الفصل الخامس

الطرق الميكانيكية المستعملة فى صنع منتجات اللدائن

كل العمليات الصناعيـة التى تجرى على الخشب والحجر والمعادن يمكن استعمالها بأكثر سهولة فى حالة اللدائن فيمكن نشرها وثنيها وتليينها ، ومثل هذه الطرق تستعمل فى صنع أدوات معينة كمقابض السكاكين مثلا . ولصـناعة الزرار مثلا تؤخذ قضبان الـكازين وتقطع بالحجم التقريبى المطلوب ثم تجرى عليها عملية تشطيب finishing تتحول بعدها إلى الشكل المطلوب .

والطرق المستعملة لصـناعة الأدوات من مادة اللدائن الخام تعتمد جزئيا على شـكل المادة الخام وجزئيا على صفاتها الطبيعية ويمكن تلخيص هذه الطرق فيما يلى :

١ — الصناعة من الألواح والقضبان والأنابيب

٢ — الصناعة بقوالب الـكبس Compression moulding

٣ — الصناعة بقوالب الحقن Injection moulding

٤ — طرق أخرى خاصة .

١ — الألواح والقضبان والأنابيب

أبسط مثل لصناعة اللدائن من الألواح هو علب البطاريات حيث تثنى ألواح السليلويد بزوايا قائمة ثم تلصق الأطراف ثم توضع الحواجز والسقف والأرضية بنفس الكيفية ، واللاصق المستعمل هو سائل له تأثير مذيب على السليلويد ويلاحظ هنا أننا استفدنا من خواص السليلويد الحرارية thermoplasticity عند ثنيه . وفى حالة فرش الأسنان يقطع من الألواح شرائح ملائمة على الصورة المطلوبة ثم يتم تحويلها إلى الشكل النهائى بضغطها فى مكبس من الصلب المصقول مسخن بالبخار ، ثم يبرد بالماء قبل استخراج الفرشاة . وفى حالة الأمشاط تؤخذ شرائح ملائمة وتسخن على لوح مسخن بالبخار إلى أن تصبح لينة ، ثم تكبس بالضغط الهيدروليكى hydraulic pressure فى قالب مسخن على صورة المشط ، ثم يبرد القالب قبل أن ينزع المشط ، ويجب أن يلاحظ أنه لابد من عملية التبريد هذه فى حالة اللدائن الحرارية بوجه عام لكى تحتفظ الأداة المصبوبة بشكلها الجديد ، والقالب المستعمل ، كذا العملية كلها ، تشبه مثيلتها فى قوالب الكبس والفرق الأساسى بينهما هو أن المادة توضع فى القالب على هيئة مسحوق فى الحالة الأخيرة بينما توضع فى الحالة الأولى على هيئة شريحة مقطوعة من لوح .

ومن أمثلة الأدوات التى نستعين فى صناعتها بخواص اللدائن تلك الأدوات التى تكبس من ألواح رقيقة ، يقطع اللوح بالحجم المناسب ، ثم يوضع بعد تسخينه على قاعدة مكبس ذات شكل مطابق لشكل الأداة المطلوبة كصندوق أو نصف كرة تنس الطاولة ، ثم يعدد إلى الشكل المطلوب بواسطة مكبس يدخل فى القاعدة الساخنة ومثل هذه الأشكال ذات الحواف تصنع منها أجزاء اللعب وظهور الفرش وإطارات المرايات ... الخ وقد يبلغ سمك اللوح الذى تصنع منه هذه الأدوات ٠٫١٥ من البوصة فينتج أدوات رخيصة جدا بالشكل واللون المطلوبين .

وفى حالة صنع عرايس الأطفال مثلا يؤخذ زوج من ألواح اللدائن وتسخن مما فى ماء ساخن ثم توضع بسرعة بين جزئى المكبس ثم يمرر بخار خلال ثقب بين حافتى اللوحين ، فيتمدد اللوحان لملء الفراغين العلوى والسفلى للمكبس ، كما أن شدة انطباق جزئى المكبس على بعضهما تسبب انفصال حواف اللوحين الزائدة والتصاق الجزئين العلوى والسفلى ، ولا يتخلف عن ذلك سوى أثر بسيط يمكن إزالته وصقله حتى يصبح غير مرئى تقريبا

وطريقة النفخ هذه blowing تستعمل أيضا فى نفخ أنابيب داخل قوالب بالشكل المطلوب كما تستعمل فى توسيع الأنابيب لكى تسمح بإدخال أنبوبة معدنية مثلا أو قضيب من الخشب

ويصاحب ذلك عملية تسخين تنكمش بعدها الأنبوبة فتحيط بإحكام بالأنبوبة أو القضيب الذى تحتها .

وهناك طريقة أخرى للاستفادة بالأنابيب ، إذ تؤخذ وتلين فى مخلوط مذيب مناسب ، ثم تفرد بالشد على الشىء الذى يراد تغطيته ، وعند تطاير المذيب تلتصق به بإحكام ، وتستعمل هذه الطريقة فى تغطية كعوب أحذية السيدات بطبقة رقيقة سوداء .

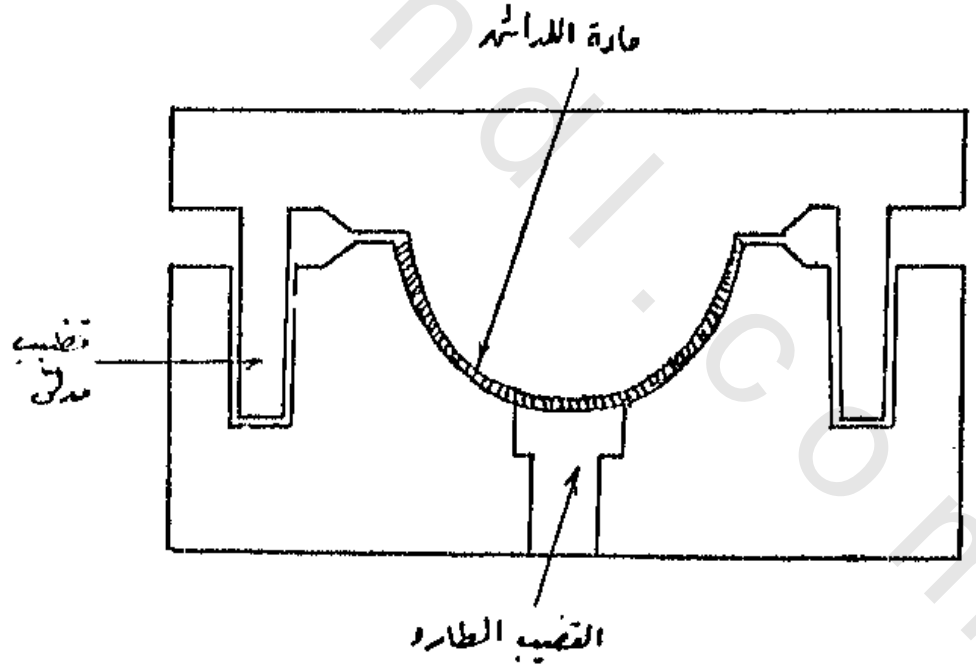
والأدوات التى تصنع من الألواح أو الأنابيب هى غالبا من لدائن السليلويد أو الكازين .

٢ — قوالب الكبس Compression moulding

وتتم العملية بوضع كميات معينة من مادة اللدائن على هيئة مسحوق أو قطع صغيرة فى قوالب مسخنة موضوعة بين شقى مكبس هيدروليكى والقوالب من الصلب ومصنوعة بحيث تعطى الشكل المطلوب تماما حين تغلق مع حساب الانكماش الذى يعقب التبريد ، وعندما يغلق المكبس على مادة اللدائن المسخنة إلى ٢٨٠ — ٣٥٠° ف (حسب نوع المسحوق المستعمل) فانها تدخل فى كل جزء من أجزاء المكبس ، وعندما ينطبق جزءا المكبس على بعضهما يخرج الجزء الزائد من المادة ويسمى flash وعندما يفتح القالب بفصل جزئى القالب عن بعضهما تستخرج منه الأداة التى تكونت داخل فراغ القالب وأخذت شكله . وفى

حالة اللدائن الحرارية لا تنزع الأداة من القالب إلا بعد أن يبرد وأما فى حالة اللدائن اللاحرارية فيمكن فتح القالب وهو ساخن ويختلف الزمن الذى تستغرقه عملية الكبس فى القالب بين ثوان وعدة دقائق حسب سمك القالب ولا تحتاج الأداة بعد نزعها من القالب إلى أى نوع من أنواع التشطيب finishing سوى إزالة الـ flash العالق بها .

وأبسط أنواع القوالب المستعملة تتركب من كتلتين من الصلب تتداخل إحداهما فى الأخرى بحيث يحصران بينهما فراغا بالشكل المطلوب ، وهناك قضبان من الصلب تتدلى من الجزء العلوى للقالب داخل تجاويف فى الجزء السفلى منه ، والشكل (٣)



طريقة قوالب الكبس

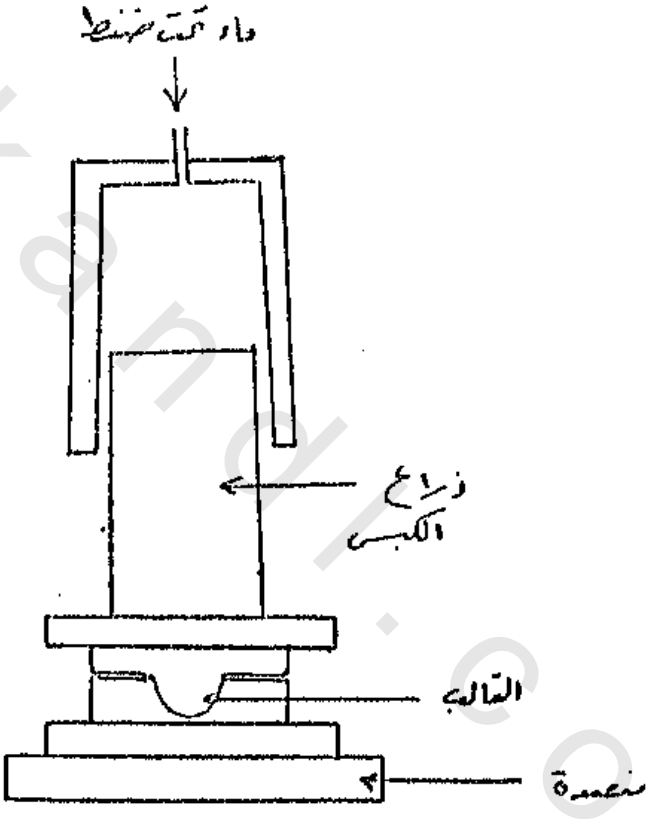
شكل ٢

يبين قالباً من هذا النوع بعد صنع الأدوات التى تشبه الفنجان وهو مزود فى جزئه السفلى بقضيب طارد يكوّن رأسه جزءا من قاعدة القالب ، فبعد أن تتم عملية الكبس ويرفع الجزء العلوى من المكبس يحرك القضيب الطارد إلى أعلى فيرفع معه الأداة التى تم كبسها وبذلك يخلصها من الجزء السفلى من القالب.

وتتلخص عملية الكبس فى القوالب فيما يلى — يؤخذ مسحوق اللدائن المعد للكبس ويوضع بمقادير موزونة أو مقاسة فى التجاويف الموجودة بالجزء السفلى للقوالب ، ثم ينزل الجزء العلوى الذى يضبط وضعه بالنسبة للجزء السفلى بالاستعانة بالقضبان المتدلية المثبتة فى تجاويف بالجزء السفلى . ثم يسخن القالب كله بما فيه بين لوحى آلة ضاغطة هيدروليكية ، ومثل هذه الآلة تتكون من منضدة يوضع عليها القالب وأسطوانة بداخلها كباس Piston وبكبس الماء تحت ضغط فى الأسطوانة يندفع الكباس إلى أسفل حتى يصل إلى القالب الموضوع فوق المنضدة (شكل ٤) .

وتتلخص فكرة الآلة الضاغطة الهيدروليكية فيما يلى : إذا كبسنا سائلاً غير قابل للانضغاط كالماء بواسطة كباس صغير فى مضخة ، إذا كبسنا هذا الماء فى حيز محدود فان الضغط على الكباس الصغير يكون مساويا للضغط على كافة أسطح الحيز فاذا كان أحد جوانب هذا الحيز عبارة عن نهاية كباس كبير فان

الضغط على البوصة المربعة فى الكباس الكبير يكون مساويا له فى الكباس الصغير ، ويكون الضغط الكلى على سطح الكباس الكبير متوقفا على مساحة هذا السطح بالنسبة لمساحة سطح الكباس الصغير ، ولنضرب لذلك مثلا فالكباس الذى تبلغ مساحة سطحه ٢٥ بوصه مربعة والذى يتحرك داخل اسطوانة



مكبس هيدروليكى

شكل ٤

تغذى بالماء بواسطة كباس صغير تحت ضغط ١ طن للبوصة مثل ذلك الكباس تكون له قوة كلية معادلة ٢٥ طن .

وعمليا تثبت المنضدة والأسطوانة ذات الكباس داخل تركيبة خاصة تحمل الأسطوانة على بعد معين من المنضدة وهناك لوحان من الصلب أحدهما فوق المنضدة وتحت القالب والآخر فوق القالب وتحت الكباس وهذان اللوحان من الصلب السميك وبهما تجاويف تسمح بمرور البخار أو الغاز أو عوامل التسخين الكهربائية فتسرى الحرارة بالتوصيل من هذه الألواح إلى القالب. وللحصول على أشكال أكثر تعقيداً من الشكل البسيط الذى يشبه الفنجان يجعل القالب منقسماً أفقيا إلى نصفين، السفلى منهما يكون فقط جزء الأداة الذى يمكن فصله عن القالب بدفعه إلى أعلى، وكل جزء محنى إلى الداخل فوق هذا المستوى يكونه النصف العلوى للقالب ، وفى مثل هذه الأحوال قد تكون مادة اللدائن التى ستصنع منها الأداة من كبر الحجم بحيث لا يتسع لها النصف السفلى للقالب إذا كانت تلك المادة على هيئة مسحوق . وفى هذه الحالة يحول المسحوق إلى هيئة أقراص بواسطة آلة خاصة . والقالب البسيط الغير مثبت غير ملائم للإنتاج الكبير ، فلجعل العملية أكثر سرعة يثبت جزءا القالب باللوحين السفلى والعلوى للآلة الضاغطة فلكى يفتح القالب يحرك الكباس الذى يحمل اللوح العلوى ويحمل معه الجزء العلوى للقالب . أما القضبان

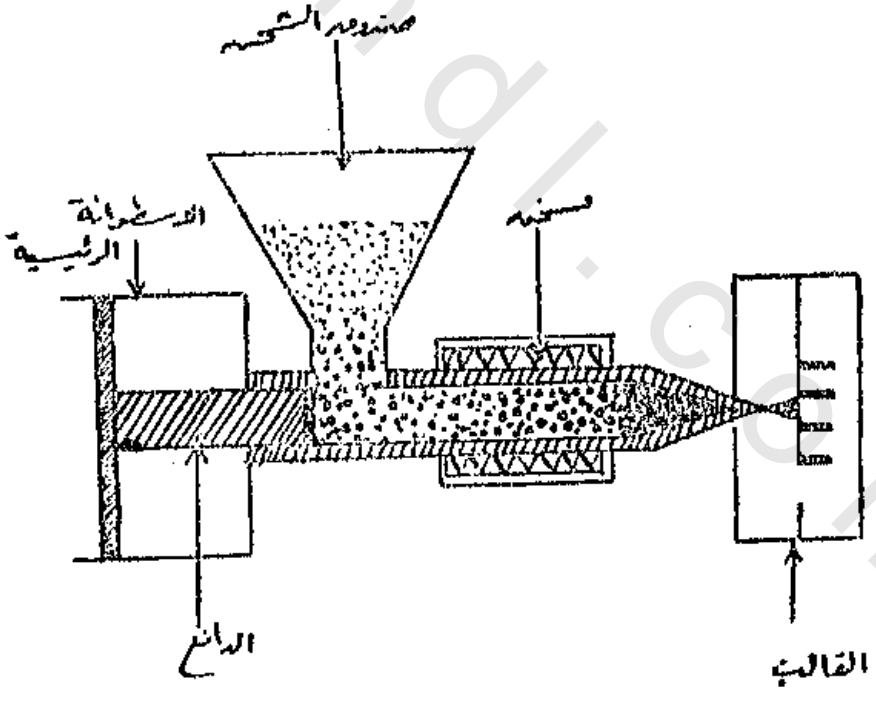
الطاردة فتبرز خلال قاعدة القالب وتدفع إلى أعلى فى نهاية العملية بواسطة كباس إضافى ، فإذا كانت الأدوات صغيرة فإن عدد منها يكبس معا ، وحيث أن القالب الذى يشملها جميعا كبير فإن تسخينه لا يتم بواسطة الحرارة التى تصل إليه من لوحى الآلة الضاغطة بل بواسطة قنوات تسرى فيها الحرارة موجودة فى القالب نفسه . وهناك كثير من القوالب والآلات الضاغطة التى تختلف فى بعض التفاصيل ولكنها تتفق فى المبدأ مع تلك التى تم وصفها .

وهناك آلات أتوماتيكية تشمل قوالب مزدوجة ففى الوقت الذى يغلق فيه أحد القوالب يعبأ القالب الآخر ، وكل العمليات تتم أوتوماتيكيا ويتحكم فيها بواسطة ضوابط كهربائية ومثل هذه الآلة تنتج ١٠٫٠٠٠ أداة من قالب واحد فى بحر ١٦٨ ساعة .

وبالنسبة لهذه الاختلافات الكبيرة فى أشكال الأدوات المصنوعة بقوالب الكبس ومشابهة بعضها للأدوات المصنوعة بالطرق الأخرى نجد أنه من الصعب الحكم على إحدى المواد بأنها مصنوعة بقوالب الكبس . ومواد الفينول فورمالدهيد لها مظهر خاص يشبه الماهوجنى أو الأبنوس ، واللون الأخضر والألوان المشابهة الغامقة ، بينما نجد مواد اليوريا — فورمالدهيد ذات ألوان رقيقة شفافة ومنفذة للضوء .

٣ — قوالب الحقن Injection moulding

تتلخص هذه الطريقة فى إدخال مادة اللدائن وهى على صورة نصف سائلة خلال فتحة خاصة فى أحد شقى قالب يشبه ذلك المستعمل فى حالة قوالب الكبس ، وتتم عملية الإدخال أو الحقن هذه بواسطة طرف مثقوب فى نهاية اسطوانة مسخنة بالكهرباء. ويتم دفع المادة داخل هذه الاسطوانة بواسطة كباس ميكانيكى أو هيدروليكى فتندفع المادة من الطرف المثقوب nozzle إلى القالب خلال فتحة فيه . وبخلاف طريقة الكبس لا يسخن القالب وإنما يبرد .



طريقة قوالب الحقن

شكل ٥

والشكل رقم (٥) يبين رسم تخطيطى للعملية . ويتم شحن الاسطوانة المسخنة بمادة اللدائن مثل خلات السليلوز والبولستيرين أو مشتقات الفينيل على صورة قطع صغيرة خالية من الغبار تخرج من صندوق الشحن hopper بكميات منتظمة إلى الاسطوانة أو الغرفة المسخنة وفى أثناء مرورها فى هذه الغرفة تدفع إلى الجدران الساخنة بواسطة قطعة من الصلب على شكل الكمثرى تسمى بالطربيد وتساعد هذه العملية على مزج مواد اللدائن وتوزيع الحرارة وعند كل دفعة من دفعات الكباس تخرج المادة التى تكاد تكون سائلة من تأثير الحرارة التى تصل إلى ١٥٠° — ٢٥٠° م (حسب تركيب المادة) — تخرج مندفعة خلال ممر مركزى يتفرع إلى قنوات تؤدى بواسطة فتحات مناسبة إلى الأجزاء المختلفة للقالب ثم يترك نصفا القالب منطبقين لبضع ثوان حتى تبرد المادة بداخله وتتماسك ثم يفتح القالب وتسحب منه الأداة المتكونة ويغلق ثانية وتتكرر الدورة عدد غير محدود من المرات .

وقديما كانت هذه الآلات تدار باليد وتحقن بضعة جرامات من مادة اللدائن فى المرة الواحدة ثم تطورت هذه الآلات وأصبحت تدار ميكانيكيا كما زادت السعة التى تحقنها إلى ما يصل إلى ٢ لبرا من مواد اللدائن فى المرة الواحدة ، وتحتوى مثل هذه الآلة على ٤ اسطوانات للحقن تعمل معا كما أن القالب الكبير يغلق بواسطة الضغط الهيدروليكى الذى قد يصل إلى قوة ٥٠٠ طن .

والأدوات التى يمكن صنعها بهذه الطريقة يجب أن تكون ذات شكل يسمح بسحبها من جزئى القالب ، كما يجب أن لا يكون بها مقاطع أو أجزاء سميكة فانها تبرد ببطء فتحدث خطوط انكماش فاذا عملنا حساب هذين الشرطين لم يعد هناك حد للأشكال الممكن صنعها ومنها الأمشاط وإطارات النظارات وأجزاء الراديو أما الأجزاء المفلوظة فإنها تصنع فى قالب مقلوظ وتستخرج منه بلفها إلى الخارج . وأغلب الآلات ذات الحجم المتوسط التى تستخدم اليوم تخرج منها فى كل دفعة كمية من مادة اللدائن تبلغ ٦ أوقيات فاذا كانت الأداة التى ستصنع صغيرة فإن القالب يصنع بحيث يشمل عدداً كبيراً منها تتوزع عليه كمية المادة التى تخرج من الآلة فى الدفعة الواحدة . وتخرج مجموعة الأدوات التى تم صنعها من القالب متشابكة إذ تتصل كل منها بواسطة ساق رفيع قصير بساق أخرى رئيسية أطول وأغلظ وهذه السيقان عبارة عن مادة اللدائن التى تجمدت فى القنوات التى تؤدى إلى القوالب المنفصلة وهكذا يمكن الحصول على ٤ أمشاط مثلا عند كل دفعة من دفعات الكباس والدورة النموذجية تستغرق من الزمن مايأتى: ٩ ثوان تقذف فى خلالها مادة اللدائن اللينة داخل القالب وتعبأ غرفة التسخين بشحنة أخرى ، ثم ٩ ثوان يبقى خلالها القالب مغلقا ليبرد ما بداخله ، ثم ٥ ثوان تستغرق فى فتح القالب واستخراج الأداة المصنوعة منه وإغلاقه ثانية لكى يكون جاهزاً للدفعة الثانية ، وعلى ذلك تتم الدورة كلها

فى ٢٣ ثانية . فباستطاعة آلة واحدة تشتغل لمدة ٨ ساعات أن تنتج مايقرب من ألف مشط . فإذا قارنا ذلك بالزمن الذى يستغرقه صنع مشط بطريقة السكبس بادئين به على صورة قطعة من لوح وحيث يتم صنعه بعد إجراء ٦ عمليات عليه ، يتبين لنا مقدار ما توفره لنا مثل هذه الآلة من الوقت فى إنتاج الأدوات الصغيرة . والعمل اليدوى الوحيد فى هـذه العملية هو إزالة السيقان التى تتصل بالأدوات المصنوعة . والفضلات التى تنتج من هذه العملية تطحن وتستعمل ثانيا ، وهكذا فإن هذه الآلة التى تجمع من المزايا سرعة الإنتاج ، والاستفادة إلى أقصى حد من المواد المستعملة ، والأشكال التى لا حصر لها التى يمكن الحصول عليها بالنسبة لسهولة انسياب المادة . مثل هذه الآلة تفتح آفاقا جديدة فى طرق إنتاج لا اللدائن وحدها وإنما الأدوات الأخرى التى تصنع من الزجاج والمعادن وغيرها .

والأدوات المصنوعة بهذه الطريقة تشبه تلك المصنوعة بطريقة قوالب السكبس ، ولكن يمكن تمييزها إذا لاحظنا أنها مصنوعة من اللدائن الحرارية ذات المظهر المميز الذى يختلف عن مظهر اللدائن اللاحرارية .

٤ — طرق خاصة متنوعة :

هناك عدة طرق خاصة لإنتاج منتجات لدائن لا تنتمى إلى أى قسم من الأقسام السابق ذكرها ومن أمثلة ذلك إنتاج وحدات

من الراتنجات المصبوبة cast resin units ، وتحتاج فى هذه العملية لراتنجات معينة ، غالباً من نوع الفينولات ، فيؤخذ الراتنج السائل على صورة محلول ملائم ويصب فى قوالب خاصة . وبما أن العملية تتم بدون ضغط وفى حرارة متوسطة فلا يلزم قوالب من المعدن وغالبا ما يستعمل الرصاص مما يوفر كثيراً من المال لأن القوالب المعدنية التى تستخدم فى عمليات الكبس والحقن تكلف كثيراً جداً أما قوالب الرصاص فيمكن صبها هى الأخرى على الصورة المطلوبة وبتكاليف قليلة نسبيا .

وبالنسبة لطبيعة عملية الصب يمكن استخدامها بسهولة فى إنتاج قضبان وأنابيب ذات مقاطع مختلفة .

والخطوة التالية هى تحويل المادة السائلة إلى قضيب صلب ويتم هذا بواسطة حرارة مضبوطة فتوضع فى أفران لعدة أيام فى درجة حرارة تظل ثابتة فى مدى ٥ر١ م وغالباً تحت درجة ١٠٠ م وتعتمد درجة الحرارة ومدة التعريض على نوع المادة المستعملة وعلى خصائصها الطبيعية وعند ما تنضج المادة تزال من القالب وبهذه الطريقة يمكن الحصول على قضبان وألواح وأنابيب ذات مقطع مناسب وذات شفافية وصفاء معادل للزجاج وبأى لون مطلوب .

ومثل هذا الزجاج العضوى الملون الذى يمتاز عن الزجاج العادى بأنه ليس هشاً ، يستعمل فى صنع الزرار والأساور والحليات

التى يتزين بها النساء ، فتؤخذ القضبان وتقطع إلى قطاعات صغيرة مستوية ، ثم تصقل .

ولا تقتصر عملية الصب هذه على إنتاج هذه القضبان أو الأنابيب بل تتعداها إلى صب أى شكل مرغوب فيه ، ومن أمثلة ذلك تماثيل كانت معروضة فى المعرض العالمى بنيويورك سنة ١٩٣٩ فهذه التماثيل تبلغ ١٠ أقدام فى ارتفاعها وتزن أكثر من نصف طن ، وهى مصبوبة من لدائن فينولية فى قوالب من المطاط واحتاجت فى انضاجها إلى أسبوع فى درجة حرارة ١٨٥° ف .

وبكيفية مشابهة إذا صببنا مادة راتنجية مناسبة فى قوالب مفتوحة مسطحة نحصل على ألواح تشبه ألواح الزجاج فى صفائها وثبات ألوانها وهى أثقل قليلا من الخشب .

ويمكن الانتفاع بطريقة الصب فى صناعة تركيبات الأسنان الصناعية ، ويستخدم لذلك عجينة طرية مكونة من مسحوق من راتنجات الاكريليك معجون بسائل الاكريليك أى الـ monomer وهو الذى يتحول إلى المادة الراتنجية الـ Polymer بعملية التجمع Polymerisalion ، ثم تؤخذ هذه العجينة وتضغط فى قالب كذلك الذى يستعمله أطباء الأسنان ثم يسخن ليتحول الـ monomer إلى polymer فتتحول تركيبة الأسنان إلى قالب متجانس متين .

ومن الطرق الأخرى فى صناعة اللدائن طريقة الـ extrusoin moulding وتجرى على اللدائن اللاحرارية وهى تشبه مثيلتها فى حالة اللدائن الحرارية مع فارق واحد هو أن الحرارة لازمة فى الحالة الأخيرة لغرض واحد هو جعل اللدائن لينة بالقدر الذى يسمح بانسيابها فى القالب ، أما فى حالة اللدائن اللاحرارية فالحرارة تخدم غرضين أولهما تليين المادة وثانيهما تحويلها إلى حالة النضج الكامل . والجهاز المستعمل فى صنع أشكال أسطوانية بهذه الكيفية يتكون من كباس وصندوق للشحن يصب فى غرف التغذية feeding chambers ، ولتفادى تراكم المادة التى تنضج بالتسخين فى غرف التغذية فان مادة اللدائن لا تسخن إلا بعد أن تدخل القالب . وعلى ذلك فالكباس يدفع المسحوق داخل غرفة تحفظ فى درجة حرارة ثابتة منخفضة بواسطة تيار من الماء البارد يلف حولها داخل غلاف فيصل مسحوق اللدائن إلى القالب مكبوسا ولكنه بارد ، وتتم عملية التسخين ونضج اللدائن فى القالب ، وهو عبارة عن حيز حلقى طوله حوالى ٩ بوصات ، تبلغ درجة الحرارة فيه ١٣٠° م ثم ١٦٠° م وأخيراً تصل إلى ٩٨٠° م ، فتتم عملية النضج خلال مرور المادة فى هذه المسافة ، ويستغرق ذلك حوالى ٥ر١ دقيقة . وبهذه الكيفية تتحول المادة من الحالة غير المتماسكة إلى حالة النضج التام .

وهذه العملية يمكن استخدامها فى حالتى اللدائن الفينولية والأمينية