن مادة الغلاف الخارجي (القشرة). (b) - حقن مادة القلب (الحشوة).
- (c) - انتهاء حقن مادة الغلاف التي تأخذ شكل القالب.
- (d) - القالب يفتح جزئياً لإتمام حقن مادة الحشوة وفق السماكة المطلوبة.

القواعد العامة المتبعة لتصنيع القوالب: للحصول على قالب جيد للاستعمال
للاغاية المقصودة وبشروط اقتصادية ملائمة يجب اتباع القواعد التالية:

١- ما يتعلق بالقطعة المراد إنتاجها :

يجب وضع مشروع كامل مفصل تماماً عن القطعة المراد إنتاجها. تصنيع النموذج الأصلي بالتأكيد يأخذ وقتاً وأكثر كلفة من المكرر. بالرغم من كل الاحتياطات الممكنة يجب مراعاة ما يلي:
أ- تجنب الميلان المعاكس الذي يؤدي إلى قالب متعدد القطع، غالي الثمن، صعب الاستعمال ومردوده ضعيف.

ب- وضع سماكة مناسبة للجدران بحيث تكون الصلابة والمقاومة الميكانيكية كافية.

ج- تخفيف الزوايا الحادة بتأمين اتصال السطوح المستوية بالانحناء.
الزوايا الحادة دائماً تشكل نقاط ضعف في مقاومة القطع وتعميق عملية إخراج القطع من القالب كما تعقد صنع القالب.

٢- ما يتعلق بألة الحقن:

يجب دراسة ما يلي:

أ- تحديد حجم القالب من حيث الطول والعرض والسماكة ومقارنة ذلك مع قياسات الأماكن التي سوف يركب عليها.

ب- إمكانية استخدام مجاري تثبيت القالب الموجودة في بلاطات التثبيت في آلة الحقن لتثبيت القالب وفق أبعادها النهائية المتوقعة.

ج- حساب ضغط الأطباق اللازمة للقالب ومقارنته مع ضغط إطباق آلة الحقن المستخدمة.

- د- طول القالب ومقارنته مع شوط فتح آلة الحقن.
- هـ- مقارنة وزن الريزين الذي تحقنه الآلة مع وزن القطعة المحقونة ومجاري التغذية.
- و- معدل تلدين الآلة ومقارنتها مع كمية الإنتاج المطلوب بالساعة.
- ٣- اختيار المادة المقولبة:
- يكون اختيار المادة المقولبة كتابع للخواص التي يجب أن تتصف بها القطعة المنتجة (مقاومة ميكانيكية، خواص كهربائية، الهيئة...)
- ٤- تراجع المادة البلاستيكية:
- يجب الانتباه وعدم النسيان أبداً تراجع الريزين الاصطناعي خلال عملية القولبة والتي تكون بحدود (0.6-0.9%).
- ٥- تكاليف القوالب:
- كلفة القوالب مرتفعة بشكل عام، والأسعار تتناقص عند الكميات الكبيرة والقوالب ذات الطبقات المتعددة أكثر كلفة من قوالب الطبعة الواحدة.
- ٦- صيانة القوالب:
- يجب أن تتظف القوالب دورياً لأنها تتسخ إما ببقايا المادة في بعض الأجزاء، وإما بعد استعمال زائد لوسيط لإخراج القطع بعد عملية القولبة.
- ٧- الأمن والحماية للقوالب والآلات :
- الحماية من الآلات توفر بوساطة لوحات واقية ولوحات واقية للمناطق الخطرة، هذه اللوحات تمنع أي تشغيل للألة طالما كانت مرفوعة. مجموعات الخلايا والقواطع تستخدم كذلك للحماية.
- حماية القالب تتركز على توفر عدم بقاء أي قطعة مصنعة داخل القالب بنهاية الدورة الإنتاجية. بالآلات اليدوية والنصف أوتوماتيكية نؤمن هذه الناحية بوساطة العامل أما بالآلات الأتوماتيكية فالحماية نؤمن بوساطة الإغلاق تحت

ضغط ضعيف ومراقبة القطع بمساعدة الميزان الذي يبدأ الدورة الإنتاجية الجديدة.

٨- يعتبر تصنيع القالب أدق الصناعات الميكانيكية، وهي تستخدم غالباً آلات التشغيل المعروفة منها:

١- آلات التشغيل العامة: المخارط، المقاشط، آلات الجلف، آلات التفريز، المثاقب.. إلخ.

٢- آلات التشغيل الخاصة: الفارزات الناسخة، آلات الحفر بالشرر.. إلخ.
يجب الإشارة إلى أن تصنيع القوالب أصبح أقل صعوبة بسبب وجود قطع وعناصر ستاندر (دعامات، أطواق، لوافظ... إلخ).

الباب السابع

الفصل الأول: اختبارات المواد البلاستيكية

الفصل الثاني: المواد الإضافية

الفصل الثالث: معلومات عامة

- الجزء الأول : التأثير على البيئة وإعادة تدوير

المواد البلاستيكية

- الجزء الثاني: الجديد في المواد البلاستيكية.



الفصل الأول

اختبارات المواد البلاستيكية

مقدمة:

يتعلق نوع الاختبار المطبق على المواد البلاستيكية بنوع التطبيق العملي الذي ستؤديه حيث أن هناك اختلاف في الخواص بين المواد إضافة إلى اختلاف طبيعي بخواص المادة نفسها وذلك حسب المؤثرات (كالطريقة التي يتبعها المصنع وظروف الاختبار وتصميم المنتج). لذا يفضل دوماً إجراء اختبارات وفق ظروف وشروط التصنيع والاستعمال وأهم الاختبارات التي تجرى على المواد البلاستيكية بصورة عامة :

- ١- اختبار التحليل الميكانيكي الديناميكي.
- ٢- اختبار الزحف.
- ٣- اختبار الشد .
- ٤- اختبار الضغط.
- ٥- اختبار القص.
- ٦- اختبار الانعطاف (الانعطاف - الصلابة).
- ٧- اختبار معامل الاحتكاك.
- ٨- اختبار الاهتراء.
- ٩- اختبار الصدم.
- ١٠- اختبار القساوة.
- ١١- اختبار نقطة الانصهار.
- ١٢- اختبار معدل تدفق الانصهار.
- ١٣- اختبار نقطة فيكات لمواد البلاستيك الحراري.

١٤- اختبار حرارة الانصهار، البلورة، ودرجة الانصهار، ودرجة التحول الزجاجي.

١٥- اختبار امتصاص الماء.

١٦- اختبار رطوبة الريزين.

١٧- اختبار مقاومة البلاستيك للكاشف الكيميائي.

١٨- اختبار الناقلية الحرارية.

١٩- اختبار الخواص البصرية.

٢٠- اختبار التصدع الإجهادي.

٢١- اختبار معامل التمدد الحراري.

٢٢- اختبارات الاحتراق.

٢٣- اختبارات الخواص الكهربائية (مقاومة القوس الكهربائية - المتانة الكهربائية - ثبات العازلية - عامل التبدد الكهربائي).

١- اختبار التحليل الميكانيكي الديناميكي: الشكل (1)

Dynamic Mechanical Analysis

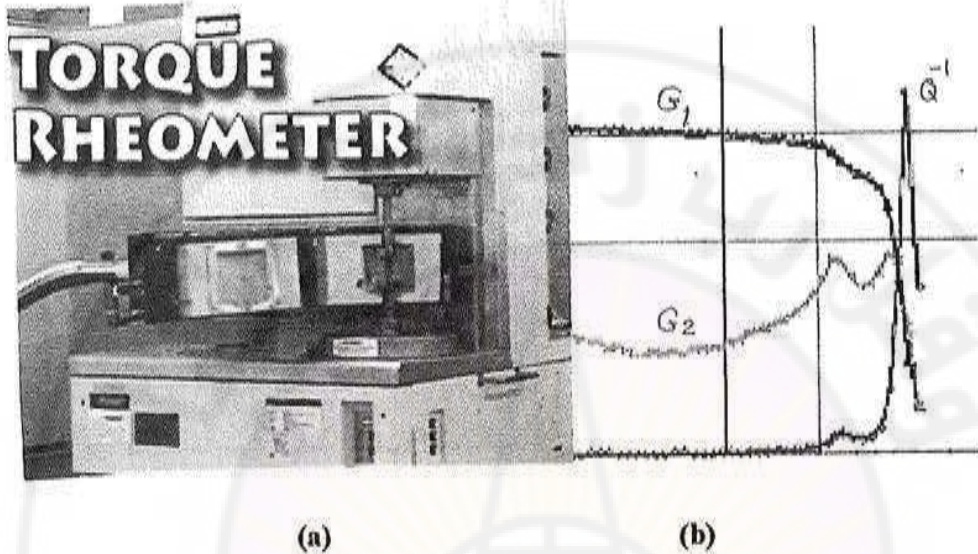
test ASTM D4065 , D4440 , D5279

إذاً هذا الاختبار يحدد عامل المرونة (G'')، ويحدد كذلك عامل اللزوجة (G') أو عامل الفقد (G'') وكذلك المقدرة على التخامد (Q^{-1}) كناتج لدرجة الحرارة والتردد.

تكون النتائج عبارة عن مخطط يبين قيم (Q^{-1}) و (G') و (G'') بوصفها تابعاً لدرجة الحرارة ويمكن أن تستخدم بعمليات تطوير الإنتاج وتحديد مناطق عدم انتظام Amorphe في البلاستيك والزجاج (في حالة التسليح).

تتلخص إجراءات الاختبار بوضع العينة ($76 \times 13 \times 13$ mm) بين ممسكين أحدهما ثابت والآخر قابل للحركة، ثم توضع العينة في حجرة حرارية مغلقة. يطبق على العينة اهتزازات فتل بحدود (3°) مع رفع درجات الحرارة بشكل بطيء ضمن مجال وتردد محددين.

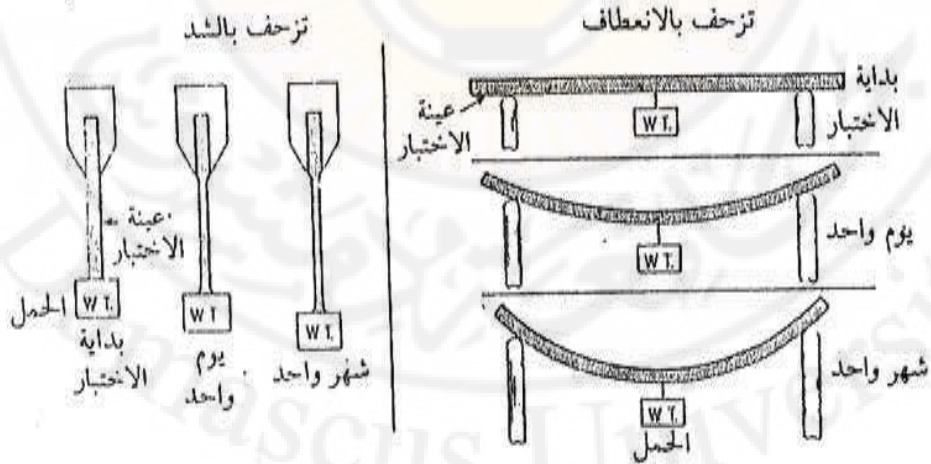
يبين الشكل التالي الجهاز المستعمل (a) وبعض نتائجه (b) (يحبذ العودة إلى الباب الثاني - الفصل الثاني من هذا الكتاب للاطلاع بتفصيل أكثر).



الشكل (1)

٢- اختبار الزحف : Greep test : ASTM D.674 : الشكل (2)

الترحف



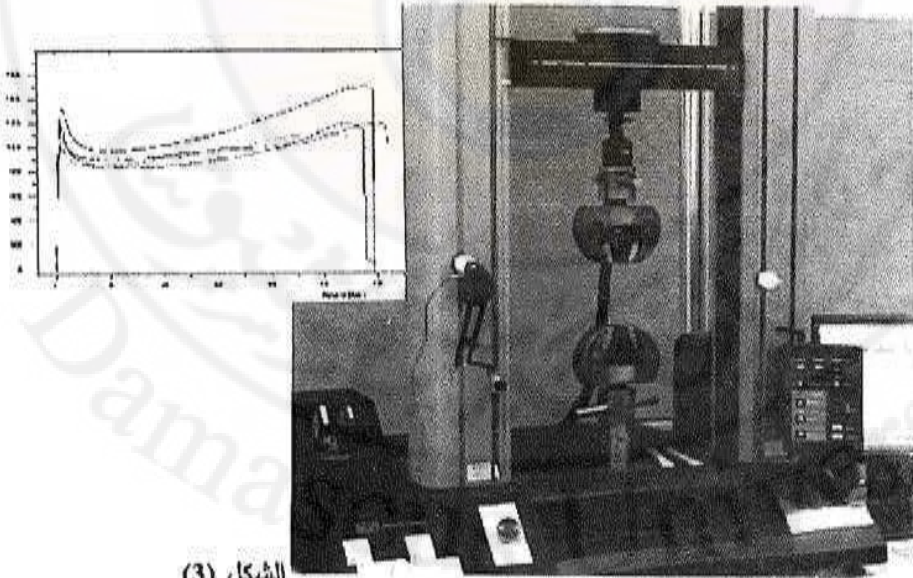
الشكل (2) طريقة اختبار الترحف

ويعبر عنه بنشوه المادة البلاستيكية بمرور الزمن عندما يتم تحميلها بحمل. وتتم عملية الاختبار بتثبيت العينة بدرجة حرارة ثابتة ويعلق بها الحمل، ويمكن إجراء الاختبار بنفس الطريقة (الانعطاف) ويتم قياس مقدار التشوه خلال ساعة، يوم، شهر... وينتهي الاختبار عندما يصبح التشوه ثابت.

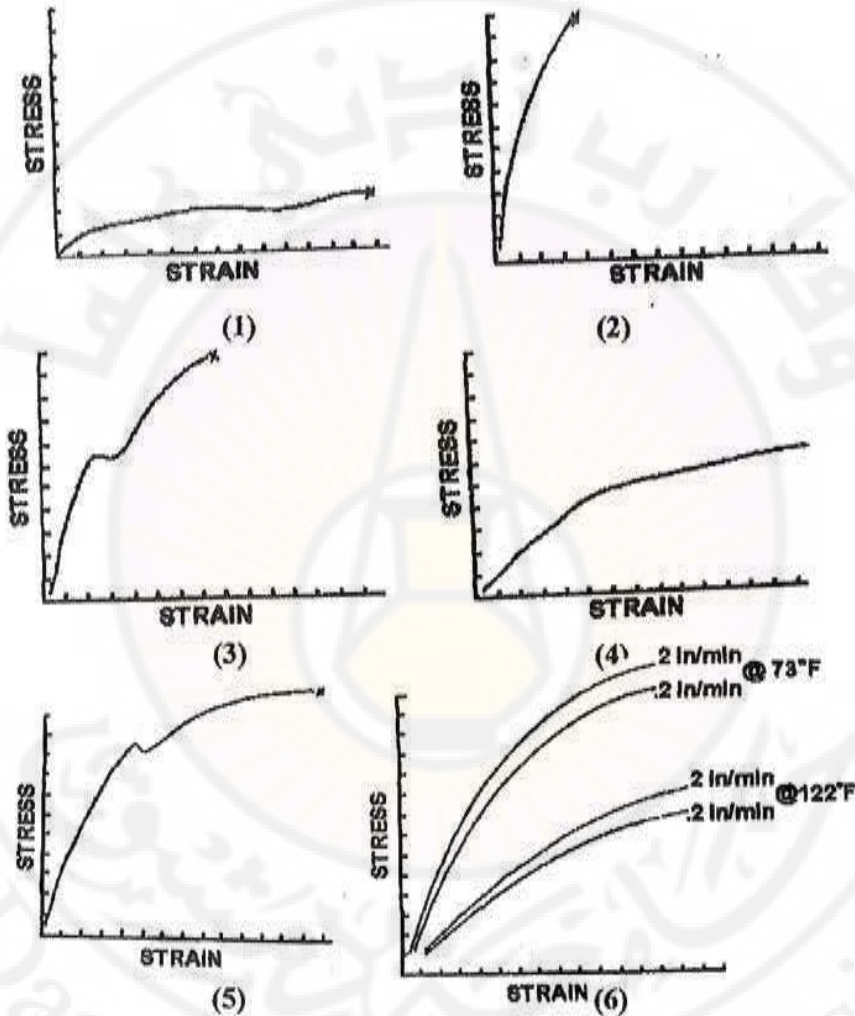
٣- اختبار الشد : ASTM ISO 527 D 638 Tesile test

ويعبر عن سلوك المادة عندما تتعرض إلى قوة شد من الطرفين. يتم في هذا الاختبار معرفة مدى قوة تحمل العينة للشد عند درجات الحرارة المناسبة لاستخدامك هذا النوع من البلاستيك حيث تقاس قوة الشد والاستطالة وعامل المرونة والإجهاد ومدى تغير في التركيب مع تغير درجة الحرارة (الثبات الحراري).

إن هذه المقادير هامة بالنسبة للمصمم لأن التصميم سيتم على أساسها. تستخدم عينات نظامية بأبعاد محددة. وللآلات المستخدمة أنواع كثيرة والشكل (3) يبين نوع من آلات الشد مع العينة النظامية ومخطط صغير للإجهاد والانفعال.



أما المنحنيات المبينة بالشكل (١) ستبين مخططات الإجهاد - الانفعال لعدد من المواد التي تتراوح بين الطرية جداً والصلابة. ويوضح المخطط (6) من هذه المجموعة العلاقة بين الإجهاد - الانفعال عند تطبيق الحمل بسرعة وبدرجات حرارة مختلفة.



- 1- soft & weak Material
- 3- Hard & strong Material
- 5- Hard & tough Material

- 2- Hard & Brittle Material
- 4- soft & Tough Material
- 6- High speed-Temperature

الشكل (4)

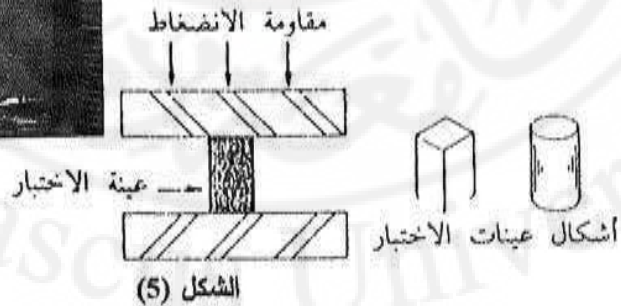
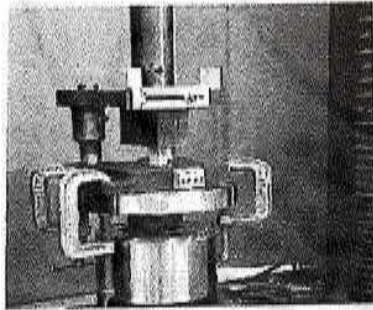
٤- اختبار الضغط: ASTM D695 Pressure test

إن خواص الانضغاط تصف سلوك المادة البلاستيكية عندما تتعرض إلى حمل ضغط متناقص نسبياً وبمعدل منتظم. إن متانة الانضغاط ومعامله هما أكثر القيم المستحصل عليها بشكل عام .
حمل الضغط الأعظمي

$$\text{معامل الانضغاط} = \frac{\text{مساحة المقطع العرضي الأصغري}}{\text{التغير في الإجهاد}}$$

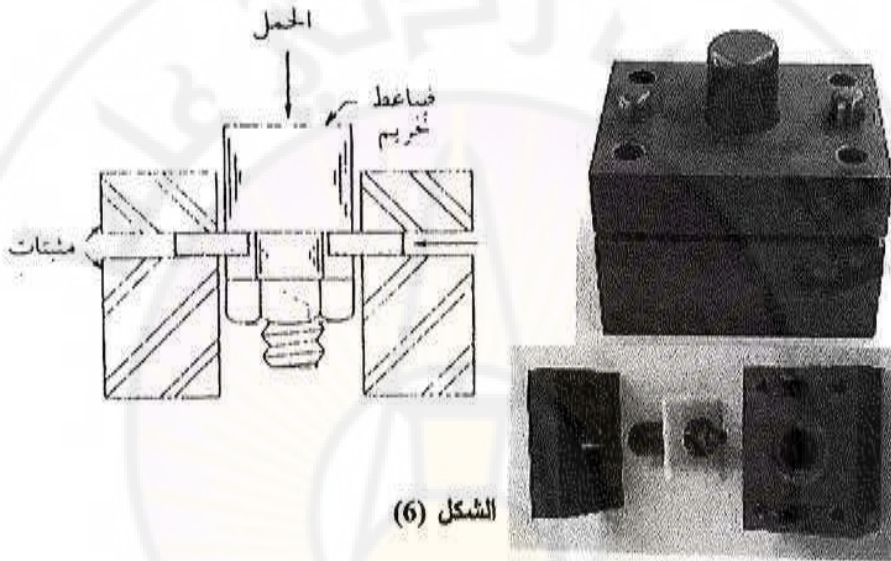
$$\text{متانة الانضغاط} = \frac{\text{التغير في الإجهاد}}{\text{التغير في الانفعال}}$$

يتم إجراء الاختبار بوضع العينة (مادة بلاستيكية) بين صفيحتي الضغط الموازييتين لسطح العينة حيث تتضغط بمعدل منتظم (بالتدريج) حتى نقطة الانهيار، حيث يحدد بالتالي متانة الانضغاط للمادة استناداً إلى الحمل الأعظمي للانضغاط والذي يؤخذ من بيانات الإجهاد والانفعال. والشكل (5) يبين اختبار الضغط والجهاز المستعمل.



٥- اختبار القص : shear test ASTM D732

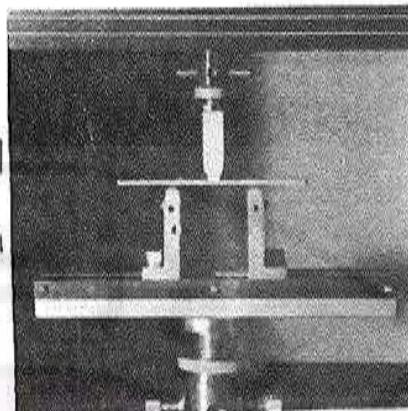
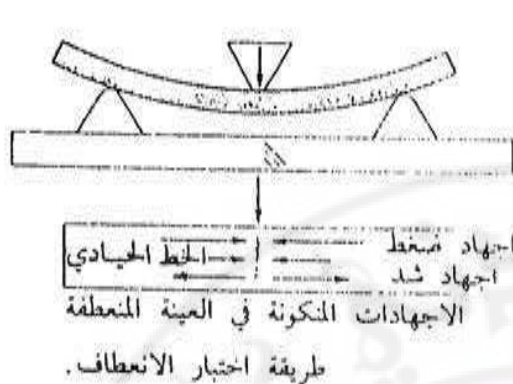
الهدف من هذا الاختبار هو معرفة القوة اللازمة لإحداث ثقب عبر صفيحة بلاستيكية وتحسب المقاومة من قسمة الحمل على مساحة حافة القرص (محيط الثقب × سماكة العينة).
وبين الشكل (6) آلية وجهاز هذا الاختبار.



٦- اختبار الانعطاف (الثني) : Flexural test

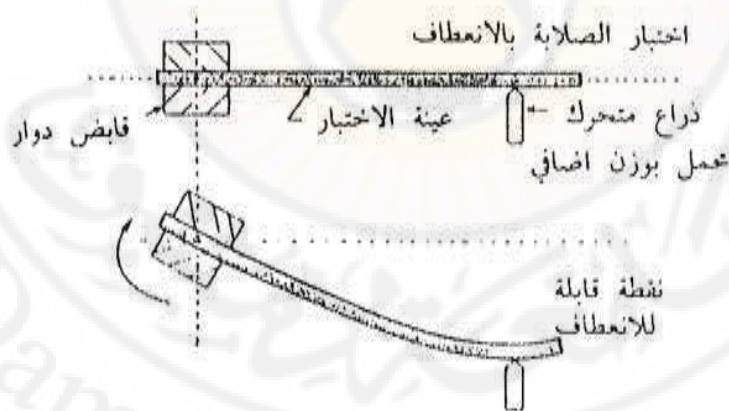
ASTM D 790 - D 747

أ- مقاومة الانعطاف : Flexural strength وهي مقاومة المادة البلاستيكية للانحناء بتأثير إجهادات الانعطاف المطبقة على مركز جائز مرتكز على طرفيه كما بالشكل (7) يعبر عن مقاومة الانعطاف (الوزن / المساحة) ويتم قراءة المقدار بواسطة مقياس لحظة التحطم ويحدد هذا الاختبار عامل الانعطاف Flexural modulus وهو النسبة بين إجهاد الانعطاف إلى انفعال الانعطاف قبل أن يبدأ التشوه الدائم (التحطم).



الشكل (7)

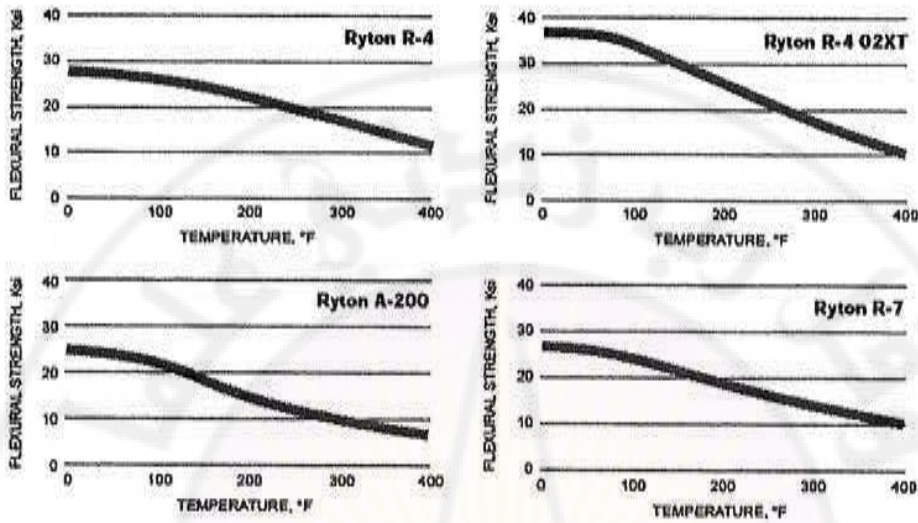
ب- اختبار الصلابة بالانعطاف stiffness in flexurl test : الشكل (8) ويتم قياس الصلابة بمعرفة الحمل وزاوية الانعطاف للعينة المختبرة. ويساعد هذا الاختبار في اختيار المادة البلاستيكية في التطبيقات التي تحتاج إلى مواد صلبة.



الشكل (8)

اختبار الصلابة بالانعطاف

والمنحنيات التالية تبين تأثير درجة الحرارة Temperature على خواص الانعطاف Flexural لمادة (PPS) كما بالشكل (9) .



الشكل (9)

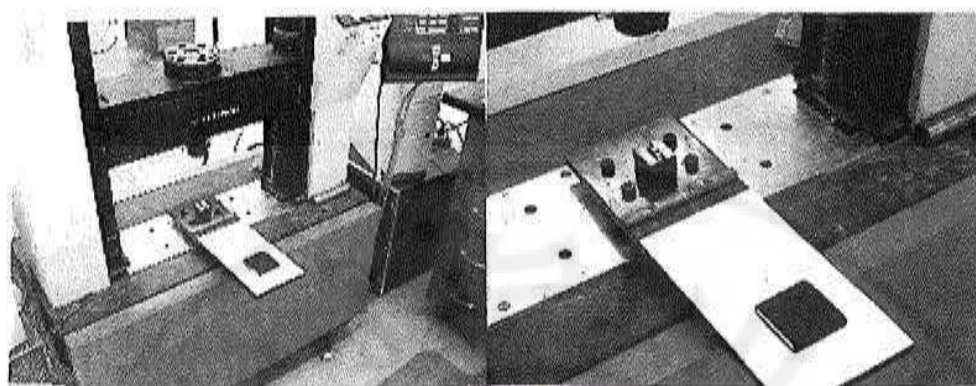
٧- اختبار معامل الاحتكاك: Coefficient friction test الشكل (10) ASTM - D 1894

يستخدم هذا الاختبار لتحديد المقاومة الستاتيكية والحركية الناشئة بين سطحين تنشأ بينهما حركة أو بدء حركة.

يتم الاختبار بربط العينة البلاستيكية بكتلة ذات وزن محدد قابلة للانزلاق تدفع الكتلة بسرعة (150 mm/min) وتقاس القوة اللازمة لتحريكها (الاحتكاك الستاتيكي) والقوة اللازمة للمحافظة على هذه الحركة (الاحتكاك التحريكي).

معامل الاحتكاك الستاتيكي يساوي إلى القوة اللازمة للتحريك مقسومة على وزن الكتلة.

معامل الاحتكاك الحركي يساوي إلى القوة الوسطية المقروءة على الجهاز وذلك خلال حركة انزلاقية منتظمة مقسومة على وزن الكتلة.



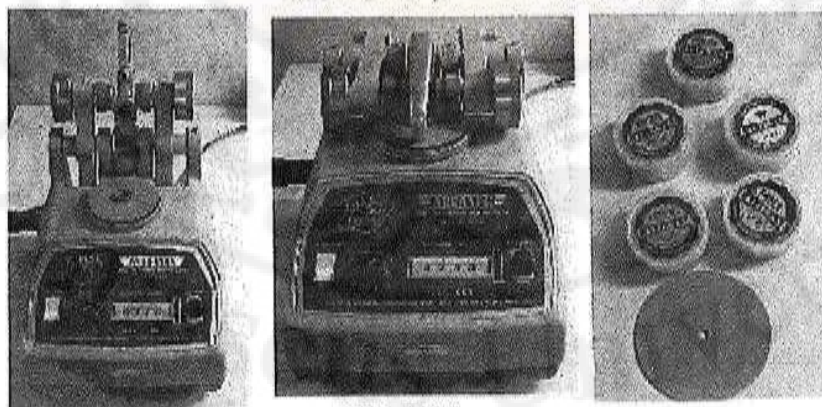
الشكل (10)

٨- اختبار التآكل أو الاهتراء: Abrasion test

ASTM , D1044 , DF 3389 , D 4060

اختبار التآكل هو لتحديد مقاومة البلاستيك للتآكل وتعرف بأنها قدرة المادة على مقاومة الفعل الميكانيكي (الاحتكاك، النحت...) ويعتمد هذا الاختبار على معرفة الفقد بالوزن.

تتلخص طريقة الاختبار بوضع العينة (250 , 500 1000 gr) على آلة لها دولاب دوار يقوم بحك القطعة البلاستيكية وهذا يسبب الاهتراء وبالتالي نقص وزن المادة والذي يقدر بـ mg/cycle .
والشكل (11) يبين الجهاز المستخدم والأقراص.

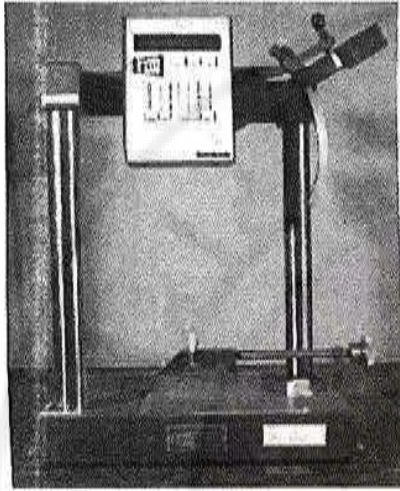


الشكل (11)

٩- اختبار الصدم: Impact test

ASTM D256 , ISO 180 , ISO 6603 , ISO 7765 , D 3763 ..

وهو مقدار الطاقة اللازمة لتحطيم عينة الاختبار بمطرقة أو بالسقوط الحر، وهناك عدة طرق لاختبار الصدم:



١- صدم يزود IZOD: وهو الأكثر شيوعاً لمعرفة مقاومة الصدم للمواد البلاستيكية. ويعرف بأنه الطاقة الحركية التي نحتاجها للبدء بالكسر واستمراره حتى التحطم للعينة بواسطة النواس (المطرقة) ويستخدم هذا الاختبار كفحص سهل وسريع لتحديد نوعية المواد ومقارنتها مع المتانة العامة. والشكل (12) يبين نوع من أنواع الأجهزة المستعملة في هذا الاختبار.

الشكل (12)

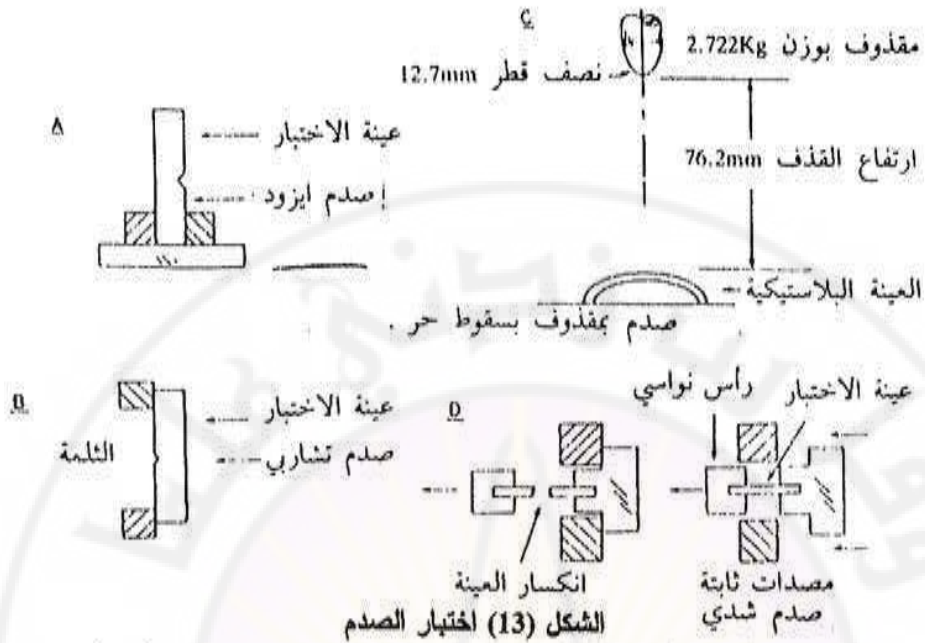
٢- صدم بالإسقاط الحر لكتلة (2.7 kg) من ارتفاع (76.2 mm) ويستخدم هذا الاختبار للمقارنة.

٣- الصدم الشدي : Tensile impact وتستخدم المطرقة الثابتة لكسر العينة وتسجل الطاقة الممتصة بوحدة (Kg.m) ويتم إجراء هذا الاختبار مع اختبار تشاربي المعدل والشكل (13) يبين أربعة أنواع لاختبار الصدم .

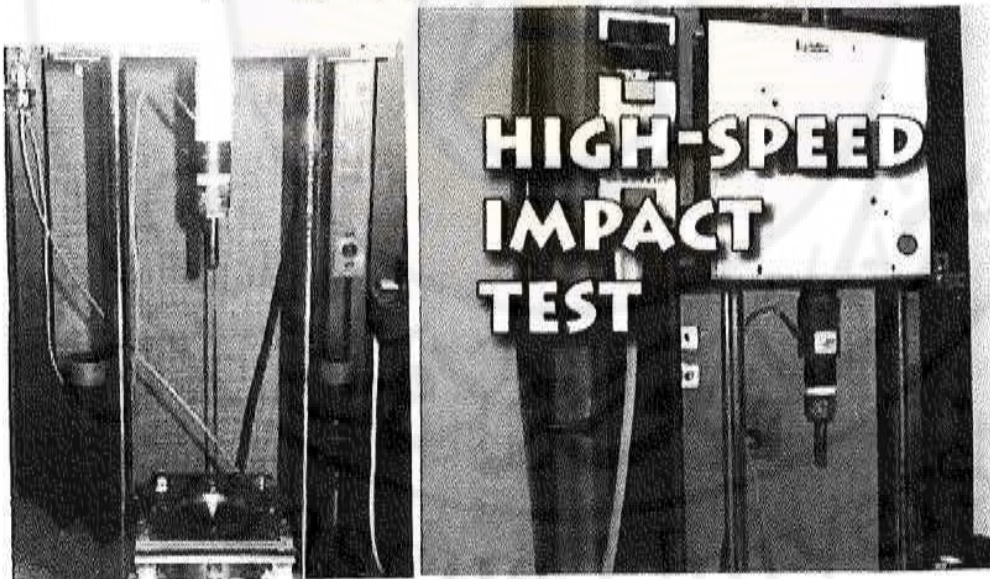
٤- اختبار الصدم العالي السرعة: High speed Impact test :

(14) الشكل ASTM - D 3763 , ISO 6603 , ISO 7765

إن اختبار الصدم ذا السرعة العالية يحدد المتانة ومنحنيات الانزياح الناتجة من الحمل والطاقة الكلية الممتصة أثناء الصدم. بما أن السرعة مقدار متحول يمكنها عندها أن تحقق أي مقدار للسرعة.



A- اختبار ايزود. B- اختبار تشاريبي. C- اختبار بمقدوف [وزن الكتلة القذف (2.7 kg) - نصف قطر المقدوف 12.7 mm]. D- اختبار الصدم بالشد.



الشكل (14)

إن اختبار الصدم المعقد هذا يوفر منحنيات القوة والطاقة وذلك بالنسبة لأجزاء من الألف من الثانية من زمن الصدم وذلك باستخدام جهاز يحمل رأس صدم وخليّة حمل. إن هذا الاختبار عادة يحدد المواد المناسبة في الأعمال التي يتخللها خبط أو صدم.

إن هذا الاختبار يستخدم أيضاً مكن أجل تقييم عمليات الإنهاء الثانوية وغيرها من العوامل البيئية التي تؤثر في خصائص الصدم للبلاستيك.

بما أن معظم المواد البلاستيكية وخاصة البلاستيك الحراري يبدي سلوك مقاومة منخفضة للصدم ضمن درجات الحرارة المنخفضة من أجل ذلك يكون ضروري إجراء الاختبار ضمن درجات حرارة توازي التي سوف تعمل بها هذه المواد.

تثبت العينة البلاستيكية على طاولة الجهاز. ويرفع الرأس إلى ارتفاع مناسب ويترك فيصدم العينة بالسرعة المناسبة والمحددة وينتج من ذلك منحنيات الحمل والتشوه (هذه المنحنيات تعطي قيم عددية للمتانة والطاقة الكلية محسوبة عند القوة الأعظمية - التخطم).

١٠ - اختبارات القساوة : Hardness tests

Barcol ASTM D 2583 – Shore ASTM 2240

Rockwell ASTM D 785 , ISO 2039

إن القساوة هي مقاومة المادة البلاستيكية للاندخاظ والتآكل scratching والخدش، وهي مصطلح نسبي، إذ لا يعني أن المادة الأقسى هي المادة الأجود بينما تكون بعض المواصفات الأخرى ضعيفة فيها. وأهم اختبارات القساوة:

١ - قساوة باركول **Barcol Hardness**: وتستخدم غالباً لتحديد قساوة

البلاستيك الصلب بنوعية المسلح والغير مسلح والجهاز المستخدم يدوي

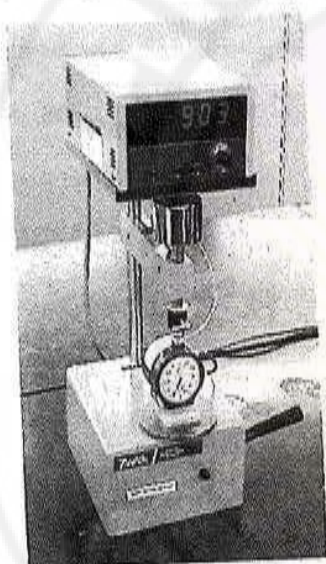
يوضع على سطح العينة حيث يقوم نابض موجود في الجهاز برأسه بإبرة مخروطية تقوم بإحداث ثلثة على سطح المادة المختبرة.



الشكل (15)

يدل عمق الثلثة على مقدار القساوة، حيث تتم القراءة آلياً. الشكل (15) يبين أحد نماذج هذا الجهاز.

٢- قساوة شور Shore Hardness : يستعمل مقياس التحمل لتحديد القساوة



الشكل (16)

النسبية للمواد الناعمة كالمطاط والبلاستيك. يقيس الاختبار مدى اختراق الرأس المحدد ضمن المادة تحت تأثير الشروط المحددة من القوة والزمن. أرقام القساوة يمكن أن تستنتج من معامل القساوة Shore (A) للمواد الناعمة والمعامل Shore (D) للمواد الخشنة (الأكثر صلابة).

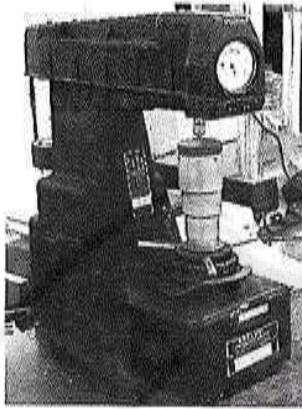
والشكل (16) يبين أحد نماذج هذا الجهاز.

٣- قساوة روكويل Rockwell Hardness : وتقاس بوساطة جهاز يبين

مدى مقاومة المادة لدخول كرة فولاذية مقساة تحت تأثير الحمل، ويعبر عن القساوة برقم يتعلق بدخول الكرة في المادة تحت تأثير الحمل. هذا الاختبار يبين قساوة بعض أنواع المواد البلاستيكية.

يتم الاختبار بوضع العينة على سطح جهاز اختبار قساوة روكويل وبوضع المؤشر على الصفر ويطبق الحمل. بعد (15) ثانية يزال الحمل وتترك العينة

(15) ثانية ثم تقرأ القساوة بعدها مباشرة من المقياس وفق مقاييس معينة



M.R.L.K وكلما ارتفع الرقم ازدادت

القساوة تستخدم المقاييس M.R عادة

للمواد البلاستيكية .

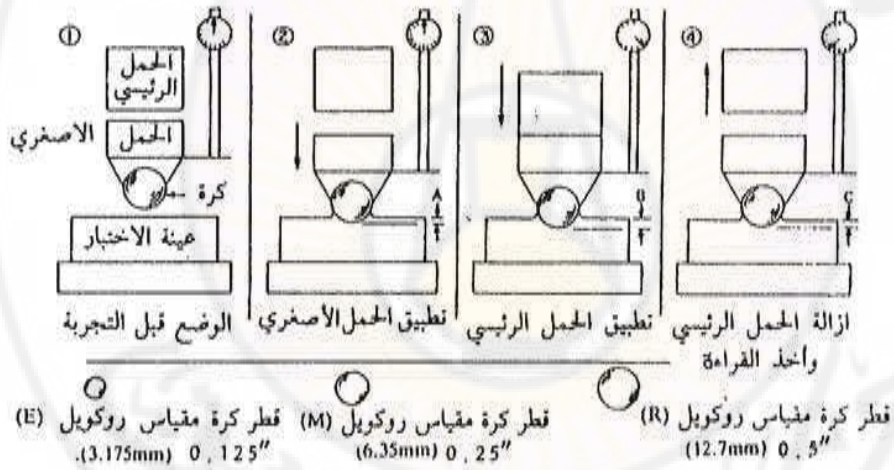
والشكلان (18) ، (17) يبينان

جهاز الاختبار لقساوة روكويل

مع المراحل المختلفة لاختبار

قساوة روكويل.

الشكل (17)



الشكل (18) اختبار قساوة روكويل

(1): يبين وضعية الجهاز والعينة المطلوب اختبارها قبل الاختبار .

(2): المؤشر على الصفر مع تطبيق الحمل الأصغري والسطح مضغوط إلى

عمق (A) .

(3): تطبيق الحمل الأعظمي لمدة (15) دقيقة والسطح مضغوط لعمق (B) .

(4): بعد (15) ثانية يزاح الحمل الأعظمي حيث يستعيد التلم وضعه جزئياً، وبعد (15) ثانية أخرى يتم قراءة مقدار القساوة حيث يكون عمق التلم (C) . والحمل الأصغري يبقى ثابتاً على مقدار (10 kg) أما مقدار الحمل الأعظمي فيختلف حسب حجم الكرة المستخدمة. ومن الخطأ أن نقارن تماماً بين قساوة روكويل وباقي أنواع القساوات.

١١ - اختبار نقطة الانصهار : Melting point test

ASTM D 789 - d 2117

عن لمواد البلاستيك الحراري المتبلورة نقطة انصهار تقع في مجال ضيق جداً، بينما مواد الـ (Tp) الغير متبلورة فلها مجال أوسع لدرجات الحرارة. وهناك ثلاثة طرق لمعرفة نقطة انصهار لمواد (Tp).

١ - طريقة القضيب الساخن Heated

طريقة القضيب المعدني المسخن

Metal bar Method (A) وهي طريقة

غير مكلفة حيث يسخن طرف القضيب

المعدني فتنتقل الحرارة على طول

القضيب بشكل متناقص. توضع كريات

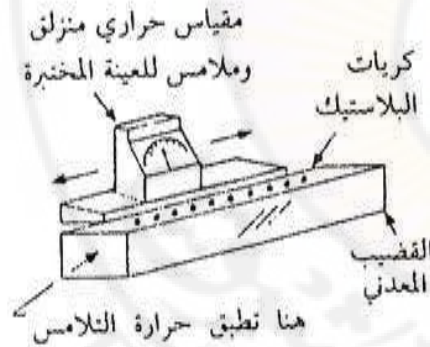
البلاستيك على القضيب بدءاً من

الطرف البارد إلى الطرف الساخن

وعند ذوبانها تؤخذ فوراً درجة

الحرارة الموافقة وهي درجة حرارة

الانصهار للمادة كما بالشكل (19) .

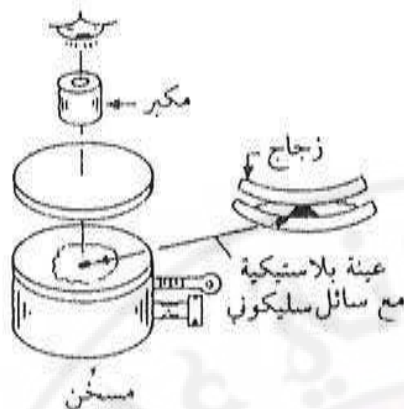


الشكل (19)

٢ - طريقة فيشر مع سائل مسخن Fisher with fluid : في هذه الطريقة

توضع العينة وبضع قطرات من سائل سيلكوني بين أغشية زجاجية.

طريقة فيشر - جونز مع سائل



الشكل (20)

هذه المجموعة توضع بوعاء المنيوم
كما بالشكل (20) يتم تسخينه بوساطة
مقاومات كهربائية.

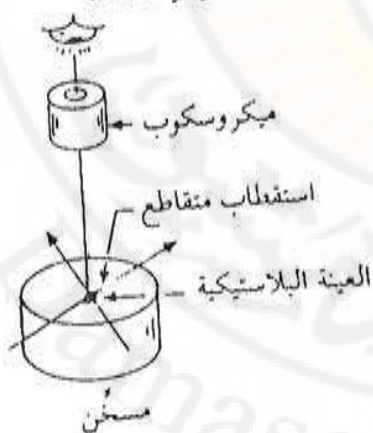
يشكل السائل بخاراً معدنياً على
الزجاج فترتفع درجة الحرارة حتى
تنصهر العينة. درجة حرارة
الانصهار هي درجة الحرارة التي
يظهر فيها البخار المعدني.

٣- منصة كوفلر الساخنة مع إنكسار بصري مزدوج:

Kofler Hot stage with optical Birefringence ASTM D 2117

نعدّ هذه الطريقة من أفضل الطرق المستعملة لتحديد نقطة انصهار مواد
البلاستيك الحراري الشبه متبلورة. توضع العينة البلاستيكية على منصة
مسخنة بين مستقطبات متقاطعة وميكروسكوب كما بالشكل (21).

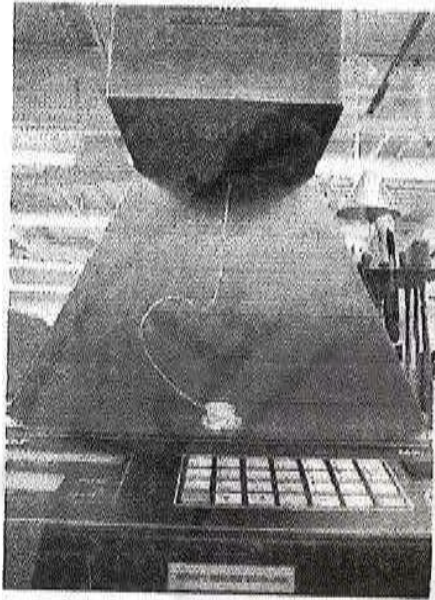
طريقة منصة كوفلر الساخنة



الشكل (21)

عند ارتفاع درجة الحرارة ينصهر
البلاستيك المتبلور وينفصل الانكسار
المزدوج العينة المتبلورة، والمنطقة
المجهدة في المادة البلاستيكية تتلدن
ويشاهد من خلال الميكروسكوب
ألوان قوس قزح Rainbow حيث
نحصل في هذه اللحظة على نقطة
الانصهار.

١٢- اختبار معدل تدفق الانصهار : Melt Flow Rate



وفيه يتم اختبار العينة البلاستيكية المطلوبة على جهاز كما بالشكل (22)، بحيث توضع تحت تأثير حرارة معينة محسوبة من خلال أنبوب صغير أو ثقب ومنه يتم ملاحظة وحساب معدل تدفق الانصهار. Melt flow rate والزمن.

يمكن إجراء هذا الاختبار قبل عملية التصنيع وذلك لمعرفة درجة الحرارة المناسبة لصب المادة ضمن القوالب.

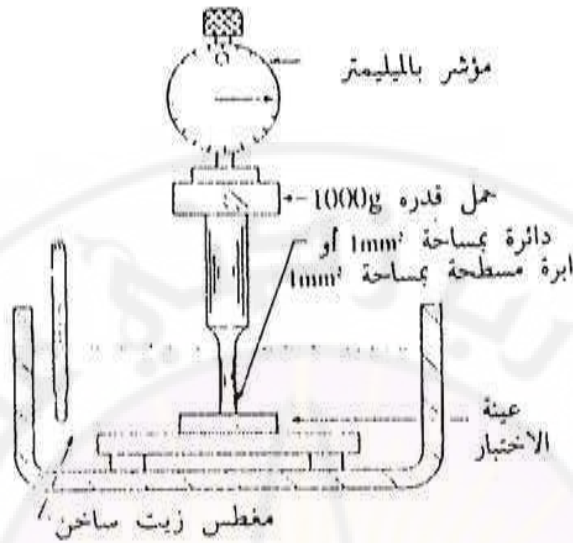
الشكل (22)

١٣- اختبار نقطة فيكات لمواد البلاستيك الحراري :

Vicat softening Point of thermoplastic ASTM – D 1525

تعتبر نقطة فيكات للتلدن عن درجة الحرارة التي عندها تدخل إبرة ذات مقطع دائري مساحته (1mm^2) في عينة المادة البلاستيكية المختبرة إلى عمق (1mm). من الضروري معرفة مواصفات الحمل المطبق على الإبرة (1000gr) ومعدل ارتفاع درجة الحرارة. والشكل (23) يبين ترتيبات الاختبار.

هذه الطريقة شائعة الاستعمال في اختبار البلاستيك الحراري المتبلور . ولكنها غير دقيقة من أجل البلاستيك الحراري الغير متبلور، حيث تميل بعض أنواع المواد إلى التزحف بعد الوصول إلى نقطة فيكات.



الشكل (23)

درجة حرارة فيكات لبعض المواد (oC)		
PA 6/6	≈	250
PEbd	≈	90
PEhd	≈	126
PP , Ps	≈	147

١٤- اختبار حرارة الانصهار، البلورة، ودرجة الانصهار، ودرجة التحول الزجاجي.

Heat fusion, Crystallization, Melting Point, Glass Transition

يتم في هذا الاختيار تحديد كل مما يلي:

١- (T_m) أو (T_0) : درجة حرارة الانصهار، وهي الحرارة التي تتحول عندها العينة من الحالة الصلبة إلى السائلة.

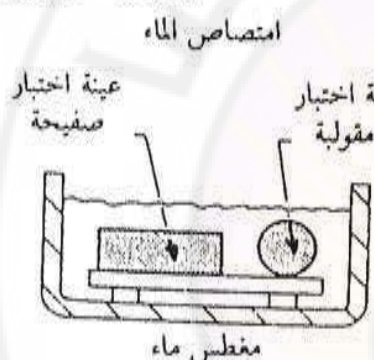
٢- (T_g) أو (T_v) : درجة حرارة التحول الزجاجي وهي درجة الحرارة التي تتحول عندها العينة من الحالة الصلبة إلى الحالة المطاطية (Rubbery state) .

٣- (T_c) : نقطة التبلور: وهي درجة الحرارة التي تتشكل فيها جزيئات المادة على شكل بلورات.

٤- (ΔH_m) : امتصاص الحرارة، (ΔH_c) فقد الحرارة.

١٥- اختبار امتصاص الماء : Water Absorption test

ASTM - D 570



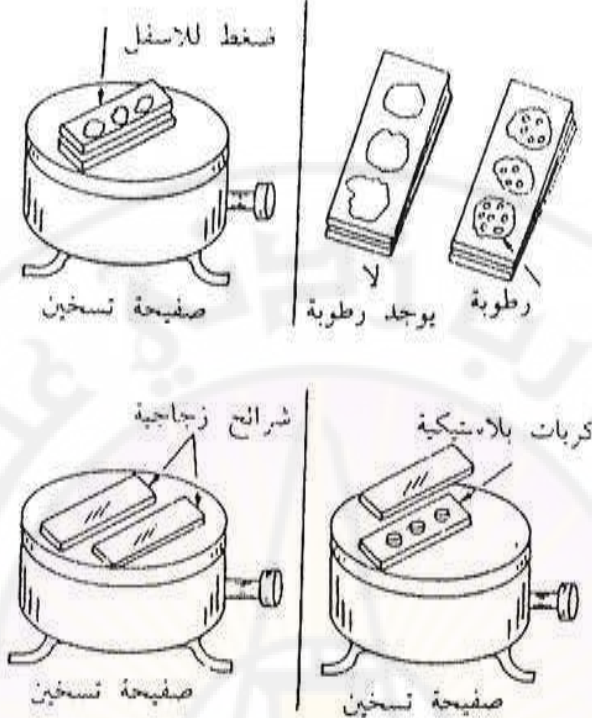
تقاس كمية الماء التي تمتصها أية مادة بلاستيكية عند غمرها، كنسبة مئوية من الوزن الأصلي للمادة. يمكن أن تكون العينات البلاستيكية على شكل أقراص أو صفائح كما هو مبين بالشكل (24).

الشكل (24) طريقة اختبار رطوبة ريزين الـ (T_p) .

إن امتصاص المادة البلاستيكية للماء موضوع هام جداً بسبب التغير في الخواص الفيزيائية والكهربائية التي يسببها الماء كالاتواء أو التشقق أو الانتفاخ أو انخفاض الصلابة ومقاومة الصدم..

١٦- اختبار رطوبة الريزين: Resin Moisture test الشكل (25)

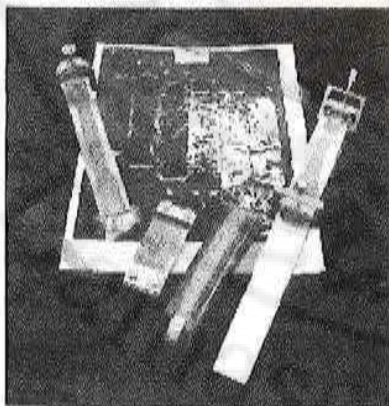
يعتبر هذا الاختبار من أسرع الاختبارات التي تمكننا من معرفة ما إذا كانت حبيبات المادة البلاستيكية السريعة التأثر بالرطوبة جافة وجاهزة للقولبة، والشكل التالي يبين ترتيبات هذا الاختبار.



الشكل (25)

١٧- اختبار مقاومة البلاستيك للكاشف الكيميائي: الشكل (26)

Resistance of plastics to chemical Reagents test



الشكل (26)

يمكننا هذا الاختبار من معرفة مدى تحمل البلاستيك للكاشف الكيميائي، والذي ربما يتواجد في زيوت التشحيم، أحبار الطباعة، المنظفات والمواد الغذائية يتضمن الاختبار عدة عناصر منها التغير في الحجم والوزن والقوة والإجهاد عند درجات حرارة مختلفة.

إن عملية تعريض العينة للكاشف الكيميائي لاختبارها يتضمن عدة احتمالات منها إما أن تغمر العينة في الكاشف أو تمسح أو ترش بواسطة رذاذ أو بواسطة شاش مشبع.

بعد تعرض العينة للكاشف تترك فترة زمنية محسوبة عند درجة حرارة الغرفة أو تحت تأثير حرارة فرن. بعد انتهاء هذه المدة يُكشف عنها بواسطة معاينة مباشرة دون الحاجة إلى جهاز. تحلل العينة، ظهور انتفاخ، تعكر اللون، تصدع، التغير في المواصفات كالقوة والاستطالة وقابلية الشد.

١٨- اختبار الناقلية الحرارية :

ASTM C 177 Thermal conductivity test

وهي قابلية المادة لنقل الحرارة. إن المواد البلاستيكية جيدة العزل الحراري وبالتالي فإن كل المواد ليست ناقلية جيدة للحرارة.

١٩- اختبار الخواص البصرية : Optical properties

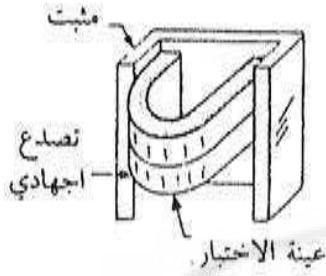
تستخدم المواد البلاستيكية الجيدة النقل للضوء في التطبيقات البصرية وتتميز هذه المواد بكثافتها المنخفضة ومتانتها الصدمية العالية وناقليتها الممتازة للضوء.

إن بوليميرات الاكريليك هي الأكثر استخداماً في التطبيقات البصرية فهي شفافة Transparent وعالية النقاوة Excellent Clarity وهو شفاف أكثر من الزجاج. تستعمل مادة الأكريليك بشكل جيد في أنابيب الإضاءة Pipe Lighting المنحنية والمقوسة.

٢٠- اختبار التصدع الإجهادي : Stress Cracking test

ASTM - D 1693

وهو أعلى إجهاد تستطيع المادة تحمله دون أن تتعطب. والإجهادات التي تسبب التصدعات يمكن أن تكون إجهادات داخلية أو خارجية أو مختلطة (داخلية وخارجية).



يمكن حدوث أربعة أنواع من التصدعات:

١- تصدع إجهادي حراري
Thermal stress cracking

وينتج عن ارتفاع درجة الحرارة كما بالشكل (27).

الشكل (27) التصدع الإجهادي

٢- تصدع إجهادي بيئي : Environmental stress cracking هذا التصدع ناتج عن التأثيرات الكيميائية على المواد البلاستيكية.

٣- تصدع إجهادي ميكانيكي Mechanical stress cracking وينتج هذا التصدع من جراء الإجهادات المتعاقبة أو تشوه المادة البلاستيكية.

٤- انهيار التعب الستاتيكي Static Fatigue Failure وهذا ناتج عن مرور الزمن (التقادم).

٢١- اختبار معامل التمدد الحراري

ASTM - D 864 Coefficient of thermal Expansion test

تتغير أبعاد جميع المواد بتغير درجة الحرارة، هذه الخواص تمثل الزيادة في طول وعرض ومساحة وحجم المنتج البلاستيكي. إن مقدار التمدد الحراري لأغلب المواد البلاستيكية عالي نسبياً.

إن تسليح المادة البلاستيكية بألياف زجاجية يقلل من معامل تمددها، وفي معظم الأحوال فإن عامل التمدد الحراري للمواد البلاستيكية يكون ضمن

$$\text{المجال } (1-2 \frac{\text{mm}}{\text{mm}} \text{ } ^\circ\text{C} \times 10^{-4})$$

٢٢- اختبارات الاحتراق : Burning test

معظم المواد البلاستيكية سوف تحترق إذا ما تعرضت إلى لهب. إن لون اللهب ونوعيته ورائحته يمكن أن تحدد نوع المادة البلاستيكية.

مثال:

- مادة الأسيتال (صلبة): تحترق بلهب أزرق وتعطي رائحة فورمول الدهيد. نقطة الانصهار (176°C) ووزنه النوعي (1.42 gr/cm^3).
- مادة الأكرليك: تحترق المادة ببطء وبلهب أزرق وقمته صفراء ورائحته تشبه رائحة الفواكه. نقطة الانصهار (190°C) ووزنه النوعي (1.18 gr/cm^3).
- مادة ABS: (صلبة غير شفافة) تحترق بلهب أصفر ودخان أسود وتتقطر ولها رائحة لاذعة، إضافة لرائحة تشبه رائحة احتراق المطاط. وزنها النوعي (1.04 gr/cm^3) وتذوب بالأسيتون.
- مادة (PTFE): لا تحترق باللهب ولكنها تتشوه. نقطة الانصهار (326°C) ووزنها النوعي (2.14 gr/cm^3). لا تسيل فوق درجة حرارة انصهارها ولكنها تتطاير عند (399°C) لونها أبيض حليبي ومظهرها شمعي وملمسها دهني.
- البولياميد (PA) (النيلون): يحترق بلهب أزرق بطرف أصفر ورائحة مثل احتراق الصوف أو الشعر أو النبات الأخضر نقطة الانصهار ($145-254^{\circ}\text{C}$).
- مادة (PC): تحترق بصعوبة بلهب أصفر وهي ذاتية الإطفاء ولها رائحة ضعيفة تشبه رائحة الفينول ونقطة انصهارها (221°C).
- مادة (PVC): تحترق بلهب أصفر مع أخضر عند الحواف وبرائحة لاذعة. نقطة انصهار (149°C).
- مادة (PI): تعدّ من مواد (Tp) ولكن لها مواصفات (Ts). غير قابلة للاحتراق. تعطي رائحة خفيفة تشبه رائحة البنزين عند إبعادها عن اللهب.
- مادة (PE): تحترق بسرعة معتدلة وتتصهر وتتقطر كالشمع. لون لهب الاحتراق أزرق بطرف مصفر ورائحة تشبه رائحة شمع

البارافين. نقطة انصهارها (104 °C) (PEbd) و (120 °C) لـ (PEhd). ملمس المادة شمعي ولونها أبيض حليبي ودرجة حرارة التهاب الـ (PE) هي (340 °C).

- مادة (PP): تحترق ببطء بلهب أزرق ذو رأس مصفر برائحة تشبه رائحة دخان الديزل. نقطة انصهارها (168 °C)

- مادة (Ps): يحترق بلهب أصفر وله رائحة تشبه رائحة غاز المصباح نقطة انصهارها (190 °C) تذوب في الأسيتون والبنزين.

- مادة (PSU): تحترق بلهب أبيض وبرائحة تشبه رائحة الكبريت ونقطة انصهاره (260 °C).

- مادة (MF): عند احتراقه يعطي رائحة السمك وهو ذاتي الإطفاء ويتصدع لدى احتراقه.

- مادة البوليستر الغير مشبع المسلح بالألياف الزجاجية: يحترق بلهب أصفر وهباب ورائحة القرفة.

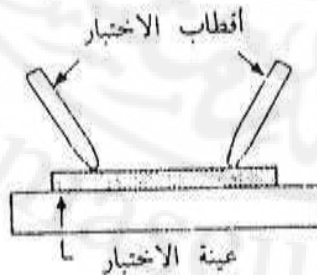
- مادة (SI): عند احتراقه نحصل على رماداً أبيض اللون.

٢٣- اختبارات الخواص الكهربائية (مقاومة القوس الكهربائية - المتانة الكهربائية - ثبات العازلية عامل التبدد الكهربائي).

أ- اختبارات مقاومة القوس الكهربائية :

ASTM - D 495 Arc Resistance test

تعبر مقاومة القوس الكهربائية عن قابلية المادة البلاستيكية لمقاومة تأثير القوى الكهربائية العالي التوتر High - voltage electrical Arc وتحدد



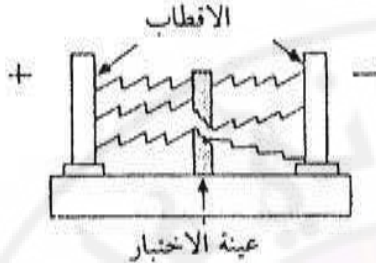
الشكل (28) مقاومة القوس الكهربائية

المقاومة بالفترة الزمنية اللازمة ليصبح سطح المادة البلاستيكية موصولاً للكهرباء بسبب التفحم الناتج من القوس المتوهج. ويبين الشكل (28) ترتيبات الاختبار.

ب- اختبارات المتانة الكهربائية للعازل (شدة العزل):

ASTM - D 149 Dielectric Strength test

إذا وضع قطبان معدنيان على كل من جانبي المادة البلاستيكية، فإن الفولتاج المار لحظة تلامس المادة مع المنصة هو الفولتاج المعبر عن شدة العازلية



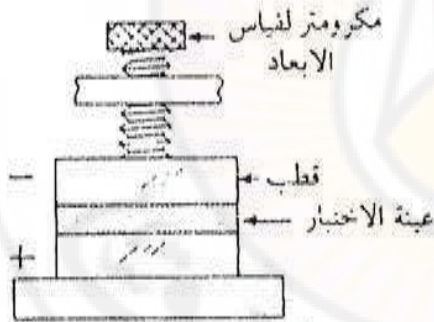
ويعبر عنه بـ (V/mm) وتردد التيار المستخدم يكون محدود (60Hz)، أما إذا كان أعلى من ذلك فإنه يعطي نتائج غير صحيحة. يبين الشكل (29) ترتيبات هذا الاختبار.

الشكل (29) شدة العزل

ج- اختبارات ثابت العازلية:

ASTM - D 150 Dielectric constant test

إن ثابت العازلية يساوي الواحد إذا كان الهواء الجوى هو العازل. أما إذا كانت المادة البلاستيكية هي العازلة،



فإن ثابت العازلية أكبر من الواحد كثيراً. إذا كان ثابت العازلية للمادة البلاستيكية (4) فهذا يعني أن ثابت عازلية المادة أربعة أضعاف عازلية الهواء. والشكل (30) يبين ترتيبات هذا الاختبار.

الشكل (30) ثابت العازلية الكهربائية

د- اختبارات عامل التبديد الكهربائي: Dissipation factor test

ASTM - D 150

عند استخدام عبارة عامل التبديد (عامل القدرة Power Factor) في اختبار المواد العازلة للكهرباء، فإنها تدل على مقياس كمية صغيرة من الطاقة الكهربائية الممتصة بالعازل والمبددة على شكل حرارة. وبالتالي فإن عامل التبديد للعازل هو مقياس لفقدان الطاقة في حقل متناوب.

الفصل الثاني

المواد الإضافية

Additives

مقدمة:

يضاف إلى المواد البلاستيكية (الريزينات) قبل التصنيع مواد إضافية ضرورية لتحسين الخواص وزيادة الجودة والمحافظة على الخواص أثناء التصنيع ومن ثم التخزين والاستعمال. وأهم هذه المواد :

- ١- الملدنات.
- ٢- المثبتات.
- ٣- المواد المائلة.
- ٤- المذيبات.
- ٥- الملونات.
- ٦- مواد معيقة للاشتعال وسريان اللهب.
- ٧- مواد حافظة ومواد ضد التعفن.
- ٨- مواد مزلفة.
- ٩- مواد مضادة للكهرباء الساكنة.
- ١٠- مواد مضادة للأكسدة والأشعة UV.
- ١١- ألياف تقوية.
- ١٢- مواد لمنع الالتصاق في القوالب.
- ١٣- مواد للإرغاء أو عوامل النفخ.
- ١٤- مواد إضافية أخرى.

طرق خلط وتركيب الإضافات :

تتضمن طرق الخلط والتركيب والمزج أربعة طرق أساسية لإدخال الإضافات إلى مواد البلاستيك وهي كالتالي:

- ١- إدخال الإضافات إلى المونميرات قبل عملية البلمرة.
 - ٢- إدخال الإضافات أثناء عملية البلمرة.
 - ٣- إدخال الإضافات في خطوة تصنيع منفصلة (خلط البوليمر).
 - ٤- إدخال الإضافات مباشرة قبل أو أثناء عملية تشكيل البلاستيك.
- هذه أربع طرق لخلط الإضافات مع البلاستيك، حيث أن الطريقتين الأولى والثانية تتمان بوساطة منتجي الراتنجات الأساسية فقط بإدخال الإضافات التي تساهم أو تشارك في التفاعل (البلمرة) مع الأخذ في الحسبان ألا تؤثر هذه الإضافات تأثيرات عكسية في عملية البلمرة.
- أما عن الطريقة الثالثة فهي أهم هذه الطرق وهي تستخدم من قبل مصنعي الراتنجات أو القائمين بالخلط والتركيب وكذلك القائمين بعملية التشكيل (المصانع) وتعطي هذه الطريقة أكبر مدى من التغير ويمكن تميز التغيرات الآتية:

- خلط البودرة، يتم خلط المواد البلاستيكية المثليئة بالحرارة تحت نقطة تليئها.
 - إنتاج المعجون حيث يتم خلط المادة الصلبة المكونة للمعجون مع كمية كبيرة من السائل مثلاً إضافة المادة الملدنة إلى الـ PVC.
 - إنتاج الحبيبات، تتضمن الخلط والتلين .
- أما عن الطريقة الرابعة فهي تتم في المصانع القائمة بتشكيل مواد البلاستيك بإدخال حبيبات التلوين أو المركبات وأنظمة الإضافات في صورة مواد تلوين.

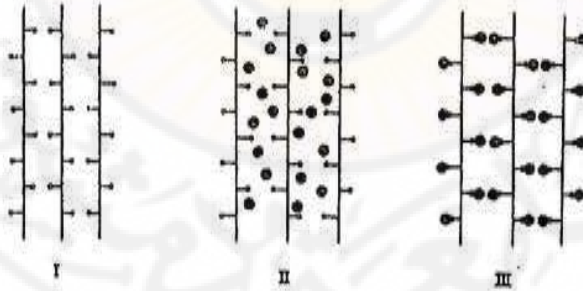
١- الملدنات Plastifiant

وهي الأكثر أهمية بين المواد الإضافية.

هناك تعريفات عديدة للملدنات:

- هي مواد ذات وزن جزئي منخفض تضاف للبولىمرات أو المواد اللاصقة لتحسين مرونتها.
- الملدنات عبارة عن مركبات تعمل على تليين البولىمر لتجعله لدناً أو ليناً في درجة حرارة أقل من المعتاد أثناء عملية التشكيل. وقد تكون الملدنات مواد صلبة مثل الكافور أو سوائل عضوية ذات قوام زيتي وذات درجة تطاير منخفضة.

مواد غير مرتبطة بالبولىمير في صيغته وشكله النهائي وتبقى ما بين جزيئات البولىمير بشكل حر والهدف الأساسي من إضافتها مساعدة جزيئات البولىمير في الإنزلاق المرن فوق بعضها البعض مما يكسب البولىمير اللدونة الكافية أي أنها تقلل من قوى Van Der waals بين السلاسل الجزيئية.



الشكل (1)

I - بولىمير غير ملدن. II - بولىمير ملدن بواسطة ارتباط جزيئي.

III - بولىمير ملدن بواسطة تنظيم جزيئي .

- الملدنات تقلل من درجة التحول الزجاجي (T_g) أو (T_v)، وتخفض درجة حرارة الانصهار، وتحسن من الظروف التشغيلية للبولىمير.
- إضافتها تؤدي إلى انخفاض لزوجة المواد السائلة وتعمل على الإقلال من صلابة المواد الصلبة.

أنواع الملدنات:

- يوجد ملدنات داخلية $internal\ plastifiant$ وملدنات خارجية $external\ plastifiant$.
- الملدنات الداخلية تضاف أثناء عملية البلمرة، أما الملدنات الخارجية فتضاف للبولىمير أو الريزين أثناء التشكيل.
- كذلك فإنه يوجد ملدنات أولية $primary\ plastifiant$ وملدنات ثانوية $secondary\ plastifiant$ والفرق بينهما أن الثانوية ضعيفة التوافق مع البولىمير وتضاف لتقليل التكلفة.

آلية عمل الملدنات:

تقوم المادة الملدنة بالتغلب على قوى الجذب والترابط الداخلية بين سلاسل البولىمير قوى $Var\ der\ waals$ وتعمل على تفكيكها والفصل بينها ومنع التشابك فيما بينها، وتلتف حول الجزيئات فتحررها وتصبح حرة الحركة، فتتزلق سلاسل البولىمير بسهولة فوق بعضها البعض، وبالتالي تقل لزوجة مصهور البولىمير (زيادة السيولة)، وهذا يؤدي إلى سهولة تشكيل البولىمير دون أي تأثير على البنية التركيبية للبولىمير.

- كذلك فإن الملدنات لها تأثير كبير في الخواص الفيزيائية والميكانيكية للبولىمير.
- ويضيف المصنعون الملدنات إلى ريزينات صناعية معينة لجعلها أكثر ليونة وأكثر مرونة وأسهل تشكيلاً.

أثر الملدنات على خواص البلاستيك (البوليميرات):

للملدنات تطبيقات واسعة لتحسين العديد من الخواص للبوليمر حسب المنتج النهائي المطلوب:

- ١- خفض درجة حرارة التحول الزجاجي (Tg) أو (Tv)، وهذا من أهم أهداف استخدام الملدنات عموماً، ويتضح ذلك من ميكانيكية عمل الملدنات.
- ٢- تجعل المادة أكثر ليونة، بناءً على التغير في الشكل البنائي للبوليمر، ويقاس ذلك بمقدار الانخفاض في درجة حرارة التحول الزجاجي (Tg).
- ٣- زيادة الاستطالة elongation وخفض قوة الشد tensile strength من النتائج الطبيعية للانخفاض في درجة حرارة التحول الزجاجي (Tg)، نتيجة إضافة الملدنات.
- ٤- خفض قابلية الطرق ductility وتحسين مقاومة التصادم impact resistance.
- ٥- تحسين خواص العديد من المواد عند درجات الحرارة المنخفضة بالتحكم في مختلف الأنواع والتراكيز للملدنات المضافة.
- ٦- التحكم في اللزوجة، حيث أن معظم الملدنات عبارة عن سوائل ذات لزوجة منخفضة، فإن إضافة الملدنات لمحلول أو مصهور البوليمرات يؤدي لخفض اللزوجة، مما يحسن من الظروف التشكيلية وهناك العديد من الحالات التي تزداد فيها اللزوجة نتيجة ذوبان البوليمر في الملدن، مثال: ذوبان الـ PVC.
- ٧- تحسين خواص السيولة.
- ٨- تؤثر في الفعالية الكيميائية للبوليمر، فإضافة الملدنات تخفض اللزوجة وتخفف التركيز، مما يزيد من حرية حركة جزيئات البوليمر، فتتفاعل كيميائياً مع بعضها.

٩- تقلل من درجة حرارة ذوبان البوليمر، وكذلك درجة حرارة التماسك بالنسبة للمواد اللاصقة ومن رقة ومتانة طبقة الدهان بالنسبة لمواد الطلاء.

١٠- تقلل من زمن الخلط Mixing time، وضغط البثق Pressure of extrusion، وحرارة الانصهار melting temperature، وكذلك نسبة التحلل degradation rate.

١١- تساعد على جودة انتشار الإضافات الأخرى بين سلاسل البوليمر، مثل المواد المالئة أو الملونات سواء كانت إضافات سائلة أم صلبة، وخاصة تلك التي تذوب في الملدنات، وذلك يؤدي إلى جودة إتحادهم، وهذا يعمل على تحسين جودة المنتج.

١٢- التأثير على الخواص الكهربائية يعتمد على الخصائص الكهربائية للملدنات والتي يمكن أن تكون موصلة أو عازلة.

١٣- خواص الاحتراق: معظم الملدنات تزيد من قابلية المواد للاشتعال والانسياب أثناء الاشتعال وتكوين دخان، ولكن بعض الملدنات (مثل فوسفات أو كلورات البارافينات) فإنها تقلل من قابلية المواد للاشتعال وتكوين دخان.

١٤- مقاومة التحلل البيولوجي - معظم الملدنات تزيد من جهد الهجوم البيولوجي، وبعض المواد المحتوية على ملدنات تحتاج لحمايتها بواسطة البيوسيد. أما في حالة المواد المتحللة بيولوجياً فإنه يضاف ملدنات خاصة لزيادة معدل التحلل.

١٥- تحسن خواص العزل الصوتي والاهتزازي.

١٦- تحسن النقاوة الضوئية والنفاذية وذلك نتيجة التجانس بين مكونات النظام.

١٧- بصفة عامة تتخفص درجة التبلور crystallinity، ولكنه في أحيان كثيرة تزداد لزيادة حرية حركة جزيئات البوليمر المتبلورة.

١٨- زيادة التوافق بين الإضافات والبوليمر، كذلك بين البوليمر والبوليمر في المخاليط blends.

١٩- تحسين خواص الانعكاس الضوئي في بعض المركبات compositions.

٢٠- تزيد من الهجرة والهجرة العكسية للمركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض، وهذا هام في عملية صبغ الأقمشة، وغيرها من التطبيقات.

٢١- تزيد من نفاذية الغازات.

أهمية الملدنات:

1- الأهمية الاقتصادية :

أ- تتميز الملدنات برخص ثمنها، وعند خلطها بالبوليمرات فإن ذلك ينعكس على سعر التكلفة للمنتج النهائي، حيث تصل نسبة الملدنات في بوليمرات الفينيل (50%) بينما تراوح نسبتها بين (10-20%) في بوليمرات السيلولوزية.

ب- تضاف المواد الملدنة لإكساب البوليمر الليونة والمرونة اللازمة وإضافة كمية كبيرة ينتج البوليمرات السائلة مثل الدهانات أو المواد اللاصقة، وفي ذلك توسيع لمجالات استخدام البوليمر.

إن الملدنات تعمل على تحسين الخواص التشكيلية، وكذلك الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمنتج النهائي، ولذلك ينبغي للمواد الملدنة أن تتوفر فيها بعض الخصائص مثل:

١- التوافق مع الريزين التي تضاف إليه بحيث يصعب انفصالها بعد الخلط.

٢- عدم النزوح، ويمكن أن تقل خاصية ميل الملدن للنزوح نحو السطح باستعمال مادة ملدنة مبلعمة مثل البولي إستر والزيوت الإيبوكسية

Epoxidized oils.

٣- يجب أن يكون الملدن أقل تطايراً، وغير ملون.

٤- أن تكون المادة الملدنة آمنة بيئياً وغير سامة وخاصة إذا كان المنتج سيستعمل في تعبئة وتغليف الأغذية.

٥- أن يكون عديم الرائحة ولا يتأثر بالمثبتات والملونات وغير قابل للاشتعال.

2- الأهمية البيئية والصحية:

ولكن هناك تساؤلات طرحت حول تسرب هذه الملدنات إلى الأطعمة المعبأة بداخل الأوعية المصنوعة من البلاستيك، والمشكلة تتفاقم إذا تعرضت الأوعية أو الطعام للحرارة أو في وجود الأطعمة التي تتحلل عند وجود المواد الكيميائية اللدائنية (ومنها على سبيل المثال: الزيت - الحمض - أو الكحوليات).

وبسبب عدم ارتباط المواد الملدنة كيميائياً مع بنية البوليمير، تستطيع هذه المواد أن تهجر إلى الأغذية من خلال مواد التغليف المستخدمة وخاصة إذا كانت من رقائق الـ PVC حاملة معها المواد الأخرى المستخدمة في صناعة هذا البوليمير كالمثبتات والملدنات مما قد يحمل ضرراً على صحة الإنسان.

ويعتمد هروب هذه المواد الكيميائية "أو هجرتها كما يطلق عليها Migration" إلى داخل الأطعمة على طول المدة التي تبقى المادة الغذائية فيها داخل العبوة ودرجة الحرارة التي تتعرض لها. وتسجل أعلى معدلات الهجرة للأطعمة التي تتصل بمادة العبوة اتصالاً مباشراً والتي بها نسبة دهون عالية.

٢- المثبتات : stabilizers:

هي مواد تستخدم لتبطئة أو تأخير تحلل أو تحول البوليمير بمرور الزمن بفعل الحرارة أو ضوء النهار أو الإشعاع فوق بنفسجي UV. وتستخدم هذه المثبتات بنسب مئوية قليلة حيث تحقق داخل الريزينات.

لا يوجد مثبت مثالي يمكن استخدامه لكل الحالات، لذا يتم اختيار المثبت الأقرب لتحقيق الخواص المطلوبة وكأمثلة :

١- تستخدم مركبات أملاح الصوديوم والكالسيوم من أجل المواد الخالية من الرائحة والسمية.

٢- تستخدم أملاح القصدير والرصاص والباريوم لمقاومة الأكسدة والأشعة فوق بنفسجية.

٣- يستخدم زيت الخروع ومركبات الباريوم والكالسيوم لتحقيق لدونة خاصة.

٣- المواد المائلة:

تمزج المواد المائلة الرخيصة عموماً مع الريزينات البلاستيكية لتخفيض سعر المادة المستخدمة في الصناعة، ولكن يجب ألا يكون هذا على حساب الخواص الأساسية للمواد البلاستيكية (خاصة بعد ارتفاع أسعار المواد البلاستيكية).

في الحقيقة تؤثر المواد المائلة على الخواص الفيزيائية للريزينات بنسب متفاوتة لذا يجب تجربة هذه المواد مسبقاً لمعرفة خواص المنتج، كما يجب دراسة تأثير آلية الإنتاج (القولبة) على مزيج الريزين والمواد المائلة. وأهم المواد المائلة ودورها هي:

١- الغرافيت (فحم صناعي) للحصول على مواد بلاستيكية لها ناقلية كهربائية.

٢- دقيق الخشب، الغرافيت، الأميانت والتراب الطبيعي للحصول على مواد بلاستيكية مقاومتها الكيميائية عالية.

٣- الكاولين kaolin (سيلكات الألمنيوم المائية)، السيليس ومشتقاته (الميكات المطحون)، للحصول على مواد بلاستيكية مقاومة للحرارة،

حيث يستخدم الأول بعد معالجته بصناعة أدوات بورسلان المائدة والورق والمطاط والدهانات.

٤- التالك والميكا: وتستخدم كمادة مالئة ولزيادة المرونة حيث إن بلوراتها تتمكن من الانزلاق على بعضها مما يحافظ على مرونة المادة البلاستيكية.

لا بد من الإشارة إلى أن استخدام المواد المالئة (التي تضعف الترابط بالتركيبة) وبالتالي تضعف قوة الشد، لذا لا بد من استخدام مواد تحافظ على بقاء خواص الشد جيدة. من ناحية ثانية، إن استخدام المواد المالئة يحسن خاصية ثبات الأبعاد للمنتج.

تختلف مصادر المواد المالئة (١- معدنية طبيعية، ٢- عضوية طبيعية، ٣- عضوية تركيبية) ولكنها تشترك بخاصية أساسية وهي رخص الثمن.

١- سيليس، أمينات (اسبستوس)، سيليكات الألمنيوم والمغنزيوم، كبريتات الكلس والباريوم والرصاص والميكا، والغرافيت، الكاولين، الأردواز، مسحوق المعادن، ألياف صخرية أو ألياف زجاجية.

٢- دقيق الخشب، فول الصويا، الفلين، ألياف السليلوز...

٣- ألياف تركيبية مثل النايلون والداكرون والبولي أستر وكذلك بقايا وزوائد المواد البلاستيكية نفسها...

تعدّ بعض المواد المالئة كملونات حيث تعطي دوماً لونها إلى الريزينات الممزوجة معها مثل أوكسيد الحديد والكاولين وثاني أكسيد التيتان ودقيق الأردواز.

٤- المذيبات:

دخلت اللدائن في صناعات واستعمالات كثيرة كالإكساء والتغطية والدهان والطلاء، لذا أصبح موضوع المذيبات مهم نظراً لتركيبها وخواصها

ومفعولها. إن بعض هذه المذيب - يدخل في التركيب والتصنيع. يجب أن تتوفر في المذيبات ما يلي:

١- الشفافية والصفاء قدر الإمكان.

٢- ثباتها عند التخزين.

٣- عديمة أو قليلة التأثير الفيزيولوجي.

٥- الملونات:

إن مسألة تلوين الريزين ليست بالبساطة والسهولة التي نظنها لأن الملونات يجب أن تحقق قدر الإمكان بعض الأمور الهامة عند اختيارها ومنها:

- سهولة التوزيع والانتشار.

- عدم السمية وخاصة عند استعمالها في مجالات التغذية.

- خصائص كهربائية في المواد التي تغلف الأسلاك الكهربائية والكابلات.

- توافق اللون والبصر.

- ثبات حراري وهذا يتعلق بدرجة حرارة القوالب.

- عدم الارتحال والهجرة.

- مقاومة كيميائية جيدة للحموض والقلويات.

- تكاليف رخيصة.

- يجب ألا يتجاوز نسبة الملونات (5%) من وزن المادة البلاستيكية.

إن هذا الموضوع هام ويحتاج إلى الخبرة ولمعرفة المزيد يمكن العودة إلى المراجع الكيميائية المتعلقة بالملونات (الأخضاب والصبغات).

٦- مواد معيقة للاشتعال وسريان اللهب: **Flame Retardant**

تضاف هذه المواد عند التصنيع أو تضاف عند تحضير المادة الأولية، وفي كلتا الحالتين يكتسب المنتج النهائي خاصية عدم سريان اللهب. تتعدد أشكال

معوقات اللهب بتعدد الاستعمالات والغايات، وبصورة عامة ينصح بتطبيق النتائج التجريبية على استعمال معوقات اللهب على الدوام للحصول على أفضل النتائج.

تستخدم غالباً معوقات اللهب لمواد البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts) وخاصة البولستر غير المشبع والإيبوكسيد والبولي يوريثان القاسي (بلاستيك رغوي - اسفنج) المستعمل كعوازل حرارية أو صوتية. كما تستعمل معوقات اللهب في المواد البلاستيكية التي تستخدم في الأبنية والمفروشات والديكورات وسفن الركاب.

تستخدم كذلك معوقات اللهب لمواد البلاستيك الحراري (Tp) مثل البولي ستيرين (Ps) والبولي بروبيلين (PP) والنايلون (PA) وقليلاً مع البوليستر المشبع.

يجب الانتباه إلى دراسة سمية هذه المواد وخاصة في حالات ملامسة الأغذية أو الإنسان.

٧- مواد حافظة ومواد ضد التعفن : Biocide

تتعرض بعض المنتجات أحياناً إلى بكتيريا أو فطريات فتؤثر على الخواص الميكانيكية خواص العزل، خواص الكهرباء أو الألوان سواء تأثير سطحي أو داخلي، وهذا يدعو لاستعمال مواد تحد من هذه التأثيرات. إن المواد الحافظة تقاوم الميكروبات والبكتيريا والفطريات والملدنات تقوم بصورة أولية مقام المواد الحافظة.

عند استخدام المواد الحافظة يجب مراعاة الشروط الأساسية من حيث عدم التأثير على الريزين الأساسي والملدنات والألوان وأن يكون عديم الرائحة وليس له أي تأثير صحي ثانوي خاصة بعد أن شاع استعمال المواد

البلاستيكية كعبوات للأدوية الدب. والسائلة وبعض الاستعمالات الغذائية كعبوات شراب الأطفال وبعض السوائل الكحولية الغازية...
إن المواد الحافظة المعروفة تكون معدنية أو مركبات عضوية أو مزيجاً من الاثنين.

٨- مواد مزلفة : Lubricant

يسهل انزلاق كتلة المواد المزلفة خلال آلات التصنيع المتعددة إلى سهولة في الإنتاج (كإنتاج الصفائح مثلاً) حيث يقوم بدور تحرير السلع المنتجة من تجايف القالب وعدم الالتصاق بها. تصنف المواد المزلفة لثلاثة أقسام:

- ١- مواد مزلفة داخلية (ضمن كتلة اللدائن).

- ٢- مواد مزلفة خارجية وتعمل على سطوح الآلات.

- ٣- مواد مزلفة مزدوجة الوظيفة (داخلية وخارجية).

إن المواد المزلفة الداخلية تزيد من التحام السلاسل الجزيئية وهذا يؤدي لسهولة تعجنها وسيولتها دون أن تبدل قوة الشد الخاصة بها، وهذا يساعد في عمليات البثق وأهم هذه المواد الاستياريك. أما المواد المزلفة الخارجية فتمنع التصاق المواد على آلات القولية الساخنة وتخفف من الاحتكاك بين المواد والآلة ومن أشهر المزلفات الخارجية شمع البارفين والمشهور بالبرافين وأكس. ويجب أن تكون كميتها محدودة. إن المواد المزلفة المزدوجة فتقوم بالدورين السابقين.

٩- مواد مضادة للكهرباء الساكنة Antistatic Agent

تقوم هذه المواد لتخفيف أثر التفريغ الكهربائي الستاتيكي المرافق لعمليات الإنتاج والذي يؤدي إلى ظاهرة التصاق الغبار الجوي على المنتجات.
إن محذور استخدام المواد المضادة للكهرباء الساكنة هو عدم الملائمة بينها وبين المواد المضافة الأخرى للريزينات أو تأثرها بحرارة التصنيع.

١٠ - مواد مضادة للأكسدة والأشعة UV : Antioxidant

تتعرض البوليميرات (مواد عضوية) للأكسدة خلال التركيب أو الخزن وقد تتحلل هذه المواد المؤكسدة في البوليمير وتؤثر بالتالي على عملية البلمرة أو خلال التحضير (التأثير الحراري) أو الاستخدام النهائي. يكون دور هذه المواد المضادة للأكسدة هو إطالة بقاء البوليمير أو القطعة المصنعة نهائياً دون أن تتعرض للتأكسد.

١١ - ألياف تقوية:

وهي مواد بشكل خيوط وألياف تؤمن الارتباط بين المركبات العضوية واللاعضوية، في المنتجات النهائية التي تتحسن بها مقاومة الشد وقابلية النفوذ للماء والثبات ضد الرطوبة وجودة الخواص الكهربائية.

هناك نوع آخر من الألياف أكثر حداثة في الصناعة مثل التيتان (Titans) ومركبات الأرميد (Aramids) يستعاض بها عن الخيوط الفولاذية، وتستعمل حالياً في الطيران والمركبات الفضائية والصواريخ والصناعات البحرية وأدوات الرياضة...

تستعمل ألياف الفحم في تقوية اللدائن (السفن الفضائية)، وكذلك ألياف الزجاج التي تستعمل مع المركبات المتصلبة حرارياً وخاصة البولستر الغير مشبع، حيث تتراوح نسبة التسليح (80-10%) وهذه الألياف خفيفة الوزن ولا تتآكل ويمكن أن تحل محل الفلزات في صناعة الصواريخ والطائرات والسيارات.

١٢ - مواد لمنع الالتصاق في القوالب: Antiblocking Agent

توضع هذه المواد على سطوح القوالب فتمنع التصاق القطعة المقولبة في تجويف القالب، كما تقوم بدور زلق القطعة خارج التجويف. يجب أن تكون هذه المواد قادرة على تحمل حرارة القالب أو المادة البلاستيكية المقولبة

وعدم تأثيرها على هذه المادة. ترش هذه المادة غالباً مع الغاز المضغوط بمرشات للحصول على طبقة رقيقة جداً لا تؤثر على شكل المنتج النهائي.

١٣- مواد للارغاء أو عوامل النفخ : **Blowing Agent**

يتضمن إنتاج الفوم عادة (لكن ليس دائماً) استعمال معاملات النفخ وذلك لتوليد غاز ضمن البولييمير، إن تشكيل الفوم له فائدة كبيرة في إنقاص وزن المنتج النهائي. وهو يخفض أيضاً المعاملات للمادة البلاستيكية "modulus"، بينما يحسن الخصائص الأخرى مثل امتصاص الطاقة وأداء العزل الحراري والصوتي.

إن خصائص العزل للفوم تعتمد لدرجة كبيرة على الغاز الموجود في الخلايا "cells"، ولذلك فإن اختيار معامل النفخ ليس ببساطة مسألة يمكن التعامل معها خلال مرحلة التصنيع، وهو يؤثر أيضاً في الخصائص النهائية. تعتمد هذه الخصائص على البنية المجهرية للفوم وعلى معدل حجم التجاويف. هذا بالتالي يعتمد على التوتر السطحي للسائل، ريولوجية المزيج في اللحظة التي يتم فيها تشكيل الفوم، درجة الحرارة المحيطة، عدد فقاعات الغاز في واحدة الحجم، السماكة الوسطية للجدار المحيط بالخلايا.... إلخ.

معاملات النفخ هي عبارة عن إضافات تولد غاز في أثناء المدة التي يتصلب فيها البولييمير. يتصلب البولييمير عندما ترتفع لزوجته على نحو كافٍ لعملية التصلب، مثلاً بسبب زيادة في الوزن الجزيئي للبولييمير.

إن استعمال معاملات النفخ ليست الطريقة الوحيدة للحصول على بولييمير رغوي أو خليوي Cellular. تتضمن الطرق الأخرى التوليد الميكانيكي للزبد، أو الاندماج المباشر لكميات كبيرة من كريات مجهرية رقيقة الجدران ومجوفة.

يوجد هناك صنفان لمعاملات النفخ:

معاملات النفخ الفيزيائية: التي تتغير من سائل لغاز بارتفاع درجة الحرارة أو ارتفاع الضغط.

معاملات النفخ الكيميائية: التي تتحلل أثناء عملية المعالجة، مما يؤدي إلى تحرير مادة غازية مثل ثاني أكسيد الكربون أو النتروجين وذلك بوساطة تفاعل كيميائي.

الطرق التجارية تستخدم أحياناً معاملات النفخ الفيزيائية والكيميائية سوية في النظام نفسه، حيث يتم في البداية توليد غاز ثاني أكسيد الكربون بواسطة معاملات النفخ الكيميائية ومن ثم يتم استخدام معاملات النفخ الفيزيائية وذلك للحصول على التركيب الخليوي. الحرارة المحررة أو الممتصة والناجمة من معاملات النفخ يمكن أن تستعمل للمساعدة على السيطرة على العمليات الأخرى. من الممكن استعمال خليط من معاملي النفخ الكيميائيين إذا أدى هذا إلى إعطاء الخصائص الحرارية الصحيحة.

إن اختيار معاملات النفخ يعتمد على البولييمر الذي يتم تحويله إلى Foam، وعلى العمليات الموجودة. إن الهدف ليس فقط إنتاج Foam بكثافة محددة، ولكن لتحسين أدائه من جميع الجوانب.

معاملات النفخ الفيزيائية منخفضة الكلفة نسبياً، وهي لا تترك أي مخلفات صلبة، لكن استعمالهم يتطلب أجهزة خاصة. وهي غير فعالة من الناحية الكيميائية، وتتضمن إما السوائل الغير مستقرة (عضوية، أو لا عضوية، ومثال على ذلك: - الماء) أو الغازات المضغوطة، مثل غاز ثاني أكسيد الكربون أو النتروجين، اللذان يذوبان تحت تأثير الضغط في البولييمر لتشكيل الفوم عند إزالة الضغط. إن معاملات النفخ الفيزيائية تخفض من لزوجة المزيج عند استعمالها في كميات محددة.

إن قابلية ذوبان الغاز في البوليمير تعتمد إلى حد كبير على الضغط ودرجة الحرارة. عند انخفاض الضغط، فإن قابلية الغاز للذوبان تصبح أقل. إن عملية التبخير تعاكس عملية نشر الحرارة الناتجة من البلمرة. التطبيق الأكثر أهمية لتقنية الغاز المضغوط هي في تشكيل المنتجات القومية أثناء عملية الحقن للبلاستيك الحراري. حيث إن معامل النفخ للبلاستيك الحراري يكون إما صلب أو سائل، إن كمية معامل النفخ المستخدم تتراوح بين (1% إلى 15%)، اعتماداً على الظروف.

١٤ - مواد إضافية أخرى:

الهدف من الإضافة	المواد الإضافية
وتستخدم كيميائياً لزيادة سرعة تفاعل ما غالباً (البلمرة) وخاصة في مواد البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts).	مسرعات Accelerator
وتستخدم لتحسين وضوح رقائق البلاستيك مثل أكياس النايلون وذلك لمنع قطرات الماء من التكاثف على شكل نقاط على السطح الداخلي للرقائق.	مضادات التشويش Antifogging Agents
وتكون هذه المواد عادة بوليميرية وتستخدم عادة لتحقيق التوافق بين بوليميرين مختلفين بحيث تكون عملية المزج بينهما سهلة.	تحقيق التوافق Compatilizer
مواد تستخدم من أجل الحد أو تخفيض التفاعلات الناتجة عن أشعة الضوء المرئية أو فوق بنفسجية.	المثبتات اتجاه الضوء Light stabilizer
مواد عضوية فلورية تستخدم من أجل تصحيح عملية إزالة اللون وتحسين البياض، حيث أنها تمتص الأشعة فوق بنفسجية وتعكسها على شكل ضوء مرئي.	المشعات الضوئية Optical Brighter
ويعطي المواد البلاستيكية قوة إضافية وصلابة. إن إضافة النانوتيوب إلى الخلايا الشمسية البلاستيكية يزيد من كفاءتها آلاف المرات في تحويل الطاقة الشمسية إلى تيار كهربائي.	الكربون Carbon



الفصل الثالث

معلومات عامة

مقدمة :

إن موضوع تأثير المواد البلاستيكية ومخلفاتها في البيئة والصحة يشغل بال كثير من الأوساط العلمية والهندسية والطبية والبيئية ومراكز الدراسات والبحوث والجامعات وترصد الأموال الطائلة وتبذل الجهود الضخمة للوصول إلى حقائق علمية تفيد البشرية والتقدم والحضارة. لقد وجدت من واجبي تقديم مختصر عن بعض العناوين الحديثة لعلها تكون حافزاً لمهندس المستقبل لخوض هذا المضمار من البحث والاستقصاء بهذه المجالات وأهم هذه العناوين:

١- المواد البلاستيكية ومخلفاتها وإعادة تدويرها وبعض التأثيرات على البيئة والصحة.

٢- الجديد في علم المواد البلاستيكية وهندستها.

الجزء الأول

المواد البلاستيكية ومخلفاتها وإعادة تدويرها وبعض

التأثيرات في البيئة والصحة

إن علم البيئة Ecology هو الذي يدرس علاقة الإنسان بالبيئة المحيطة به وتأثيرها عليه وقد بينت الدراسات والأبحاث أن تلوث هذه البيئة يهدد حياة البشرية وحتى الكائنات الأخرى.

ورغم الجهود المبذولة، فإن الوضع البيئي الآن أسوأ منه قبل عشرين عاماً بالرغم من بعض الإنجازات الخاصة للحد من هذا التدهور.

إن المخلفات الصلبة Solid waste تعد من المشكلات التي تعاني منها المجتمعات البشرية لذلك اهتمت الدراسات والبحوث العلمية بعلاج هذه المشكلات بأسلوب بيئي ومراعياً سلامة البيئة والصحة.

وفقاً لأحد المعاهد الفرنسية فقد توصل استهلاك العالم كله لعام 2000 من المواد إلى (120) مليون طن ورق وكرتون (70) مليون طن من مواد استهلاكية (40) مليون طن زجاج، (20) مليون طن أوعية معدنية، (22) مليون طن خشب. وسيقتصر حديثنا عن المواد البلاستيكية ومخلفاتها.

استخدمت المواد البلاستيكية في شتى نواحي الحياة خدمة للإنسان في مختلف المجالات، وحلت محل كثير من المواد الأخرى فازداد استهلاكها وإنتاجها بشكل كبير جداً في كل أنحاء العالم.

إن هذه المواد تصبح مخلفات بعد استعمالها كسلع فأصبحت تشكل عبئاً تتحمل مسؤولية نتائجه المجتمعات البشرية المستهلكة لسلع هذه المواد. لقد أصبحت المخلفات البلاستيكية تشكل خطورة متزايدة لأن التخلص منها ليس بالأمر السهل، فهي غير قابلة للانضغاط ومقاومتها عالية لعوامل التحلل

الطبيعي من هواء وشمس ورطوبة ومطر، وعدم قدرة الكائنات الحية الدقيقة أو الأنزيمات على تحليلها. نسبة الاسترجاع أي التدوير قد لا تتجاوز (20%) فهل يمكن تخيل التراكم الهائل الذي أثر على عملية التوازن البيئي وسبب خللاً واضحاً. ولنعطي بعض الأمثلة :

مثال (١) :

تستهلك زجاجات الماء البلاستيكية على مستوى عالمي أكثر من (مليون ونصف) طن من البلاستيك الذي هو من مشتقات النفط وغالباً من البولي إيثيلين (PE). وبالرغم من أن سمية هذه المواد قليلة إلا أن تصنيعها لإنتاج بلاستيك شفاف يؤدي لانبعاث غازات سامة تعادل مئة ضعف لما ينبعث من إنتاج كمية مماثلة من الزجاج.

إن مصير هذه الزجاجات بعد استهلاك المياه المعبأ بها هو القمامة. ما الحل علماً أن المخلفات البلاستيكية غير قابلة للتحلل ولها قدرة على الثبات.

- إحراق البلاستيك: ينتج عنه ملوثات غازية خطيرة مثل (الدايوكسين) المسرطن.

- طمر البلاستيك: ينتج عنه مادة "الفثالات" السيئة التأثير والتي تتسرب إلى المياه الجوفية (أحد المصادر الرئيسية للمياه المعبأة بهذه الزجاجات).

مثال (٢)

تصنع أكياس البلاستيك عموماً من مادة الـ (PE) والتي هي سلسلة طويلة من ذرات الكربون والهيدروجين، وهي غير قابلة للتحلل بعشرات أو مئات السنين ولا تتم إعادة تصنيعها إنها شر لا بد منه، وهي إضافة إلى ذلك :

- تشوه جمال الطبيعة.
- تعيق نمو النبات حيث تمنع الشمس والهواء عنه.

- تسبب موت الحيوانات التي تتلعتها لظننها أنه طعام وهذا يؤدي لانسداد القناة الهضمية لها.

- تحتوي الأكياس مواد كيميائية تذيب في الغذاء وتسبب أمراضاً في الكبد والرئة وأشارت إحدى الدراسات العلمية عن وجود آثار مواد التصنيع في دم الإنسان والمؤدي للأمراض الخبيثة، أما حمل الأطعمة الساخنة في الأكياس فيعتبر أشد خطورة.

- في الأنهار والبحار تؤدي لموت أعداد كبيرة جداً من الأسماك لأنها تسد غلاصم التنفس، وتؤدي أحياناً لتعطيل آلات ومعدات تشغيل السفن.

طرق التخلص من مخلفات البلاستيك وأضرارها:

١- الطمر أو الدفن بالأرض: المخلفات البلاستيكية غير قابلة للتحلل داخل التربة وهي تبقى موجودة مسببة تلوث التربة أولاً، ثم أن تسرب بعض المواد الداخلة في تركيب البلاستيك قد يؤثر في المياه الجوفية.

٢- الحرق: إن لحرق مخلفات المواد البلاستيكية أثراً مدمراً على الإنسان والنبات والمناخ حيث يسبب تلوث الهواء بالمواد الكربونية شديدة الضرر والمنبعثة من تلك الحرائق، والتي تؤثر في طبقة الأوزون.

مثال على ذلك حرق عبوات الـ (PVC) تتصاعد أبخرة الفوسجين وحمض الهيدروكلوريد المسببة للتسمم وكذلك مركبات الدايوكسين Dioxins الشديدة الخطورة .

ومع ذلك فإن حرق المخلفات البلاستيكية بصورة مرتبة وبوسائل علمية حديثة قد تكون مقبولة في بعض الحالات.

٣- إعادة التدوير ((إعادة التصنيع):

إن عملية إعادة التدوير والاستخدام لمخلفات المواد البلاستيكية خلقت مشكلات اقتصادية وبيئية وتصميمية لدول العالم المتقدم حيث استطاعت التغلب عليها. أما في الدول النامية فإن ثلاثة أرباع المخلفات يتم طمرها وليس تدويرها. إن إعادة التدوير هي الطريقة التي توفر الاستفادة الاقتصادية إضافة إلى التخلص من المخلفات البلاستيكية. وتعدّ هذه الطريقة من أفضل الطرق المتبعة حالياً لمعالجة تأثيرات المخلفات البلاستيكية. يمكن أن نميز حالتين من المواد:

- أ- مواد البلاستيك الحراري (Tp) : وهي ذات تفاعل عكوس أي يمكن تلدينها أكثر من مرة بالحرارة مثل PVC , PE , PP , PS , ABS
 - ب- مواد البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts): وهي ذات تفاعل غير عكوس، أي تشكل مرة واحدة بالحرارة سواء كانت صلبة أم سائلة أو على شكل بورد. إن هذه المواد خارجة عن نطاق إعادة التدوير إلا في حالات خاصة بنسبة حوالي (20%) من مخلفات هذه المواد حيث يتم طحنها جيداً وتستخدم كمواد مألئة غالباً لتخفيض كلفة الإنتاج للسلع.
- يجب أن نشير إلى ضرورة عدم استخدام البلاستيك الناتج عن التدوير في إنتاج منتجات يتعامل معها الإنسان بطريقة مباشرة لتلافي الأضرار الصحية الناتجة عن ذلك إلا في حالات خاصة.

اتجهت البحوث العلمية والدراسات في العالم إلى إنتاج مواد وعبوات سهل التخلص منها (بعد الاستعمال) عن طريق التحلل البيولوجي Biodegradable plastic، سواء باستخدام الكائنات الحية الدقيقة أو عن طريق الأنزيمات، أو بتضمين Iscorporation المواد البلاستيكية (الرقائق) بمواد عضوية كالنشاء

والسيليلوز لكي تساعد على عمليات التحلل البيولوجي وعلى فناء هذه المخلفات.

وأهم المواد البلاستيكية القابلة للتحلل والتي تتمتع بخواص ميكانيكية جيدة هي: PLA , PCL , BIOPO/TM , ICI , VIOPOL. لهذه المواد خواص جيدة من حيث الشفافية، قوة الشد، الاستطالة وسهولة التخلص منها كمخلفات بعد الاستخدام.

أهم مراحل عملية إعادة التدوير للمخلفات البلاستيكية:

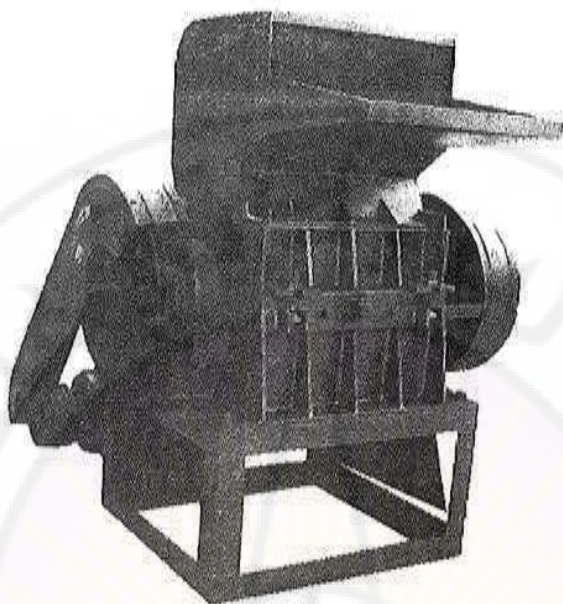
هناك طرق ومشروعات كثيرة لإعادة تدوير المواد البلاستيكية، تختلف عن بعضها بأساليب العمل إنما الهدف واحد وهو معالجة هذه المخلفات وتهيتها لإعادة تصنيعها ثانية، لما لهذا العمل من مردود على الاقتصاد والبيئة والصحة.. وأهم هذه المراحل:

١- الفرز الجيد للمخلفات البلاستيكية كل حسب نوعه . رغم أن بعض الدراسات والتجارب أثبتت أن خلط أنواع البلاستيك بعضها ببعض قد يحسن من خواصها.

٢- غسيل المخلفات البلاستيكية غالباً بمادة الصودا الكاوية أو الصابون السائل مع الماء الساخن حيث يجب أن تكون المخلفات خالية من الزيوت والدهون والأوساخ وما شابه ذلك.

٣- تكسير أو طحن المخلفات البلاستيكية ضمن آلات مصممة لذلك كما بالشكل (1) تحتوي على شفرات تقوم بطحن هذه المواد وخاصة إذا كانت من النوع الصلب Hard Plastic . يتم التحكم بحجم الحبيبات الناتجة من طريق شبك ذي فتحات محددة الأبعاد لا تسمح للحبيبات المطحونة بالمرور إلا إذا كانت بالحجم المطلوب. أما إذا كانت "المخلفات البلاستيكية من النوع الطري Thin Film Plastic (مثل

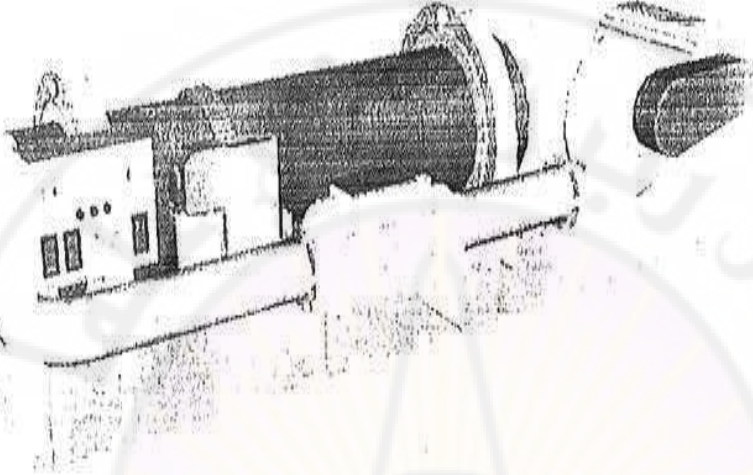
الأكياس)، فتستخدم قطاعة تقوم بتقطيع المواد إلى قطع صغيرة حسب الحجم المطلوب.



الشكل (1)

- ٤- غسل حبيبات المخلفات الناتجة مرة ثانية وهذا سينعكس على نوعية منتجات إعادة التصنيع، ويستغنى عن هذه المرحلة عند استخدام المخلفات الناتجة عن المصانع مباشرة. وفي كل الأحوال يجب تجفيف الحبيبات الناتجة.
- ٥- مرحلة تكثيف أجزاء البلاستيك الدقيقة مع القطع الأخرى بشكل كتل متماسكة (حبيبات) لتصبح مادة خام قابلة لإعادة التصنيع.
- ٦- مرحلة تجفيف الحبيبات النهائية بشكل جيد بواسطة مجفف حراري لتقليل الرطوبة كما بالشكل (2) قبل تعبئتها بأكياس أو نقلها إلى آلات الإنتاج مباشرة. وهنا لابد من الإشارة إلى أن هذه المواد

النااتجة يمكن أن تستخدم مباشرة في التصنيع أو بإضافة بعض المواد الإضافية كالملدنات والمثبتات والملونات فيما إذا كان ذلك ضرورياً حيث تحسن هذه الإضافات من خواصها.



الشكل (2)

مجفف حراري لتقليل الرطوبة عن طريق ضخ هواء ساخن على المواد ثم امتصاصه.

٧- مرحلة التصنيع أو التشكيل: يشكل البلاستيك الناتج من إعادة التدوير بطرق مختلفة حسب المنتج المطلوب (الحقن والنفخ كرة القدم مثلاً)، البثق (الخراطيم، الأنابيب، كابلات الكهرباء...).

ترميز البلاستيك:

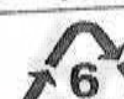
إن البلاستيك القابل للتدوير يحمل شارة التدوير المثلثية مع رقم المادة أما البلاستيك المدور فيحمل الإشارة نفسها موضوعة ضمن دائرة والنسبة المئوية الموضوعة داخل الشارة تمثل نسبة المادة المعاد تدويرها.


PETE

HDPE

PVC

LDPE


PP

PS

OTHER

الشكل (3)

1	PETE	بولي إيثيلين فتلات	صينية زجاجات الشراب المرنة، سجاد، أقلام رصاص،
2	HDPE	بولي إيثيلين عالي الكثافة	أنابيب زراعية زجاجات المنظفات، تعليب صناديق، زجاجات الحليب والعصير والمشروبات الأخرى، ألعاب
3	PVC	بولي كلوريد الفينيل	الجدران والأرضيات والألعاب، الأنابيب والتغليف... إلخ.
4	LDPE	بولي إيثيلين منخفض الكثافة	منتجات مرنة وطرية (الأكياس، الأغلفة الرقيقة القابلة للانكماش).
5	PP	بولي بروبيلين	حاويات الطعام، الألعاب قطع السيارات
6	PS	بولي ستيرين (ستيروفوم)	قطع مكاتب، حاويات الطعام الرغوية ألعاب، فناجين القهوة
7	ABS	مثلاً	هناك عدة أنواع من المواد تقع ضمن هذا التصنيف

بعض المعلومات عن إعادة التدوير:

- زاد عدد منشآت إعادة التدوير للمخلفات البلاستيكية في دولة كبرى (80%) منذ عام 1990 (923 منشأة) إلى عام 1999 (11677 منشأة).
- الطن الواحد يساوي تقريباً (20000) قارورة بلاستيكية. وإعادة تصنيع قارورة واحدة تستطيع توفير طاقة قادرة على تشغيل مصباح كهربائي استطاعة (60 watt) لمدة (6) ساعات.
- إعادة تدوير PVC صعب جداً لأنه يفقد كثيراً من مرنته عند تعرضه للحرارة أي يزداد نشفة كلما أعيد تدويره. إذن كيف يمكن الاستفادة من المخلفات الضخمة للـ PVC التي يصنع منها الأنابيب. هناك آلات خاصة وتقنيات مختلفة تستخدم لهذه الغاية.
- لعدم الإطالة وخاصة أن الموضوع طويل، لذا أنصح المهندسين ومن يهمهم الأمر العودة إلى الكتب والمجلات التخصصية ومواقع الانترنت.
- بعض تأثيرات المواد البلاستيكية على البيئة والصحة العامة :
- لاشك أن المواد البلاستيكية اختراع عظيم وإنجاز حقق ولا يزال مالا يتصوره الإنسان.. ولكن ما هو الثمن؟
- سأذكر هنا بعض النقاط الهامة باختصار شديد، ولكن أنصح المهندسين ومن يهمهم الأمر العودة إلى المجلات التخصصية ومواقع الانترنت.
- ١- إن المواد البلاستيكية غير قابلة للتحلل في التربة، وبالتالي فهي تمنع الهواء والماء من الوصول إلى مستويات جذور النباتات لتزويدها بهذين العنصرين الأساسيين لحياتها.
- ٢- تعتبر المواد الكيميائية من أخطر المواد التي يتداولها الإنسان وتتسبب في زيادة تلوث البيئة وبالتالي تؤثر على صحة الإنسان

رغم أن هذه المواد لها سر هام في تطوير المجتمعات البشرية من خلال استخدامها في كافة المجالات الصناعية والزراعية والبتروولية والتجارية والعلاجية والمنزلية...

٣- لا ينصح مطلقاً باستخدام مخلفات البلاستيك في إنتاج منتجات لها علاقة بالمواد الغذائية، لأن المادة المدورة تصبح أكثر خطورة على صحة الإنسان من خلال انتقال بعض المركبات إلى الغذاء المعبأ بها.

٤- إن بعض المنتجات والأدوات الكهربائية البلاستيكية الرخيصة الثمن والمنعدمة الكفاءة تسبب معظم حرائق الكهرباء لأنها مصنوعة من مواد بلاستيكية غير متجانسة مختلفة الأوزان الجزيئية ومختلفة الكثافات لا تجانس بينها ولها خواص ميكانيكية وكهربائية وحرارية متدهورة وعاجزة عن تأدية وظيفتها.

٥- يجب تجنب استخدام الحقن الطبية البلاستيكية المستعملة وعموماً كافة الأدوات والعبوات البلاستيكية المستخدمة في المجالات الطبية والدوائية في صناعة إعادة التدوير للمواد البلاستيكية وذلك لتجنب الآثار الصحية الخطيرة التي يمكن أن تنتج من ذلك. يضاف إلى ذلك تجنب استعمال براميل المواد الكيميائية السامة المصنوعة من البلاستيك في صناعة إعادة التدوير.

٦- ينصح بعدم استخدام الأكياس السوداء في نقل أو تعبئة المواد الغذائية وعدم تكرار استخدامها إلا للقمامة.

٧- يجب عدم استخدام الأغلفة البلاستيكية مع الميكروويف إلا إذا دون عليها عبارة "صالح للاستخدام مع الميكروويف" وهذا النوع غالباً

عديد الاستر (PS , ICI) يتحمل درجات حرارة عالية لا تزيد عن (180°C) .

٨- لا تستخدم أدوات مطبخ بلاستيكية إلا إذا كانت مصنوعة من الـ Polyethylene حيث لا تحتوي على ملدنات.

٩- تستخدم مادة أسائر الفثاليت Phthalate Esters السامة في صناعة مادة البلاستيك الصلب PVC كمادة إضافية (ملدن وملين) يجعل المادة قابلة للثني والتشكيل، تصنع منها بعض ألعاب الأطفال وحاجياتها. كثير من الدول منعت استخدامه وبعض الدول سحب من الأسواق لعب الأطفال المصنوعة من (5) PVC الحاوي على هذا الملدن. كما ثبت أن هذا الملدن يؤثر في معدل الهرمونات فيزيدي نسبة تكوين وإفراز هرمون الايستروجين والمتهم في تسببه في تزايد أنواع الأورام الخبيثة.

١٠- لم يكتشف العلماء أي خطورة لاستعمال المواد البوليميرية الرغوية (البلاستيك الرغوي) مثل رغوات البولي يوريثان ورغوات عديد أوليفين ورغوات ريزينات الميلامين فورمالدهيد على صحة الإنسان، ولكن هناك مخاوف من مخاطر تلوث الأغذية بالمونوميرات المتبقية من هذه الرغويات والمواد المضافة ذات الوزن الجزيئي المنخفض المستعملة في صناعتها.

١١- ينصح دوماً العاملين في مجال الصناعات البلاستيكية عدم الاستهانة بقواعد السلامة مطلقاً. فالمسؤول أو صاحب الإنتاج يجب أن يؤمن تهوية جيدة لصالات الإنتاج لأن غازات البلاستيك بشكل عام سامة، كما يجب تأمين نظارات بيضاء وكمامات للعمال واتباع توصيات وزارة الصحة بضرورة تقديم بعض المواد الغذائية للعمال كذلك، أن

الاستهانة بقواعد السلامة يؤدي إلى إصابة العامل بمشكلات تنفسية خطيرة بعد عدة سنوات وهذا ما لا يجوز .

١٢ - المواصفات التي يجب أن تتوفر في أنابيب نقل مياه الشرب الداخلية بالمنزل:

- مقاومة للحموض والأملاح المعدنية.
- مقاومة شد جيدة.
- مقاومة تآكل كهربائي وكهروكيميائي وهذا ما تتعرض له الأنابيب المعدنية المدفونة .
- أن يكون صلب بحيث :
 - يقاوم الانهيارات نتيجة تمدد الماء المجمد.
 - يقاوم الصدمات فيما إذا كان التمدد خارجي أو خلال أوقات التخزين.
- أن يتحمل درجات حرارة الخدمة للماء: ($4-100^{\circ}\text{C}$).
- مقاومة جيدة للأشعة فوق البنفسجية.
- قابلية الامتصاص منخفضة
- قابل للحام.
- صحي غذائياً.
- مقاومة الصدأ.

الجزء الثاني

الجديد في المواد البلاستيكية

مقدمة:

في مقدمة هذا الكتب اتضح أن علم المواد البلاستيكية وهندستها مثل كرة الثلج المتدحرجة والتي تكبر يوماً بعد يوم دون توقف، يجب ألا نستغرب ولا نتعجب فكل ما هو خيال أصبح وسيصبح حقيقة.

أبحاث ودراسات واكتشافات وتقنيات جديدة، مواد متطورة واستخدامات تزداد يوماً بعد يوم تحمل فيها المواد البلاستيكية محل المواد التقليدية. سباق محموم على الابتكارات والتطوير وتقديم كل ما هو جديد ومميز.

المليارات تبذل والمخابر ومراكز البحث والجامعات تعمل والشركات تُطور وتنتج ونحن نستهلك وفقط نستهلك..

في الحقيقة، من المفيد إلقاء نظرة سريعة على بعض ما هو جديد (مقتبس من مواقع مختلفة بالانترنت) ويتعلق بالمواد البلاستيكية، لعله يكون حافزاً لمهندسينا أن يخطو ويتقدم في هذا المجال العلمي الهام. وأهم العناوين:

- ١- بوليمير ناقل للكهرباء.
- ٢- تخفيف وزن السيارة بنوع جديد من البلاستيك.
- ٣- مغناطيس من البلاستيك.
- ٤- المطاط المعدني.. البلاستيك الجديد.
- ٥- رقائق وقاية.
- ٦- طريقة لإنتاج بلاستيك طبيعي قابل للتحلل من زغب القطن.
- ٧- صناعة بلاستيك من البكتريا .

- ٨- صناعة بلاستيك يذوب بالماء.
 - ٩- أدوات جراحية من بلاستيك برؤيا أوضح.
 - ١٠- بلاستيك في صلابة الحديد يتحمل حرارة 800°C .
 - ١١- إنتاج روبوتات من الخلايا ممزوجة بشرائح السيليكون.
 - ١٢- عالمة هندية تحول النفايات البلاستيكية إلى وقود.
 - ١٣- تشكيل البلاستيك باستخدام درجة حرارة الجو المحيط فقط.
 - ١٤- تحويل المخلفات البلاستيكية إلى بلاط في نيجيريا.
 - ١٥- صناعة البلاستيك من قشر البرتقال.
 - ١٦- خيوط أقوى من الفولاذ.
 - ١٧- بلاستيك يجدد نفسه بنفسه.
 - ١٨- مفاعل حيوي يحول فضلات الطعام إلى مادة بلاستيكية قابلة للتحلل البيولوجي.
 - ١٩- بلاستيك ذكي ينمو كالنباتات بتأثير الضوء.
 - ٢٠- أشجار تطرح بلاستيك.
- وهذا قليل من كثير، ولمعرفة المزيد يمكن العودة إلى الأصل.
- ١- بوليمير ناقل للكهرباء:

طور الباحثون مادة بلاستيكية جديدة تنقل الكهرباء وربما تصنعها أسهل من المواد الصناعية الأخرى. ويتكون البوليمير الجديد من أجزاء مادة كيميائية صغيرة الحجم تمتلك نواة للكهرباء ونهايتين عازلتين. ويحاول الباحثون منذ عقود إنتاج إلكترونيات تستخدم البلاستيك بدلاً من المعدن لنقل التيار الكهربائي. وإضافة إلى خفض الوزن والتكلفة يمكن تصنيع البوليمر الناقل في أشكال مختلفة تتناسب استخدامات وتطبيقات عديدة.

٢- تخفيف وزن السيارة بنوع جديد من البلاستيك:

إن استخدام البلاستيك المسلح بمادة الفايبيركلاس ينبغي أن يساعد بصورة ملحوظة في خفض وزن السيارة.

وتوقع الباحثون أنه بحلول عام (2010) ينبغي أن ينخفض وزن السيارة متوسطة الطراز من وزنها الحالي وهو (1400 kg) إلى (1150 kg) كما توقعوا من أن حصة البلاستيك المسلح بالألياف الزجاجية بالسيارة ستزيد بينما تنخفض نسبة المعدن لأكثر من (10%).

٣- مغناطيس من البلاستيك:

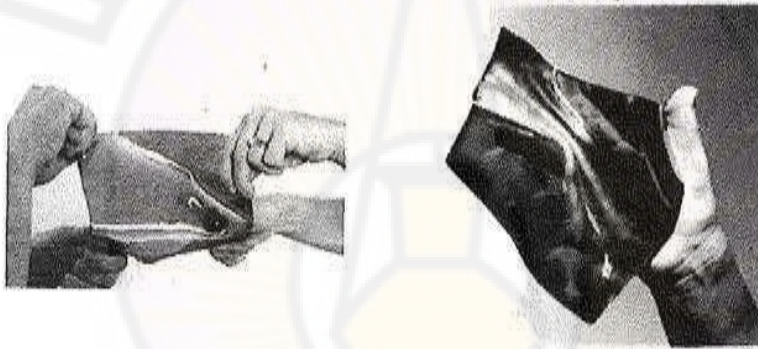
أحد أهم أحلام العاملين في حقول التكنولوجيا المختلفة هو امتلاك "مغناطيس" خفيف الوزن، تكون كلفة إنتاجه منخفضة نسبياً قياساً بالمغناطيس المعدني الأكثر وزناً وكلفة.

في هذا الحلم يبدو أنه سيصير أمراً واقعاً، بفضل جهود مجموعة من العلماء. فقد تمكنت مجموعة العلماء من اكتشاف خصائص جزيء هيدروكربوني ستمكنهم مستقبلاً من صناعة مواد مغناطيسية منه، والسر يكمن في جسيمات الإلكترونات الموجودة في ذرات الجزيء، حيث تتصرف هذه الجسيمات بطريقة غير معهودة في جسيمات الإلكترون في الذرات، وتعتقد المجموعة أنها بالاعتماد على هذا التصرف الشاذ للإلكترونات سيكون بالإمكان بناء مواد بوليميرية بلاستيكية ذات خصائص مغناطيسية، وتحذر المجموعة من أن الطريق لا زالت طويلة للوصول إلى الهدف، إلا أنه يمكن التخيّل يوماً يصبح فيه المغناطيس البلاستيكي متوفراً للصناعات الفضائية والإلكترونية وغيرها من المنتجات الاستهلاكية العديدة.

٤- المطاط المعدني.. البلاستيك الجديد:

(مركب جديد يجمع بين مرونة المطاط وقوة المعدن) ويدور حوله جدل كبير.

إنه يجمع الخصائص التوصيلية للمعدن وقابلية المطاط للتشكل. إذا ما اثبت المطاط المعدني نجاحه فإنه قد يغير آلاف المنتجات بصورة جذرية. ويتم إنتاج المطاط المعدني بعملية تعرف باسم "التجمع الذاتي المستقر" الكهربائية، وتتكون من أخذ مادة كالزجاج مثلاً لاستخدامه كأساس ويتم تغطيته بالتناوب في حوضين مملوئين بالمياه يحتوي الأول على أيونات موجبة والثاني أيونات سالبة. تؤدي هذه العملية المتكررة إلى تشكل طبقة تلو الأخرى على المادة الأساس، التي تتم إزالتها في الخطوة النهائية ليصبح المنتج قائماً بحد ذاته.



شكل (4)

"من الصعوبة بمكان التنبؤ في هذا الوقت بالمشكلات البعيدة الأمد لهذا المنتج، وبوسعي أن أتخيل أنه سيكون باهظ الثمن ومن الصعب صيانته عندما تطرأ الحاجة أثناء استخدامه في الأغراض اليومية". قد تكون فكرة إنتاج أشياء غير قابلة للكسر مثالية. لكن عملياً، سينتهي بنا الأمر إلى إنتاج مواد لا يمكن تدميرها، وقد يكون هذا مفيداً أو ضاراً تبعاً لكيفية استخدامه، ولأي غرض يستخدم" والسؤال المطروح، هل سيكون المطاط المعدني نعمة أم نقمة على البيئة والإنسان؟..

٥- رقائق وقاية:

اخترعت إحدى الشركات رقاقة شفافة تحمي السيارة من الخدش وتمنع أشعة الشمس فوق البنفسجية من السقوط على بشرة الإنسان المعرضة أكثر من غيرها للسرطان.

تتمتع الرقاقة، حسب مصادر الشركة، بمرونة لا تقل عن الصلابة التي تميزها ضد الخدش، فهي تحمي جسد السيارة من الخدش عند الاحتكاك بالأشياء، وتم تصنيع الرقاقة عالية المرونة من بولي بوريثان التي تتفاعل وتلتصق على الأشياء بمساعدة طبقة رقيقة من مادة أكريليك اللاصقة.

وتفيد مصادر الشركة إلى أن أي سائق قادر على لصق الرقاقات على سيارته من دون الحاجة إلى مساعدة مختصين، لأنها تلتصق بسهولة من دون أن تترك فقاعات أو طيات. ويمكن للمستخدم أن يكسو بدن سيارته كلها، من الداخل والخارج، من دون عناء كما يمكنه الاكتفاء بتغليف أجزاء السيارة الأكثر عرضة من غيرها للخدش. ولا يمكن تمييز الجزء المكسو بالرقاقة عن الجزء غير المكسو بها، كما يمكن إزالة الرقاقة بسهولة من دون ترك أي أثر.

والرقاقة مقاومة للماء والصابون ومحاليل التنظيف والمحاليل المذيبة. وتلصح الشركة بتغليف زجاج السيارة بالرقاقة لأنها مزودة بربش عرضية تكفل دخول أشعة الشمس عبر الزجاج لكنها تمنع دخول الأشعة فوق البنفسجية. كما تصد الرقاقة الحرارة عن السيارة في فترة الصيف وتعمل بالتالي على تقليل استهلاك نظام التبريد فيها.

ويمكن استخدام الرقاقة في كسو الإعلانات الضوئية والعلامات المرورية لأنها تقوي الضوء المنعكس عليها من دون أن تعكسه وتراوح سمك الرقاقة بين (0.3-1 mm) حسب الحاجة ، وتحتوي على ريش طولية تسبح في وسط

من اليوريثان بدرجة تتغير حسب شدة الضوء . وتستعد الشركة أيضاً لإنتاج رقائق عضوية شفافة من مادة قريبة من مادة الرقاقة الأولى يمكن لصقها على مقدمة السقف أو أعلى الزجاج الأمامي ليتمكن عرض الصور والأفلام عليها.

٦- طريقة لإنتاج بلاستيك طبيعي قابل للتحلل من زغب القطن:

أصدر مكتب براءات الاختراع التابع لأكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا براءة اختراع حول "طريقة لإنتاج بلاستيك طبيعي قابل للتحلل من زغب القطن" وذلك للدكتورة أغاريد محمود تايب.

يتعلق هذا الاختراع بطريقة لإنتاج بلاستيك طبيعي قابل للتحلل من زغب القطن. يتكون هذا البلاستيك من خلاات السيليلوز الذي يستخدم في صناعة أدوات أو أفلام التصوير أو الألياف أو الرقائق الشفافة. يتم استخدام زغب القطن كمصدر للسيليلوز ليتفاعل كيميائياً مع حمض الخليك وخلات الانهيدريد لإنتاج خلاات السيليلوز، إن البلاستيك الناتج من التفاعل يكون على هيئة مادة لزجة مذابة في بقايا حمض الخليك. يتم فصل مادة البلاستيك باستخدام جهاز يعمل بقوة الطرد المركزي، ثم يتم شطفه بالماء لإزالة بقايا الحمض. تكون مادة البلاستيك الناتجة لزجة جداً لذلك يضاف إليها مذيب (مثل الأسيتون) ومادة أخرى لتعطي البلاستيك صفة المرونة. يمكن تشكيل البلاستيك الناتج إما بصبه في قوالب أو حقنه للحصول على خيوط رفيعة أو فرده على سطح أملس للحصول على أفلام رقيقة، ثم يتم تجفيف البلاستيك الأمر الذي يؤدي إلى تطاير المذيبات الموجودة به فيصبح جاهزاً للاستعمال.

٧- صناعة بلاستيك من البكتريا:

أطلقت جامعة رايس الأمريكية مشروعاً بحثياً لإنتاج بعض المواد الكيماوية والبلاستيك التي تستخدم بكثرة في الصناعة باستخدام البكتريا وبأسلوب جديد

لا يضر بالبيئة وهذا الأسلوب أعطته الجامعة اسم "الأسلوب الأخضر" وفيه يتم إنتاج مادة كيميائية (S) تستخدم كعنصر أساسي في إنتاج الكثير من العقاقير والمواد البلاستيكية والسوائل المذيبة والمواد المضافة إلى الأطعمة سواء لأغراض حفظها أو تلوينها.

ويستخدم الأسلوب نوعاً من البكتريا تعرف "E.Coli" المحورة وراثياً والتي يمكنها إنتاج المادة الكيميائية (S) وتستخدم البكتريا في تغذيتها ونموها مخلفات قابلة للتجدد مثل مخلفات المحاصيل الحقلية .

٨- صناعة بلاستيك يذوب بالماء :

يعمل العلماء اليابانيون لتحويل الأرز إلى مادة أولية لصنع مواد بلاستيكية قابلة للتحلل لاحقاً، ويتم التفكير الآن لقيام مشروع لاستخدام فائض الرز القديم في إنتاج مصنوعات بلاستيكية تذوب بالماء، وسيلخص هذا المشروع الاعتماد على المنتجات البلاستيكية التي يصعب التخلص منها أو تدويرها، ويأتي هذا بعد قيام علماء آخرون بتوظيف الذرة كمادة أولية لصنع البلاستيك.

٩- أدوات جراحية من بلاستيك لرؤيا أوضح :

يسعى الأطباء لاستخدام أدوات جراحية مصنوعة من البلاستيك في عمليات المناظير وذلك للاستغناء عن الأدوات المعدنية التي تؤدي إلى صور غير واضحة على شاشات الرنين المغناطيسي المستخدمة في الكثير من جراحات الفتحة على نطاق ضيق، ما يسبب نوعاً من التشويش للصورة على الشاشة وأحياناً تختفي التفاصيل الدقيقة تماماً مما يمنع الجراح من مواصلة الجراحة اعتماداً على ما يراه.

ويطور المهندسون نوعاً من البلاستيك المقوى بألياف كربونية من أجل استخدامها في الأدوات الجديدة.

وقال أحد الباحثين "إن هذا هو أول استخدام حقيقي للإبرة الجراحية وسوف يكون طولها (20 cm) وقطرها (1.2 mm) والإبرة مزودة بشفرة حادة في مقدمتها وتحتوي أيضاً على ثلاث ألياف مجوفة للرؤيا أحدها يستخدم لإرسال ضوء في المكان التي تتم معالجته ثم ترسل صورة يستطيع الجراح متابعتها على شاشة الكمبيوتر . أما القناة الثانية فهي ترسل شعاع من الليزر لفتح النسيج وكيه لوقف النزيف. أما الثالث فيمن استخدامها لحقن المحاليل أو حقن مواد لتنظيف الجرح:

وقيل "إن صلابة وقوة تحمل هذا النوع من البلاستيك المقوى بالألياف الكربون بالإضافة لمقاومته للمواد الكيميائية يجعل منه أداة مثالية في التطبيقات الطبية".

١٠ - بلاستيك في صلابة الحديد يتحمل حرارة (800 °C) :

نجح عالم مصري نائب رئيس جامعة وينج الكندية في تصنيع بلاستيك تقريبا صلابته من صلابة الحديد، لكنه يتميز عنه بمرونته وخفة وزنه، ويتحمل درجات حرارة عالية تصل إلى (800 °C)، كما يعد موصلاً جيداً للكهرباء. وقد استغرقت الأبحاث التي قام بها العالم خمس سنوات، وأثبتت التجارب التي أجريت على هذا البلاستيك أهميته في حماية أرواح ركاب السيارات من حوادث الطرق نظراً لصلابته ومرونته في الوقت نفسه. وقال العالم: إنه من المفترض أن يستخدم هذا البلاستيك في صناعة أسلاك الكهرباء التي تتحمل درجات حرارة وبرودة عالية، بالإضافة إلى صناعة أجزاء من الطائرات والسيارات والأجهزة الكهربائية والإلكترونية والأفران والأواني، كما يمكن إنتاجه بألوان مختلفة بالإضافة لبعض الأحماض إلى تكريباته.

١١- إنتاج روبوتات من الخلايا ممزوجة بشرائح السيليكون.

توصل باحثون لطريقة جديدة لمزج الخلايا الحية مع شرائح السيليكون حيث يتشكل كيان مدمج يستطيع الحركة مثل سيقان بدائية صغيرة. وأكد الباحثون أن خلايا جردان نمت على شرائح سيليكون دقيقة للغاية عملت كربوتات (رجال آليين صغار) ربما تكون أول خطوة نحو أجهزة تتشكل ذاتياً.

وقال أحد العلماء أنه من الممكن التوصل إلى مثل هذه الكائنات ابتداءً بخلية واحدة تزرع على شريحة سيليكون معالجة بطريقة خاصة.

واستخدم العلماء خلايا من قلب جرد في إحدى التجارب وتوصلوا إلى قطعة صغيرة حركت نفسها نتيجة إنقباض الخلايا، فيما بدت قطعة ثانية مثل ساقى ضفدع صغيرين للغاية.

وقام الباحثون في الدراسة بإنتاج "جهاز صغير له ساقان كل واحدة ممتدة من الجسم بزاوية (45°) ولكل ساق قدم تمتد بزاوية (45°). وأضافوا أنه ربما يمكن في نهاية المطاف التوصل إلى آلات ذاتية التشكل باستخدام هذه الطريقة.

١٢- عالمة هندية تحول النفايات البلاستيكية إلى وقود:

ابتكرت عالمة هندية وسيلة لتحويل نفايات المواد البلاستيكية (التي تزيد عن 150 مليون طن سنوياً في العالم) إلى وقود مما يساعد على التخلص من هذه النفايات وحماية البيئة من التلوث ويعدّ هذا الاكتشاف ثورة في عالم حماية البيئة.

تتم عملية التحويل من خلال إضافة كم قليل من الفحم ومركب سري على نفايات البلاستيك، ويوضع هذا الخليط في مفاعل لمدة ثلاث ساعات بدرجة حرارة (350 °C) حيث يخرج (80%) في صورة وقود، و(5%) راسب من الفحم يستعمل في معامل الطاقة الحرارية و (15%) من الغازات تستخدم في المطابخ.

يمكن استخدام الوقود الناتج مباشرة في المولدات والمضخات الزراعية، ولكن لا يمكن استخدامه في وسائل النقل إلا بعد إجراء عملية تنقيته من الشوائب العالقة.

١٣- تشكيل البلاستيك باستخدام درجة حرارة الجو المحيط فقط:

خلال عملية إعادة التصنيع غالباً ما يسخن إلى درجة حرارة أعلى من (200°C) حتى يصبح سائلاً ومنه نستطيع إعادة تشكيل البلاستيك بأشكال جديدة وهذا العمل يتطلب طاقة كبيرة وبما أن البولييمير والإضافات ستفسد عند إعادة الصهر لعدة مرات سيتعذر علينا إعادة التصنيع لعدد من المرات، إن الأبحاث الجديدة طورت عائلة البلاستيك والذي يسمى البلاستيك المضغوط baroplastic وسمي بهذا الاسم لأنه يتطلب الضغط فقط للتشكيل وبهذا فإن تلف المواد المضافة سوف يقل ودرجة الحرارة المطلوبة ستكون قليلة جداً وستكون العملية التكنولوجية سريعة. حيث تضاف مواد حساسة للحرارة.

وهذا البلاستيك الجديد مكون من نوعين من البلاستيك الأول له صفة زجاجية والآخر ناعم وله هيئة مطاطية وهذه المكونات تصبح سائلة تحت ضغط ملائم وتحطم عشرات المرات ومن ثم تشكل مجدداً.

١٤- تحويل المخلفات البلاستيكية إلى بلاط في نيجيريا:

بدأ هذا المعمل نشاطه عام ٢٠٠٥ وساهم بتوفير بيئة نظيفة نسبياً بالإضافة إلى جانبه الاقتصادي. لقي هذا المشروع استحساناً من طرف العديد من البلدان المجاورة وبدأت تسير بنفس الطريق.

يصنع البلاط من خليط مخلفات مواد بلاستيكية مذابة مع رمل ناعم تخلط هاتين المادتين جيداً قبل وضعهما في القالب التقليدي. وتستخدم المخلفات البلاستيكية في هذا المصنع كوقود لطهي البلاط كذلك.

١٥- صناعة البلاستيك من قشر البرتقال:

اكتشف العلماء وسيلة لتصنيع البلاستيك من قشر البرتقال الحاوي على مادة الليمونين (مركب كربوني يشكل 95% من المادة الزيتية الموجودة في قشور البرتقال)، وذلك باستخدام غاز ثاني أكسيد الكربون مع الليمونين ومادة محفزة ومسرعة للتفاعل.

يتميز البوليمير الناتج بالكثير من خواص البوليستيرين المستخدم في العديد من المنتجات البلاستيكية .

إن الأمر مثير حقاً في هذا العمل ويستحق الجهد والبحث. مادة يمكن أن نصنع منها كل المنتجات التي تستخدم الوليسترين (كالملابس، تغليف الأطعمة، أجهزة إلكترونية...)، بالإضافة إلى إمكانية القضاء على مشكلة تزايد كميات غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو.

١٦- خيوط أقوى من الفولاذ :

قام فريق علمي باختراع نسيج يقول العلماء إنه أقوى نسيج اخترع حتى الآن، ويستخدم النسيج الذي تبلغ قوته أربعة أضعاف نسيج العنكبوت في صناعة سترة مضادة للرصاص حيث تعتبر أنابيب الكربون النانومترية المادة الخام لصناعة هذا النسيج. تقدم هذه الأنابيب إمكانات كبيرة لأنها خفيفة الوزن ومرنة وقوية كثيراً في الوقت نفسه. إلا أنها قصيرة ويتراكم بعضها فوق بعض إلا إذا استخدمنا الماء والبلاستيك لجمع هذه الأنابيب بعضها ببعض.

البلاستيك المستخدم مضاد للماء ويميل للارتباط بالأنابيب، وقد تم تركيب البلاستيك على الأنابيب النانومترية ليشكل طبقة هلامية (Gel)، ثم وضع في جهاز طرد مركزي ليشكل نسيجاً طويلاً ومستمراً من خلال التحكم بنسبة الأنابيب حيث تم الحصول على عدد من الأنسجة التي يمكن التحكم

بخصائصها مثل القوة والقساوة والتوصيل الكهربائي والقدرة على تخزين الكهرباء.

يمكن استخدام هذا النسيج كالفماش. حيث يمكن قصه وخياطته لإنتاج نوع من الألبسة تحمي مرتديها من الرصاص وتزودهم بالدفاع والقدرة على إجراء الاتصالات من خلالها. كما أشار العلماء إلى إمكانية استخدام هذا النسيج بتوصيل الهوائيات والبطاريات والمجسات والتوصيلات الكهربائية. يشكل سعر الأنابيب النانومترية المرتفع جداً العقبة الأولى في استخدام هذا النسيج.

١٧- بلاستيك يجدد نفسه بنفسه:

استطاع عالم بريطاني أن يخترع "بلاستيك" يمكنه أن يجدد نفسه بنفسه. وأكد البروفيسور سكوت وايت أن الاختبارات التي أجريت على البلاستيك البوليمر (وهو مركب كيميائي يشكل بالتبلر) برهن قدرته على التجدد بفاعلية ملفتة للنظر حيث استطاع استرجاع (75%) من صورته الأصلية إن هذا النوع من البلاستيك يحتوي على مئات من الكبسولات الصغيرة المشبعة بالسوائل التي تقوم بالانفتاح تلقائياً لحظة حدوث شرخ على البلاستيك.

١٨- مفاعل حيوي يحول فضلات الطعام إلى مادة بلاستيكية قابلة للتحلل البيولوجي:

في خطوة تكنولوجية مثيرة، تمكن العلماء في هاواي، من تطوير مفاعل حيوي يحول فضلات الطعام إلى مادة بلاستيكية قابلة للتحلل بيولوجياً فيجعل من الممكن استغلال كميات الطعام الفائضة سنوياً في الدول الغنية واستخدامها بطريقة مفيدة بدلاً من التخلص منها.

وأوضح الباحثون في معهد هاواي للطاقة الطبيعية، أن بالإمكان استخدام هذه المادة البلاستيكية المبلرة في صناعة التعليب ومنتجات الاستعمال مرة

واحدة كالزجاجات أو الأقراص التي تتحل ببطء في الجسم لتطلق العقاقير الموجودة داخلها.

١٩ - بلاستيك ذكي ينمو كالنباتات بتأثير الضوء:

يوظف في العمليات الجراحية ويمكن التحكم في شكله داخل جسم الإنسان. طور العلماء الألمان لأول مرة في العالم نوعاً من البلاستيك الذكي، يستطيعون التحكم في شكله كما يريدون وذلك باستخدام أطوال مختلفة من الأشعة فوق البنفسجية.

ويعد الاختراع بإنتاج مواد طبية تستخدم في العمليات الجراحية الداخلية ويمكن التحكم في أحجامها وشكلها من الخارج باستخدام الأشعة.

٢٠ - أشجار تطرح بلاستيك:

مع التطورات المذهلة والقفزات السريعة في مجال الهندسة الوراثية يجب أن نطلق العنان لخيالنا لتصور ما سيكون عليه مستقبلنا القريب، إلا أن هذا ليس خيالاً؛ ففي المستقبل القريب سنزرع البلاستيك.

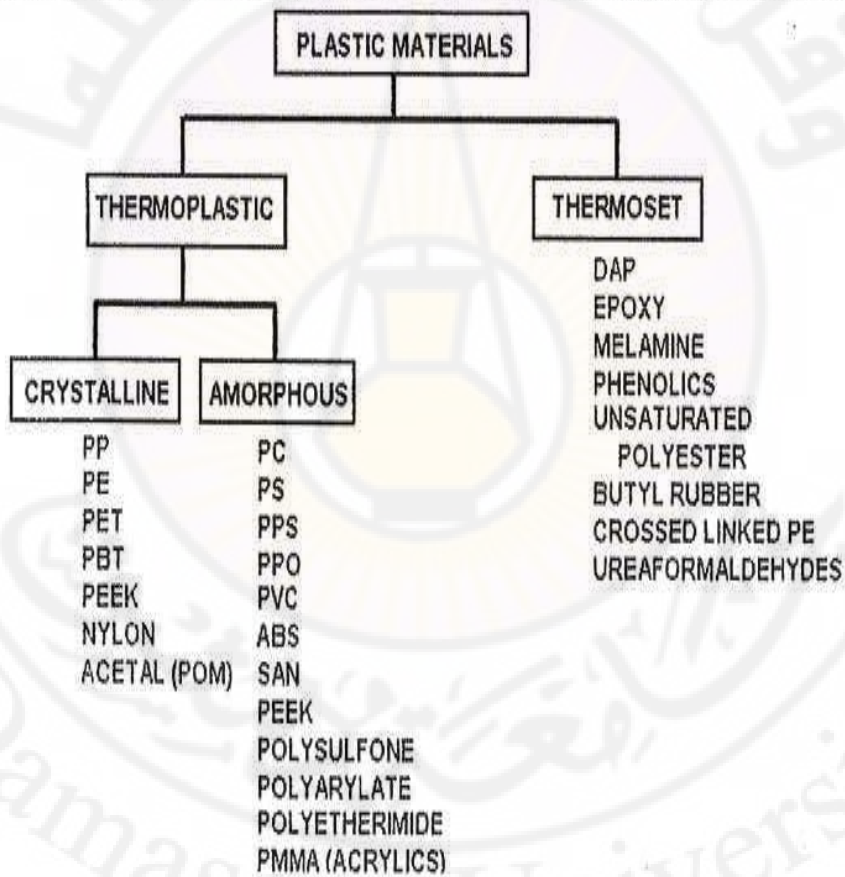
بالتأكيد ليس بهذا المعنى الحرفي، لكنه سيكون ناتجاً ثانوياً لزراعة بعض المحاصيل مثل الذرة وفول الصويا، فقد استطاع فريق من الباحثين من جامعة "برديو" Purdue University استنساخ جين من إحدى النباتات المعملية المعروفة، والتي يطلق عليها Arabadopsis، يقوم هذا الجين بإنتاج إنزيم مسؤول عن حث النبات على حفظ وتخزين بعض المركبات التي يمكن استخدامها كمواد أولية لإنتاج البلاستيك، وبإضافة هذا الجين لجينات بعض المحاصيل ستستطيع النباتات إنتاج وتخزين تلك المركبات دون أن يؤثر هذا في صحة النبات.

الباب الثامن

الفصل الأول : العوائل البلاستيكية

الفصل الثاني : المصطلحات العلمية

Family Tree of Plastics





الفصل الأول

العوائل الرئيسية للمواد البلاستيكية

الخواص العامة وحدود الاستعمال لبعض الأنواع الرئيسية

بما أن البوليمير يتألف من أعداد معينة من الجزيئات الأحادية البسيطة monomer المتماثلة، لذا يمكن أخذ هذا المونومير كأساس لتمييز العوائل البلاستيكية بشكل محدد ومن ثم تحديد مشتقاتها حسب طريقة الحصول عليها، لأنه بغير ذلك سنقع حتماً في التباس كبير بسبب كثرة المواد البلاستيكية تجارياً نظراً لاختلاف طرق وشروط البلمرة من ناحية، وكذلك التفاوت الكبير في استخدام المواد الإضافية المساعدة (كالملدنات، والملونات، والمثبتات...) لتعديل بعض خواصها كالمقاومة الميكانيكية واللدونة من ناحية أخرى ومقاومة الأكسدة وثبات الأبعاد.. وذلك لتسهيل عملية التصنيع.

تقسم العوائل البلاستيكية إلى نوعين رئيسيين هما:

أولاً : عوائل البلاستيك الحراري Thermoplastics:

- ١- الستيرين : Ps .
- ٢- الأوليفينات PP, PE .
- ٣- الأكريليك PMMA .
- ٤- البوليأميدات PA .
- ٥- الفينيلات P.V.C .
- ٦- البولي سلفونات PSU .
- ٧- البولي كربونات PC .
- ٨- البولي يوريثان PUR .

٩- البولي استرات الحرارية PTE (المشبع)

١٠- البولي إيميدات الحرارية PI (Tp).

١١- مواد أخرى من البلاستيك الحراري.

ثانياً : عوائل البلاستيك المتصلب حرارياً **Thermostting** :

١- الألكيدات البولي استرات المتصلبة حرارياً (الغير مشبعة) UPTE

٢- الإيبوكسيدات EP.

٣- الأمينو (MF ملامين فورمالديهيد)، (UF يوريا فورمالديهيد).

٤- الفينوليكات PF.

٥- السيليكونات SI.

٦- البولي إيميدات (تكاثفي) PI(Ts).

سنقوم بدراسة لأهم المواد من هذه العوائل من خلال تقديم طرق التحضير والميزات والمساوي للمادة ومشتقاتها، بالإضافة لأهم التطبيقات والاستعمالات لهذه المواد.

كما سنرفق بعض الجداول التي تعطي الخواص العامة (ميكانيكية، كهربائية، فيزيائية وكيميائية) للمواد الأكثر استعمالاً وشهرة سواء كانت حرارية أو متصلبة حرارياً:

وفي البداية فإن الجدول التالي يبين أهم مواد البلاستيك الحراري (Tp) والمتصلب حرارياً (Ts) مع الأسماء والرموز.

مواد البلاستيك الحراري (Tp)

ABS	Polystyrene butadiene acrylonitrile	أكريلونتريل بوتادين بولي ستيرين
ASA	Polyacrylonitrile styrene-acrylic	بولي أكريلونتريل ستيرين أكريليك
CA	Cellulose Acetate	أسيتات سليولوز
CN	Cellulose mitrate	نترات السيليولوز
FEP	Poly fluoronad ethylene-propylene	بولي (بروبلين اثلين المفلور)
MBS	poly (styrene /butadiene/ methacrylate methyle)	
PA	Polyamide	بولياميد
PB	Poly butylen	بولي بوتالين
PC	Polycarbonate	بولي كربونات
PE	Polyethylene	بولي إيثيلين
PELd	Polyethylene low density	بولي إيثيلين منخفض الكثافة
PEhd	Poly ethylene high-density	بولي إيثيلين عالي الكثافة
PEOX	Polyoxyethylene	
PMMA	Polymethyle methacrylate	بولي ميثيل ميتا أكريلات
POM	Poly a cetal	بولي أسيتال
PP	Polypropylene	بولي بروبيلين
PPO	Poly phynelen oxide	بولي أوكسيد ميلين
PPS	Poly phyelen sulfide	بولي سولفيد فينلين
PS	Polystyrene	بولي ستيرين

PSU	Polyslfon	بولي سلفون
PTFE	Poly tetrafluoro ethylene	بولي تترافلوروايثيلين
PVA	Polyvinyle fluoride	بولي فينيل فلوريد
PVAC	Polyvinyle acetal	بولي فينيل أسيتات
PVC	Polyvinyle chloride	بولي كلوريد فينيل
PVDC	Polyvinylidene chloride	بولي كلوريد فينيلدين
PVD	Polyviny lidene	بولي فينلدين
SAN	Polystyen Acrylonitrile	بولي ستيرين اكريلونتريل
PUR	Polyurethane	بولي يوريثات
PTE	Saturated polyester	بولي أستر حراري
SI	Silcon	سيليكون

وسنتعرض في الفقرات القادمة للمواد الحرارية الأساسية الأكثر استخداماً (ميزات، مساوي، تطبيقات) مع جداول خاصة لكل مادة تبين الخواص العامة لهذه المواد (والمودة في نهاية هذا الفصل).

تبين الجداول (١) الخواص الميكانيكية لبعض أنواع مواد البلاستيك الحراري.

وتبين الجداول (٢) الخواص الكهربائية لبعض أنواع مواد البلاستيك الحراري.

كما تبين الجداول (٣) الخواص الفيزيائية لبعض أنواع مواد البلاستيك الحراري.

مواد البلاستيك المتصلب حرارياً

EP	Epoxy	إيبوكسي
MF	Melaminformaldehyde	ميلامين فورمالديهيد
MP	Melaminphenol	ميلامين فينول
PF	Phenolformaldehyde	فينول فورمالديهيد
PI	Polyimide	بولي إيميد
SI	Silicon	سيليكون
UF	Ureaformaldehyde	يوريا فورمالديهيد
U-PTE	Unsatureted Polyester	البولي أستر (الغير مشبع)

وستعرض في الفقرات اللاحقة للمواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً الأساسية الأكثر استخداماً (ميزات، مساوئ، تطبيقات) مع جداول خاصة لكل مادة تبين الخواص العامة لهذه المواد.

تبين الجداول (٤) الخواص الميكانيكية لبعض أنواع مواد البلاستيك المتصلب الحراري.

وتبين الجداول (٥) الخواص الكهربائية لبعض أنواع مواد البلاستيك المتصلب الحراري.

كما تبين الجداول (٦) الخواص الفيزيائية لبعض أنواع مواد البلاستيك المتصلب الحراري.

عوائل ومواد البلاستيك الحراري

١- الستيرين Styrene Resins

يعتبر رزين الستيرين من أشهر الريزينات في مجال الصناعات البلاستيكية، ويمكن اشتقاق عدة مواد منه وذلك ببلمرته مع بولميرات أخرى لتحسين بعض المواصفات وذلك كما يلي:

StyrenePs → بلمرة

Styrene + butadiene (3-10%) . بلمرة →PSC

Styrene+ acrylonitrile (20-30%) . بلمرة → ... SAN

Styrene + butadiene + acrylonitrile بلمرة أو تطعيم →ABS

$$ABS = 20\% A + 30\% B + 50\% S$$

Butadiene: هيدروكربون غازي ملتهب يستعمل في المطاط الصناعي.

البولي ستيرين (Ps):

من أهم مشتقات الستيرين وله الميزات والمساوي والتطبيقات التالية:

الميزات:

١- رخيص التكاليف وأكثر الأنواع استخداماً على نطاق تجاري واسع.

٢- سهولة القوالبية والتشكيل بمجال حراري كبير.

٣- صلابته عالية، قابل للكسر (إن لم يعالج).

٤- خواصه الكهربائية ممتازة (العازلية...)

٥- ثبات شكلي وحجمي

٦- تراجعه ضعيف

٧- منخفض الامتصاص للرطوبة

- ٨- قابل للحام (بالطرق والفوق صوتية) والإصاق.
- ٩- يمكن طلائه بالمعادن لتحسين خواصه.
- ١٠- يمكن تلوينه بألوان مختلفة شفافة أو نصف شفافة وهو ذو سطح لامع.
- ١١- عديم الطعم والرائحة ورائق.
- ١٢- أكثر الأنواع استخداماً على نطاق تجاري كبلستيك رغوي (Foam)

المساوئ:

- ١- هش وقابل للاحتراق.
- ٢- حساسية للهيدروكربون والزيوت والمذيبات
- ٣- صعب التشكيل بالنفخ.
- ٤- ضعيف المقاومة للعوامل الجوية.
- ٥- يحتفظ بالكهرباء الساكنة كما أنه يلتقط الغبار.

تطبيقات :

أدوات منزلية - تغليف حراري بالتشكيل أو الحقن، قطع مختلفة للبرادات، مفروشات منزلية، أدوات صحية، ثلجزيون (الغلاف والقطع المشكلة بالقوالب)، نماذج طائرات، ألعاب أطفال، أدوات مكتب ورسم، معدات تصوير، أدوات كهربائية منزلية وبردات الرحلات والترامس (للاستفادة من خاصية العزل).

والآن يستخدم البوليسترين في صناعة الألواح الرغوية المستخدمة في حماية الأجهزة والمعدات من الصدمات أثناء النقل.

تتميز مادة (PSC) بمقاومة أفضل للصدمات من (Ps) ولكنها غير شفافة. أما مادتي (SAN) و (ABS) فالجدول التالي يبين أهم الميزات والمساوئ والتطبيقات .

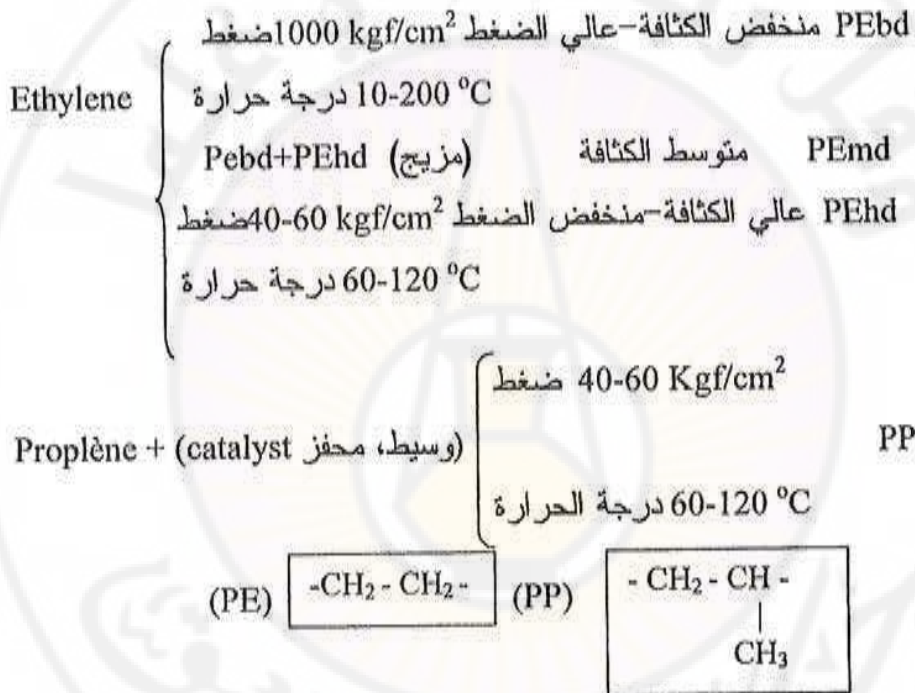
المميزات	المساوئ	التطبيقات
SAN	يتحمل درجات حرارة عالية - مقاومة للصدمات والتحزيز - سلوك جيد للتشقق - متآلق - مقاوم للهيدروكربون.	هش - ألواح الديكور والأسقف المعلقة - أدوات كهربائية منزلية وصحية - تغليف الأغذية وحقائب السفر - أنوار السيارات - وشائع وملفات.
ABS	- مقاوم جيد للصدم والتحزيز. - مقاوم جيد للرطوبة والحرارة. - سهولة القولبة والتشكيل. - صلابة، ثبات حجمي، لماع.	غير شفاف. ثباته الكيميائي ضعيف معظم التطبيقات السابقة. + بعض قطع هياكل السيارات والقوارب. حقائب. قطع صغيرة مختلفة.

والجدول (٧) يبين الخواص العامة لمادة البولستيرين في ثلاث حالات ريزين طبيعي، وريزين للحرارة وريزين مقوى بألياف زجاجية (20-30%).

٢- الأوليفينات

PE البولي إيثيلين

يعتبر الـ (PE) من أقدم مواد البلاستيك الحراري وأقلها كلفة تقريباً ويمكن الحصول عليها بواسطة البلمرة، Polymerisation ابتداءً من المونومير ethylene أو Propylene كالتالي:



يصبح البولي إيثيلين (PE) شبكي الشكل فوق الأكسيد (الحاوي نسبة عالية من الأكسجين) أو بتأثير الإشعاع المستمر. يمكن كذلك خلق روابط ثلاثية الأبعاد، وبهذه الحالة لا تعود المادة بلاستيك حراري بل تصبح أقرب للبلاستيك المتصلب حرارياً.

PEbd

مساوئ	مميزات
١- قابل للتشقق بتأثير الإجهاد والزيوت والبنزين.	١- مقاومة للصدم وعملياً غير قابل للكسر.
٢- غير ثابت حرارياً.	٢- ليونة (بدون ملدنات).
٣- سريع الاشتعال.	٣- عديم النفوذ للماء.
٤- قابلية نفوذ غازات O_2 ، CO_2 والهواء.	٤- رخيص الثمن.
٥- تراجع مختلف بالقولبة.	٥- سهل القولبة بمجال حراري واسع.
٦- صعب اللصق.	٦- عازل كهربائي جيد.
٧- لحامه بالـ HF مستحيل.	٧- عديم الطعم والرائحة.

التطبيقات

أغطية، صحنون، جوانات منع تسرب، رقائق تغليف بشكل طبقات، قوارير طرية قابلة للانضغاط، حقائب، ورود اصطناعية، ألعاب طرية، أفنية، أغلفة كوابل الهاتف، منتجات منزلية، في البناء والزراعة والدعاية...

PEhd

مميزات	مساوئ
١- أقل حساسية للتشقق بتأثير الإجهادات. ٢- خواصه محسنة عن الـ PEbd . ٣- ثبات في الحرارة والبرودة. ٤- ثبات كيميائي.	١- تراجع غير متجانس . ٢- قابل للاحتراق.

التطبيقات

أنابيب الضغط لأنها تتحمل الإجهادات ولزمن طويل دون أن تتلف، لعب الأطفال، رقائق التغليف، حاويات للنفايات، علب بأبعاد مختلفة، عوازل للأسلاك، صناديق للزجاجات ونقل السلع، زجاجات صلبة للمنظفات وللوسائل عموماً، كالبونات زيوت المحركات، أدوات تزلج، أنابيب ماء بأقطار كبيرة للمناطق الباردة وبأقطار صغيرة لتوزيع الغاز المنزلي (فرنسا)، خزانات ماء كبيرة ١٠٠-٣٠٠ لتر، رصاص بلاستيك....

ملاحظة:

إن خواص مادة PEmd وسطية بين PEbd و PEhd وتستخدم كثيراً من التطبيقات منها زجاجات الحليب المبستر.

الـ PP

وهو الريزين الثاني من عائلة الأوليفينات ويكون بلوري صلب وأبيض اللون وهو من أخف أنواع البلاستيك (كثافته 0.9 gr/cm^3 تقريباً) ويمكنه الطفو فوق الماء.

يتميز الـ (PP) عن الـ (PE) بالمتانة والمرونة ومقاومة تشققات الإجهاد.

مساوئ	مميزات
١- نفس مساوئ PEhd.	١- صلابة سطحية جيدة مقاومة للخدش.
٢- هشاشة بدرجة الحرارة المنخفضة.	٢- انعدام التشقق تحت تأثير الاجهادات.
٣- التشكيل أكثر صعوبة.	٣- مقاومة عالية للماء والبخار والكيماويات.
	٤- عازل كهربائي جيد حتى بدرجات الحرارة العالية.
	٥- ثبات بالحرارة المرتفعة حتى (110°C) .
	٦- مقاومة للتآكل والانعطاف.
	٧- خواص ميكانيكية جيدة ومرونة عالية.
	٨- ثبات بالأبعاد ممتاز.
	٩- يمكن تقويته بالألياف الزجاجية والاسبستوس لتحسين خواصه بشكل خاص.

التطبيقات

حقائب السفر، معدات مشافي (للتعقيم)، خيوط سجاد، حبال، التغليف للحالات المعقدة، كراسي البحر والمقاهي، قطع كهربائية منزلية (آلة غسيل، مكيفات، مكائن كهربائية، جلايات...)، قطع للسيارات، القطع المختلفة للحمامات (مغاسل، بانيو،...) أجزاء إلكترونية ومعدات طيران، أنابيب للماء الساخن....

والجدول رقم (٨) يبين الخواص العامة لمادة البولي إيثيلين (PE) في ثلاثة حالات: ريزين للقلوية، وريزين على شكل ألياف، وريزين متوسط الكثافة.

٣- الاكريليك

PMMA

يلعب ريزين الاكريليك دوراً أساسياً في صناعة البلاستيك بسبب نقائها وسهولة قولبتها ومواصفاتها الهندسية الممتازة. يحضر هذا الريزين من الإيثيلين والبروبيلين الناتجين من تقطير البترول الخام، ومادة (PMMA) إحدى المشتقات.

يوجد الريزين الخام على شكل حبيبات صلبة ذات لون أبيض مائي يمكن تلوينه بجميع الألوان الشفافة والغير شفافة حيث يتميز بصفاء غير عادي وبالتالي نقل الضوء بسهولة.

يتوفر الاكريليك على شكل صفائح مصبوبة أو على شكل أنابيب وقضبان وصفائح نظامية نتيجة البثق.

مميزات	مساوئ
١- شفاف طبيعي أكثر من الزجاج العادي وله بريق سطحي.	١- يتأثر بمحاليل التنظيف والبنزين.
٢- ضعيف الامتصاص للرطوبة.	٢- غالية الثمن.
٣- سهل التشكيل والتصنيع.	٣- ضعيف المقاومة للخدش، هش.
٤- خواص جيدة في الالتصاق والتشميع الحراري.	٤- ضعيف الثبات بالحرارة.
٥- خواص كهربائية جيدة.	٥- قابل للاحتراق.
٦- خواص جيدة لتوصيل الضوء لنقاوته العالية.	٦- ضرورة إعادة تسخين الصفائح السمكية لتجنب الشقوق.
٧- صلابته جيدة ومقاومة للصدم.	
٨- عديم الطعم والرائحة.	
٩- ذو أبعاد ثابتة (ثبات حجمي)	

التطبيقات

لوحات الإعلانات والدعاية، الإشارات الضوئية، نوافذ الطائرات والمراكب والطائرات الشراعية، الجدران الشفافة، علب القفازات (الاستعمالات النووية)، أحواض الأسماك، أنوار السيارات الخلفية، لوحات دارات الراديو والتلفزيون، مغاطس ومغاسل، ديكورات مختلفة، معدات الرسم والقياس، تستخدم ألياف وقضبان الأكريليك لنقل الضوء من مصدر واحد إلى العديد من المصادر العدادات المختلفة (في لوحة قيادة السيارة أمام السائق مثلاً) كما يستطيع التقاط الضوء ونقله عبر المنحنيات.

البوليأاميدات

PA

يطلق اسم نايلون على رزينات البوليأاميد، وهي عبارة عن مجموعة معقدة وسلسلة طويلة من البوليميرات المشتقة من الأمينات والحموض. يحضر بعملية الإضافة Polyaddition ابتداءً من amino-acide الذي يعطي (PA12), (PA11), (PA6) أو بواسطة التحام الأجسام ابتداءً من diamine و diacide الذي يعطي (PA6/6), (PA6/10). هذه المنتجات مميزة برقمين يمثلان عدد ذرات الكربون الموجودة في الديامين diamine أو الدياسيد diacide، أو برقم واحد إذا كان المونومير هو amino acid. كذلك يمكن الحصول على مواد أخرى تحوي ماء بنسب مئوية متفاوتة:

PA 6/6 (9-10%), PA 6 (10-12%)

PA12, PA11 (2%), PA 6/10.

يعدّ البوليأاميد (PA) (النايلون) واحد من أهم البوليميرات الرئيسية في صناعة البلاستيك نظراً لخواصه المميزة رغم ضيق مجال انصهارها، لذا يجب تجفيفها قبل القولبة لأنها تمتص الرطوبة بسرعة.

مساوئ	مميزات
١- ضيق مجال درجة الانصهار.	١- مقاومة عالية للصدمات والتعب والتآكل.
٢- امتصاص الرطوبة لذا أبعاده وغير ثابتة.	٢- شفاف، عديم اللون، يمكن تلوينه.
٣- يتأثر بالأحماض القوية.	٣- معامل احتكاك ضعيف.
٤- قابلية نفوذ بخار الماء.	٤- قابل لتعديل الخواص (انحناء، صلابة)
٥- ثبات سيئ للبخار والماء الغالي.	٥- سهولة القولبة والتشكيل.
٦- هش في الجو الجاف.	٦- ثبات جيد للهيدروكربون والزيوت.
٧- ضرورة للتجفيف قبل التصنيع.	٧- إطفاء ذاتي.
	٨- مقاومة ميكانيكية وحرارية جيدة.

التطبيقات

المنسوجات، دواليب مسننة (مساحات زجاج السيارات، العدادات، آلات عرض السينما، آلات الحلاقة...)، أجهزة كهربائية منزلية، جلب، خوذات وقاية، مقابض، مراوح، أقفال سيارات، أسطوانات، صفائح قضبان، أنابيب، فرشاة الأسنان، صناعة الساعات، أفلام، خيوط شبك الصيد، حبال سحب السفن، البكرات وحالياً يستعمل البولياميد المسلح بالزجاج بصناعة قطع ثمينة تحل محل الخلائط الخفيفة...

والجدول التالي يعطي بعض الخواص والاستعمال النوعي لبعض مواد البولياميد:

المادة	خواص نوعية	استعمال نوعي
PA-6	مقاوم للصدمات الكبيرة.	
PA-6/6	ثبات أفضل بالحرارة 100°C بخدمة مستمرة	ألياف نسيجية، قطع صناعية للتطبيقات الشائعة (أدوات كهربائية منزلية).
PA-6/10	نصف شفاف جيد في السماكة الضعيفة، ثبات حجمي أفضل.	قطع صناعية، أفلام
PA-11 PA-12	ثبات بالماء منخفض، ثبات حجمي، سلوك كيميائي جيد.	أغشية هواء مضغوط، استعمالات غازية، موصل للبنزين، أفلام، قطع صناعية للتطبيقات الصعبة، بوردرة للتلبس لحماية العناصر المعدنية.

أما الجدول رقم (٩) فيعطي الخواص العامة لكل من PA6-6 و PA11، والبولياميد المسلح بالألياف الزجاجية بنسبة 20-40%.

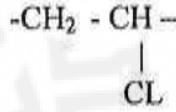
٥- الفينولات

(PVC)

Polyvinylchloride

إن المادة الرئيسية بهذه العائلة هي :

PVC



ويمكن تمييز صنفين رئيسيين الصلب والمرن:

Chloride vinyl بلمرة → PVC (R) Rigid (صلب)

PVC + (35-40) % (ملدن) → PVC (S) Soft (مرن)

إن مجموعة المواد التالية تعتبر كذلك من عائلة الـ Vinyls:

- 1- C.PVC Chlorinated polyvinyl
- 2- PVC + ABC
- 3- PVA Polyvinyle acetata
- 4- PVAL Polyvinyle alcohol.
- 5- PVD Polyvinylidene

تتم عملية بلمرة كلور الفينل صناعياً بثلاث أشكال:

- ١- بشكل مستحلب: حبيبات بقياس (1-30μ) تستخدم للالصاق.
- ٢- مزيج جاف على شكل حبيبات بقياس (100-300 μ) يستخدم للبتق.
- ٣- يحضر الريزين بشكل مزيج صاف، امتصاصه للماء قليل ويستخدم لعمليات الصقل والبتق.

وبشكل عملي، لا يستعمل الـ (PVC) النقي بل بشكل مزيج مع المواد الإضافية على شكل مسحوق أو حبيبات. كما أن طرق القولية لهذه المادة متنوعة كالحقن والبتق والنفخ والدوران والصقل والضغط والنقل ويستخدم كذلك في صناعة البلاستيك الرغوي.

PVC (R)

مميزات	مساوئ
١- مقاومة ممتازة للماء والتآكل والكيماويات.	١- كثافة مرتفعة نسبياً.
٢- إمكانية غير محددة للتلوين.	٢- هش بدرجات الحرارة المنخفضة.
٣- غير قابلة للاحتراق.	٣- مجال درجة حرارة الحقن صغيرة.
٤- صلابة، ثبات حجمي.	
٥- مقاومة عالية للعوامل الجوية.	
٦- عازل كهرباء، مقاوم الخدش.	
٧- سهل البثق والتشكيل واللحام HF	

التطبيقات

أنابيب، أجسام مفرغة، زجاجات، جلب، أطواق وصلات كهربائية، تغليف بالتشكيل الحراري، أغشية، بروفيلات، صفائح، أنابيب لتوزيع الغازات إلى المنازل...

PVC (S)

أهم ميزاته ليونة مشابهة للكاوتشوك وأهم مساوئه ضرورة استخدام مانع للأكسدة لتجنب تأكسد الملدنات وكذلك مانع لانتقال الملدنات كما أنه صعب الإصاق.

التطبيقات

عوازل للكابلات وأسلاك الكهرباء، أغشية أرضية، بروفيلات لينة ووصلات، رقائق الجلد الصناعي، مقاعد المكاتب والسيارات (أقمشة تتجيد)، معاطف المطر، أحذية، مركبات قابلة للنفخ (أغشية للمساح والمخازن، وصلات المعارض)، خزانات المواد الكيميائية... إلخ

في الحقيقية إن تطبيقات هذه المواد كثيرة جداً ومن الصعب جداً حصرها وهي بترزايد مستمر. إن مادة (C.PVC) تتميز بمقاومة حرارية واسعة وهي غير قابلة للاشتعال ولكنها هشّة عند الصدمات وتستخدم عند الملء على الساخن (المربيات...).

إن مزيج مادتي (PVC) مع (ABS) يعطي مادة ذاتية الإطفاء بمواصفات ممتازة كالصلابة الجيدة ونقطة انصهار أعلى ويستخدم هذا الخليط بصناعة الأدوات الكهربائية ومعدات القدرة الكهربائية المنزلية.

إن مادة الـ (PVA) عديمة اللون والطعم والرائحة ويمكن صبها في قوالب في درجات حرارة منخفضة نسبياً مما يجعله أكثر من اللازم لاستخدامه في قوالب تصنيع البلاستيك.

والجدول رقم (١٠) يعطينا الخواص العامة لمادة (PVC) بحالتيه الصلب PVC(R) والمرن PVC(S).

٦- البولي سلفونات (PSU)

يستخدم هذا البوليمير في درجات الحرارة العالية، ويخضع لعمليات القوالب المختلفة كالحقن والبتق والنفخ والتشكيل الحراري. ويتوفر البولي سلفون (PSU) على شكل حبيبات، ويعتبر استعمال هذه المادة حديثاً لذا فتطبيقاته بازدياد مستمر رغم ارتفاع تكاليفه.

مميزات	مساوئ
١- يحتفظ بخواصه في المجال $(-100^{\circ}, 150^{\circ})^{\circ}\text{C}$.	١- شديد الامتصاص للرطوبة.
٢- مقاومة للحرارة العالية.	٢- يتأثر ببعض الكيماويات.
٣- صلابة، متانة، قساوة، مقاومة للأكسدة.	٣- التصنيع صعب.
٤- عازل كهربائي.	٤- ضرورة التجفيف قبل التصنيع.
٥- لون كهربائي (أبيض مصفر) يمكن تلوينه بألوان شفافة وبصرية.	٥- غالي الثمن.
٦- إطفاء ذاتي.	
٧- مقاومة ممتاز للتشوه البطيء.	
٨- منافس بالخواص لمواد البلاستيك المتصلب حرارياً (Ts).	

التطبيقات

قطع تكنولوجية للسيارات والطائرات (حوض التهوية بالطائرة)، عاكس للضوء، أجهزة كهربائية منزلية، معدات المستشفيات المعقمة، قواطع كهربائية، فنان موزع كهرباء السيارة.

والجدول رقم (١١) يعطينا المواصفات العامة لمادة البولي سلفون الطبيعية.

٧- البولي كربونات

(PC)

تحتوي مادة الـ PC على عنصري الكربون والأكسجين وهي عائلة البولي ستيرين. وتعتبر منافس كبير للنايلون والأسيتال في الصناعات البلاستيكية، ويمكن أن يكون على شكل بودرة أو حبيبات أو صفائح قابلة للتشكيل.

مزايا	مساوئ
١- شفاف جداً (مثل الزجاج)، سهل التلوين.	١- مقاومة سيئة للبنزين الممتاز.
٢- يحافظ على مواصفاته في درجات الحرارة العالية للقولبة.	٢- لا يستخدم بوجود القوس الكهربائي.
٣- مقاومة عالية للصدمات المفاجئة حتى في درجات الحرارة المنخفضة.	٣- يتأثر بالقلويات والهيدروكربونات.
٤- خواص ميكانيكية وكهربائية ممتازة.	٤- ضرورة تجفيف الحبيبات قبل الاستعمال.
٥- ثبات حجمي يجعله ملائماً لإنتاج أجزاء ذات أبعاد دقيقة.	
٦- ثبات بالحرارة بالمجال $^{\circ}\text{C} (-100-130)$.	
٧- عديم النفوذ لبخار الماء.	
٨- لا يتأثر لونه بالسوائل المنزلية (قهوة، شاي، عصير...).	
٩- لا يحترق لذا فهو مناسب مع أجهزة الإنذار ضد الحريق.	

التطبيقات

مقاومة عالية للصدمات المفاجئة حتى في درجات الحرارة المنخفضة، أجهزة كهربائية وإلكترونية، عاكس للتيار، إشارات ضوئية، عدسات ضوء، واقعي لشاشة التلفزيون والكومبيوتر، صناعة المسننات، المقابض الشفافة لمفاتيح البراغي، دروع شفافة للبوليس، حواجز شفافة لنوافذ البنوك مقاومة للصدم، أجهزة ومعدات طبية وجراحية، ألواح زجاج للقطارات، هياكل آلات المكاتب (آلات تصوير فوتوكوبي)، النظارات الشمسية، الزجاجات، ترامس القهوة، الهياكل الخارجية للمكيفات...

٨- (البولي يوريثان) (PUR)

يعدّ البولي يوريثان الرغوي أكثر المواد استخداماً وانتشاراً ويمكن عمل تركيبات مختلفة بغرض الحصول على أنواع صلبة أو مرنة لهذا الريزين. تدعى حبيبات الـ (PUR) الصلبة أيلاستومرز Elastomers وذلك لإمكانية مضاعفة حجمها بالمط ثم إعادة شكلها الطبيعي. أما الـ (PUR) المرن فيتميز بعزل الصوت وامتصاص الطاقة وهي لذلك تستخدم في تبطين الجدران وعزلها.

أهم مميزات الـ (PUR) الصلب (Rigid Foam) متانته ومقاومته العالية للتآكل والتمزق والصدم. كما أنه مقاوم لمعظم المواد الكيميائية حتى الأحماض والزيوت المذيبة.

إن العوامل الحيوية مثل أشعة الشمس ووجود الأكسجين والنيتروجين تعمل على إحداث تغير في طبيعة المواد الممددة المستخدمة وتؤدي إلى تحويل لون المنتج إلى الأصفرار ولكن دون التأثير على مقاومتها الميكانيكية.

عموماً فإن (PUR) الصلب يكون ذا خلايا مغلقة، بينما الأنواع المرنة فذات خلايا مفتوحة ليكون لها المرونة العالية وبذلك يهرب منها الهواء عند الضغط عليها.

التطبيقات

يستخدم البولي يوريثان العالي الكثافة في تصنيع وتركيب الخشب الصناعي المستخدم في صناعة الأثاث كما تستخدم هذه المواد الرغوية في صناعة الاسفنج، مخدات وقاية الصدمات، مخدات السيارات والأثاث، عزل البرادات، وأعمال العزل المختلفة، أجنحة الطائرات، ملابس الإنقاذ، ملء الفراغات في الأجسام المطلوب طفوها فوق الماء كالزوارق، في صناعة الطلاء وكمواد رابطة لاصقة، أجهزة التبريد...

٩- بولي أستر مشبع

PTE (TP) Saturatod Polyester

إن البولستر المشبع أو البولستر الحراري (PTE(Tp) هو بولستر خطي ويجب عدم الخلط بينه وبين البولستر غير المشبع والذي هو بلاستيك متصلب حرارياً.

إن الـ PTE(Tp) عالي المقاومة للشد والانتشاء وعازليته أكبر من معظم المواد البلاستيكية، كما أن قلوبته وزمنها أفضل من معظم المواد الأخرى (وخاصة المتصلب حرارياً). يتم تقوية هذه المادة بالألياف الزجاجية حتى نسبة (30%) لزيادة مقاومتها الحرارية وكذلك متانتها.

مساوئ	مميزات
١- دهانه صعب.	١- ثبات حراري كبير بمجال $^{\circ}\text{C} (-60, +100)$ ثم تشوه بطيء حتى (150°C) .
٢- تمييع بالهيدروكربون والبنزين.	٢- صلب، مقاومة للتآكل، ثبات حجمي.
٣- صعوبة التشكيل الحراري.	٣- خواص ميكانيكية جيدة (معامل مرونة مرتفع، احتكاك ضعيف).
٤- استحالة اللحام بال HF.	٤- لا ينكسر بالطي (تسخين وليونة).
	٥- إطفاء ذاتي.
	٦- مقاومة كيميائية ممتازة.

التطبيقات

خيوط أو ألياف (تركال) للملابس والمنسوجات الصناعية، أشرطة مغناطيسية، أشرطة لطبع الماركات على الساخن، عازل لتخديدات المحرك الكهربائي، عازل كهربائي بالمكثفات، تغليف بتخلية الهواء، المسننات (بسبب الثبات الحجمي ومعامل المرونة)، مراوح المضخات، واقيات من الأشعة على الدراجات، أربطة للتزلج (ثبات بالبرودة)...

والجدول رقم (١٢) يعطينا المواصفات العامة لمادة البولي أستر الحراري في حالتين: العادي والمقوى بالألياف الزجاجية بنسبة 30%.

١٠- الألكيدات

البولي إيميرات الحرارية

PI (Tp)

تتميز هذه المادة كالبولستر في إمكانية تشكيله كبولي أيميد حراري وبولي إيميد متصلب حرارياً. أن ريزين PI(Tp) أقل تحملاً للحرارة من الـ PI(Ts) ولكنها تجد رواجاً في الأسواق لنفس الاستخدامات نظراً لسهولة تصنيفها بالطرق المعروفة.

مساوئ	مميزات
١- مقاومة الحرارة أقل من مقاومة PI(Ts).	١- سهل التصنيع.
٢- ضعيف التحمل لعوامل الجو.	٢- عازل كهربائي جيد.
٣- يتأثر بسهولة بالقلويات القلوية.	٣- متانة عالية للصدم.
	٤- مقاومة للكيمائيات.
	٤- أقل سعراً من PI(Ts).

في الحقيقة يشترك الـ PI(Tp) و PI(Ts) في معظم المميزات والمساوئ وكذلك أكثر التطبيقات والمبينة في فقرة البولي إيميدات المتصلبة حرارياً.

١١- مواد أخرى من البلاستيك الحراري

١- Polyphynelen oxide: PPO أوكسيد البولي فيلين:

يمكن الحصول على مادة (PPO) المعدلة بالمزج الميكانيكي لمادة (Ps) مع الـ (PPO) بنسب متفاوتة والناجى يكون أقل كلفة ويتميز بخواص هامة:

PPO

مساوئ	مميزات
كامد غير شفاف، ثباته سيء للعطريات والبنزين الممتاز، ضغط درجة حرارة الحقن مرتفعة (لزوجة)، لحام صعب (US فقط).	صلب، مقاوم للصدمات، مقاوم للتآكل، لماع، ثبات حجمي، امتصاص ضعيف للماء، خواص كهربائية جيدة، ثبات حراري ومقاومة ميكانيكية جيدة في مجال حراري واسع، ذاتي الإطفاء، سهل اللصق، والضغط، يمكن استعماله مع المعادن.

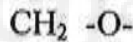
التطبيقات PPO

من أجل الماء الساخن، أجزاء للمضخات، عدادات للماء، قطع آلات الغسيل،
عدادات كهربائية، قطع للسيارات والطائرات التي يتطلب أن تتحمل حرارة.
قطع للساعات والآلات الدقيقة.

كون هذه المادة حديثة نسبياً فمن الصعب التنبؤ بكافة مجالات استخدامها
ولكن هناك الكثير من الاختبارات حول إمكانية استخدامها بمجالات تتوافق
وخواصها.

٢- POM : Polyaceted البولي أسيتال :

لقد تم إنتاج بوليميرات الاسيتال لتحل محل العديد من التطبيقات المعدنية
حيث يتمتع بمواصفات تسمح له بذلك.



POM

مميزات	مساوئ
سطح صلب وناعم، صلابة، مقاوم للتعب، معامل مرونة مرتفع، فعل نابضي (إمكانية دمج مرن)، عزل كهربائي، ثبات (بالكربون، الشحم، الصابون، المذيبات). ثبات حجمي ممتاز، معامل احتكاك ضعيف.	كثافة مرتفعة (1.4)، كامد (لا يكون شفافاً مطلقاً)، يتأثر بالحموض ومحاليل الغسيل، قابل للاحتراق، مقاومة صغيرة للحرارة المستمرة، درجة حرارة التصنيع قريبة من حرارة التحلل، تراجع مختلف وأحياناً يلزم إعادة التسخين لتأمين ثبات حجمي جيد.

التطبيقات POM

بصورة عامة، هذه المواد خاصة المسلحة بالزجاج تحل محل خلاط الألمنيوم. قطع ميكانيك للألات، للسيارات (مسننات، حلقات، مقابض...)، الكهرباء، الإلكترونيات، الصناعات الغذائية، قطع دمج مرن، مجموعات تثبيت سريع، بسبب الثبات الحجمي الممتاز للمادة فهي تستعمل في الساعات والتطبيقات الدقيقة. قطع للعدادات، عناصر من الآلات الكاتبة، أقفال في مجال البناء ...

٣- Fluore : الفلور :

إن تحضير هذه المواد صعب بسبب وجود الفلور، ويمكن الحصول بالبلورة على المواد التالية:

Tetrafluoro ethylene TFE رباعي فلور الاثيلين

Fluoronotad ethylene propylene FEP بروبيلين اثيلين المفلور

Polyvinylefluoride PVF فلوريد البولي فينل .

Fluore

المميزات	المساوئ
خمول كيميائي قوي جداً، ثبات حراري بمجال كبير $^{\circ}\text{C}(-270,300)$ وبشكل مستمر $^{\circ}\text{C}(-80,250)$، معامل احتكاك ضعيف جداً ($f=0.1$)، غير لاصق، لا ينحك، لا يمتص الماء، لا يحترق، لا يؤذي الجسم البشري.	كثافة مرتفعة (2.1-2.2)، يتشوه ببطء، يتحلل بدرجة حراري $^{\circ}\text{C}327$ ويطلق بخار فلوري، غالي الثمن كثيراً، صعب اللحام. صعب التصنيع تراجع مختلف.

خواص خاصة :

- CFE: إمكانية التصنيع بالطرق العادية، ثبات أقل بالمذيبات.
- FEP: غير قابل للحقن واللحام، ثبات حراري كبير.
- PVE: قابل للحام، مقاوم للتعتق (مرور الزمن) وللتحلل بالماء.

التطبيقات Fluore

- ضد التآكل: أنابيب وحنفيات لمحاليل تسبب التآكل (صناعات كيميائية)، للسد بإحكام لمناطق التهريب.
- عزل كهربائي: تغليف الكوابل الكهربائية بالطائرات، قطع تكنولوجية للمركبات الإلكترونية.
- الانزلاق: تلبيس مقلاة القلي، قوالب لصانعي الحلويات، قطع المكاوي، ناقل للمنتجات الغذائية، فكي آلة اللحام الحراري.

٤- بعض المواد المختلفة:

المادة	الخواص	الاستعمال
Polybutylene	خواص ميكانيكية جيدة	أنابيب
Phénoxyde	شفاف، عديم النفوذ للبخر والماء والغازات، تشقق بتأثير الإجهاد، مقاوم للتعتيق.	أجسام مفرغة، ورق للتغليف للصيادلة.
Polyether chloride	مقاومة كيميائية بدرجة حرارة مرتفعة، سعره مرتفع.	بودرة للتلبيس للحفريات والمضخات.
Parylene	ثبات بالحرارة المنخفضة والمرتفعة حتى 170°C عازل كهربائي ممتاز، عدم النفوذ للغازات، سعره مرتفع جداً.	عال بالعزل الكهربائي
Polysul fure phenylene	ثبات حراري حتى 260°C إطفاء ذاتي، مقاومة كيميائية	عناصر للمضخات والمراوح

عوائل ومواد البلاستيك المتصلب حرارياً

١ - الإلكيدات

(بولي أستر غير مشبع)

UPTE

الإلكيدات عبارة عن عائلة بلاستيك متصلب حرارياً ونشتق منه البوليستر الغير مشبع UPTE والمعروف بامتزاجه مع حصائر الزجاج أو الألياف المفرومة منتجاً ما يسمى البوليستر المقوى بالألياف الزجاجية، ويحضر البوليستر عموماً بطريقة التحام الأجسام :

Polyacide+Polyalcohol
(diacide) (polyglycol)

+ مذيب للشبكات الجزيئية

Rrsine

+

حرارة + محفز للتفاعل

مسرّع + محفز للتفاعل

⇒ Polyester

(T)

ثلاثي الأبعاد

في الحقيقة أن أنواع البوليستر الغير مشبع (المتصلب حرارياً) كثيرة جداً وتعتمد على النسب المئوية للمونوميرات الداخلة في التركيب والتي تعطي خواص مختلفة، كما تعتمد على نوعيات وكميات المواد الإضافية المستخدمة وذلك للحصول على خواص معينة.

المساوئ	الميزات
١- ثبات سيء بالحرارة الرطبة (بخار ماء غالي...).	١- تماسك ممتاز مع مواد التسليح الزجاجية وصلابة كبيرة جداً.
٢- قابل للاشتعال.	٢- يمكن أن يكون نصف شفاف.
٣- تتأثر بالحموض القوية.	٣- ثبات وصلابة في درجات الحرارة المرتفعة.
٤- زمن الحفظ في وعاء محدود.	٤- تحافظ على الخواص الكهربائية فوق 200°C بشكل مستمر.
	٥- انخفاض امتصاصها للرطوبة.
	٦- تتلون بسهولة وبمجال واسع الألوان.

التطبيقات

بولستر غير مسلح: كمادة صمغية، طلاء براق، للوصل واللصق، أزرار، عزل كهربائي، إكساء وتلبيس.

بولستر مسلح: (ثلاث أرباع الاستعمال):

للبناء: صفائح للتغطية والحماية (أكثر الاستعمالات التجارية حالياً).

قوالب للبيتون، المسابح وأغطيتها.

للجر: المراكب الصغيرة، والمتوسطة الحجم والطوافات البرمائية، القوارب الرياضية، قطع ضخمة وكثيرة في كل البواخر، الجسور المائعة، قوارب التجديف الشخصية، عوامات إنقاذ الغرقى.

قطع صناعية: الأحواض، الصهاريج مستودعات بالأرض لطمر الغلال،
المداخل، هندسة كيميائية، مستودعات، للتغطية المختلفة، بروفيلات، قبعات
للحماية.

الكهرباء والإلكترونيات: للعزل الكهربائي، للفواصل، قطع للتحويل، هيكل
موزع الشرارة بالسيارة، للدارات الأولية، رادارات، قطع مختلفة.
النقل : هياكل السيارات الرياضية والعادية الصغيرة، عناصر مختلفة
لللباصات وسيارات الشحن الكبيرة، (مقصورة)، عناصر لصهاريج النقل،
الكارفان، عناصر للقطارات والمترو، عناصر لصناعة الطائرة، غرف
للهواتف العمومية، خزانات...

المفروشات: مقاعد، أسرة، طاولات، مقاعد للحدائق، مقاعد للمحطات، قطع
مختلفة للحمامات...

وهناك استعمالات عديدة مختلفة لا حصر لها للدعاية والديكور والتزجج
وللمعارض المختلفة.

والجدول رقم (١٣) يعطينا الخواص العامة لمادة البولي استر الغير مشبع
بحالتين: النقي والمقوى بالألياف الزجاجية.

٢- الإيبوكسيدات

(EP)

ما يزال ريزين الإيبوكسيد أو الإيبوكسي (EP) يتوسع في مجال الصناعات
البلاستيكية بسبب توفرها بأشكال مختلفة وبسبب مواصفاتها الحرارية
والكيميائية الجيدة. ويمكن تصنيعه على شكل صفائح مقواة بالألياف

الزجاجية. الريزين السائل يمكن أن يتصلب باستخدام مادة مصلبة (محفز أو منشط).

المساوئ	المميزات
١- بعض أنواعها هش قابل للكسر.	١- مقاومة حرارية جيدة حتى (150°C)
٢- أضعف ثباتاً من البولستر الغير مشبع.	وتزداد حتى (250°C) بإضافة مواد التقوية.
٣- زمن البلمرة طويل نسبياً.	٢- مقاومة للصدمات جيدة (ماعدا بعض الأنواع الهشة).
٤- انحطاط السطح بدون تغير في الخواص الأصلية.	٣- مقاومة للظروف الجوية.
	٤- مقاومة للعوامل الجوية بحرارة منخفضة (-60°C).
	٥- يتحمل معظمها الصدمات.
	٦- خواص كهربائية جيدة.
	٧- مقاومة للمواد الكيميائية.
	٨- يمكن تقويته بالألياف الزجاجية أو ببودرة الألمنيوم.
	٩- ثبات بالأبعاد، مقاوم للتآكل، إطفاء ذاتي.

التطبيقات

تكسية الأوعية المقاومة للتآكل والإهتراء وكذلك تكسية الأنابيب وبعض المعادن، لاصق قوي للمعادن والزجاج، الجلب، العوازل، اللوحات الكهربائية، هياكل المراكب، بعض المعدات العسكرية، هياكل بعض أنواع الطائرات، صنع القوالب بطريقة الضغط والنقل.

ريزين مسلح بالألياف الزجاجية: أدوات رياضية مختلفة، معدات مختلفة
بمجال الطيران، عازل للطبقات.

ريزين محمل (بودرة معدني، تالك): قوالب للتشكيل الحراري للبلاستيك،
معدات للطرق (مسلحة)، نموذج صفائح للسبائك، علبة نواة، قوالب السفن،
تمائيل للعرض (مانيكان)، نموذج للفارزة للإنتاج المتكرر.

ريزين مصبوب: عزل العناصر الكهربائية بالصب، تلبس الأرض والطرق.
الصلق: لصق المعادن بعضها ببعض، لصق البيتون أو المعدن على البيتون،
إصلاح وتزيين الشقوق.

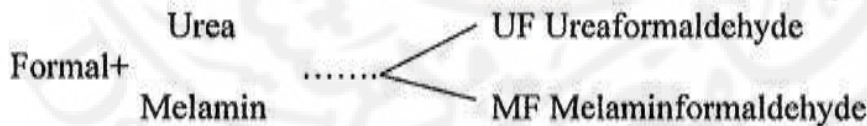
مسحوق للقولبة: لأجل قطع تكنولوجيا عازلة.

مسحوق لأجل المعالجات السطحية: تغليف وإكساء المعادن للرسم والتصميغ.
إن الجدول رقم (١٤) (يعطينا الخواص العامة لمادة الإيبوكسي في ثلاث
حالات: العادي، المقوى بالألياف الزجاجية، المقوى بمواد معدنية).

٣- الأمينو

Amino
MF , UF

يمكن الحصول على (MF) و (UF) ابتداء من الفورمول وبوساطة التحام
الأجسام.



ويعتبر الـ (MF) و (UF) من أهم المركبات المنتمة لعائلة الأمينو
(البلاستيك المتصلب حرارياً). تستعمل هذه المواد بشكل ريزين سائل أو
حببيات أو بودرة للقولبة بالضغط والتحويل. يكون مسحوق القولبة محمولة

بمواد بنسب متفاوتة تصل حتى (50%) وذلك وفقاً للخواص المطلوبة من القطعة المنتجة.

وبشكل عام فإن هذين المركبين متشابهان من حيث النقاوة وسهولة التلويين مقارنة بمواد (Ts) الأخرى. ويمكن تقليل هشاشة هذه المواد بتقويتها بنشارة الخشب والألياف الزجاجية أو أي مادة تقوية أخرى.

MF

المساوي	الميزات
١- غالي الثمن.	١- صلب جداً مقاوم للخدش وذو لمعان.
٢- ضغط القولبة مرتفع.	٢- صالح للاستعمالات الغذائية.
٣- القوالب باهظة التكاليف (Ni-Cr)	٣- ثبات حجمي، عزل كهربائي، ألوان جميلة.
مطلية بالكروم.	٤- لا تحترق أو تلين حتى باللهب.
	٥- مقاومة ميكانيكية جيدة.
	٦- عديم النفوذ للرطوبة والمذيبات.
	٧- مقاوم لمحاليل التنظيف والبنزين والزيوت.
	٨- يتحمل درجات حرارة بالمجال $^{\circ}\text{C} (-50, 80)$.

التطبيقات

الأزرار الكهربائية، صحن وأطباق وأدوات طعام ذات أشكال جذابة، أغراض معدة للدعاية (صحن سكاير...)، طاولات المكاتب الأنيقة، هيكل الراديو، آلات صنع القهوة (الإكسبريس...).

UF

المميزات	المساوئ
١- مقاومة للتآكل.	١- ثبات ميكانيكي ضعيف.
٢- عديم الرائحة.	٢- حساس للماء.
٣- إطفاء ذاتي.	٣- لا يصلح للاستعمالات الغذائية.
٤- سعر منخفض	٤- تراجعه مهم.

التطبيقات

قواطع كهربائية، مأخذ للتيار، استعمالات صحية، سدادات للعطور.
يعطينا الجدول رقم (١٥) الخواص العامة لمادة الميلامين فورمول في ثلاث حالات: العادي، المسلح بالألياف الزجاجية، المسلح بالأميانت.

٤ - الفينوليكات

(PF)

ابتداء من الفورمول وبوساطة التحام الأجسام يمكن الحصول على (PF):
Formal + PhenolPF Phenolformaldehyde

وقد طورت مؤخراً مادة الـ Melaminphenol (MP) تستعمل هذه المواد بشكل ريزين سائل أو بودرة للقولبة و (PF) يولد بخار ماء عند التكشيل بالقوالب. تتم القولبة بالضغط والتحويل وتكون البودرة محملة بمواد بنسب متفاوتة تصل حتى (50%) وذلك وفقاً للخواص المطلوبة من القطعة المنتجة.

المميزات	المساوئ
١- الخواص تكون للمادة المحملة مثلاً (أميانت، ميكا) ثبات حراري بالمجال $^{\circ}\text{C}(130-180)$.	١- هش (قابل للكسر) إن لم تكن محملة.
٢- مقاوم للتشوه البطيء والتآكل.	٢- مقاوم لمعظم المذيبات والحموض الضعيفة.
٣- صلابة، متانة، عزل كهربائي، إطفاء ذاتي.	٣- رائحة غير جيدة.
٤- سعر منخفض ويستعمل مع المعادن.	٤- ألوان غامقة فقد.
٥- ضعف امتصاص للرطوبة.	٥- لا يصلح للاستخدامات المتعلقة بالغذاء.
	٦- دورة التصنيع طويلة للبوردة المحملة بالأميانت أو الغرافيت (التسخين المسبق مستحيل)

التطبيقات

قطع ميكانيكية تتعرض باستمرار للحرارة المرتفعة، عازل كهربائي، موزع الشرارة بالسيارة، مقابض للمكاوي والطناجر وما شابه ذلك، أجهزة الهاتف، لصق وطلاء ألواح الخشب وتستخدم الألواح المقواة في تغطية الأسطح وصناعة الأسقف المستعارة...

إن الجدول رقم (١٦) يعطينا الخواص العامة لمادة (PF) في ثلاثة حالات: العادي، تحميل معدني P12، تحميل نشارة خشب P21.

٥- السيليكونات

تعتبر من أصعب المواد البلاستيكية في تحديدها وتميزها لأن لها عدد كبير من المشتقات يمكن تصنيفها كالتالي:

- ١- مركبات صلبة تستخدم للقوالب بطريقة الضغط والتحويل.
 - ٢- مركبات نصف سائلة تستخدم في التغطية والتشميع
 - ٣- مركبات على شكل مطاط تتجاوز نسبة الاستطالة (800%) وتبدي مقاومة شد ممتازة.
 - ٤- مركبات على شكل سوائل أو شكل لاصق.
- نلاحظ من هذا التصنيف التنوع الكبير لذا إن الاستخدامات والتطبيقات للسيلكون واسعة جداً دون حصر أو ترابط.

المساوئ	الميزات
١- سعره مرتفع.	١- ثبات حراري بمجال واسع $^{\circ}\text{C} (-80, +300)$ ويحافظ على خواصه في هذا المجال.
٢- قابلية النفوذ كبيرة للغازات (هذا يمكن أن يكون من الميزات أيضاً).	٢- ثبات جيد للرطوبة والبخار والزيوت.
٣- يتأثر ببعض المذيبات كالبنزين.	٣- عديم الطعم والرائحة وغير سام وخامل كيميائياً.
	٤- لين ومرن ويمكن أن يستطيل (800%).
	٥- مقاوم للأكسدة والإشعاعات.
	٦- إجهادات سطحية ضعيفة.
	٧- عازل كهربائي - عملياً غير قابل للاحتراق.

التطبيقات

خراطيم الوقود، صمامات القلب الصناعي، الجلب المشابهة لجلب المطاط. يستخدم السيليكون المكبرت بالدرجة العادية للحرارة في قوالب الطبع المرنة والنماذج الصلبة للقوالب.

يستخدم السيليكون في اللحام والإصاق والتشميع والتغطية بطبقة عازلة واقية ويتم ذلك بمزج السيليكون بمادة محفزة catalyst حيث يتصلب السيليكون عند التعرض للجو.

تغطية وتلبيس الدارات الإلكترونية كالترانزستور لحمايتها من الرطوبة والاهتزازات ومن الصدمات. عازل للطبقات (في مجال الإلكترونيات والطيران)، وصلات لمنع التسرب. قوالب لينة تظهر بدقة كل التفاصيل الدقيقة جداً وتسهل إنتاج قطع لها ميلان عكسي.

والجدول رقم (١٧) يعطينا الخواص العامة لمادة السيليكون في حالتين: سيليكون محمل بمواد معدنية، وسيليكون مسلح بالألياف الزجاجية.

٦- البولي إيميدات

(PI)

يمكن أن يكون البولي إيميد (PI) على شكل بلاستيك حراري PI(Tp) أو متصلب حرارياً PI(s) وهو من أكثر أنواع المواد البلاستيكية تحملاً للحرارة حيث يتحمل حتى درجة حرارة (280 °C) لمدة طويلة وإلى درجة حرارة (485 °C) بشكل متقطع.

يتم توريد الـ PI(s) على شكل شرائط لاصقة أو ألواح متعرجة أو أسلاك وذلك نظراً لصعوبة تصنيع هذه المادة، في حين أن مادة PI(Tp) سهلة

التصنيع بالطرق التقليدية وهي الأكثر رواجاً في الأسواق لنفس الاستخدامات رغم أنها أقل تحملاً للحرارة.

المساوئ	المميزات
١- يتأثر بوجود بخار الماء مع مرور الزمن.	١- ثبات ميكانيكي وكيميائي.
٢- صعب التصنيع.	٢- لا يتشوه ببطئ ومقاومة للتعب.
٣- سعره مرتفع جداً.	٣- عازل كهربائي جيد.
٤- تفكك الروابط الجزئية عند 350°C .	٤- عامل احتكاك جيد 0.15-0.20
٥- ضعيف التحمل لعوامل الجو.	٥- مقاومة للأكسدة.
٦- يتأثر بالمحاليل القلوية المركزة.	٦- إطفاء ذاتي.
	٧- ثبات حراري ممتاز بمجال كبير $(-200, +300)^{\circ}\text{C}$.
	٨- يتحمل ضغوط عالية وكذلك الصدم.
	٩- سهولة تشغيله.

التطبيقات

ريزين للرسم والإصاق، أشرطة ورقائق للعزل، عزل الكهربائية خاصة في الطائرات والصواريخ، دارات أولية لينة، قطع تكنولوجية مختلفة في مجال الطيران والفضاء والكمبيوتر والمجال النووي. مسننات، مكانس، وصلات، رصاص بلاستيكي، قطع للضواغط وكذلك للمراوح وریشها وجلب الدفع والحلقات للمكابس.

جدول رقم (١) الخواص الميكانيكية لبعض المواد (Tp)-

المادة		الوحدة	الخواص
ABS	PA6		
69.2-532	48-213	J/m	مقاومة أيزود الصدمية لعينة بسماكة 12.7mm
8-120 R	107-119R	M.R.D	فساوة روكويل أو (A) شور
316-598	668-872	Kgf/cm ²	مقاومة الشد
1.4-3.16	1.4-3.16	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الشد
5-200	25-300	%	الاستطالة
352-950	633-1167	Kgf/cm ²	مقاومة الانحناء
352-774	281-773	Kgf/cm ²	مقاومة الضغط
0.84-1.4	2.44	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الضغط

ملاحظة: RA قساوة روكويل (على الحرف)، M قساوة روكويل، D قساوة شور.

تابع جدول رقم (١) الخواص الميكانيكية لبعض المواد (Tp)-

المادة		الوحدة	الخواص
PC	PMMA		
106-160	16-21.3	J/m	مقاومة أيزود الصدمية لعينة بسماكة 12.7mm
70M-112R	84-97M	M.R.D	فساوة روكويل أو (A) شور
562-668	611-773	Kgf/cm ²	مقاومة الشد
2.4	2.46-3.16	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الشد
60-110	3-6	%	الاستطالة
773-914	985-1196	Kgf/cm ²	مقاومة الانحناء
879	985-1196	Kgf/cm ²	مقاومة الضغط
2.46	2.46-3.03	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الضغط

ملاحظة: RA قساوة روكويل (على الحرف)، M قساوة روكويل، D قساوة شور.

تابع جدول رقم (١) الخواص الميكانيكية لبعض المواد (Tp) -

المادة		الوحدة	الخواص
PEhd	PEbd		
26.6-1224	لا تتكسر	J/m	مقاومة أيزود الصدمية لعينة بسماكة 12.7mm
30-60R	10R	M.R.D	فساوة روكويل أو (A) شور
197-351	70.3-169	Kgf/cm ²	مقاومة الشد
0.53-1.4	0.1-0.27	Kgf/cm ² × 10 ⁴	عامل مرونة الشد
10-800	20-800	%	الاستطالة
70.3-281	-	Kgf/cm ²	مقاومة الانحناء
56-253	-	Kgf/cm ²	مقاومة الضغط
0.35-0.77	-	Kgf/cm ² × 10 ⁴	عامل مرونة الضغط

ملاحظة: RA قساوة روكويل (على الحرف)، M قساوة روكويل، D قساوة شور.

جدول رقم (٢) الخواص الكهربائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
PS مقاوم للصدم	PS		
10 ¹⁰ -10 ²¹	10 ¹⁵ -10 ¹⁷	Ohm-cm	المقاومة الحجمية
2.5-2.65	2.1-2.7	-	ثبات العزل الكهربائي عند 60Hz
19.7-27.6	17.3-25.6	Kv/mm	المثانة الكهربائية للعازل بسماكة 3.2mm
0.0001-0.0005	0.0007-0.005	-	عادل التمدد أو عامل القدرة عند 60Hz
60-100	36-136	Sec	مقاومة القوس الكهربائي

تابع جدول رقم (٢) الخواص الكهربائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
PMMA	ABS		
$> 10^{14}$	$10^{15}-10^{17}$	Ohm-cm	المقاومة الحجمية
3.3-3.9	2.6-3.5	-	ثبات العزل الكهربائي عند 60Hz
15.76	11.82-17.73	Kv/mm	المتانة الكهربائية للعازل بسمكة 3.2mm
0.04-0.05	0.003-0.007	-	عادل التمدد أو عامل القدرة عند 60Hz
لا يتصدع	45-90	Sec	مقاومة القوس الكهربائي

تابع جدول رقم (٢) الخواص الكهربائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
PVC(R)	PVC(S)		
$10^{12}-10^{16}$	$10^{11}-10^{15}$	Ohm-cm	المقاومة الحجمية
5-9	6-8	-	ثبات العزل الكهربائي عند 60Hz
11.8-39.4	33.5-43.34	Kv/mm	المتانة الكهربائية للعازل بسمكة 3.2mm
0.08-0.15	0.276	-	عادل التمدد أو عامل القدرة عند 60Hz
-	-	Sec	مقاومة القوس الكهربائي

تابع جدول رقم (٢) الخواص الكهربائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
PI	PUR		
$> 10^{16}$	2×10^{11}	Ohm-cm	المقاومة الحجمية
2.3-2.6	2.5-3.5	-	ثبات العزل الكهربائي عند 60Hz
19.7-28	19.7	Kv/mm	المتانة الكهربائية للعازل بسمكة 3.2mm
0.0003	0.003-0.005	-	عادل التمدد أو عامل القدرة عند 60Hz
يلصق	60-90	Sec	مقاومة القوس الكهربائي

تابع جدول رقم (٢) الخواص الكهربائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
PP	PEbd		
$10^{16}-10^{17}$	$10^{15}-10^{18}$	Ohm-cm	المقاومة الحجمية
3.5	2.28	-	ثبات العزل الكهربائي عند 60Hz
15.76	17.3-39.4	Kv/mm	المتانة الكهربائية للعازل بسماعة 3.2mm
0.002-0.003	0.006	-	عادل التمدد أو عامل القدرة عند 60Hz
230	بنصهر	Sec	مقاومة القوس الكهربائي

تابع جدول رقم (٢) الخواص الكهربائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
PC	PA6		
6.1×10^{15}	$10^{14}-10^{15}$	Ohm-cm	المقاومة الحجمية
2.97	2.6	-	ثبات العزل الكهربائي عند 60Hz
16.15	11.82-15.76	Kv/mm	المتانة الكهربائية للعازل بسماعة 3.2mm
0.0001-0.0005	0.4-0.6	-	عادل التمدد أو عامل القدرة عند 60Hz
10-120	140	Sec	مقاومة القوس الكهربائي

جدول رقم (٣) الخواص الفيزيائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
ABS	PA6		
83-118	65-80	°C	درجة حرارة التحطم تحت تأثير حمل 18.56 kg/cm ²
71-112	121	°C	درجة حرارة مقاومة المادة بشكل مستمر
3-10.5	4.6-5.8	°C×10 ⁻⁵	عامل التمدد الحراري
9.4	5-9	Cal/sec.cm. °C×10 ⁻⁴	الناقلية الحرارية
0.2-0.5	1.5	%	نسبة امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة بالتغطيس
25.4-50.8	إطفاء ذاتي	mm/min	قابلية انتشار اللهب لعينة سماكتها 3.2 mm
1.01-1.07	1.13-1.14	gr/cm ³	الوزن النوعي
0.003-0.007	0.007-0.011	mm/mm	انكماش القولبة
كامد	نصف شفاف - كامد		الصفة البصرية

تابع جدول رقم (٣) الخواص الفيزيائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
PC	PMMA		
273	75-93	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة التحطم تحت تأثير حمل 18.56 kg/cm^2
260	54-93	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة مقاومة المادة بشكل مستمر
4.7	-	$^{\circ}\text{C} \times 10^{-5}$	عامل التمدد الحراري
4.55	1.4	Cal/sec.cm. $^{\circ}\text{C} \times 10^{-4}$	الناقلية الحرارية
1.1	0.3	%	نسبة امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة بالتغطيس
إطفاء ذاتي	30.5	mm/min	قابلية انتشار اللهب لعينة سماكتها 3.2 mm
1.36	1.18-1.19	gr/cm^3	الوزن النوعي
0.007-0.009	0.002-0.006	mm/mm	انكماش القولية
كامد	شفاف		الصفة البصرية

تابع جدول رقم (٣) الخواص الفيزيائية لبعض مواد الـ (Tp)

المادة		الوحدة	الخواص
PEhd	PEbd		
-	129-143	°C	درجة حرارة التحطم تحت تأثير حمل 18.56 kg/cm ²
65-83	121	°C	درجة حرارة مقاومة المادة بشكل مستمر
10-20	6.8-7	°C×10 ⁻⁵	عامل التمدد الحراري
8	4.6	Cal/sec.cm. °C×10 ⁻⁴	الناقلية الحرارية
0.05	0.15	%	نسبة امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة بالتغطيس
احتراق بطيء	إطفاء ذاتي	mm/min	قابلية انتشار اللهب لعيونة سماكتها 3.2 mm
0.926-0.94	1.2	gr/cm ³	الوزن النوعي
0.01-0.03	0.005-0.007	mm/mm	انكماش القوالب
شفاف إلى كامد	شفاف		الصفة البصرية

جدول رقم (٤) الخواص الميكانيكية لبعض مواد الـ (Ts)

المادة		الوحدة	الخواص
M ميلامين مقوى بالألياف الزجاجية	EP مقوى بالزجاج		
2.69-3.09	3.36-16.8	m/kg	مقاومة الصدم (طريقة القذف)
115M-125M	105M-120M	E.M	قساوة روكويل أو شور
352-703	2460.7030	Kgf/cm ²	مقاومة الشد
1406-2461	2461-6327	Kgf/cm ²	مقاومة الضغط
1055-1617	2812-7030	Kgf/cm ²	مقاومة الانحناء
16.87	14.06-24.6	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الشد

تابع جدول رقم (٤) الخواص الميكانيكية لبعض مواد الـ (Ts)

المادة		الوحدة	الخواص
PF مقوى بالزجاج	PF متعدد الاستعمال		
8.06-12.95	0.134-0.403	m/kg	مقاومة الصدم (طريقة القذف)
54E-101E	64E-95E	E.M	قساوة روكويل أو شور
355-1265	422-703	Kgf/cm ²	مقاومة الشد
1195-4941	1547-2531	Kgf/cm ²	مقاومة الضغط
703-4218	562-844	Kgf/cm ²	مقاومة الانحناء
23.2	562-1195	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الشد

تابع جدول رقم (٤) الخواص الميكانيكية لبعض مواد الـ (Ts)

المادة		الوحدة	الخواص
البوربلا	UP أساسها زجاجي		
0.134-0.269	-A-/6.8- 21.5	m/kg	مقاومة الصدم (طريقة القذف)
110M- 120M	70M-125M	E.M	قساوة روكوبل أو شور
352-914	211-2812	Kgf/cm ²	مقاومة الشد
1758-3164	2742-3726	Kgf/cm ²	مقاومة الضغط
703-1265	2461-6327	Kgf/cm ²	مقاومة الانحناء
7.03-10.55	-	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الشد

جدول رقم (٥) الخواص الكهربائية لبعض مواد الـ (Ts)

المادة		الوحدة	الخواص
(EP) مقوى بالألياف الزجاجية	(SI) مقوى بالألياف الزجاجية		
11.82-15.8	7.9-15.76	Kv/mm	المتانة الكهربائية للعازل لوقت قصير لعينة سماكتها 3.2 mm
>10 ¹⁴	-	Ohm-cm	المقاومة الحجمية (النوعية المستعرضة) عند 22.7°C و 50% رطوبة نسبية
3.5-5	3.3-5.2	-	ثابت العزلية الكهربائية عند 60 Hz
0.01	-	-	عامل التبدد الكهربائي أو ظل زاوية الفقد عند 60 Hz
120-180	150-250	Sec	مقاومة القوس الكهربائية

تابع جدول رقم (٥) الخواص الكهربائية لبعض مواد الب (Ts)

المادة		الوحدة	الخواص
UP ممزوج بالباف زجاجية	يوربا فوردمالدييد		
13.6-15.55	11.82-15.8	Kv/mm	المثانة الكهربائية للعازل لوقت قصير لعينة سماكتها 3.2 mm
10^{14}	$10^{12}-10^{17}$	Ohm-cm	المقاومة الحجمية (النوعية المستعرضة) عند 22.7°C و 50% رطوبة نسبية
3.8-6	7-9.5	-	ثابت العزالية الكهربائية عند 60 Hz
0.01-0.04	0.035-0.043	-	عامل التبدد الكهربائي أو ظل زاوية الفقد عند 60 Hz
120-180	80-180	Sec	مقاومة القوس الكهربائية

جدول رقم (٦) الخواص الفيزيائية لبعض مواد الـ (Ts)

المادة		الوحدة	الخواص
UP صلب صلب	MF غير مقوى		
-	جيدة	-	إمكانية وجود القولية
-	149-165	°C	درجة حرارة القولية بالضغط
-	141-352	kgf/cm ²	ضغط القولية بالضغط
-	-	°C	درجة حرارة القولية بالحقن
-	-	kgf/cm ²	ضغط القولية بالحقن
-	2	-	نسبة الانضغاط
-	0.11-0.12	mm/mm	انكماش القولية
10-20	-	J/m	مقاومة صدم أبزود لعينة سماكتها 12.7 mm
70-115M	-	M-E-D	قساوة روكويل أوشور
-	-	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الانثناء
2.23	-	Kgf/cm ² ×10 ⁴	عال مرونة الانضغاط
4.6	-	Cal/cm .sec °C×10 ⁻⁴	الناقلية الحرارية
-	-	Cal/gr °C	الحرارة النوعية
3.5-10	-	°C×10 ⁻⁵	عامل التمدد الحراري
121	99	°C	أكبر درجة حرارة تقاومها المادة بشكل مستمر
60-204	148	°C	درجة حرارة التشوه بتأثير حمل 18.56 kgf/cm ²
-	-	°C	درجة حرارة التشوه بتأثير حمل 4.64 kgf/cm ²
شفاف-كامد	براق	-	الصفة البصرية

تابع جدول رقم (٦) الخواص الفيزيائية لبعض مواد الـ (Ts)

المادة		الوحدة	الخواص
EP مقوى باللياف زجاجية	EP للصب		
ممتازة	-	-	إمكانية وجود القولبة
149-165	-	°C	درجة حرارة القولبة بالضغط
21-351	-	kgf/cm ²	ضغط القولبة بالضغط
-	-	°C	درجة حرارة القولبة بالحقن
-	-	kgf/cm ²	ضغط القولبة بالحقن
3-7	-	-	نسبة الانضغاط
0.01-0.05	0.01-0.10	mm/mm	انكماش القولبة
107-353	10-52	J/m	مقاومة صدم أيزود لعينة سماكتها 12.7 mm
100-110M	80-110M	M-E-D	قساوة روكويل أو شور
17.57-31.64	-	kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الانثناء
-	-	fgf/cm ² ×10 ⁴	عال مرونة الانضغاط
4-10	4.5	Cal/cm .sec °C×10 ⁻⁴	الناقلية الحرارية
0.19	0.25	Cal/gr °C	الحرارة النوعية
1.1-3.5	4.5-45	°C×10 ⁻³	عامل التمدد الحراري
149-260	121-288	°C	أكبر درجة حرارة تقاومها المادة بشكل مستمر
260-121	46-288	°C	درجة حرارة التشوه بتأثير حمل 18.56 kgf/cm ²
-	-	°C	درجة حرارة التشوه بتأثير حمل 4.64 kgf/cm ²
كامد	شفاف	.	الصفة البصرية

تابع جدول رقم (٦) الخواص الفيزيائية لبعض مواد الـ (Ts)

المادة		الوحدة	الخواص
UF مقوى باللياف زجاج	SI مقوى باللياف زجاج		
ممتازة	جيدة	-	إمكانية وجود القوالب
135-177	154-182	°C	درجة حرارة القوالب بالضغط
140-1125	70.3-352	kgf/cm ²	ضغط القوالب بالضغط
-	-	°C	درجة حرارة القوالب بالحقن
-	-	kgf/cm ²	ضغط القوالب بالحقن
2.2-3	2-6	-	نسبة الانضغاط
0.006-0.014	0-0.005	mm/mm	انكماش القوالب
12.5-20	15-42.5	J/m	مقاومة صدم أيزود لعينة سماكتها 12.7 mm
110-120M	80-90M	M-E-D	فساوة روكويل أو شور
9.14-11.25	7.03-17.57	kgf/cm ² ×10 ⁴	عامل مرونة الانثناء
-	-	kgf/cm ² ×10 ⁴	عال مرونة الانضغاط
7-10	7-9	Cal/cm .sec °C×10 ⁻⁴	الناقلية الحرارية
0.4	0.19-0.22	Cal/gr °C	الحرارة النوعية
2.2-3.6	2-5	°C×10 ⁻⁵	عامل التمدد الحراري
76	<315	°C	أكبر درجة حرارة تقاومها المادة بشكل مستمر
-	< 482	°C	درجة حرارة التشوه بتأثير حمل 18.56 kgf/cm ²
-	-	°C	درجة حرارة التشوه بتأثير حمل 4.64 kgf/cm ²
نصف شفاف - كامد	كامد	-	الصفة البصرية

الجدول رقم (٧)

Polysterne				المادة : (PS)
مقوى بألياف زجاج 20-30%	مقاوم للحرارة	طبيعي	الوحدة	(1) الخواص
1.2-1.33	1.05-1.11	1.04-1.065	gr/cm ³	الوزن النوعي
نصف شفاف	شفاف	شفاف	%	ناقلية الضوء
-	غير محدد	غير محدد		إمكانية التلوين
0.05-0.07	0.05-0.4	0.03-0.05	%	امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة 3.2mm (سمكة)
7.73-10.5	4.9-8.4	3.5-6.3	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار على الشد
0.75-1.3	1.5-2.5	1-2.5	%	التمدد حتى الانهيار بالشد
770-847	280.420	280.-350	Kgf/mm ²	معامل المرونة بالشد
-	8-11.2	8-11.2	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار بالضغط
10.5-13.4	7-11.9	8.4-11.2	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار بالانحناء
لا يحترق	بطيء	بطيء	mm/min	انتشار اللهب
3-4.5	6-8	6-8	10 ⁻⁵ °C	عامل التمدد الخطي الحراري

تابع الجدول رقم (٧)

Polysterne				المادة : (PS)
مقوى باللياف زجاج 20-30%	مقاوم للحرارة	طبيعي	الوحدة	الخواص (2)
-	1.9-3	2.4-3.3	$10^{-4} \text{ cal/s/cm}^{\circ}\text{C}$	التأقية الحرارية
0.23-0.27	0.32-0.35	0.32	$\text{cal /gr}^{\circ}\text{C}$	للحرارة النوعية
90-110	82-113	66-91	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الانصهار تحت حمل
82-93	77-93	66-77	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المقاومة (حرارة مستمرة)
ممتاز	جيد	جيد جدا		إمكانية القولية
232-330	180-370	160-320	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة القولية
-	150-205	130-205	$^{\circ}\text{C}$	بالحقن
				بالبضغط
1050-2810	700-2310	700-2100	Kgff/cm^2	ضغط القولية
-	70-360	70-700	Kgff/cm^2	بالحقن
				بالبضغط

تابع الجدول رقم (٧)

Polystyrene					المادة : (PS)
مقوى بألياف زجاج 20-30%	مقاوم للحرارة	طبيعي	الوحدة	الخواص (3)	
جيد	وسط - جيد	وسط - جيد	-	نوعية التصنيع	
اصفرار خفيف	اصفرار خفيف	اصفرار	-	تأثير الطاقة الشمسية	
معدوم	معدوم	معدوم	-	تأثير الحموض الضعيفة	
			-	تأثير الحموض القوية	
			-	تأثير المحاليل العضوية	
-	2.45-3.4	2.45-2.65	-	ثابت العزل	
-	2.4-3.2	2.4-2.65	-	الكيرياتي	
0.0004-0.0002	0.0005-0.003	0.0001-0.0003	-	ظل زاوية الفقد	
0.001-0.004	0.0005-0.003	0.0001-0.0003	-	المقاومة الحجمية أو المقاومة النوعية	
2.3-3.7	$10^{13}-10^{17}$	10^{16}	Ohm-cm	المستعرضة	
14-15	12-24	16-28	KV/mm	الصلابة الكيرياتية	

الجدول رقم (٨)

Polyethylene				المادة : (PE)
متوسط الكثافة	على شكل ألياف (كيل)	اللقوية	الوحدة	الخواص (1)
0.926-0.94	0.93-1.40	0.95-1.45	gr/cm ³	الوزن النوعي
يمكن أن يكون شفاف أو غير شفاف				نفاذية الضوء
-	-	-	%	إمكانية التلوين
0.01	-	-	%	امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة (سمكة) 3.2mm
0.84-2.45	1.05-2.17	1.4-3.15	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار على الشد
50-600	180-600	15-225	%	التمدد حتى الانهيار بالشد
175-385	-	35-350	Kgf/mm ²	معامل المرونة بالشد
-	-	1.4-3.85	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار بالضغط
-	-	1.4-4.55	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار بالانحناء
بطيء جداً	بطيء	بطيء جداً - إطفاء ذاتي	mm/min	انتشار اللهب
14-16	10-35	10-35	10 ⁻⁵ °C	عامل التمدد الخطي الحراري

تابع الجدول رقم (٨)

Polyethylene					المادة : (PE)
متوسط الكثافة	على شكل ألواح مكعب*	للقوية	الوحدة	الخواص (2)	
8-10	-	-	$10^{-4} \text{ cal/s/cm}^{\circ}\text{C}$	الناقلية الحرارية	
0.55	-	-	$\text{cal /gr}^{\circ}\text{C}$	الحرارة النوعية	
41-74	-	38-79	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الانحناء تحت حمل	
104-121	135	135	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المقاومة (حرارة مستمرة)	
جيد جداً	-	جيد جداً		إمكانية القوية	
				درجة حرارة القوية	
200-371	-	121-149	$^{\circ}\text{C}$	بالحقن	
149-190	-	116-232	$^{\circ}\text{C}$	بالضغط	
				ضغط القوية	
560-2100	-	-	Kgf/cm^2	بالحقن	
7-56	-	7-56	Kgf/cm^2	بالضغط	

تابع الجدول رقم (٨)

المادة : (PE) Polyethylene				
الخواص (3)	الوحدة	القبولية	على شكل لفائف كابيل*	متوسط الكثافة
نوعية التصنيع	-	-	جيد-جيد جداً	جيد
تأثير الطاقة الشمسية	-	-		لغير محمي يتشقق بسرعة
تأثير الحموض الضعيفة	-	-	مقاوم جيد	
تأثير الحموض القوية	-	-	يتأثر فقط بالحموض المؤكسدة	
تأثير المحاليل العضوية	-	-	مقاوم دون درجة حرارة 80°C	60°C
ثابت العزل	60 Hz	-	2.28-7.6	2.25-2.35
الكهربائي	10 ³ Hz	-	2.27-7.4	2.25-2.35
ظل زاوية فقد	60 Hz	-	0.003-0.044	0.0005
	10 ³ Hz	-	0.00048-0.049	0.0005
المقاومة الحجمية أو المقاومة النوعية المستعرضة	Ohm-cm	-		10 ¹⁶
الصلابة الكهربائية	KV/mm	-	9.2-56.8	18-40

الجدول رقم (٩)

Polyamide					المادة : (PA)
Type 11	مسلح بألياف زجاج 20-40%	Type 6-6	الوحدة	الخواص (1)	
1.4	1.3-1.52	1.09-1.15	gr/cm ³	الوزن النوعي	
شفاف	نصف شفاف	شفاف	%	ناقلية الضوء	
غير محدد	-	غير محدد	-	إمكانية التلوين	
0.5-1	0.2-1.1	1-1.5	%	امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة (سمك) 3.2mm	
4.8-6	9.84-24.60	4.9-7.6	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار على الشد	
70-300	1.5-6	200-320	%	التمدد حتى الانهيار بالشد	
60-150	605-1270	183-280	Kgf/mm ²	معامل المرونة بالشد	
6-10	-	5-9.1	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار بالضغط	
-	12.7-28.1	5.6-9.7	Kgf/mm ²	إجهاد الانهيار بالانحناء	
بطيء - إطفاء ذاتي	بطيء - إطفاء ذاتي	بطيء - إطفاء ذاتي	mm/min	انتشار اللهب	
11	1.2-3.2	11-14.5	10 ⁻⁵ °C	عامل التمدد الخطي الحراري	

تابع الجدول رقم (٩)

المادة : (PA) : Polyamide			
Type 11	مسلح بالليف زجاج 20-40%	Type 6-6	الوحدة
7	1.5-1.7	5-6	$10^{-4} \text{ cal/s/cm}^{\circ}\text{C}$
0.58	0.3-0.35	0.55-0.56	$\text{cal/gr}^{\circ}\text{C}$
-	258-266	93	$^{\circ}\text{C}$
-	149-204	226	$^{\circ}\text{C}$
جيد جداً	ممتاز	جيد جداً	إمكانية التقلية
-	260-354	243-282	تة حرارة التقلية
-	-	-	بالحقن
-	-	-	بالضغط
500-1500	1050-2810	700-1750	ضغط التقلية
-	-	-	بالحقن
-	-	-	بالضغط

تابع الجدول رقم (٩)

Polyamide					المادة : (PA)
Type 11	مسلح بألياف زجاج 20-40%	Type 6-6	الوحدة	الخواص (3)	
جيد جداً	وسط	جيد جداً	-	نوعية التصنيع	
-	مقاومة تغيير اللون خفيفة	مقاومة تغيير اللون خفيفة	-	تأثير الطاقة الشمسية	
تؤثر	تؤثر	تؤثر	-	تأثير الحموض الضعيفة	
			-	تأثير الحموض القوية	
مقاوم للمحاليل العادية	مقاوم لمعظم المحاليل	مقاوم للمحاليل العادية	-	تأثير المحاليل العضوية	
-	4-4.6	4.1-4.6	-	ثابت العزل	
3.2-3.3	3.9-4.4	4-4.5	-	الكهربائي	
-	0.018-0.025	0.014-0.04	-	ظل زاوية الفقد	
0.03	0.02-0.025	0.02-0.04	-	المقاومة الحجمية أو المقاومة النوعية	
6×10^{13}	$153-55 \times 10^{15}$	$10^{13}-10^{14}$	Ohm-cm	المستعرضة	
25	16.3-20.1	24-29	KV/mm	الصلابة الكهربائية	

الجدول رقم (١٠)

المادة : (PVC) Polyvinylchloride			
الخواص (1)	الوحدة	PVC (R) صلب	PVC (S) طري
الوزن النوعي	gr/cm ³	1.35-1.45	1.16-1.35
ناقلية الضوء	%	شفاف وغير شفاف	شفاف وغير شفاف
إمكانية التكوين	-	غير محددة	غير محددة
امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة (سمكة) 3.2mm	%	0.07-0.4	0.15-0.75
إجهاد الانهيار على الشد	Kgf/mm ²	3.5-6.3	1.05-2.45
شد حتى الانهيار بالشد	%	2-40	200-450
عمل المرونة بالشد	Kgf/mm ²	245-420	-
إجهاد الانهيار بالضغط	Kgf/mm ²	5.6-9.1	0.63-1.19
إجهاد الانهيار بالانحناء	Kgf/mm ²	7-11.2	
انتشار اللهب	mm/min	إطفاء ذاتي	بطيء - إطفاء ذاتي
عامل التمدد الخطي الحراري	10 ⁻⁵ °C	5-18.5	7-25

تابع الجدول رقم (١٠)

المادة : (PVC)			Polyvinylchloride	
طري (PVC (S)	صلب (PVC (R)	الوحدة	(2) الخواص	
3-4	3-7	$10^{-4} \text{ cal/s/cm}^{\circ}\text{C}$	الناقلية الحرارية	
0.3-0.5	0.2-0.28	$\text{cal /gr}^{\circ}\text{C}$	الحرارة النوعية	
-	54-74	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الانحناء تحت حمل	
66-79	49-71	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المقاومة (حرارة مستمرة)	
جيد	وسط - جيد	-	إمكانية التقلية	
180-195	150-205	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة التقلية	
140-180	140-205	$^{\circ}\text{C}$	بالحقن	
			بالضغط	
560-1750	1050-2800	Kgf/cm^2	ضغط التقلية	
35-140	105-140	Kgf/cm^2	بالحقن	
			بالضغط	

تابع الجدول رقم (١٠)

المادة : (PVC) Polyvinylechloride			
طري (S) PVC	صلب (R) PVC	الوحدة	الخواص (3)
	جيد جداً	-	نوعية التصنيع
متغير تبعاً للملدن	اسمرار	-	تأثير الطاقة الشمسية
معلوم	معلوم	-	تأثير الحموض الضعيفة
خفيف - معلوم	معلوم	-	تأثير الحموض القوية
-		-	تأثير المحاليل العضوية
5-9	3.2-3.6	-	ثابت العزل
4-8	3-3.3	-	الكهربائي
0.08-0.15	0.007-0.02	-	ظل زاوية الفقد
0.07-0.16	0.009-0.017	-	المقاومة الحجمية أو للمقاومة النوعية المستعرضة
$10^{11} - 10^{13}$	10^{16}	Ohm-cm	
11-32	11-40	KV/mm	الصلابة الكهربائية

الجدول رقم (١١)

المادة : (PSU) Polysulfon		
الخواص	الوحدة	العادي
الوزن النوعي	gr/cm ³	1.24
ناقلية الضوء	%	شفاف .. غير شفاف
إمكانية التلوين	-	-
امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة 3.2mm (سمكة)	%	0.22
إجهاد الانهيار على الشد	Kgf/mm ²	7.04
التمدد حتى الانهيار بالشد	%	50-100
معامل المرونة بالشد	Kgf/mm ²	253
إجهاد الانهيار بالضغط	Kgf/mm ²	260
إجهاد الانهيار بالانحناء	Kgf/mm ²	10.8
انتشار اللهب	mm/min	إطفاء ذاتي
عامل التمدد الخطي الحراري	10 ⁻⁵ °C	5.6
الناقلية الحرارية	10 ⁻⁴ cal/s/cm/°C	6.2
الحرارة النوعية	cal /gr/°C	0.3
درجة حرارة الانحناء تحت حمل	°C	180
درجة حرارة المقاومة (حرارة مستمرة)	°C	174
إمكانية القولبة	-	ممتازة
درجة حرارة القولبة		
بالحقن	°C	343-399
بالضغط	°C	288-316

تابع الجدول رقم (١١)

المادة : (PSU) Polysulfon		الخواص
العادي	الوحدة	الخواص
		ضغط القولبة
1050-1410	Kgf/mm ²	-بالحقن
70.3	Kgf/mm ²	-بالضغط
ممتازة	-	نوعية التصنيع
-	-	تأثير الطاقة الشمسية
-	-	تأثير الحموض الضعيفة
-	-	تأثير الحموض القوية
-	-	تأثير المحاليل العضوية
3.14	-	ثابت العزل الكهربائي
3.13	-	
0.0008	-	ظل زاوية الفقد
0.0011	-	
5×10^{14}	Ohm-cm	المقاومة الحجمية أو المقاومة النوعية المستعرضة
15	KV/mm	الصلابة الكهربائية

الجدول رقم (١٢)

المادة : بولي أستر حراري PTE(Tp)			
الخواص	الوحدة	PTE غير مقوى	PTE مقوى 30% ألياف زجاجية
الوزن النوعي	gr/cm ²	1.31	1.52
امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة	%	0.08	0.07
مقاومة الشد	Kgf/cm ²	562	1195
مقاومة الانعطاف	Kgf/cm ²	211	1898
عامل مرونة الانعطاف	10 ⁴ ×Kgf/cm ²	2.39	8 - 44
مقاومة أيزود الصدمية	J/m	75	75
درجة حرارة التشوه بتأثير حمل 18.56 kgf/cm ²	°C	54	214
درجة حرارة الانصهار	°C	225	225
المقاومة الحجمية عند 22.7°C أو المقاومة النوعية المستعرضة	Oh-cm	4×10 ¹⁶	8×10 ¹⁵
المقاومة الحجمية بعد تغليس ٦ أسابيع بالماء بدرجة 22°C	Ohm-cm	معتدل	1×10 ¹⁶
ثابت العازلية لوقت قصير 22°C	Kv/mm	23.25	29.55
ثابت العازلية عند 10 ⁶ Hz	Kw/mm	0.122	0.143
مقاومة القوس الكهربائي	Sec	190	130

الجدول رقم (١٣)

المادة : الالكيدات بولستر غير مشبع PTE(Ts)			
الخواص	الوحدة	PTE نقي	PTE مقوى 30% ألياف زجاجية
الوزن النوعي	gr/cm ³	2.05 - 2.15	2.02-2.10
امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة	%	0.10 - 0.15	0.07 - 0.10
أعلى درجة حرارة تقاومها بشكل مستمر	°C	121	149
درجة حرارة التحطم بتأثير حمل 1856kgf/cm ²	°C	177-204	204
عامل التمدد الحراري الخطي	°F×10 ⁻⁵	1.3	1.3
الناقلية الحرارية	Cal/sec.cm..°C	15.25×10 ⁻⁴	8.12×10 ⁻⁶
قابلية الاحتراق باللهب	-	لا يحترق	لا يحترق
مقاومة صدم أيزود	J/m	13.3-18.6	4.25-639
مقاومة الانعطاف	Kgf/cm ²	562-773	844-1195
مقاومة الشد	Kgf/cm ²	281-352	281-633
عامل مرونة الشد	10 ⁴ ×Kgf/cm ²	14-19	14-18
مقاومة القوس الكهربائي	Sec	180	180
ثابت العازلية عند 60 Hz	-	5.7-6.9	7.4
عامل التبديد الكهربائي 60 Hz	-	0.03-0.045	0.019

الجدول رقم (١٤)

Epoxy					
المادة : (EP)					
الخواص (1)	الوحدة				
الوزن النوعي	gr/cm ³				
ناقلية الضوء	%				
إمكانية التلوين	-				
امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة (سماكة) 3.2mm	%				
إجهاد الانهيار على الشد	Kgf/mm ²				
التمدد حتى الانهيار بالشد	%				
معامل المرونة بالشد	Kgf/mm ²				
إجهاد الانهيار بالضغط	Kgf/mm ²				
إجهاد الانهيار بالانحناء	Kgf/mm ²				
انتشار اللهب	mm/min				
عامل التمدد الخطي الحراري	10 ⁻⁵ °C				

تابع الجدول رقم (١٤)

Epoxy					المادة : (EP)
مقوى بمواد معدنية	مقوى بالأياف زجاج	مقوى (لون تقوية)	عادي	الوحدة	الخواص (2)
4-10	4-10	-	-	$10^{-4} \text{ cal/s/cm}^{\circ}\text{C}$	التأقية الحرارية
-	0.19	0.25	0.25	$\text{cal /gr}^{\circ}\text{C}$	الحرارة النوعية
107-232	121-260	46-288	46-288	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الانحناء تحت حمل
149-232	149-260	121-288	121-288	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المقاومة (حرارة مستمرة)
جيد - جيد جداً	جيد جداً	-	-	-	إمكانية اللقوبة
-	-	-	-	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة اللقوبة
121-165	149-165	-	-	$^{\circ}\text{C}$	بالحقن
-	-	-	-	$^{\circ}\text{C}$	بالضغط
-	-	-	-	Kg/cm^2	ضغط اللقوبة
35-70	21-350	-	-	Kg/cm^2	بالحقن
-	-	-	-	Kg/cm^2	بالضغط

تابع الجدول رقم (١٤)

Epoxy					
المادة : (EP)					
الخواص (3)	الوحدة	عادي (بون قفوية)	مقوى بالياف زجاج	مقوى بمواد معدنية	
نوعية التصنيع	-	جيد	مقبول - جيد	مقبول - جيد	
تأثير الطاقة الشمسية	-	معدوم	خفيف	خفيف	
تأثير الصمغ الضعيفة	-	معدوم	معدوم	معدوم	
تأثير الصمغ القوية	-	يتأثر بعض الصمغ	يمكن إهماله	خفيف	
تأثير المحاليل العضوية	-	مقاوم بصورة عامة	معدوم	خفيف	
ثابت العزل الكهربائي	60 Hz	3.5-5	3.5-5	3.5-5	
	10 ³ Hz	3.5-4.5	3.5-5	3.5-5	
ظل زاوية الفقد	60 Hz	0.002-0.01	0.01	0.01	
	10 ³ Hz	0.002-0.02	0.01	0.01	
المقاومة الحجمية أو المقاومة النوعية المستعرضة	Ohm-cm	10 ¹² -10 ¹⁷	10 ¹⁴	10 ¹⁴	
الصلابة الكهربائية	KV/mm	16-20	12-16	10-16	

الجدول رقم (١٥)

Melaminformaldehyde					المادة : (MF)
الخواص (1)	الوحدة	عادي	مصلح بألياف الزجاج	مصلح بالأميانت	
الوزن النوعي	gr/cm ³	1.48	1.8-2	1.7-2	
ذائبة في الماء	%	أغيش	غير شفاف	غير شفاف	
إمكانية التلويين	-	-	-	محدودة	
امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة (سمكة) 3.2mm	%	0.3-0.5	0.09-0.21	0.08-0.14	
إجهاد الانهيار على الشد	Kgf/mm ²	-	3.5-7	3.85-4.9	
التقدم حتى الانهيار بالشد	%	-	-	0.3-0.45	
معامل المرونة بالشد	Kgf/mm ²	-	1680	1120	
إجهاد الانهيار بالضغط	Kgf/mm ²	28-31.5	14-24.5	21	
إجهاد الانهيار بالانحناء	Kgf/mm ²	7.7	10.5-16.1	6.3-7.7	
انتشار اللهب	mm/min	إطفاء ذاتي	إطفاء ذاتي	معدوم	
عامل التقدم الخطي الحراري	10 ⁻⁵ °C	-	1.5-1.7	2.4-5	

تابع الجدول رقم (١٥)

Melaminformaldehyde					المادة : (MF)
مسلح بالألياف	مسلح بألياف الزجاج	عادي	الوحدة	الخواص (2)	
13-17	11.5	-	$10^{-4} \text{ cal/s/cm}^{\circ}\text{C}$	التأقية الحرارية	
-	-	-	$\text{cal/gr}^{\circ}\text{C}$	الحرارة النوعية	
160	204	148	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الانحناء تحت حمل	
120-170	149-204	99	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المقاومة (حرارة مستمرة)	
جيد جدا	جيد	جيد	-	إمكانية التولية	
-	-	-	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة التولية	
135-180	138-171	149-165	$^{\circ}\text{C}$	بالحقن	
-	-	-	$^{\circ}\text{C}$	بالضغط	
-	-	-	Kgf/cm^2	ضغط التولية	
200-300	140-560	140-350	Kgf/cm^2	بالحقن	
-	-	-	Kgf/cm^2	بالضغط	

تابع الجدول رقم (١٥)

Melaminformaldehyde					المادة : (MF)
مسلح بالأميانت	مسلح باللياف الزجاج	عادي	الوحدة	الخواص (3)	نوعية التصنيع
وسط	جيد	-	-	-	تأثير الطاقة الشمسية
تغير لون خفيف	خفيف	احتمال تغير اللون	-	-	تأثير الحوض الضعيفة
شبه معدوم	معدوم	شبه معدوم	-	-	تأثير الحوض القوية
تحلل	تحلل	-	-	-	تأثير المحاليل العضوية
معدوم	معدوم	معدوم	-	-	ثابت العزل
6.4-10.2	9.7-11.1	-	-	60 Hz	الكهربائي
9	-	-	-	10 ³ Hz	ظل زاوية الفقد
0.07-0.17	0.14-0.23	-	-	60 Hz	المقاومة الحجمية أو المقاومة النوعية
0.07	-	-	-	10 ³ Hz	المستعرضة
10 ¹³	10 ¹¹	-	Ohm-cm	-	الصلابة الكهربائية
14-16	6.8-12	-	KV/mm	-	-

الجدول رقم (١٦)

phenolformaldehyde					المادة : (PF)
الخواص (1)	الوحدة	عادي	تحصيل معدي P12	تحصيل نشارة خشب P21	
الوزن النوعي	gr/cm ³	1.25-1.3	1.5-1.8	1.35-1.4	
ناقلية الضوء	%	شفاف	غير شفاف	غير شفاف	
إمكانية التلوين	-	محدودة	محدودة جداً	محدودة	
امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة (سمكة) 3.2mm	%	0.1-0.2	0.05-0.1	0.1-0.5	
إجهاد الانهيار على الشد	Kgf/mm ²	4.9-5.6	2.8-7	2.5-6	
التمدد حتى الانهيار بالشد	%	1-15	-	-	
معامل المرونة بالشد	Kgf/mm ²	385-700	800-2000	700-950	
إجهاد الانهيار بالضغط	Kgf/mm ²	7-30	12-40	14-26	
إجهاد الانهيار بالاتحاء	Kgf/mm ²	8.4-10.5	7-9	7-11	
انتشار اللهب	mm/min	ضعيف جداً	محدوم	إطفاء ذاتي	
عامل التمدد الخطي الحراري	10 ⁻⁵ °C	2.5-6	1.5-8	1-5	

تابع الجدول رقم (١٦)

phenolformaldehyde					المادة : (PF)
تحميل نشارة خشب	تحميل معدني P12	عادي	الوحدة	الخواص (2)	
P21	6-16	3-6	$10^{-4} \text{ cal/s/cm}^{\circ}\text{C}$	النفاذية الحرارية	
1-7	0.3 - 0.38	0.38-0.42	$\text{cal /gr}^{\circ}\text{C}$	الحرارة النوعية	
0.3 - 0.4	170	116-127	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الانحناء تحت حمل	
130	180	121	$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المقاومة (حرارة مستمرة)	
120	وسط-جيد	وسط	-	إمكانية القوية	
جيد جداً				درجة حرارة القوية	
-	-	-	$^{\circ}\text{C}$	-بالحقن	
150-180	150-170	132-160	$^{\circ}\text{C}$	-بالضغط	
				ضغط القوية	
-	-	-	Kg/cm^2	-بالحقن	
250-300	250-400	140-280	Kg/cm^2	-بالضغط	

تابع الجدول رقم (١٦)

phenolformaldehyde					(PF) : المادة
تحميل معنوي P21	تحميل معنوي P12	عادي	الوحدة	(3) الخصائص	
جيدة	وسط	وسط	-	نوعية التصنيع	
اسمرار سطحي	اسمرار عام	اسمرار سطحي خفيف	-	تأثير الطاقة الشمسية	
خفيف جداً	خفيف جداً	خفيف جداً	-	تأثير الحموض الضعيفة	
ضعيف	معلوم	تحليل بالحموض المؤكسدة	-	تأثير الحموض القوية	
معدوم عموماً					تأثير المحاليل العضوية
5-9	71-7.5	5-6.5	-	ثابت العزل	60 Hz
4.4-9.3	6.9-60	4.5-6	-	الكهربائي	
0.05-0.3	0.05-0.5	0.06-0.1	-	ظل زاوية النقد	
0.04-0.2	0.02-0.5	0.03-0.08	-	المقاومة الحجمية أو المقاومة النوعية المستعرضة	
10^9-10^{12}	$10^{10}-10^{14}$	$10^{11}-10^{12}$	Ohm-cm	الصلابة الكهربائية	
8-17	2-14	12-16	KV/mm		

الجدول رقم (١٧)

Silicon				المادة : (SI)
سيليكون مسلح بألياف زجاجية	سيليكون محمل بمواد معدنية	الوحدة	الخواص (1)	
1.88	1.8-1.95	gr/cm ³	الوزن النوعي	
0.005	0.007	mm/mm	انكماش القوية	
إطفاء ذاتي	إطفاء ذاتي	mm/min	انتشار اللهب	
0.1-0.12	0.05-0.2	%	امتصاص الماء خلال ٢٤ ساعة بمساحة 3.2 mm وحرارة 23°C	
0.1	2.6-6	10 ⁻⁵ °C	عامل التمدد الحراري عند 25-250°C	
12.1	-	10 ⁻⁵ °C	شكل عمودي	
			عامل التمدد الحراري عند 25-250°C	
< 482	171-482	°C	بشكل أفقي	
371-399	315-343	°C	درجة حرارة التحطم	
			درجة حرارة العمل المثالية	

تابع الجدول رقم (١٧)

المادة : (SI) Silicon			الوحدة		المادة : (SI)	
سيليكون مصلىح بالأياف الزجاجية	سيليكون مصلىح بالأياف الزجاجية	سيليكون مصلىح بالأياف الزجاجية	سيليكون مصلىح بالأياف الزجاجية	سيليكون مصلىح بالأياف الزجاجية	سيليكون مصلىح بالأياف الزجاجية	سيليكون مصلىح بالأياف الزجاجية
24 - 46	18 - 25	18 - 25	$\text{Kg/mm}^2 \times 10^{-3}$	23°C	مقاومة التآكل بالشد عند 23°C	الخواص (2)
126 - 150	45 - 60	45 - 60	$\text{Kg/mm}^2 \times 10^{-3}$	25°C	مقاومة الانحناء عند 25°C	مقاومة التآكل بالشد عند 23°C
17.6	10 - 11	10 - 11	$\text{Kg/mm}^2 \times 10^{-6}$	25°C	عامل المرونة عند 25°C	مقاومة الانحناء عند 25°C
7 - 84	77 - 126	77 - 126	Kg/mm^2	25°C	مقاومة الانضغاط عند 25°C	مقاومة الانحناء عند 25°C
532 - 1277	16-21.3	16-21.3	J/m	23°C	مقاومة إيزود الصدمية عند 23°C	مقاومة إيزود الصدمية عند 23°C
83-88	70-95	70-95	M	23°C	القساوة حسب روكويل عند 23°C	القساوة حسب روكويل عند 23°C
$9 \times 10^{-14} - 1.4 \times 10^{14}$	$2 \times 10^{13} - 5 \times 10^{15}$	$2 \times 10^{13} - 5 \times 10^{15}$	Ohm-cm	50%	المقاومة الحجمية عند نسبة رطوبة 50% و 23°C	المقاومة الحجمية عند نسبة رطوبة 50% و 23°C
0.004	0.002	0.002	-	1MHz	عامل القدرة عند 1MHz وجفاف	عامل القدرة عند 1MHz وجفاف
0.005	0.003	0.003	-	24 ساعة	عامل القدرة عند 1MHz بعد 24 ساعة	عامل القدرة عند 1MHz بعد 24 ساعة
4.35	3.4 - 6.3	3.4 - 6.3	-	60 Hz	ثابت العازلية الكهربائية عند 60 Hz	ثابت العازلية الكهربائية عند 60 Hz
4.26 - 4.28	3.4 - 6.3	3.4 - 6.3	-	1MHz	ثابت العازلية الكهربائية عند 1MHz	ثابت العازلية الكهربائية عند 1MHz

تابع الجدول رقم (١٧)

المادة : (SI)			Silicon		الخواص (3)
سيلكون مسطح بألياف زجاجية	سيلكون يحمل بمواد معدنية	سيلكون يحمل بمواد معدنية	الوحدة		متانة العازلية للكهربائية بمعدل ارتفاع 500 فولط بالثانية لعينة (3.2mm)
0.108-11.80	0.183-11.80	0.183-11.80	KV/mm		
240-240	190-420	190-420	Sec		مقاومة القوس الكهربائية
ممتازة	ممتازة	ممتازة	-		مقاومة الأشعة تحت الحمراء
ممتازة للحموض النصف مركزة			-		مقاومة الحموض
جيد - وسط	جيد - وسط	جيد - وسط	-		مقاومة الحموض القاعدية
وسط - ممتاز	وسط - ممتاز	وسط - ممتاز	-		مقاومة المذيبات
ممتاز	ممتاز	ممتاز	-		مقاومة الأكسدة
ممتاز	ممتاز	ممتاز	-		مقاومة الزيوت



الفصل الثاني

المصطلحات العلمية

- A -

Ablation	تذرية
Abrasion resistance	مقاومة الاحتكاك
Abrupt melting	انصهار واضح
Absolute alcahol	كحول مطلق
Absolute viscosity	لزوجة مطلقة
Absorption speed	سرعة الامتصاص
Absorption	امتصاص
Accelerator	تسارع
Accumulator	تراكم
Acetal resin	ريزين (راتنج) اسيثال
Acetone	اسيتون.
Acetone soluble matter	مادة تذوب بالاسيتون
Acid	حمض
Acid resistance	مقاومة الحمض
Acrylic acid	حمض الاكريليك
Acrylic fibres	ألياف الاكريليك.
Activator	منشط
Addition polymer	بوليمر جمعي
Additive	مضاف.
Adhesion	تلاصق.
Adiabatic extrusion	بثق ادياباتي
Ageing	تعتيق (تقدم الزمن)

Agglomeration	تكتيل
Air drying	تجفيف بالهواء
Air locks	أقفال هوائية
Air ring	حلقة هوائية
Aldehyde resins	ريزين الألدهيد
Alterned constraint	إجهاد متناوب
Alkali	قلوي
Alloys	سبائك
Alloy steel	فولاذ سبائكي
Alternating stress	إجهاد متناوب
Amino plastic	أمينو بلاستيك
Ammonia	أمونيا - نشادر
Amorphous	عشوائي (غير بلوري)
Angle press	مكبس زاوي
Antiblocking agent	مانع تكتل
Antifoaming agent	مانع ارغاء
Antioxidant	مانع تأكسد
Antistatic agent	مانع كهرباء ساكنة
Astate	حالة
Asbestos	اسبستوس
Artificial resin	ريزين اصطناعي
Atomic weight	وزن ذري
Automatic ejection	قذف اتوماتيكي
Automatic moulding	قولبة اتوماتيكية
Autogenous weld	لحام ذاتي (اتوماتيكي).

Backing plate	لوح استناد
Bactericide	مبيد للبكتريا
Bag moulding	قولبة بالكيس
Bakelite	بيكاليت
Barium peroxide	بيروكسيد الباريوم
Bar mould	قالب ذو قضبان
Baruse effect	تأثير باروس
Bearing strength	مقاومة التحميل
Bleeding of colourant	نزف (ارتحال) الملونات
Blow gun	مدفع (مسددس) نفخ
Blowing	نفخ
Blowing agent	عامل نفخ
Blow moulding	القولبة بالنفخ
Blow Film	رقائق منتجة بالنفخ
Bonding resine	ريزين للترابط
Bond strength	متانة الترابط
Boron Fibres	ألياف البورون
Bottom ejection	قذف سفلي
Breakdown voltage	انهيار الفولتاج
Bridge	جسر
Breathing	تنفيس
Bubble	فقاعة
Buckling	تحذب
Bunch	نوء

Calcium Carbonate	كربونات الكالسيوم
Calender	أداة اسطوانية للصقل
Calender coating	طبقة مصقولة
Caloric plate	صفحة مولدة للحرارة
Camphor	كافور
Cast film	شريط صلب
Cast moulding	القولبة بالصب
Carbon fibres	ألياف الكربون
Casein plastics	لدائن الكازين
Cast Film	فيلم (رقائق) مصبوب
Catalyst	مادة محفزة (مسرعة)
Cavity	تجويف
Cellular plastics	بلاستيك خلوي
Cellular polyethylene	بولي إيثيلين خلوي
Cementing	لاصق
Centrifugal casting	صب بالطرد المركزي
Centrifugal moulding	القولبة بالطرد المركزي
Chemical resistance	مقاومة كيميائية
Chemical pasticizing	ملدن كيميائي
Chroming plated	طلاء بالكروم
Chill roll extrusion	بثق باسطوانة تبريد
Coal	فحم
Coal tar	قار الفحم
Coating	طلاء، طبقة خارجية (تكسية)

Coating compound	مركب تكسية
Cold creep	تشوه بطيء على البارد
Coefficient of linear expansion	معامل التمدد الطولي
Cold bend test	اختبار الانحناء على البارد
Cold flow	انسياب على البارد
Cold moulding	قولبة على البارد
Cold stretch	مط على البارد
Colourant	مادة ملونة
Column	عمود
Composite mould	قالب مركب
Compression moulding	القولبة بالضغط
Compression ratio	نسبة الانضغاط.
Compressive strength	مقاومة الانضغاط
Condensation	تكاثف
Connector	واصلة
Continuous polymerisation	بلمرة مستمرة
Contraction allowance	تسامح الانكماش (التقلص).
Cored mould	قلب ذو تجاويف
Core pin	إصبع (دليل) القالب
Corrosion resistance	مقاومة التآكل
Creep	الزحف (التشوه البطيء)
Creep rupture	انهيار الزحف
Cresol resin	رزين الكريزول.
Cross head (extruder)	رأس مستعرض (بالة البثق)
Cure	انضاج

Curing time	زمن الانضاج.
Cylindler	اسطوانة
Cutting	قطع

- D -

Dash-pot	وعاء كبج
Decorative sheet	لوح زخرفي
Defoamer	مزيل للرغوة
Deflection	انحراف
Degree of cure	درجة النضج
Degree of polymerisation	درجة البلمرة
Dehydration	نزع الماء
Dehydrogenation	نزع الهيدروجين
Delustrant	مزيل لمعان
Densified impregnated wood	خشب مشرب (مكثف).
Depolymerise	مزيل للبلمرة
Design of the object	تصميم القطعة
Deterioration	تدهور
Dew point	نقطة الندى
Die land	شفة النموذج (القالب)
Dielectric constant	ثابت العازل
Dielectric loss	ضياع العزل الكهربائي
Die plate	لوح النموذج (القالب)
Die swell	انتفاخ النموذج
Diluent	مخفف

Dimensional	بعدي
Dimensional stability	استقرار بعدي
Dip coating	تكسية بالغمس
Direct gate	مدخل مباشر
Double press	ضغط مضاعف
Dowel bush	غلاف - تجويف - وصلة
Draw	استدقاق
Drawing	سحب
Driers	مجففات
Dry colouring	تلوين جاف
Dry strength	مقاومة بعد الجفاف
Dye	صبغة
Dynamic constraint	إجهاد ديناميكي

- E -

Ejection	قذف
Ejection control	التحكم بقذف (القطعة المنتجة).
Ejection plate	صفحة قذف القطعة
Ejection rod (ram)	ساق (ذراع) للقذف
Ejector pin	قاذف، لافظ (إصبع)
Ejector frame	إطار القاذف
Elastic deformation	تشوه مرن
Elastic memory	ذاكرة مرنة
Elastic limite	حدود المرونة
Elastomer	
Electric strength	متانة كهربائية

Electrode	الكتروود
Electroformed mould	قالب مشكل كهربائياً
Electroforming	تشكيل بالكهرباء
Electrostatic printing	طباعة الكترولستاتيكية
Elongation	استطاعة
Emulsion	مستحلب
Encapsulating	تغليف واقى
Engraving sheet	لوح حفر
Epoxide	ايپوكسيد (EP)
Epoxide resin	ريزين الايپوكسيد
Epoxy foam	الايپوكسيد الرغوي
Ester gum	صمغ الاستر
Expansion	تمدد- اتساع
Expanded plastics	لدائن ممددة
Extender	امتداد
Extruder	آلة بثق
Extrusion machine	عملية البثق
Extruded sheet	ألواح مبنوقة
Extrusion coating	تغطية (تكسية) بالبثق
Extrusion colouring	تلوين بالبثق
Extrusion die	قالب البثق (نموذج)
Extrusion laminating	إنتاج الرقائق بالبثق

Fast colour	لون ثابت
Fatigue failure	انهيار بالتعب
Fatigue strength	مقاومة التعب
Feed orifice	فتحة التغذية
Filler	مادة مالئة
Film glue	شريط لاصق
Fines	دقائق ناعمة
Finishing	إنجاز
Fissure	تمزق (شق)
Fixed plate	لوح ثابت
Flame retardant	مخفف (مثبط) للهب
Flame spray coating	أكساء بالرش الساخن
Flame treatment	معالجة باللهب
Flammable	سريع الاشتعال
Flash	نتوء
Flash mould	قالب بنتوء
Flash land	نسيج قماشى
Flat molecule	جزيء مسطح
Flexible mould	قالب قابل للانثناء
Flexural strength	مقاومة الانثناء (الانحناء)
Flow	جريان (انسياب)
Flow line	خط الجريان
Fluorinated ethylen-propylene	ايتلين، بروبيلين مفلور

Fluorine	مفلور
Fluoro plastics	بلاستيك مفلور
Foam	رغوي
Foam glue	غراء رغوي
Force impression	طبعة قسوية
Force plug	دافعة الضغط
Formica	فورمايكا
Forming	تشكيل
Formed laminate	طبقة مشكلة
Forming pressure	ضغط التشكيل
Frame bolster	إطار استناد
Fungicide	مبيد للفطريات
Friction work	عمل احتكاكي
Fungus resistance	مقاوم للفطريات
Furfural resin	ريزين الفورفورال
Fusion	درجة حرارة الانصهار

- G -

Gap filling adhesive	لاصق لملء الفجوات
Gate	بوابة (مدخل)
Gel	جل
Gelatin	جيلاتين
Gelation	جلجلة
Gelation time	زمن الجلجلة
Gel coat	جلاكوت (طبقة خليط من عدة مواد).

Gel point	نقطة الجلجلة.
Glass fibre reinforced plastics	بلاستيك مسلح بألياف زجاجية
Glass fibre	ألياف زجاجية
Glitter	متألق
Gloss	لمعة
Gloss- meter	جهاز قياس اللمعة
Glue	غراء
Glycerol	كليسروول
Graft polymer	بولمير مطعم
Granular structure	تركيب حبيبي (حبيبات)
Granulator	آلة تحبيب
Graphite	غرافيت
Gradual melting	الانصهار عجيني
Guide pin	مسمار أو إصبع دليل
Gum	صمغ
Gunk	مخلوط جاهز
Gypsum	جبصين

- H -

Hand ejection	قذف بدوي
Hand operated mould	قالب بدوي
Hand press	مكبس بدوي
Hardener	مصلب (مقسي)
Hard chromium plating	تلبيس كرومي صلب
Hardness	قساوة

Heat distortion point	نقطة التشوه بالحرارة
Heating pot	وعاء التسخين
Heating chamber	غرفة التسخين
Heating pin	مسمار (إصبع) تسخين
Heat resistance	مقاومة الحرارة
Heat stability	استقرار حراري
High-density polyethylene (PEhd)	بولي إيثيلين عالي الكثافة
High frequency heating	تسخين بالترددات العالية
High elasticity	مرونة عالية
High frequency welding	لحام بالترددات العالية
Hob	أداة ضاغطة
Holes	ثقب
Homogeneous	متجانس
Homopolymer	بوليمير متجانس
Hopper	قمع
Horizontal injection press	مكبس حقن أفقي
Hot gas welding	اللحام بالغاز الساخن
Hot penetration test	اختبار النفوذية على الساخن
Hot -runner mould	قالب ذو مجاري ساخنة
Hot stamping	الختم على الساخن
Hot setting glue	إصاق على الساخن
Hot wire cutter	سلك قاطع على الساخن
Hydraulic press	مكبس هيدروليكي
Hydrocarbon plastics	بلاستيك هيدروكربوني

- I -

Immediate set	تشوه أو انحراف مباشر
Impact modifier	تعديل مقاومة الصدم
Impact strength	مقاومة الصدم
Impressing	طبع - ختم
Impregnated	إشباع
Impregnated wood (or paper)	خشب مشبع (أو ورق...)
Impression	طبعة
Impression block	نواة
Impression gate	مدخل الطبعة
Improved wood	خشب محسن
Index of refraction	دليل انكسار
Indicator	دليل - مؤشر
Induction heating	تسخين بالحث (بالتأثير)
Induction welding	لحام بالحث
Infra- red heating	التسخين بالأشعة تحت الحمراء
Inhibitor	إبطاء النشاطات الكيميائية
Initial viscosity	اللزوجة الابتدائية
Injection mould	قالب حقن
Injection moulding	القولبة بالحقن
Injection cylinder	اسطوانة الحقن
Injection Force	قوة الحقن
Injection nozzle	فوهة الحقن

Injection pressure	ضغط الحقن
Injectio ram	ذراع (مكبس) الحقن
Inlaying	تغطية - تغشية
Inorganic polymer	بوليمير غير عضوي
Insert	واحدة
Insert pin	مسمار إبلج
Insulation resistance	مقاومة العزل
Insulator	عازل
Inter mediators	مواد وسيطة
Internal lubricant	مزلق داخلي
Intumes cence	انتفاخ
Irradiated plastics	بلاستيك مشع
Irradiation	إشعاع - مشع
Isomerie polymers	بوليمير إيزوميري
Isotactic pressing	ضغط متساوي التوزيع
Isotropic laminate	رقائق موحدة الخواص
Izod impact test	اختبار إيزود للصدم

- J -

Jelly	صقيع - مجمدة
Jet moulding	قولبة بالقذف (النفث)
Jig welding	اللحام بآلة معقدة
Jute	الخيش (نوع المنسوجات) - جوت.

- K -

Kaolin	كاولين
Kiss coating	إكساء بالملامسة
Kinfe coating	إكساء بالسكين

- L -

Laminated	صفائح رقيقة - ترقيق
Laminated moulded section	مقطع رقائق مقولب
Laminated plastics	بلاستيك رقائق
Laminated preform	تكوين مسبق
Land	دعم - حماية
Land area	منظمة الاتصال - منطقة الدعم
Lay- flat film	فيلم رقيق منتج بالبتق
Leaks	تهريب
Length wise direction	اتجاه موازي للطول
Light resistance	مقاومة الضوء
Limestone	حجر جبلي
Limit constraint	حدود الإجهاد
Line	حبل - شريط
Linear chain	سلسلة خطية
Load	حمل - شحنة
Load deflection curve	انحناء تحت الحمل
Loading chamber	غرفة الشحن
Locking pressure	ضغط الإغلاق
Locking ring	حلقة الإغلاق

Loss angle	زاوية الفقد
Loss factor	عامل الفقد
Lubricant	مزيت - مزلق
Lubricant bloom	هروب (نز) المزلق.

- M -

Machinability	إمكانية التشغيل
Machining of plastics	التشغيل الميكانيكي للبلاستيك
Macromolecule	جزيء ضخمة
Main head	رأس رئيسي
Mar resistance	مقاومة التلف
Martens test	اختبار مارتن
Markable datum	مقدار قابل للقياس
Mask	قناع
Mastic	صمغ
Mat	عشوائي (حاشية)
Mechanical press	ضاغط ميكانيكي (مكبس)
Mechanical properties	خواص ميكانيكية
Melamine	ميلامين
Melamine- Formaldehyde	فورمالدهيد ميلامين
Melamine- phenolic resin	ريزين ميلامين فينيل
Melting	انصهار
Molecular weigh	وزن جزيئي
Memory	ذاكرة
Metallic Fibres	ألياف معدنية

Microcryst alline	مكرو كريستالي (بللوري).
Micro gels	رقائق الجل
Migration	ارتحال
Migration of plasticiser	ارتحال الملدنات
Migration of coulorants	ارتحال الملونات
Mill	طاحونة
Milled fibres	ألياف مطحونة
Mixed glue	غراء مخلوط
Mixture	خليط (مزيج)
Modified resin	ريزين معدل
Modulus	معامل
Modulus of elasticity	معامل المرونة
Moisture absorption	امتصاص الرطوبة
Molecular weight	الوزن الجزيئي
Molecule	جزيء
Monomer	مونومير
Mould	قالب
Mould cavity	تجويف القالب (الأنثى)
Mould impression	طبقة القالب
Mould opening force	قوة فتح القالب
Moulding Forces	قوة القولبة
Moulding compounds	مركبات القولبة
Moulding cycle	دورة القولبة
Moulding powder	بودرة للقولبة
Moulding pressure	ضغط القولبة

Moulding shrinkage	تقلص (تراجع) القولية
Moulding time	زمن القولية
Mould multi- chased	قالب متعدد الطبقات
Mould life	عمر القالب
Multi- Impression mould	قالب متعدد الطبقات
Multiscrew extruder	باتقة متعددة اللوالب

- N -

Neck insert	وليجة عنق
Needle blow	النفخ بإبرة
Negative catalyst	منشط سالب (مثبط)
Nonmigratory plasticiser	ملدن لا يرحل
Nonrigid plastics	بلاستيك غير جاسئ
Nozzle	فوهة
Nylon	نايلون

- O -

Offset printing	طباعة أوفست
Oil absorption	امتصاص الزيت
Oil- modified resin	ريزين معدل بالزيت
Oil- reactive resin	ريزين يتفاعل مع الزيت
Oil- soluble resin	ريزين يذوب في الزيت
Olefin fibres	ألياف أولفينية
One- shot moulding	قولبة بقذفة واحدة
Opalescence	متلائي (بتلاؤ)

Optical distortion	تشوه بصري
Orientation	توجيه
Opened impression	طبعة مفتوحة
Orifice	فتحة
Over- cure	إنضاج زائد
Oxidation	أكسدة

- P -

Paint	دهان (طلاء)
Painting of plastics	دهان البلاستيك
Panel	لوحة
Paraffin	بارافين
Paraffin wax	شمع البارافين
Parting line	خط الوصل
Paste resin	ريزين عجيني
Perforating	ثقب
Packing of foods	تغليف غذائي
Permanent set	تشوه دائم
Permeability	نفوذية
Phenol-formaldehyde resin	ريزين فينول- فورمالدهيد
Phenolic foam	فينول رغوي
Phosphate plasticiser	ملدنات فوسفاتية
Photodegradation	انحلال ضوئي
Photo polymer	بوليمير ضوئي
Plastic	لدائن
Plastic deformation	تشوه لدن

Plasticiser	ملدن
Plastic yield	خضوع لدن
Plastic yield test	اختبار الخضوع المرن
Plastisol	بلاستيسول
Plunger	دافعة
Plunger moulding	القولبة بالدافعة
Polishing roll	أسطوانة الصقل
Polyamide	بولياميد
Polybutylenc	بوليبوتيلين
Poly carbonate resins	ريزين بولي كربونات
Poly condensation	تكثيف متعدد
Polyester	بولي استر
Polymer	بوليمير
Polymerisation	البلمرة
Polystyrene	بولي ستيرن
Porous moulds	قوالب مسامية
Positive mould	قالب موجب
Postforming	تشكيل لاحق
Powder density	كثافة المسحوق
Powder glue	بودرة لاصقة
Power factor	عامل زاوية الفقد، عامل القدرة
Precure	إنضاج قبل الألوان
Predrying	تجفيف مسبق
Pre heating	تسخين مسبق
Pre form	تشكيل مسبق

Pre plasticisation	تلدين مسبق
Pressure distributor	موزع الضغط
Pressure forming	تشكيل بالضغط
Primary plasticiser	ملدن أولي
Printing on plastics	طباعة على البلاستيك
Prototype mould	قالب ابتدائي

- Q -

Quadripolymer	بوليمير رباعي
Quartz	كوارتز
Quench	سقاية (تسقية)
Quench tank extrusion	بثق بحوض سقاية

- R -

Radiation polymerisation	بلمرة اشعاعية
Radical	جذري، أساسي
Radiofrequency welding	تسخين مسبق بالترددات الراديوية
Ram pressure	ضغط الذراع (المكبس)
Raw materials	مواد الأساس
Reaction	تفاعل
Reagent resistance	مقاومة الكواشف
Reclaimed rubber	مطاط مستصلح
Reduction	اختزال
Reduced viscosity	لزوجة مصغرة
Regrind	مادة معادة الطحن

Reinforced moulding compound	مركب قولبة مقوى
Reinforced plastics	بلاستيك مقوى
Reinforced thermoplastics	بلاستيك مقوى
Reinforcement	تقوية
Reinforcing pigments	أخضاب (أصباغ) مقوية
Relative humidity	رطوبة نسبية
Relative viscosity	لزوجة نسبية
Relief	خلوص
Residual monomer	مونومير متبقى
Resilience	رجوعية
Resin	ريزين (راتنج)
Resol	ريزول
Return line	خط رجوع
Return pins	أصابع إرجاع
Return spring	نابض إرجاع
Reverse impact test	اختبار الصدم العكسي
Reworked material	مادة معادة التشغيل
Rigid plastics	بلاستيك صلب
Rigid p v c	PVC _R ب ف س صلب.
Ring gate	مدخل حلقي
Rocker	هزاز
Rock well hardness	صلادة روكويل
Rodent resistance	مقاومة القوارض
Rotary moulding	قولبة دوارة
Rotational casting	صب بالدوران

Rotational moulding	القولبة بالدوران
Round	مدور
Rubber	مطاط (كاوتشوك)
Rubber bag moulding	القولبة بكيس مطاطي
Rubber cements	مطاط لاصق
Rubber plunger moulding	القولبة بدافعة مطاطية
Runner	مجرى

- S -

Sag	ارتخاء
Satin	ساتان
Saturation	إشباع
Saturators	مواد للإشباع
Seating	ثابت، مستمر
Seizing	عض، كربة
Scotch tape test	اختبار بالشريط اللاصق
Scrap	خردة (نفاية)
Scratch hardness	مقاومة الخدش
Screen	شاشة (سائر)
Screen process printing	طباعة بطريقة الشبكة
Screw	لولب
Seam welding	لحام بالدرز (على شكل درزة)
Secondary plasticiser	ملدن ثانوي
Segregation	انعزال
Self- extinguishing	ذاتي الإطفاء

Semi- automatic press	مكبس نصف اتوماتيكي
Semi- positive mould	قالب نصف موجب
Semi- rigid plastics	بلاستيك نصف صلب
Separate application	تطبيقات منفصلة
Separate pot mould	قالب بوعاء منفصل
Sequestering agents	عوامل فاصلة أو عازلة
Setting	تصلب
Setting time	مدة التصلب
Shearing	قص
Shear strength	مقاومة القص
Sheathing compound	مركب تغليف
Sheet train	خط الألواح
Shelf life	عمر التخزين
Shell flour	دقيق القشور
Shell moulding	قوالب قشرية
Shot	حقنة (رشقة)
Short moulding	مقوالب ناقص
Short shot	حقنة ناقصة
Shot capacity	سعة (كمية) الحقنة
Shrinkage allowance	الانكماش المسموح به
Shrinkage block	كتلة الانكماش
Silica	سيلكا
Silicone resins	ريزين السيليكون (SI).
Single press	مكبس بسيط
Single- impression mould	قالب وحيد الطبعة

Sink- mark	انحطاط (علامة) سطحي
Sinter moulding	قولبة بالتلبيد
Skin packaging	تغليف قشري
Slow spontaneous	مرونة متأخرة
Slow solvent	مذيب بطيء
Slip agent	عامل مزلق
Slip forming	تشكيل انزلاقي
Slip plane	مستوى انزلاقي
Slot extrusion	بثق من شق صغير
Slush casting	صب بالتسييل
Slush moulding	القولبة بالتسييل
Softening	تليين
Softening range	مستوى (مدى) التليين
Soft flow	جريان ناعم
Solid casting	صب صلب (مصمت)
Soluble	(قابل للذوبان)
Solute	مادة مذابة
Solution	محلول
Solvent moulding	قولبة بالمذيب
Solvent polishing	صقل بالمذيب
Solvent resistance	مقاومة المذيبات
Solvent welding	لحام بالمذيب
Specific viscosity	لزوجة نوعية
Spherulite	كريات البلورية
Spin welding	لحام بالاحتكاك

Spinning	غزل
Spiral flow test	اختيار الانسياب الحلزوني
Split mould	قالب مجزأ
Spot	بقعة
Spot welding	لحام البقعة
Spray	بخ (رش)
Spray coating	اكساء بالبخ
Sprue (stalk)	جزرة، عقب (الكمية الزائدة)
Sprue gate	مدخل العقب (الكمية الزائدة).
Sprue bush	جلبة الجزرة
Sprue ejector	قاذف الجزرة
Stain resistance	مقاومة البقع
Stand oil	زيت ثابت
Steam channel	قناة البخار
Steam cored mould	قناة بمجري للبخار
Steam moulding	قولبة بالبخار
Static constraint	إجهاد ساكن
Strain	انفعال
Strain gauges	مقاييس الانفعال
Stress	إجهاد
Stress concentration	إجهاد مركز
Stress corrosion	تآكل بالإجهاد
Stress crack	تشقق ناتج عن الإجهاد
Stress relaxation	استرخاء الإجهاد
Stress rupture	تمزق بالإجهاد

Stress- strain diagram	مخطط بياني (إجهاد - انفعال)
Stretch forming	تشكيل بالمط
Strip	نزع
Structural foam moulding	قوالب رغوية
Structural unit	مقطع أحادي التركيب
Styrene butadiene rubbers	مطاط ستيرين بوتادين
Styrol	استيرول
Surface resistance	مقاومة سطحية
Swell	انتفاخ
Swelling pression	ضغط الانتفاخ

- T -

Take- off equipment	آلية إخراج
Teflon	تيفلون
Tenacity	تماسك
Tensile product	ناتج الشد
Tensile strength	مقاومة الشد
Tensile test	اختبار الشد
Test of breaking	تجربة للانتهاء
Testing press	مكبس اختبار
Thermal decomposition	تحلل حراري
Thermal diffusivity	بث حراري
Thermally foamed plastics	بلاستيك حراري رغوي
Thermal field	حقل حراري
Thermal insulator	عزل حراري

Thermal polymerisation	بلمرة حرارية
Thermal sealing	إحكام حراري
Thermal stress	إجهاد حراري
Thermoband welding	لحام بشريط ساخن
Thermo- compression bonding	ترابط بالضغط والحرارة
Thermo couple	مزدوجة حرارية
Thermo elasticity	مرونة حرارية
Thermoforming	تشكيل حراري
Thermoplastic	بلاستيك حراري (T_p)
Thermosetting	بلاستيك متصلب حرارياً (T_s)
Thermosetting adhesive	لاصق يتصلب حرارياً
Thermoplastic adhesive	لاصق يتلدن بالحرارة
Thread plug	سدادة لولبية
Toggle action	فعل مفصلي
Top blowing	نفخ علوي
Top ejection	قذف علوي
Torpedo	طوربيد
Toughness	متانة
Transfer mould	قالب تحويل (نقل)
Transfer moulding	قولبة بالتحويل
Transition section	مقطع انتقال
Transition temperature	درجة حرارة الانتقال
Threshod	مدخل / بدء
Transfer pot	وعاء تحويل
Trimming	برادة الزوائد

Tube	أنبوبة
Twisting	التواء
Two- level mould	قالب بمستويين

- U -

Ultimate elongation	استطالة قصوى
Ultimate strength	متانة قصوى
Ultracentrifuge	قوة نابذة فائقة السرعة
Ultrasonic welding	لحام فوق السمعي
Undercure	إنضاج ناقص
Uniaxial orientation	توجيه أحادي المحور
Unicellular plastic	بلاستيك وحيد الخلية
Unidirectional Laminate	رقائق وحيدة الاتجاه
Unlaminated	غير منضد
Unsaturated compounds	مركبات غير مشبعة
Urea	يوريا
Urea laminated sheet	لوح يوريا منضد
Urethane	يوريثان

- V -

Vacuum casting	صب بالتفريغ (تخلية الهواء)
Vacuum forming	تشكيل بالتفريغ
Vacuum impregnating	إشباع تحت التفريغ
Vacuum metallising	ترسيب معدني بالتفريغ
Valence	تكافؤ

Value of colour	رقم اللون
Vapour	بخار
Varnish	طلاء / ورنيش / براق
Veil	حجاب
Vent	ثقب صمام، منفس
Vertical extruder	آلة بثق رأسية
Vertical injection press	مكبس حقن رأسي
Vicat softening point	نقطة فيكات للتلين
Vickers hardness	صلابة فيكرز
Vinyl foam	رغوي الفينيل
Vinyl resin	ريزين الفينيل
Visco elastic	مرن - لزج
Viscosity	لزوجة
Viscosity depressant	مخفض اللزوجة
Viscous flow	جريان لزج
Void	خلو، فراغ (من الهواء)
Volatile	متطاير
Volatile loss	فقد المواد الطيارة
Volume resistivity	مقاومة حجمية
Vulcanisation	فلكنة (نفسية المطاط)
Vulcanised fibre	ألياف مفلكنة

- W -

Water absorption	امتصاص الماء
Water soluble resins	ريزين يذوب بالماء

Wear	تلف
Wedge mould	قالب بصدفة
Welding	لحام
Weld line	خط اللحام
Weld mark	علامة اللحام
Wet flexural strength	متانة الانحناء بالرطوبة
Wet- out	مبلل
Wet- out rate	معدل الرطوبة (التبلل)
Wet strength	مقاومة الرطوبة (التبلل)
Wire covering compound	مركب لتغطية (تلبيس) الأسلاك
With drawing	إخراج القطعة من القالب
Wood flour	دقيق الخشب
Wood pulp	لب الخشب
Working life	عمر التشغيل
Worn mass	الكتلة المستهلكة

Y

Yellowness index	دليل الاصفرار
Yield point	نقطة الخضوع
Yield strength	مقاومة الخضوع
Yield value	قيمة الخضوع
Young s modulus	معامل يونغ



المراجع

المراجع الأجنبية:

- Plastics Engineering Handbook (the society of plastic Industry).
- Plastics modernes et élastomères, Mémento .
- Plastics Engineering. R.J. Crawford. First edition .
- Industrial Plastics. Ronald. J. Baird / David T. baird.
- Philippe Papin. Thèse de Dr. Ingénieur. ENSMA. France .
- M. Chatain: Plastique, CEMP – Paris – France.
- Injection Mould design Fundamental.
- C.E.M.P.- Paris – France.
- M. Jawich thèse de Dr. Ingénieur. ENSMA- Poitiers- France.
- Matériaux composites D. GAY ed Hermes.
- D.W. KREVELEN. Properties of polymers.
- BOYER Handbook of chemie.
- Technique de l'ingénieur (Plastique).
- E.G. Fisher: Extrusion of plastics.. London.
- M. Reyne: les plastiques (Guide pratique de l'utilisateur).
- J. Pabiot: Propriétés mécaniques des matières plastiques C.E.M.P – E.N.M.A.
- E. G. Fisher: Blow molding of Plastics. London.

المراجع العربية:

- البلاستيك وآلاته - د. معتز جاويش. جامعة دمشق .
- البلاستيك - تصميم وإنتاج - م. خليفة م. عمران .
- المعاجم التقنية المصرية.
- تكنولوجيا التصنيع بالحقن والרגاوي والبلاستيك المسلح . م. محمد إسماعيل عمر.
- بعض مواقع الانترنت.

اللجنة العلمية:

- الأستاذ الدكتور معتز جاويش

المدقق اللغوي : الأستاذ الدكتور علي أبو زيد

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات



حيث (T) درجة الحرارة (α) معامل التبريد الحراري والذي يعبر عنه بنسبة الحرارة (k) إلى السعة الحرارية لواحدة الحجم ويعطى بالعلاقة :

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

حيث (ρ) كثافة السائل و (C_p) حرارته النوعية.

يعطي معظم مصنعو المواد البلاستيكية قيمة معامل التبريد الحراري للمواد التي يصنعونها، ولكن لدى عدم وجود أي معلومات يمكن اعتماد القيمة ($1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$) لمعظم المواد البلاستيكية الحرارية.

إن حل معادلات فورية بشكل سلاسل لا نهائية ، ولكن يعبر عنه بشكل تقليدي على شكل مخططات بيانية، وبحل المعادلات يمكن أن نحصل على العلاقات التالية:

1- رقم فورية:

$$F_0 = \frac{\alpha \cdot t}{x^2} \quad (56)$$

حيث (t) الزمن و (x) نصف قطر الكرة أو الأسطوانة أو نصف سماكة الصفيحة التي نحسب لها رقم فورية. في حال الصفيحة المستوية، إذا كان التسخين أو التبريد يتم من جهة واحدة فتؤخذ (x) على أنها كامل السماكة.

2- تدرج درجات الحرارة :

$$\Delta t = \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2} \quad (57)$$

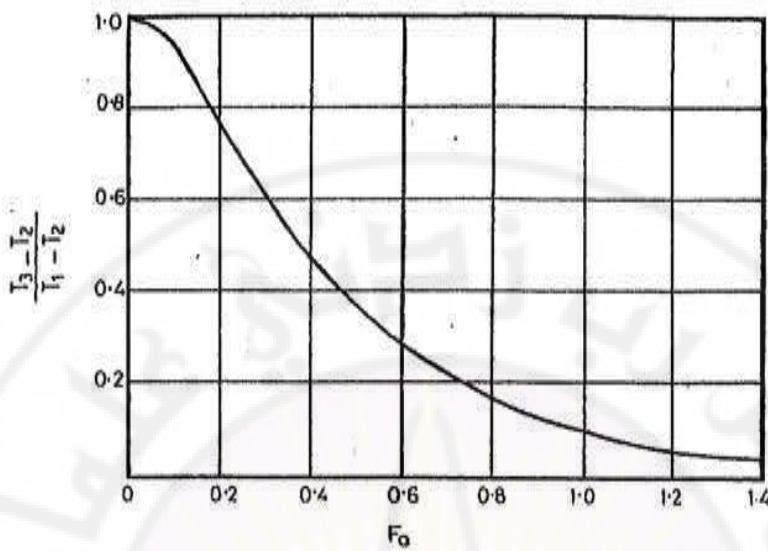
حيث:

(T₁) درجة الحرارة الابتدائية المنتظمة للمصهور .

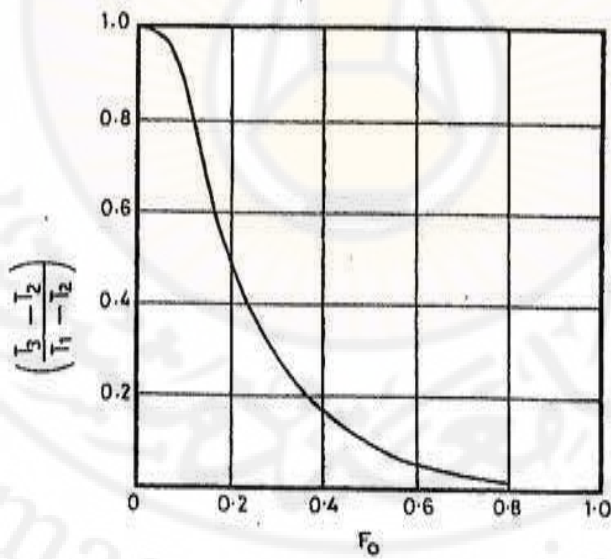
(T₂) درجة حرارة التسخين أو التبريد الوسطية .

(T₃) درجة الحرارة في اللحظة (t) .

تُعطي الأشكال (13) ، (14) الحل لمعادلات فورية بدلالة تدرج درجات الحرارة عند الخط المركزي للعنصر المراد حسابه ورقم فورييه.



الشكل (13) تدرج درجات الحرارة
مع عدد فورييه من أجل صفيحة مبسوطة.



الشكل (14) تدرج درجات الحرارة
مع عدد فورييه من أجل صفيحة أسطوانية.

كما يوجد العديد من المخططات والبيانات يتم الحصول عليها بطرق تجريبية متنوعة وسنشرح منها المخطط المبين بالشكل (15) الذي يعطي بيانات الجريان للبوليثين (PE) لإعطاء فكرة عن كيفية استخدامه في حل الأمثلة العملية وسنبداً بشرح دلالات المخطط:

(λ): لزوجة الشد. (η): اللزوجة الظاهرية. (E): معامل مرونة الشد.

(G): معامل مرونة القص.

تعتبر الخطوط المائلة عن سرعة انفعال القص (γ) وسرعة الشد (ϵ).

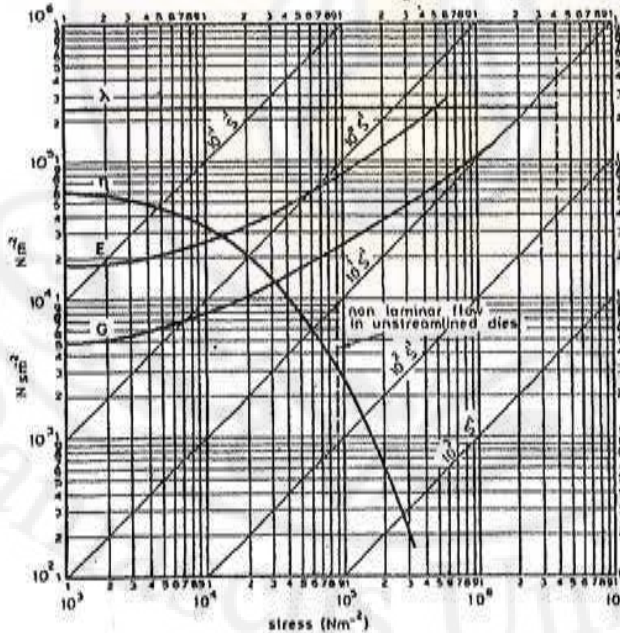
يمثل المحور الأفقي إجهاد القص (τ) أو إجهاد الشد (σ).

طريقة استخدام المخطط:

بدلالة (γ) أو (ϵ) وبالتقاطع مع منحنى (η) أو (λ) نستطيع قراءة قيمة

(τ) أو (σ) وبتقاطع قيمة (τ) أو (σ) مع منحنيات (G) أو (E) نستطيع

قراءة قيمها من المحور الشاقولي.



الشكل (15) بيانات الجريان للبوليثين عند الدرجة 170°C

مسائل الدراسة التحليلية لجريان البوليمير المصهور

مثال (1):

في آلة حقن مكبسية طول الطوربيد (40mm) وقطره (23mm) ويحمل على ثلاثة أعصاب، خلال قوالبه البولي إيثيلين في الدرجة (C° 170) يتحرك المكبس بسرعة (25 mm/sec) حدد انخفاض الضغط على طول الطوربيد وقوة القص على الأعصاب علماً أن قطر الأسطوانة (25 mm).

الحل:

باعتبار أن التدفق إيزوثيرمي :

$$\begin{aligned} Q &= V.Q \\ &= \frac{\pi}{4} (25 \times 10^{-3})^2 \times 25 \times 10^{-3} \\ &= 12.27 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{sec} \end{aligned}$$

حيث :

(Q) : التدفق . (V) : سرعة جريان المصهور . (A) : مساحة مقطع الجريان.

نعتبر الفراغ بين الطوربيد والأسطوانة كمجرى مستطيل الشكل بالمواصفات التالية:

$$\begin{aligned} T &= (\pi \times 24 \times 10^{-3}) \text{ m} \\ H &= L \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

حيث :

(T) : ارتفاع مقطع القناة . (H) : عرض القناة الوسطي.

إذا سرعة تغير الانفعال الظاهرية:

$$\dot{\gamma} = \frac{6.Q}{T.H^2} = \frac{6 \times 12.27 \times 10^{-6}}{\pi \times 24 \times 10^{-3} \times 10^{-6}} = 976.6 \text{ S}^{-1}$$

من الشكل (15) ومن أجل هذه السرعة للانفعال نجد أن إجهاد القص: