جامعة دمشق
الكلية التطبيقية – قسم الميكاترونك

تقانة الانتاج

Production Technology

لطلاب السنة الثانية ميكاترونك

محاضرات الدُّكتور: حسن فارس هدلة

جامعة دمشق – 1441 – 1441 هـ / 2019 – 2020 م

مقدمةعامة

General Introduction

التكنولوجيا أو التقانة هي تقنية التطوير واستخدام الأدوات والآلات والمواد والعمليات التلقائية والتي تساعد على حل المشاكل البشرية الناتجة عن الخطأ البشري. أي إنها استعمال الأدوات و القدرات المتاحة لزيادة إنتاجية الإنسان وتحسين أدائه.

اشتقت كلمة تكنولوجيا من اللغة اللاتينية، حيث تتكون من مقطعين تكنو techno وتعني الفن أو الحرفة ولوجيا logiaوتعني الدراسة أو العلم ومن هنا فمصطلح تكنولوجيا يعني التطبيقات العلمية للعلم والمعرفة في جميع المجالات.

ويشير مصطلح التقنية إلى كل الطرق التي يستخدمها الناس في اختراعاتهم واكتشافاتهم لتلبية حاجاتهم وإشباع رغباتهم، ويسميه بعضهم التكنولوجيا. وكان لزاماً على بني البشر منذ أزمان بعيدة جداً أن يكدحوا ليحصلوا على المأكل والملبس والمأوى، كما كان لزاماً عليهم أن يعملوا أيضاً لتلبية رغباتهم في التنعُّم بأوقات الفراغ والخلود إلى الراحة. ولقد قام الناس عبر العصور باختراع الأدوات والآلات والمواد، والأساليب لكي يجعلوا العمل أكثر يُسرا. كما اكتشفوا أيضاً الطاقة المائية والكهرباء وغير ذلك من مصادر الطاقة التي زادت من معدّل العمل الذي يقومون بإنجازه. وعلى هذا، فإن التقنية تشمل، فيما تعني، استخدام الأدوات والآلات والمواد والأساليب ومصادر الطاقة لكي تجعل العمل ميسوراً وأكثر إنتاجيّة. وتعتمد الاتصالات الحديثة، ومعالجة البيانات على هذه التقنية، وخاصة تقنية الإلكترونيات.

يطلق كثير من الناس على العصر الذي نعيش فيه الآن عصر التقنية، إلا أن الناس كانوا وما يزالون يعيشون في عصر تقنيّ من نوعٍ ما. فقد كان ينبغي عليهم دائماً أن يعملوا ليحصلوا على مُعظم ضرورات الحياة، وعلى الكثير من مباهجها. وبناء على هذا، فالتقنية تشمل استخدام كل من الأدوات البدائية والفائقة التقدم وأيضاً أساليب العمل القديمة والحديثة. ولكن عندما يتحدث الناس هذه الأيام عن التقنية فإنهم، بوجه عام، يعنون التقنية الصناعية؛ أي التقنية التي ساعدت في إيجاد مجتمعنا الحديث.

بدأت التقنية الصناعية منذ نحو 200 سنة، وذلك مع تطور المحرك البخاري والآلات التي تُدار بالطاقة ونمو المصانع وإنتاج السلع بكمياتٍ كبيرة. وقد أثر تقدم التقنية على جوانب عديدة من حياة الناس، وعلى سبيل المثال، نجد أن تطور صناعة السيارات قد أثَّر على الناس بصورة كبيرة، وكان التأثير أوضح ما يكون على أولئك الذين يعملون في المصانع والذين يعيشون بالقرب منها، ولقد تدخلت هذه الصناعة كثيرًا في حياتهم وحدّدت لهم كيفية قضاء وقت الفراغ والاستمتاع به. كما غير المذياع والتلفاز من عادات الناس وأساليب حياتهم وحتى طرق التعامل بينهم. وكان اكتشاف الهاتف ثورة كبيرة في وسائل الاتّصالات. وفي الوقت الراهن، تساعد التقنية الصناعية الناس كثيراً في تحقيق أهدافهم وما تصبو إليه نفوسهم. وما كان في الماضي يدخل ضمن الخيال أو الأشياء المستحيلة التحقيق . منذ 100سنة مضت . أصبح الآن حقيقةً واقعة. وقد يسَّرت التقنية للإنسان وسائل التغلّب على الجوع ويسَّرت له علاج كثير من الأمراض أو الوقاية من العديد منها، كما مكّنت الإنسان من نقل

البضائع والركاب بسرعة ويُسْر إلى أي مكان على الكرة الأرضية. ومكّنت التقنية الإنسان من الخروج من الكرة الأرضية والتجول في الفضاء الخارجي وأن يطأ بقدمه سطح القمر.

أسهمت العلوم كثيراً في التّقنية الحديثة، ولكن لا تقوم كل أوجه التّقنية على العلوم، وليست كل العلوم ضرورية لجميع التّقنيات. ولكن العلوم تحاول شرح كيفية حدوث الأشياء ولماذا تحدث. وعلى سبيل المثال، فلقد بدأ الإنسان منذ قرون عديدة في صُنع أشياء وأجسام مُختلفة من الحديد قبل أن يعرف التغيرات التي تحدث في التركيب البنائي للمادة الفلزية أثناء التصنيع. وعلى العكس من ذلك، يعتمد عدد من التقنيات الحديثة بصورةٍ كبيرة على العلوم، ومن أمثلة ذلك إنتاج الطاقة النوويّة، والسفر إلى الفضاء الخارجي.

العلوم، الهندسة والتكنولوجيا

تستخدم كلمة تقنية أحياناً لوصف استخدام معين للتّقنية الصناعية كالتّقنية الطبّيَّة أو التقنية العسكرية. وتهدف كل واحدة من التقنيات المتخصصة إلى أهداف محددة وتطبيقات بعينها، كما أن لها أدواتها ووسائلها لتحقيق هذه الأهداف. وتُعَدُّ مهنة الهندسة مسؤولة عن الكثير من التقنيات الصناعية الحديثة.

تمكن التقنية الصناعية الناس من العيش بأمان وراحة بشكلٍ أفضل بكثير من أي وقت مضى. ولكن للأسف، فإن عددًا قليلاً من سكان العالم يتمتعون بالتقنية ويستأثرون بجميع مزاياها. ومن مساوئ التقنية العصرية أيضًا ما يُصاحبها من بعض الآثار الجانبية غير المرغوب فيها، التي انتشرت بصورة كبيرة في الدول الصناعية المتقدمة، ومن أمثلة هذه المساوئ تلوّث الماء والهواء. كما أسهم التطور التقني في إنتاج كميات أكبر من الأسلحة الأشد فتكًا ودمارًا. وهكذا أضافت التقنية الكثير من الخراب والدمار الناتج عن الحروب.

تتناول هذه المقالةُ فوائد التّقنية بالإضافة إلى آثارها السيئة، والجوانب غير المرغوب فيها، كما أنها تناقش الصعوبات التي تُواجه البشريّة في محاولتها التغلُّب على الآثار السيئة للتقنية، وكيفية التَّخلص منها. ولقد سار تطور التقنية جنبًا الى جنب مع تاريخ كل من المخترعات والاكتشافات.

أهمية التقنية

ساعدت التقنية الناس في التغلب على الطبيعة، ومن ثم توفير أسلوب متحضر للحياة. ولم يكن لدى الإنسان الأول إلا أقل القليل من وسائل التحكم في الطبيعة وطرق التعامل معها، وكل ما توافر للإنسان في العصور القديمة هو أدوات بدائية متواضعة فقط. وكان الإنسان الأول يجهل كيفية تربية الحيوانات ولا يعرف أي أسلوب للزراعة، ولهذا فقد كان مضطرا للبحث عن الحيوانات والنباتات البرية لتوفير ما يحتاج إليه من غذاء وللحصول على قوته. كما أن الإنسان . في بداية عهده على الأرض . لم يكن يعرف المنزل الدائم. وكانت جلود الحيوانات هي الوسيلة الوحيدة المتوافرة له للوقاية من البرد، ومثّلت الشمس المصدر الوحيد للضوء. وبمرور الوقت، اكتشف الإنسان كيف يوقد النار، ويعدُّ ذلك من الاكتشافات العظيمة وقتذاك. فقد ساعد هذا الاكتشاف الإنسان على التحكم بصورةٍ أفضل في الظروف المحيطة به، وتمكَّن الناس عندئذ من نقل الحرارة والضوء معهم إلى أي مكان يذهبون إليه. ثم تعلم الإنسان بعد ذلك كيف يستأنس الحيوانات ويُربيها ويرعاها. كما تعرَّف أيضًا على أساليب

إنتاج المحاصيل الزراعية. وقد أدّى تطور الزراعة وإنتاج المحاصيل الزراعية المتنوعة إلى استقرار الإنسان في مواقع معينة، ومن ثَمَّ بناء المجتمعات البشريّة والمساكن المستقرة. وكان ذلك بداية استقرار النّاس في تجمّعات سكنية. وعندما توافرت المحاصيل الزراعية ونجح الناس في تربية الحيوانات، لم تعد هُناك حاجة لقضاء وقت طويل في السعي وراء مصادر الغذاء، مما أعطى الناس الحرية والوقت للقيام بأعمال أخرى بجانب إنتاج الغذاء. ونتيجة للاستقرار ونمو الزراعة، ظهرت الحاجة إلى تنظيم حياة الناس وتنظيم الزراعة. وهكذا ظهرت طبقات رجال الدين والحكام والصناع الحرفيين والتجار. وساعد تقسيم العمالة بالصورة المذكورة في ظهور الحضارة.

أفادت التقنية الناس خلال العصور المتتالية، ومن خلال طرق مختلفة تمثلت في: أولا: زيادة إنتاجية السلع وتوفير الخدمات. ثانياً: تقليل كمية العمالة اللازمة والحد من الأعمال الشاقة المطلوبة لإنتاج السلع وتوفير الخدمات. ثالثًا: تيسير سُبل الحياة وسهولة الأعمال. رابعًا: رفع مستوى المعيشة بصورة كبيرة.

سنتناول بالدراسة المواضيع الرئيسية التالية:

1. سباكة المعادن.
2. عمليات التشكيل المختلفة.
3. عمليات التشغيل بالقطع.
4. تفنية اللحام.

1- مدخل إلى عمليات السباكة

Introduction into Casting Processes

1-1: تعريف السباكة:

عملية الصب أو السباكة هي عملية الحصول على منتجات، وذلك بسكب المعدن المصهور ضمن تجويف قالب، هذا التجويف له شكل المنتج المطلوب تصنيعه، وبعد تجمد المعدن يتم الحصول على المسبوكة من القالب. والسباكة: هي عملية الحصول على منتج من معدن منصهر بدون أي عمليات تشغيل ميكانيكية، مثل: الدرفلة والتطريق واللحام ...

تستخدم المسبوكات في وسائط النقل والزراعة والبناء وفي بناء الآلات وغيرها.

وأهم مميزات عملية السباكة كعملية تكنولوجية للإنتاج هو إنتاج الأشكال المعقدة مهما كان درجة تعقيدها علاوة على اكتساب المعدن لبعض الخواص الميكانيكية كالمتانة ومقاومة التآكل والقساوة ومقاومة الاهتزاز وغيرها.

1-2: لمحة تاريخية عن السباكة:

تعد السباكة من أقدم الحرف التي استخدمها الإنسان، وتعود إلى 5000 سنة قبل الميلاد، حيث صنع الإنسان السهام والسيوف والنقود والدروع والعدد الحربية وغيرها، فضلاً عن صناعة التماثيل واستخدام الذهب والنحاس والبرونز لصناعة التماثيل والحلي بطريقة السباكة بالشمع المفقود. وقد كانت السباكة قبل القرن العشرين تعتمد كلياً على العمل اليدوي، ثم بعدها تطورت طرق السباكة واستخدمت الآلات والأساليب الحديثة منها: طريقة الصب بالتبريد المفاجئ وطريقة ماءات الزجاج وغاز ثاني أوكسيد الكربون وطرق السباكة بالضغط والشمع المفقود والقوالب القشرية والصب بالتفريغ والنموذج المتبخر...

واستخدمت إضافة إلى ذلك أساليب استصلاح الرمال وإعادة استعمالها، كما تطورت عمليات صناعة النماذج وأدخلت الطرق الحديثة بالإنتاج باستخدام الكمبيوتر (CAD-CAM) والتي تعد عاملاً حاسماً في تطور هذه الصناعة.

تزن أصغر المسبوكات التجارية بضعة غرامات (قطعة حلي صغيرة) بينما الأثقل مثلاً تصل إلى 160 طن، وتحتاج إلى ما يقارب ثلاثة أسابيع حتى تبرد، وتسمى Ingot (مثلاً جسم محرك ديزل لسفينة تجارية).

1-3: مميزات ومساوئ عمليات السباكة:

تمتاز السباكة عن غيرها من عمليات التشكيل بالميزات الآتية:

1. يمكن استخدام عملية السباكة في إنتاج الأشكال المعقدة التي تحتوي على تشكيلات داخلية وخارجية.
2. بعض المعادن والخلائط المعدنية القاسية لا يمكن تشغيلها أو تشكيلها إلا بطرق السباكة، مثل الحديد الزهر.
3. سهولة التصنيع للقطع المعقدة بالسباكة، مثال علبة تغيير السرعة في وسائط النقل.
4. تتميز السباكة بالإنتاجية الكبيرة، وتصلح بعض أنواع عملية السباكة للإنتاج الكمي.

5. يمكن استخدام عملية السباكة لإنتاج الأشكال الضخمة جداً التي قد تصل زنتها إلى 100 طن وأكثر، وكذلك القطع خفيفة الوزن.
6. يمكن الحصول على بعض الخواص الهندسية الجيدة للمسبوكات، مثال على ذلك:

- القابلية للتشغيل على الآلات والقدرة على امتصاص الاهتزازات، وذلك بالتحكم بتركيبة الخليطة وبتجمدها.
- نحصل على خواص ميكانيكية متماثلة بالقطع المسبوكة، وذلك بالتحكم بتجمد المعدن المسبوك مقارنة بالمطروقات ذات الخواص المختلفة بحسب اتجاه القوى المؤثرة.

7. يمكن لعملية السباكة أن تستخدم على أي معدن يمكن الوصول به بالتسخين إلى درجة الانصهار.
8. بعض أنواع عملية السباكة يمكنها إنتاج الشكل بأبعاده النهائية أي بالدقة النهائية المطلوبة، و بالتالي لا يتم إدخال المنتج لأى مرحلة تشغيل أخرى على أي ماكينة.
9. مما سبق يمكن القول بصفة عامة: إن إنتاج القطع بطريقة الصب (السباكة) هي في الغالب أرخص طرائق التشكيل للإنتاج بالجملة. ولو أمكن إنتاج مختلف الأجزاء الميكانيكية باستخدام أساليب الصب مع إكسابها واحتفاظها بخواص ميكانيكية جيدة لما كانت هناك حاجة ملحة لابتكار وطرائق التشكيل الأخرى واستخدامها.

أما أهم العيوب الممكن أن نصادفها بالمسبوكات المنتجة بالقوالب الرملية يمكن تلخيصها بالآتي:

1. **عدم دقة الأبعاد:** ولكن يمكن تحقيقها بعمليات التشكيل الأخرى أو باستخدام طرائق سباكة خاصة، حيث يمكن تحقيق نعومة أسطح ودقة أبعاد مقبولة.
2. **وجود الزوائد:** وتحدث بالمسبوكات عند سطح الفصل بين أجزاء القالب وعند الأدلة نتيجة لوجود الخلوص بين نصفي القالب.
3. **اعوجاج المسبوكات:** يحدث لعدم تساوي سماكة جدران المسبوكة لذا يجب تحسين التصميم واستعمال المبردات، وخاصة للأجزاء السميكة من المسبوكة.
4. **وجود الالتحام:** وهو على شكل انخفاض أخدودي ينتج بسبب عدم الالتحام والتوافق التام بين تيارات المعدن الداخلة من جهات مختلفة إلى فجوة القالب: والسبب في حدوث الالتحام هو عدم سيولة المعدن بالدرجة الكافية أو عدم توجيه المعدن توجيهاً صحيحاً في فجوة القالب، وانقطاع تيار المعدن عند ملء القالب.
5. **نقص المعدن في المسبوكة** (عدم اكتمال المسبوكة): وهو جزء غير مكتمل في المسبوكة، ويكون بسبب عدم سيولة المعدن بالدرجة الكافية وعند تجمع غازات تمنع امتلاء القالب بالمعدن، وقد يكون بسبب عدم صهر الكمية الكافية للإملاء.
6. **الفقاعات الغازية:** وهي فقاعات من الهواء أو الغازات التي تتكون في القالب وتبقى بالمسبوكة على شكل فراغات صغيرة موزعة بأجزائها المختلفة، وأهم أسبابها هي عدم نفاذية القالب للغازات بدرجة كافية (شدة الرك مع تهوية رديئة للقالب)، ورداءة أنواع رمل القالب ورطوبة النواة عند وضعها في القالب وصب معدن لم يتخلص بعد جيداً من الغازات.

7. **فجوات التجمد:** ظهور بعض عيوب السباكة على شكل فجوات داخل المسبوك و تسمى (البخبخة)، وهي الفراغات التي تتكون نتيجة تجمد المعدن وتقلصه وعدم كفاية المغذي للمسبوكة لتغذيتها بالمصهور عند تجميدها، وسببها هو التصميم غير الصحيح للمسبوكة ولأوضاع المصبات والمرضعات، والخطأ في تركيب المعدن، مما ينتج عنه انكماش زائد.
8. **خشونة الأسطح** الناتجة من السباكة كما في السباكة الرملية.
9. تأثير عملية السباكة على بعض **الخواص الميكانيكية** للمادة.
10. **درجة الأمان** في عملية السباكة أقل نسبياً من باقي أغلب العمليات الصناعية، وذلك بسبب التعامل مع معادن مصهورة ذات درجات حرارة عالية وكذلك التأثيرات البيئية للعملية.

كما وتوجد عيوب أخرى لا مجال لذكرها في هذا الكتاب.

1-4: لمحة عن طرق السباكة وأساليبها:

تستخدم عمليات السباكة في الحصول على المصنوعات والخامات نصف المصنعة المستعملة لصناعة أجزاء الماكينات، وذلك عن طريق صب المعدن المنصهر في قوالب السباكة وتركه يبرد (أي يتجمد). وبعد تمام تجمده يستخرج المسبوك من القالب، وينظف، وتقطع زوائده ثم تجرى عليه عمليات التشغيل حسب المطلوب. وقد تطورت عمليات السباكة كثيرا نتيجة لتطور تقنيات اختبار المواد، مثل: فيزياء الأشعة السينية واستعمال المجهر الإلكتروني الذي زوّد بمعلومات هيكلية وكيميائية عن طبيعة المواد الداخلة في تركيب المعادن وسبائكها، فضلاً عن التطوّرات في تقنيات السباكة واستخدامات الآلات الحديثة وآلات Rapid prototyping machine التي من خلالها يمكن عمل نموذج شمعي أولي أو مسبوكة بدقة عالية وتطورت أساليب السباكة بالقوالب المعدنية وبطريقة الصب بالتبريد المفاجئ وطريقة السباكة بالقوالب القشرية والسباكة بالضغط والشمع المفقود، والصب بالتخلية والقالب السيراميكي والنموذج الكامل.

وأهم طرق السباكة الشائعة الاستخدام في الصناعة هي:

1- السباكة في قوالب رملية Sand Casting
2- السباكة في قوالب دائمة Permanent Casting
3- السباكة في قوالب معدنية Die Casting
4- السباكة بالقوة الطاردة المركزية Centrifugal Casting
5- السباكة بالقوالب القشرية Shell Casting
6- السباكة المستمرة ونصف المستمرة Continuous casting
7- السباكة الدقيقة Precision Investment Casting

1-5: قواعد السلامة في عمليات سباكة المعادن وإرشاداتها:

تتطلب عملية سباكة المعادن إلى القيام بمراحل عديدة لإعداد الخام قبل شحنه إلى الأفران، مثل اختيار نسب الخام، وعملية التكسير، وعملية الطحن ... وغيرها من العمليات الأخرى.

ولما كانت عملية التكسير من العمليات التي تتسبب في أخطار وإصابات للمنتجين من خلال تطاير القطع الناتجة عن رد فعل المطرقة.

وعملية صهر المعادن تتطلب درجات حرارة مرتفعة عن طريق الفرن الذي يقوم بتحويل المعدن من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة.

والمعدن المنصهر يتطلب نقله من البوتقة وصبه مباشرة في القوالب المعدة والسابق تجهيزها. تتطلب هذه العمليات السابقة إلى اتخاذ تدابير السلامة والصحة المهنية، واستخدام أدوات وأجهزة وقائية تجنب المنتجين العاملين في هذا المجال مخاطر التكسير، واحتمال انسكاب المعدن من البوتقة أثناء عملية نقل المعدن المنصهر إلى القوالب، وتطاير الشرر في أثناء صب المعدن.

الأدوات والأجهزة الوقائية:

يجب على المنتجين العاملين جميعهم في مجال سباكة المعادن استخدام الأدوات والأجهزة الوقائية للحفاظ على سلامتهم وأمنهم، وهي كالآتي:

1. واقيات الصدر مصنوعة من مادة الأمينيت المقاومة للحرارة وغير قابلة للاشتعال.
2. واقيات اليدين مصنوعة من مادة الأمينيت المقاومة للحرارة وغير قابلة للاشتعال.
3. واقيات الساقين مصنوعة من مادة الأمينيت المقاومة للحرارة وغير قابلة للاشتعال.
4. واقيات القدمين المتمثلة في أحذية مصنوعة من الجلد.
5. واقيات الأذن المتمثلة في سدادات وكاتمات للصوت.
6. واقيات النظر والوجه المتمثلة في الأوجه الشفافة المقاومة للحرارة.
7. واقيات الرأس المتمثلة في القبعة المصنوعة من المعدن والمغلفة بأحذية داخلية.
8. واقيات الجهاز التنفسي للوقاية من الأبخرة والغازات الضارة.
9. أجهزة إطفاء للوقاية من الحرائق، ينبغي أن تكون بأماكن يسهل الوصول إليها.

قواعد السلامة وإرشاداتها:

يمثل النظام والنظافة واتباع إرشادات السلامة والأمن الصناعي وقواعدهما أساس ممارسة العمل بدون حوادث؛ لذلك يجب اتباع الإرشادات الآتية:

1. يجب إخلاء مكان العمل من الأشياء غير الضرورية جميعها، وخاصة الموجودة بالممرات المتصلة ما بين الفرن والقوالب والحفاظ عليها نظيفة.
2. إزالة الزيوت والبقع الزيتية من حول الفرن وبأرضية الممرات ما بين الفرن والقوالب.
3. وضع القوالب بشكل يسهل القيام بعملية الصب.
4. عدم القيام بعمليات تحضير المعدن وصهره ونقله وصبه .... إلا بعد ارتداء أدوات الأمان الوقائية وأجهزتها المناسبة لكل عمل.

إضافة لما سبق ذكره، فإنه يجب ضرورة الحيطة والحذر بجانب اليقظة وحسن التقدير بجانب هذه الإرشادات.

2-السباكةاليدوية

Sand Mold Casting

2-1: مقدمة:

السباكة أو الصَّب (Casting) هي عملية تشكيل معدن عن طريق صهره، ثم صبه سائلاً في قالب به فجوات ذات شكل وأبعاد، فيكتسب المعدن المنتج «المسبوك» شكلها ومقاساتها عندما يتصلب. يمكن عدّ المصبوب منتجاً نهائياً أو عدّه منتجاً نصف مصنع، حيث تجرى عليه عمليات التشطيب باستخدام آلات التشغيل بالقطع التي تنظفه وتزيل الزوائد الموجودة به.

2-2: السباكة باستخدام القوالب الرملية:

2-2-1: رمال السباكة:

تشمل كلمة رمل: الرمال المستخدمة بالبناء، وكمواد حاكة، والرمل المستخدم كوسيط تصفية ... وتستخدم أنواع عدّة من الرمال في إعداد القوالب، وفي عمليات السباكة. ونورد بعض التعاريف لمصطلحات الرمال المستخدمة في السباكة، وهي:

الرمل الرطب الأخضر Green Sand:

وهو الرمل بالحالة الرطبة غير المجففة، يستخدم لسباكة القطع الصغيرة ومتوسطة الحجم من المعادن الحديدية وغير الحديدية.

الرمل الجاف Dry Sand:

وهو رمل السباكة الذي أزيلت منه الرطوبة كلها بالتجفيف بالفرن، يستخدم من أجل إنتاج المسبوكات كبيرة الحجم، أو عندما يراد إنتاج مسبوكات دقيقة الأبعاد ومصمتة لا تحتوي على فجوات. يمكن أن يجفف القالب بشكل كامل قبل سكب المعدن أو يجفف القالب قشرياً (Skin-dry) بحيث تحدد مقدار التجفيف الخبرة، وبحيث يكون القالب مناسباً من أجل السباكة.

رمل الوجه Facing Sand:

يستخدم على وجه النموذج ويشكل سطح فجوة القالب، وهو رمل جيد النوعية ناعم يحضر من رمل قديم + رمل قولبة جديد أو مواد رابطة أخرى ،يشكل عند ركه فجوة قالب ملساء لا تتفتت أو تجرف من مكانها عند دخول المعدن المنصهر إلى داخل تجويف القالب.

رمل الحشو أو رمل الأرض Backing or Floor Sand:

وهو رمل السباكة المستخدم لملء القالب، ويستخدم لمرات عدّة، يتم تحضيره في منشأة تحضير الرمال، وتتم عليه الإضافات الضرورية من غضار الربط والرمل الجديد وغبار الفحم وغيره من الإضافات (بالمعامل الحديثة الممكننة لا يوجد رمل وجه).

الرمل الأسود Black Sand:

يُستخدم هذا الرمل بشكل خاص في مسائل الحديد حيث بسبب إضافات غبار الفحم إلى الرمل، وبتأثير درجة طراوة المعدن المرتفعة تصبح حبيبات الرمل مغطاة بغشاء من مواد سوداء اللون، ويحتوي الرمل على نسبة فقيرة من الفحم الناعم وجزيئات فحم الكوك.

الرمل الصناعي (التركيبي) Synthetic Sand:

وهو رمال القوالب المحضرة صناعياً، ويتألف من رمل السيلكا ذي الحبيبات الحادة غير المترابطة، ويضاف له الغضار كمادة ربط مناسبة مع بعض الإضافات (أسمنت – زيوت– نشاء – سيليكات الصوديوم..).

الرمل المترابط طبيعياً Naturally Bonded Sand:

وهو رمل السباكة كما تم استحصاله من المقلع والذي يحتوي على نسبة من خامات الغضار (يطحن +يضاف إليه رطوبة مناسبة).

رمل النواة Core Sand:

يستخدم لصناعة النواة لإنشاء مسبوكة مجوفة، يتألف من حبيبات السيلكا مع مواد رابطة خاصة، ويوصف عادة برمل السيلكا.

يمكن تمييز رمال السباكة بعضها عن بعض في النواحي الآتية:

1– متوسط حجم الحبيبات وتوزيعها وشكلها: ناعمة أو خشنة، مدورة Rounded grain أو زاوية Angular أو شبه زاوية أو حبيبات مركبة، ولكل منها ميزات خاصة، ويكون حجم هذه الحبيبات كبيراً أو صغيراً، وهذا يؤثر أيضاً في الخواص الفيزيائية والميكانيكية لرمال السباكة، من ثمَّ في استخدام هذه الرمال، ونفاذيتها.

2– قوة الاحتمال والاستقرار الحراري.

3– التركيب الكيميائي لرمال السباكة: حيث تؤثر الشوائب الموجودة فيه في مقاومة الصهر لرمل السباكة، فالمواد القلوية والجير والمغنيزيا كلما قلت كانت مقاومة الرمل للانصهار أفضل.

<u>الخواص العامة لرمال السباكة:</u>

يجب أن تكون رمال السباكة مناسبة لعمل القوالب، وإنتاج مسبوكات خالية من العيوب، ونورد فيما يأتي أهم الخواص القياسية لاختيار الرمال، وهي:

1– رخص الثمن: أي أن تكون الرمال المستخدمة رخيصة الثمن.

2– العجينية Plasticity: هي الخاصة التي تحدد قدرة الرمل على اتخاذ شكل النموذج المختوم بدقة أو شكل النواة، والاحتفاظ بهذا الشكل بعد إبعاد النموذج عن القالب الرملي وتزداد عجينية الرمل عند زيادة كمية الغضار والماء.

3– المقاومة: (المتانة) Strength: وهي تحدد مقاومة القالب للقوى التي تحاول تحطيمه كالصدمات التي تحدث عند تجميع القالب وعند نقله وكذلك ضغط السائل عند ملء القالب بالمعدن السائل، وتزداد مقاومة الرمل مع زيادة الطمي (الغضار) وغيره من المواد الرابطة مثل الماء الزجاجي، وتتوقف المقاومة كذلك على مقاييس حبيبات الرمل وشكلها. وتحدد المقاومة بشد عينات جافة أو ضغط عينات رطبة بأجهزة مخبرية خاصة، وتقاس بالكغ / سم^2. حسب شكل حبيبات الرمل تكون مقاومة الحبيبات الكروية أقل من مقاومة الحبيبات

الصفائحية، كما أن للرمل الناعم متانة أكبر من الرمل الخشن وبسبب زيادة عدد نقاط التماس لواحد المساحة، وكما تزداد متانة الرمل بزيادة نسبة الرك للرمل.

4- النفاذية: Permeability: وهي تحدد قدرة الرمل والخلائط الرملية على تمرير الغازات الخارجة من المعدن عند تجمده، والنفاذية العالية للرمال ضرورية لتسهيل خروج الغازات وبخار الماء المتصاعدة من المعدن عند تبريده وتجمده في القالب. تتوقف نفاذية الرمل للغازات على أبعاد الحبيبات وشكلها (بنية الحبيبات) وعلى الرطوبة وعلى نسبة المكونات من المواد الرابطة، وعلى درجة (الرك) للرمال، وإن النفاذية القليلة للرمل تسبب فجوات في المسبوكة المنتجة، ويكون لحبيبات الرمل الناعمة نفاذية أقل من الحبيبات كبيرة الحجم. وتقل النفاذية بزيادة نسبة الرطوبة وكمية الغضار الموجود في الرمل وكما تقل النفاذية بزيادة نسبة الرك للرمال.

5- مقاومة الحرارة: هي قدرة الرمل على تحمل درجة الحرارة الكبيرة للمعدن المصبوب في القالب دون أن ينصهر أو يلين أو يحترق ملتصقاً بسطح المسبوكة، وعندما تكون مقاومة الرمل للحرارة غير كافية تتكون على المسبوكة طبقة من الرمل المحترق تعيق تنظيف المسبوكات وتشغيلها بالآلات القاطعة وترفع من تكاليفها.

6- توصيل الحرارة: (الناقلية الحرارية) يؤثر توصيل الحرارة لمادة القالب في سرعة تبريد المعدن المصبوب في القالب؛ وبالتالي في بنيته، ويتوقف توصيل الحرارة على درجة رطوبة القالب، ولذلك كثيراً ما يلزم تجفيف القوالب المستعملة لسباكة المسبوكات الكبيرة من الصلب والزهر لتقليل توصيلها للحرارة، ويمكن التوصل إلى تخفيض عامل انتقال الحرارة إلى الرمل بإضافة الفحم الحجري المسحوق إليه.

7- قابلية الانضغاط (الانكماشي): هو قدرة رمل القالب والنواة على الانضغاط قليلاً تحت تأثير ضغط المعدن الذي ينكمش بنتيجة التبريد، وفي حال عدم انضغاط القالب أو النواة تحت تأثير انكماش المعدن يمكن أن تحدث في المسبوكة شقوق. وللرمل النهري قدرة جيدة على الانضغاط وتزداد الانضغاطية بقلة نسبة الرك وزيادة الفراغات الهوائية بين حبيبات الرمل.

8- عمر الاستعمال: وهي قدرة الرمل على الاحتفاظ بخواصه عند استعماله مرات عدّة لصناعة القوالب.

يتم تحديد مواصفات رمل السباكة وخواصه ضمن مخبر خاص باختبار رمال السباكة ونواها، ويتم ذلك بتحديد نسبة الغضار الموجودة ضمن رمل السباكة، وتحديد تدرج حبيبات الرمل ونسبة الرطوبة ونفاذية رمل السباكة ومتانته، وتفتت هذا الرمل، وقساوة رمل القالب المركوك، وشد وقص عينات رمل السباكة المركوك، وتحديد مقاومة انصهار رمل السباكة.

<u>- المركبات الأساسية لرمال السباكة:</u>

السيليكا (SiO_2):

وهو العنصر الرئيس في الرمال وينشأ من تفكك الصخور الحاوية على نسبة كبيرة من الكوارتز سيليكون بشكل متبلور، والسيليكون عبارة عن مادة مقاومة للحرارة ودرجة حرارة انصهارها (1600-1700مْ). وهكذا فإن درجات الحرارة المستعملة في أفران الصب لا تسبب انصهاره، ولكن من الممكن أن يحدث التشقق والتفكك من وقت

لآخر، وعند التسخين، يمكن أن يتحد السيليكون مع الصودا أو البوتاس أو الكلس، وينتج عن ذلك الاتحاد مركبات السيليكون، ولهذه المركبات درجة حرارة انصهار أقل من درجة انصهار السيليكون النقية.

أكسيد الألمنيوم Al_2O_3:

يتصف هذا الأكسيد بتقلصه الشديد؛ مما يؤدي إلى حدوث الشقوق والكسور في القالب الرملي المجوف؛ ولذلك يجب أن تكون نسبته محددة في رمل السباكة، ولا يتعدى حدود معينة محددة وفق الاعتبارات الخاصة بالمعدن المراد سباكته.

أكاسيد الحديد (Feo, Fe_3O_4, Fe_2O_3):

إن حبيبات السيليكون لا لون لها؛ وإنما تكتسب لونها من وجود أكسيد الحديد الذي يغلف حبة الرمل؛ لذا فإن تواجد أكاسيد الحديد في رمل السباكة يعطيه لونه المميز كاللون الأحمر والبني والأصفر. وهذه الأكاسيد المختلطة بالسيليكون تقوم بعمل الوسيط التماسكي. إن وجود الأكاسيد مثل (Fe_3O_4, Fe_2O_3) مفيد في رمل السباكة حيث يرفع من المقاومة الحرارية لهذا الرمل ويقاوم تغلغل المعدن ضمن حبات الرمل، بينما الأكسيد (FeO) يعدّ ضاراً في رمل السباكة؛ لأنه بدرجة حرارة السباكة يتحد هذا الأكسيد مع السيليكون، ويشكل سليكات الحديد القابلة للانصهار بدرجة حرارة أقل؛ لذا يجب أن تكون نسبته في رمل السباكة قليلة ولا تتجاوز 0.5%.

الكلس . المنغنيز . البوتاس والصوديوم (قلويات أي شوائب):

تكون هذه المواد بشكل مركبات درجة حرارة انصهارها عالية نسبياً، ولكنها تتفاعل عند التسخين مع مواد أخرى، وتنتج مركبات ذات درجة حرارة منخفضة؛ مما يؤدي إلى احتراق الرمل وانصهاره والتصاقه بسطح المسبوك؛ لذا يفضل أن تكون نسبتها في الرمال منخفضة.

الغضار Clay:

الغضار عبارة عن مواد ترابية تحتوي على 50% على الأقل من الغضار والباقي كسيرات من الرمل والغبار. يعد أكثر المواد الرابطة استخداماً لتوفره بالطبيعة. التركيب الكيميائي للغضار هو سيليكات الألومين المائية ($X.Al_2O_3.y.SiO_2.z.H_2O$) ويقسم الغضار إلى ثلاث مجموعات: غضار كاؤليني، غضار إليتيكي، والغضار المونموريلوني.

إن حبيبات الغضار ناعمة جداً، وتنشأ قوة الربط عند إضافة الماء. غضار البنتوبيت على سبيل المثال درجة حرارة تعجنه 1350 °C.

إذا الغضار هي المادة الرابطة في رمل السباكة، وتتكون من حبيبات ناعمة جداً، وبحدود (من 0.01 إلى 1 ميكرون)، وتنشأ المرونة والربط عند إضافة الماء لها، حيث تنشأ قوى ربط بين حبيبات الغضار وحبيبات السيليكون، وكذلك عند تجفيف رمل السباكة فإن قوى الربط تزداد؛ لذلك يعد الغضار من المواد الرابطة الجيدة في الحالة الرطبة والجافة، ولكن بالتسخين لدرجات حرارة عالية يزيل الماء المتحد كيميائياً، ويسبب فقداناً دائماً لقدرة الربط. ودرجة الحرارة التي تُحدث ذلك تختلف بحسب نوع الغضار حيث يبدأ بدرجة الحرارة (400 °C)، ويكون

الفقدان الكامل للربط عند درجة الحرارة (700 °C) وعند درجة الحرارة العالية أعلى من (700 °C) يحدث في الغضار تغيرات بنيوية ويتبلور من جديد ويشكل مركب الموليت.

إن إضافة كمية كبيرة من الغضار إلى الرمل يضعف خاصة النفوذية فيه؛ مما يجعل عملية السكب صعبة.

المواد المضافة لرمل القوالب والنوى: (Additives):

تتم إضافة مواد مناسبة خلال عملية تحضير الرمل وذلك من أجل الحصول على خواص محددة لرمال تصنيع القوالب والنوى تبعاً لاحتياجات المعدن المصهور والمسبوكة المطلوبة. ويمكن أن تكون هذه الإضافات عضوية أو لا عضوية أو ذات طبيعة مختلفة كالألياف، أو تعمل كعامل ربط، وتساعد هذه الإضافات في تحسين متانة الرمل وعجينيته وتعطي إنهاءً سطحياً جيداً للمسبوكات، أو إضافات لتحسين نفاذية الرمال، أو لتحسين مقاومته للحرارة. ومن الضروري اختيار النوع الصحيح وكذلك تحديد النسبة اللازمة للمادة المضافة من أجل الحصول على نوعية جيدة للمسبوكة. والإضافات الأكثر استخداما، هي:

1– غبار الفحم:

غبار الفحم شائع الاستخدام في قوالب الرمل الرطبة والجافة، ويضاف غبار الفحم لتسهيل عملية سحب النموذج من القالب، ومن أجل حماية سطوح القالب ضد تأثير المعدن المصهور، ويعطى إنهاءً جيداً لسطح المسبوكات، وتُحدث هذه المادة في أثناء عملية الصب طبقة رقيقة من الغاز بين سطح المسبوكة ورمل القالب، حيث يقاوم هذا الغاز تغلغل المعدن المصهور في رمل القالب وانصهار رمل السباكة، كما إن استخدام غبار الفحم يزيد من المتانة الرطبة والجافة للرمل، يجب أن يكون غبار الفحم جيد النوعية وناعماً جداً، ويجب أن يحتوي على الأقل مواد طيارة (30%)، رماد على الأكثر (20%)، رطوبة 3%، وكبريتاً (1%)، وفوسفوراً (0.2%)، والباقي كربون.

2– المادة السوداء أو زيت الوقود:

يستخدم زيت الوقود أحياناً في خلائط الرمل الطبيعي في أعمال المصبوبات الصغيرة من حديد الصب أو الفولاذ؛ وذلك من أجل الحصول على قشرة ناعمة، وهذه المادة تزيد مقاومة الرمل للحرارة وتنقص النفاذية، وله تأثير مماثل لغبار الفحم إلا أن باحتراقه تتولد غازات قوية جداً في الورشة؛ لذلك يجب أن تكون الورشة جيدة التهوية، كما أن استعمال زيت الوقود يقلل من تماسك رمال السباكة لتواجد الزيت بين حبيبات الرمل؛ ولذلك يجب أن تضاف مادة رابطة للرمال، والاستعمال المستمر للزيت الخام كمادة مضافة يؤدي إلى تلوث رمل الورشة.

3– مسحوق أكسيد الحديد:

تضاف بودرة (مسحوق) أكسيد الحديد لكل من رمال القوالب والنوى للحصول على التمدد بدرجة الحرارة العالية لتمنع تشكل الشقوق الساخنة للنوى ومقاومة تغلغل المعدن في القالب، يجب أن يكون أكسيد الحديد (Fe_2O_3) ناعماً، ويستخدم غالباً من أجل النوى للمسبوكات الحديدية، ويجب أن يحتوي على نسبة لا تقل عن (93%).

4– الدكسترين:

هي مادة صمغية تستخرج من النشاء، يستخدم الدكسترين كمادة ربط لتحسين خواص ربط الرمل، يزيد الدكسترين متانة الرمل وصلادته وقابلية تحطمه بعد عملية السباكة، ويمنع الرمل من الجفاف السريع.

خلال عملية صب المعدن يتحول الدكسترين إلى غازٍ منتجٍ فجوات بين حبيبات الرمل؛ مما يسمح بتمدد هذه الحبيبات دون تشوه. يستخدم الدكسترين غالباً في رمل النواة لإضافة متانة جافة لهذا الرمل وكمادة ربط في طلاءات القوالب والنواة.

هذه المادة متوفرة بنوعين: الأصفر والأبيض كلاهما يجب أن يكونا بشكل بودرة، ويجب أن لا تزيد نسبة الرطوبة فيهما على (10%) النوع الأصفر: يجب ألا تقل نقاوته عن (85%) والرماد (1%) كحد أعظمي، بينما النوع الأبيض يجب ألا يقل محتوى الدكسترين فيه عن (65%) ومحتوى الرماد كحد أعظمي (0.5%)، كما يستخدم النشاء كعامل مماثل للدكسترين في القوالب والنوى الرملية.

5– المولاس:

هو عبارة عن سائل لزج بني غامق يستحصل عليه منتجاً ثانوياً خلال عملية تصنيع السكر، وهو شائع الإضافة لقوالب الرمل ونوى المسبوكات الحديدية، إنه يعطي الرمل متانة عالية، ويعطي أيضاً قابلية تحطم الرمل بعد عملية السباكة، ولكن نظراً للزوجته العالية وقابليته لتبلل الرمل فهو كذلك يزيد من المتانة الرطبة للرمل.

إن تعرض المولاس لدرجة الحرارة المرتفعة يولد غاز (CO_2) ثاني أكسيد الكربون الذي يقوم بتقسية القالب، ويزيد من متانة الانضغاط بدرجة الحرارة المرتفعة، وبالإحماء الأكثر تتناقص المتانة وبذلك يصبح القالب قابلاً للتحطم، ولكن نظراً لقابليته العالية لامتصاص الرطوبة لمزيج الرمل مع مادة المولاس، فلا يفضل استخدامه للمسبوكات ذات النوعية الجيدة.

6– المواد الليفية:

تستخدم هذه المواد لتحسين قابلية التحطم بعد عملية السكب، وكما تسمح بتمدد حبيبات الرمل وتزيد من النفاذية، والمواد شائعة الاستخدام هي: نشارة الخشب الناعمة، التبن، العشب الجاف، شعر الحيوانات (الخيل أو البقر). وإن هذه المواد في تطور مستمر بنتيجة التجارب والبحوث الهندسية.

<u>مواد الفصل ومواد طلاء القالب:</u>

1– مواد الفصل:

تستخدم مواد الفصل في السباكة من أجل تسهيل فصل القوالب والنوى عن النماذج وصناديق النوى. تبعاً لطريقة القولبة، فقد تكون مواد الفصل بشكل بودرة أو سائل، ومواد الفصل شائعة الاستخدام بشكل بودرة، هي: الغرافيت، أو رمل السليكات الناعم، يجب أن يكون الغرافيت من النوع القشري الطبيعي المحتوي على كربون لا يقل عن (66%)، ومن مواد الفصل السائلة الزيت المعدني أو المحاليل السليكونية المائية التي تستخدم في حالة القوالب القشرية.

2– مواد طلاء القوالب:

تطلى عادة القوالب والنوى بطلاء مناسب وذلك للحصول على إنهاء سطح جيد للمسبوكة، حيث تشكل مادة الطلاء طبقة كتيمة على سطح القالب أو النواة، تساعد هذه الطبقة على تجنب تغلغل المعدن المنصهر في رمل القالب أو النواة، وكما تمنع التفاعل بين القالب والمعدن.

قد يكون الطلاء أحد النوعين التاليين إما بأساس مائي أو بأساس كحولي، وتستخدم مواد متعددة مقاومة للصهر لتشكيل الطلاءات، مثل: طحين السليكا أو طحين الزركون أو بودرة الغرافيت.

آ- طحين السليكا (Sio_2): يستخدم بشكل واسع كمادة طلاء وبشكل خاص في مسابك الفولاذ لمقاومته العالية للحرارة ومقاومته الجيدة لتغلغل المعدن المصهور في النوى، يجب أن يحتوي طحين السليكا على الأقل على (98%) سليكا وليس أكثر من (1%) رطوبة، ويجب ألا تكون درجة الانصهار أقل من (1700 °C).

ب- طحين الزركون: هي مادة مقاومة للانصهار بشكل كبير جداً، ويستخدم بشكل أساسي في مسابك الفولاذ، طحين الزركون ذو النوعية الجيدة لأعمال السباكة يجب أن يحتوي على الأقل 64% أكسيد الزركون (Zro_2) و (30-35%) سليكا، ودرجة الانصهار يجب ألا تقل عن 2000 °C.

ج- بودرة الغرافيت: شائعة الاستخدام لسباكة المعادن الحديدة واللاحديدية، الغرافيت مظهره فضي لماع بشكل بودرة ناعمة يجب أن يحتوي كحد أعظمي على (12-15%) رماداً ومواد طيارة بنسبة 3% كحد أقصى ورطوبة بنسبة لا تزيد على 1%.

معاجين إصلاح النوى (صمغ النوى):

من الضروري أحياناً في السباكة أن تجمع بالمعاجين نوى عدة بعضها إلى بعض قبل وضعهم في القالب، وغالباً ما تحتاج النوى لإصلاح عيوبها مثل المسامية، الشقوق...إلخ، ويجب اختيار نوع المعجونة المناسبة للتجميع بحيث لا يؤدي إلى عيوب في المسبوكة، ويجب أن تتصلب المعجونة في كتلة قاسية مقاومة للانصهار، وذلك عند تجفيفها وبدون أن تتقشر أو تتشقق ويجب أن تقاوم جريان المعدن بدون أن تنجرف معه، ويجب أن يكون محتواها الغازي قليلاً، يُستخدم نوعان من المعاجين:

1- عجينة تتألف من الغضار المقاوم للانصهار: مثل الغضار الناري ومادة رابطة مثل البنتونيت أوالدكسترين والماء، وإن المحتوى الغازي لهذا النوع عادة يكون مرتفعاً.

2- عجينة تصنع بوساطة المزج الجيد لسليكات الصوديوم مع مواد مثل الغضار الناري، وطحين السليكا... إلخ. والمحتوى الغازي لهذا النوع قليل.

رمال النوى Core Sand:

التي تستخدم للحصول على التفاصيل الداخلية للمسبوكة ونظراً لإحاطة النوى بالكامل بالمعدن المصهور لذلك يجب أن تتوفر في رمال هذه النواة الصفات الآتية:

1- النفاذية العالية للغازات.

2- المتانة الكبيرة و المطواعية.

3- المقاومة الحرارية الكبيرة.

4- سهولة التفتت بعد عملية السباكة.

لتحقيق هذه الصفات يستخدم للنوى رمال خاصة، ومن هذه الرمال:

رمال غضارية مع نشارة الخشب الناعمة: وتركيبها مماثل لرمال قوالب الرمل الجاف، ويستخدم في هذه الرمال رمل جديد ذو نوعية جيدة؛ نظراً لتعرضها لإجهادات حرارية كبيرة، وإذا كانت النواة معقدة، فإننا نستخدم الرمال التركيبية للنوى.

رمال الزيت: رمل زيت بذر الكتان من أكثر المواد الرابطة شيوعاً في خلطات رمال النوى، ويتألف هذا الرمل من حبيبات رمل السيليس مع مادة رابطة هي زيت بذر الكتان، إلا أن متانة هذا الرمل معدومة في الحالة الرطبة، لذلك تضاف مواد تساعد على المتانة الرطبة مثل مولاس والدكسترين، وبذلك يمكن نقل النواة من صندوق النواة إلى فرن التحميص.

تتمتع نوى الزيت بعد التحميص بنفاذية جيدة للغازات ومتانة عالية وسهولة التحطم بعد عملية السكب، فمثلاً الخلطة العامة لرمل النوى الزيتية: تتألف من حبيبات رمل السيليس SiO_2 ومن (4–5%) مولاس. و(1–1.5%) زيت بذر الكتان في هذه الخلطة المولاس يعطي المتانة الرطبة وزيت بذر الكتان يعطي المتانة الجافة ودرجة حرارة التحميص هي (280–300مْ) وزمن التحميص يتراوح من (1–2) ساعة، حيث يمتص الزيت الأكسجين من الهواء فتتصلب النواة.

رمال سليكات الصوديوم (الماء الزجاجي): تطورت طريقة حديثة خاصة للقولبة ولصناعة النوى، وذلك بأقل مجهود ومهارة قليلة مع توفير بالوقت والتكلفة، لا تحتاج هذه الطريقة لتجفيف القوالب والنوى حيث تتم التقسية السريعة للسطوح بالمقارنة باستخدام الرمل الرطب والجاف.

إن استخدام سيليكات الصوديوم كمادة رابطة تمكن من إعداد القوالب والنوى بدون أي تجفيف أو تحميص في الأفران، وببعض الحالات بدون رك القالب، إن التباين بين الطرق المختلفة المستخدمة لسيليكات الصوديوم تكمن بنوعية التصلب للرمل المستخدم وذلك حسب نوعية الإضافات لهذا الرمل وطبيعة التفاعل الكيميائي الحادث المؤدي للتصلب، تستخدم هذه الطرق بشكل واسع لإنتاج حديد الصب والفولاذ وكذلك المعادن الملونة وللمسبوكات الصغيرة والكبيرة، إن النماذج المستخدمة في هذه الطبقة يمكن أن تكون من الخشب أو المعدن أو البلاستيك، وتستخدم طرق متعددة لتصلب قوالب الرمل والنوى ومنها:

طريقة غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2):

يعتمد مبدأ العمل بطريقة غاز ثاني أكسيد الكربون على أنه عندما يمر هذا الغاز عبر الرمل المحتوى على سليكات الصوديوم، يتصلب الرمل مباشرة بنتيجة تفاعل سليكات الصوديوم مع غاز CO_2، وإن متانة التصلب الحادثة تجعل الرمل لا يحتاج إلى تجفيف أو تحميص، ويمكن أن يُصب المعدن مباشرة إلى فجوة القالب، إن عملية التصلب هي نتيجة لتفاعل كيميائي يمكن تبسيطه حسب المعادلة الآتية:

$$Na_2O.\ mSiO_2+H_2O+CO_2 \rightarrow Na_2CO_3.\ mSiO_2,\ x\ H_2O$$

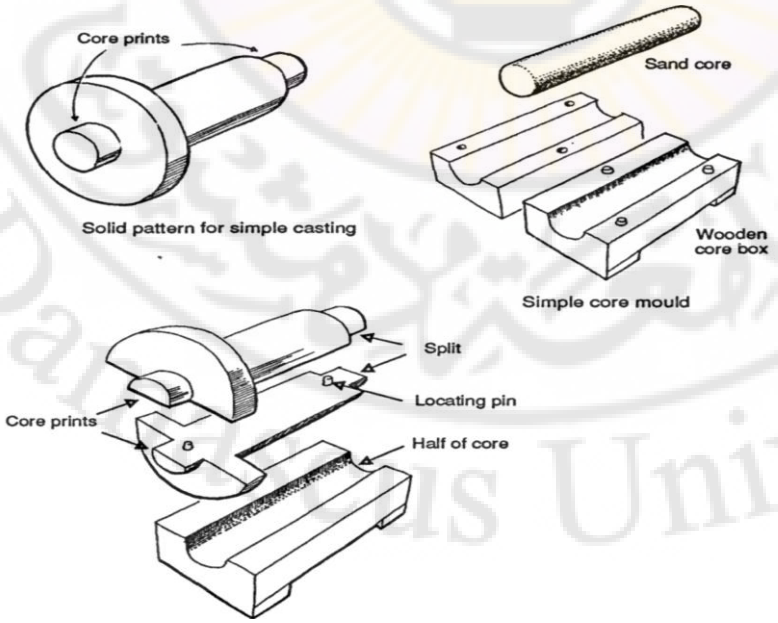
إن السليكا الناتج بالتفاعل يحتوي على الماء، وممثل بـ (SiO_2, xH_2O) والذي يطلق عليه جيلاتين السليكا ويؤدي إلى إعطاء المتانة لرمل سليكات الصوديوم، يجب أن يكون الرمل المستخدم خالياً من الغضار، وجافاً، ويتم خلط هذا الرمل مع (3–5%) سليكات الصوديوم، وتتم الإضافة المناسبة، مثل: بودرة الفحم، نشارة الخشب، الدكسترين وذلك لإعطاء الصفات المرغوبة للرمل. والعيب الأساسي لرمل سليكات الصوديوم أنه صعب التفتت

بعد عملية السباكة؛ لذلك يضاف الدكسترين ونشارة الخشب وكذلك يعد السكر من العوامل الفعالة المساعدة على تفتت رمل سليكات الصوديوم بعد عملية السباكة.

يجب تطبيق غاز CO_2 لمدة محددة من الزمن حيث يتم التفاعل بشكل سريع في المراحل الأولى للمعالجة بالغاز، ونحصل على المتانة العظمى لخليط الرمل عندما تعبر الكمية الحرجة من الغاز، وفي حالة الاستمرار بالمعالجة بالغاز أكثر، فإن متانة الربط تنخفض. كما وجد بأنه عندما يطبق الغاز بضغط منخفض ولمدة زمنية أطول، نحصل على المتانة العظمى لخليط الرمل، ويمكن تحديد حجم الغاز لهذه العملية، إذا عرفت كمية سليكات الصوديوم الموجودة بالرمل. وكقاعدة عامة، فإن لكل (1 كغ) سليكات الصوديوم نحتاج إلى (0.5–0.75 كغ) من الغاز. يتم استخدام أسطوانات غاز (CO_2) مع صمام خافض للضغط واستطاعة التبخر للأسطوانة يصل إلى (2 كغ) بالساعة. فإن الغاز يتجمد على المخرج إذا ازداد معدل سحب الغاز من الأسطوانة، فإذا احتيج إلى معدل كبير من الغاز، فيستخدم على المخرج مبخر كهربائي وتصل استطاعة التبخير إلى (75 كغ) بالساعة.

2–2–2: النماذج:

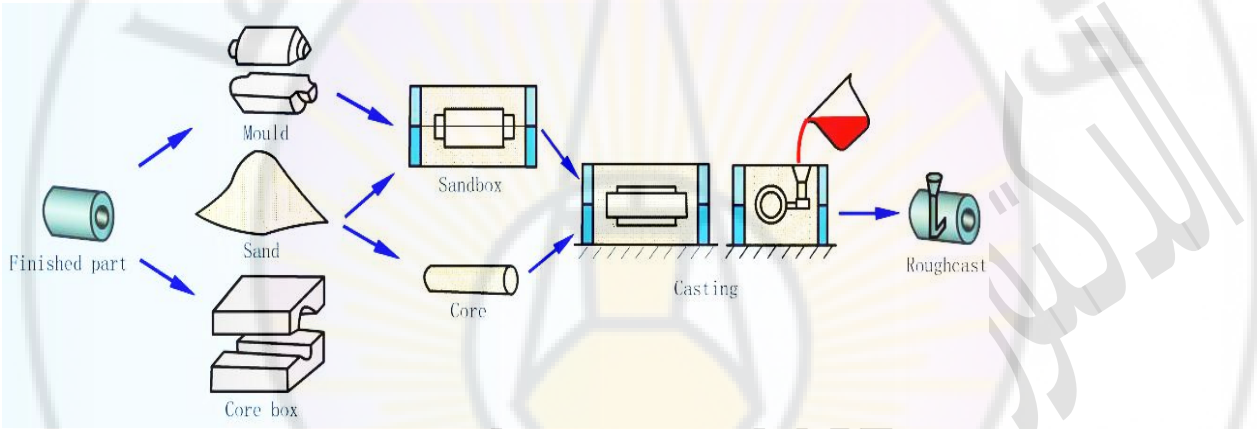
لإعداد القالب اللازم لصب المعدن نحتاج إلى نموذج يحاكي شكله الخارجي شكل المسبوكة المطلوبة، وإعداد النموذج ضروري حتى لو كان المصبوب نموذجاً واحداً. الشكل (2–1). إن الحصول على النموذج الملائم يعد الخطوة الأولى في عمل المصبوبات. تصنع النماذج في أقسام خاصة تلحق بالمسبك أو في ورش منفصلة تعرف بورشة النماذج، وتصنع النماذج من الخشب أو الجبس أو من المعدن، ويستعمل لتصنيع النماذج الخشبية: خشب الصنوبر والجوز والزان والزيزفون، ويجب أن يكون الخشب المستعمل مجففاً جيداً وألا يحتوي على أكثر من 10% رطوبة.



الشكل (2–1): شكل النموذج وعلبة النواة.

يتشكل السطح الداخلي لفجوة القالب من الشكل الخارجي للنموذج وهو نفسه الشكل الخارجي للمسبوكة. وتتكون التجاويف الداخلية للمسبوكة بوضع نواة معينة ضمن القالب، ويمكن أن تصنع النماذج من قطعة واحدة أو من قطعتين أو أكثر قابلة للانفصال، ويصنع النموذج قابل للانفصال حين يمكن سحبه من القالب بسهولة، وكثيراً ما يصنع أيضاً صندوق النواة قابلاً للانفصال لسهولة تجهيز النواة.

ويبين الشكل (2–2) المسبوكة المراد إنتاجها وصندوق النواة، والنموذج الذي يختلف عن المسبوكة بكونه مصمتاً (وليس مجوفاً) وهو مؤلف من قسمين كما يوضحه نفس الشكل، كما أن له بروزات تسمى بحمالات أو دليل النواة، تستعمل لتكوين طبعات في القالب لترتكز عليها النواة عند وضعها فيه، وتصنع سطوح النموذج الرأسية مسلوبة قليلاً لتسهيل إخراج النموذج من القالب، وتُجعل السلبية في النماذج الخشبية عادة في الحدود من (1–3) درجة.



شكل (2–2): تسلسل عملية إنتاج مسبوكة بقالب رملي

أنواع النماذج:

تستخدم المسابك أنواعاً عديدة من النماذج، وتبعاً لما يتطلبه عمل المسبوكات، وتعقيدها وحجمها. يستخدم الخشب لإنتاج أعداد قليلة من المسبوكات بينما يستخدم المعدن عند الإنتاج الكمي. يمكن تقسيم النماذج إلى الأنواع الآتية:

1– النماذج المنفصلة: Loose Pattern

نسخة مماثلة بالشكل للمسبوكة المراد إنتاجها. وللنموذج المنفصل أنواعٌ متعددة، وهي:

آ – النموذج المفرد Single Pattern:

يصنع عادة من قطعة واحدة، قليل التكلفة، يصنع بشكل عام من الخشب ويفيد بالإنتاج المحدود، يماثل المسبوكة المراد إنتاجها مع تزويده بالتسامحات المطلوبة وطابعات النواة.

أبسط أنواعه النماذج ذات الخلفية المستوية التي تشكل مستوي الفصل،وفي حال الخلفية غير مستوية يتطلب استخدام اللوح التابع Follow Board، تصنع قنوات نظام الصب ضمن القالب بواسطة قطع الرمل يدوياً.

ب– النموذج المجزأ Split pattern:

يستخدم عندما تكون المسبوكة ذات تصميم معقد أو يحتاج لها بكميات كبيرة، يكون النموذج مجزأ عند سطح الفصل الذي يحدد موضعه بحسب شكل المسبوكة، يتم قولبة نصف النموذج بالريزك السفلي، و يتوضع النصف الآخر للنموذج بالريزك العلوي. ويتم قطع قنوات نظام الصب ضمن رمل القالب يدوياً.

ت- النموذج متعدد الأجزاء Multiple piece pattern:

يستخدم النموذج المتعدد الأجزاء ذو القطع المتحركة أو طابعات النواة المتحركة إذا لم نستطع تحقيق المسبوكة بالنموذج ذي القطعة الواحدة أو النموذج المجزأ.

2- النموذج ذو الأقنية (المصب) Gated Pattern:

هذا النموذج تطور للنموذج السابق، يزيد من الإنتاجية، وذلك للاستغناء عن القطع اليدوي لأقنية نظام الصب، حيث يشكل نظام أقنية صب المعدن جزءاً من النموذج.

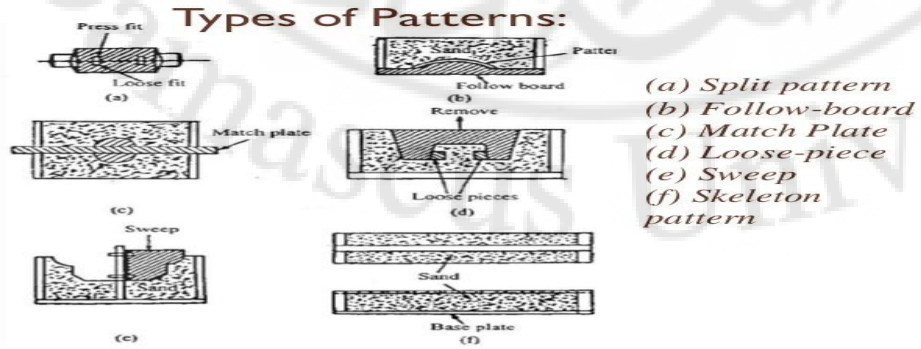
3- نماذج الألواح Match-Plate Pattern:

يستخدم نماذج الألواح من أجل الإنتاج الكمي للمسبوكات الصغيرة، وذلك باستخدام آلات القولبة حيث تثبت أجزاء النموذج للريزك العلوي والريزك السفلي مع نظام الجريان إما على جانبي اللوح الخشبي أو المعدني أو على ألواح منفصلة. يصنع النموذج من الخشب أو المعدن أو راتنج الإيبوكسي Epoxy-Resin حيث يجب أن تتوفر بالنماذج خاصية المقاومة الكبيرة تُستخدم أثناء القولبة قوى ضغط كبيرة وارتجاج كبير. يجب في هذه النماذج تأمين التطابق التام لكلا نصفي القالب، ليتحقق التسامت الدقيق لنصفي القالب حيث إن النماذج التي تشكل فجوة الريزك العلوي مثبتة على وجه اللوح والنماذج التي تشكل فجوة الريزك السفلي مثبتة على الوجه الآخر للوح أو على لوح آخر.

صناعة مثل هذه النماذج أمر معقد يحتاج لدقة وخبرة، يمكننا تجنب تعقيد تصنيع ألواح النماذج باستخدام طريقة مطورة حديثاً وهي القولبة بالجبس حيث نسكب النماذج مع لوحها قطعة واحدة بشكل كامل.

4- نماذج خاصة Special Pattern:

تستخدم نماذج خاصة، مثل: النوع الكاشط sweep pattern، النموذج الموديل أو النموذج الهيكلي skeleton Pattern وذلك عندما يكون تصنيع النموذج المصمت باهظ الثمن، ويسمح شكل المسبوكة باستخدام هذا النوع من النماذج ، وبشكل عام تحضر المسبوكات كبيرة الحجم ذات الشكل المتناظر باستخدام النموذج الكاشط (الموديل)، مثل: الإطارات والعجلات والأجراس والقبب. يبين الشكل (2–3) بعضاً من هذه الأنواع للنماذج.



الشكل (2–2): بعض من أشكال نماذج السباكة.

5– النماذج المعدنية: Metallic Pattern

تستعمل النماذج المعدنية على نطاق واسع في الإنتاج المسبكي الحديث، وتمتاز هذه النماذج عن النماذج الخشبية كونها أكثر دقة وأطول عمراً وذات سطح أكثر نعومة، وتركب النماذج المعدنية عادة على لوحة معدنية.

وتركب اللوحة وأجزاء النموذج المركبة عليها تركيباً متيناً بلوحة النموذج، ويمكن أن تكون لوحات النماذج بجهة واحدة عندما تثبت أجزاء النموذج العلوية فقط أو السفلية فقط على ناحية واحدة من اللوحة، أو بجهتين عندما تثبت أجزاء النموذج بالتماثل بالنسبة لسطح الانفصال على ناحيتي اللوحة، أو عكسية عندما يثبت نصفا النموذج على ناحية واحدة من اللوحة بحيث يمكن أن يكمل كلّ منهما الآخر عند إدارتهما 180°، كما تثبت على لوحة النموذج نماذج مجمعات الخبث وقنوات التغذية وقواعد المصبات.

تصنع النماذج المعدنية من حديد الزهر (الصب) الأبيض أو الرمادي أو من النحاس الأصفر أو من الألمنيوم وسبائكه، فالنحاس الأصفر صقيل ومقاوم للعوامل الطبيعية، لذا تكون نماذج النحاس الأصفر مقاومة عند تعرضها لرطوبة رمل المسبك، وقد اتسع استخدام الألمنيوم وسبائكه في صنع النماذج المعدنية في ميادين المسبوكات جميعها؛ وذلك لخفة الوزن، وجودة الصفات الميكانيكية، والمقاومة الجيدة للتآكل.

تمييز الأجزاء المختلفة للنماذج:

لتلافي الكثير من الأخطاء عند العمل في القوالب تميز الأجزاء المختلفة للنماذج وبعض خصائصها بطليها بالألوان المناسبة، والألوان المتعارف عليها من قبل العاملين في إنتاج النماذج والمسبوكات، هي:

- اللون الأسود: سطوح المسبوكات التي تترك دون تشغيل.
- اللون الأحمر: سطوح المسبوكات التي سوف يجري تشغيلها.
- اللون الأصفر: لطابعات (ركائز) النواة.
- خطوط حمراء على أرضية صفراء: سطوح أجزاء النماذج السائبة.
- خطوط سوداء على أرضية صفراء: لأجزاء تقوية النموذج.

تدهن النماذج الخشبية بعد إنجازها بطبقة من الورنيش أو الدهانات الأخرى، والغرض من هذا الطلاء هو حماية النموذج من الرطوبة وصقل سطوحه من ثمَّ تسهيل سحبه من رمل القالب.

2–2–3: التسامحات والاعتبارات التكنولوجية في تصنيع النماذج: Allowances & other technological considerations in pattern making

لا يكون عادة المصبوب متطابقاً في أبعاده مع النموذج المستخدم في تصنيعه، ولإنتاج مسبوكة ذات مواصفات محددة يجب أن يؤخذ بالحسبان في أثناء تصنيع النموذج تسامحات معينة، أهمها:

1– تسامح التقلص: Shrinkage Allowance

تتقلص المعادن كلها بعد تجمدها؛ وبالتالي يصبح أبعاد المسبوكة المنتجة أصغر من أبعاد فجوة النموذج في القالب الرملي، وللحصول على الأبعاد المطلوبة يجب أن تكون أبعاد النموذج المستخدم في تشكيل الفجوة أكبر من أبعاد المنتج المطلوب بما يعادل مقدار التقلص.

تستعمل في صناعة النموذج مساطر خاصة تسمى مساطر التقلص حيث تدريجها مكبر بنسبة معينة مكافئة لمقدار التقلص، أي مثلاً زيادة 1% تعني كل 100 سم فيها زيادة 1 سم، ويبين الجدول الآتي معدلات التقلص لأهم المعادن المستخدمة في السباكة.

في الحياة العملية تحسب قيمة التقلص للمسبوكات بنسبة مئوية من أبعاد المسبوكة، فمثلاً تقدر نسبة التقلص الطولي لحديد الصب الرمادي بحدود 1%، ولحديد الصب المرن من 1% حتى 1.5%، ولسبائك الفولاذ من 1.5% حتى 2%، وسبائك النحاس البرونز من 1.25% حتى 1.5%، وسبائك الألمنيوم من 1 حتى 1.5%.

وتستخدم عند صناعة النماذج مساطر خاصة للتقلص تسمى مساطر التقلص تأخذ بالحسبان مقدار التقلص.

وتضع هذه المساطر عادة للتقلصات: 1%، 1.25%، 1.5%، 1.75%، 2% .. إلخ.

مسطرة الانكماش أو التقلص: هي التي يستخدمها صانع النماذج وهي عبارة عن مقياس خاص يُغني عن العمليات الحسابية اللازمة لإيجاد مقدار التسامح في بعد معين، فمثلاً في مسطرة الانكماش ذات 8/1 بوصة يزيد طول كل قدم على الطول الحقيقي بمقدار (8/1) بوصة. وكل قسم يزيد طوله بالنسبة نفسها على الطول الحقيقي المناظر له.

في بعض الأحيان قبل صناعة النموذج المعدني يلزم صناعة نموذج خشبي له، ويلاحظ عند صناعة النموذج الخشبي إضافة مقدار الانكماش في كل من النموذج المعدني ومعدن المسبوكة المطلوبة، كما هو الحال عند استعمال النماذج الأساسية.

فمثلاً لنموذج الألمنيوم المصنوع من نموذج أساسي من الخشب يحتاج إلى تسامح كلي في أبعاد النموذج الخشبي مقداره 4/1″ بوصة لكل قدم إذا كان المعدن المطلوب سبكة (صبة) هو حديد الزهر الرمادي، وفي هذه الحالة يشمل التسامح الكلي في أبعاد النموذج الأساسي المصنوع من الخشب: مقدار تقلص النموذج المصنوع من الألمنيوم وكذلك أيضاً مقدار تقلص مصبوب حديد الزهر الرمادي.

تعتمد قيمة التقلص الحادثة على عدد من العوامل وهي: تركيب المعدن المصبوب والشوائب الموجودة ضمن هذا المعدن، وتصميم قالب السباكة والمادة المصنوع منها هذا القالب وطريقة القولبة المستخدمة، ودرجة حرارة صب المعدن، وتصميم المسبوكة من حيث تعقيد شكل هذه المسبوكة وكتلتها ومقاسها.

2- تسامح التشغيل (إضافات التشغيل): Machining allowance:

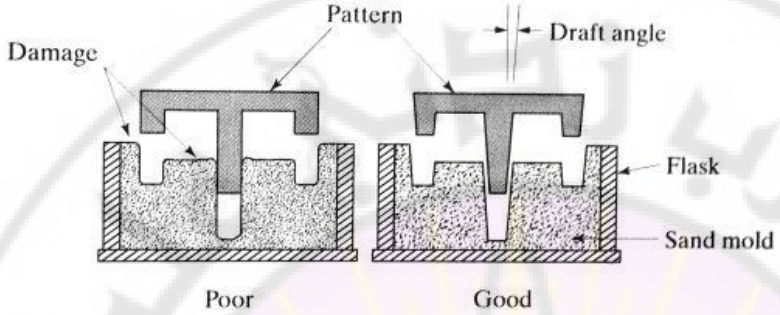
هو مقدار الإضافة على أبعاد المصبوب انتظاراً لعمليات التشغيل اللاحقة على آلات التشغيل حيث تعتمد هذه الإضافات على أبعاد المسبوكة ونوع الإنتاج فردياً أم كمياً، وعلى نوع المعدن المصنوعة منه المسبوكة وعلى درجة تعقيد شكل المسبوك وعلى وضع المسبوكة في القالب (حيث يحتاج السطح العلوي للمسبوك لإضافات أكبر بسبب وجود الخبث أو الرمل الذي يطفو على سطح السائل).

3- ميل النموذج: Draft or Taper Allowance

هو الميل الذي يسمح به في السطوح الرأسية للنموذج من أجل سهولة سحبه من الرمل دون الإضرار بسطوح فجوة القالب، والميل المعتاد للسطوح الرأسية في النماذج يساوي 16/1 بوصة لكل قدم (بحدود 1.58 مم لكل 300 مم).

أما النماذج التي ترفع ميكانيكياً، فتحتاج إلى ميل قدره درجة بشرط أن تكون السطوح نظيفة، وفي حال وجود فجوات عميقة يجب أن يكون الميل أكبر؛ تجنباً للأخطاء التي قد تنجم، وتصنع النماذج المعدنية بميل (بسلبية) (0.5–1˚) درجة.

تعتمد قيم السلبية على العوامل الآتية: ارتفاع الجدران الشاقولية للنموذج المستخدم، وتعقيد النموذج، وطريقة القولبة المستخدمة، ومادة النموذج المستخدمة.



4– التفاوت (تفاوت المقاس): Measurements Tolerance

هو الاختلاف الذي يُسمح به في أبعاد مصبوب معين، وهو يساوي الفرق بين النهاية الصغرى والكبرى للقياس التي تحتاج إلى أقل تفاوت ممكن، وكقاعدة عامة يجب أن يكون التفاوت مساوياً على الأقل لنصف التسامح الخاص بالانكماش.

4– تسامح طرق النموذج Rapping Shake Allowance:

يطرق النموذج عند تصنيع القالب الرملي من أجل تسهيل سحبه من رمل القالب، ونتيجة هذا الطرق تصبح فجوة القالب أكبر قليلاً من النموذج المستخدم، يجب أن يؤخذ هذا التسامح بالحسبان خاصة عند تصنيع المسبوكات الكبيرة وإنتاجها، أو عندما يراد الحصول على مسبوكات دقيقة الأبعاد.

5– التجاوز المسموح به الخاص بالتشوه: Distortion Allowance

تتشوه المسبوكات من خلال عملية تبريد المسبوكة؛ بسبب الإجهادات الداخلية بهذه المسبوكات، وتنشأ الإجهادات الداخلية؛ بسبب معدلات التبريد غير المتساوية في المقاطع المختلفة للمسبوكة، يمكن أخذ احتياطات معينة من أجل منع تشوه شكل المسبوكات وتتضمن هذه الاحتياطات الآتي: تعديل تصميم المسبوكة بحيث نتجنب التغيرات المفاجئة بمقاطع المسبوكة وتجنب تركز الحرارة، وتحسين طريقة السباكة وتقليل انفعال المسبوكة، وذلك باختيار المعدن الذي يعطي قيمة أصغرية للتقلص والتحكم بدرجة حرارة الصب مع استخدام المبردات؛ لتحقيق معدلات تبريد متجانسة، وإعطاء تسامح تشغيل كاف بحيث يمكن إزالة تأثير تشوه الشكل، وتقويم التحدب (التشوه) للمسبوكات المرنة وذلك بواسطة الضغط، يستخدم الضغط على البارد للمسبوكات الصغيرة ومتوسطة الأبعاد، والضغط على الساخن بحرارة (100-500 °C) وذلك للمسبوكات الكبيرة، وإعطاء النموذج تسامحاً مناسباً يسمى تسامح التحدب أو التشوه (انحراف معاكس للتشوه الحادث في المسبوكة المنتجة)، وتحديد قيمة التشوه مسألة صعبة تعتمد على عدد من العوامل المتغيرة لذلك تعتمد على التجربة.

6– ركائز النوى: Core Stand

تضاف بروزات أو نتوءات إلى النموذج، والغرض منها تشكيل تجاويف أو فراغات معينة تستخدم لتثبيت القلوب داخل الفراغ في القالب الرملي ويجب ملاحظة ان هذه القلوب تستخدم للمسبوكات المجوفة وتقوم بتشكيل الفراغ الذي يشبه شكل التجويف الموجود في المسبوك المراد سباكته.

7- دوران الاركان: Rounded Sides

يجب مراعاة تجنب إنتاج نماذج بأركان حادة؛ لأن ذلك يؤدي إلى انهيار الرمل عند رفع النموذج.

8- سطح الاتصال: Parting Line

عند تصنيع النموذج المكون من جزءين يراعى اختيار سطح الاتصال بحيث يمكن تجميع كلا الجزءين مع بعضهما بسهولة.

2-2-4: النوى Cores

تصنع نماذج المشغولات البسيطة من قطعة واحدة (أسطوانة مصمتة) ولكن كثيراً ما تكون المشغولات معقدة تشتمل على فجوات وقنوات وثقوب، فيصعب تشكيلها من قطعة واحدة؛ لذا يلزم تثبيت نوى في موضع هذه الفجوات داخل القالب وتركها لتنتهي عملية الصب، مثل ذلك صب كتلة الأسطوانات في محركات الاحتراق الداخلي المحتوية على قنوات ماء التبريد، وبذلك يمكننا تعريف النواة بالآتي: النواة هي كتلة سابقة التشكيل من الرمل توضع داخل فراغ القالب الرملي للمساعدة في تشكيل المسبوك بحيث يحتوي فراغاً داخلياً مطلوباً. تقسم النوى بحسب وضعها إلى: نواة أفقية، نواة رأسية، نواة ناتئة.

صندوق النواة Core Boxes

يمكن أن يصنع صندوق النواة إما من الخشب أو المعدن، إن صندوق النواة الخشبي أكثر شيوعاً؛ بسبب سهولة تشكيله ولصقه ووصل قطعه بعضها مع بعض، ورخص الخشب. بينما يفضل صندوق النواة المعدني عندما يراد الإنتاج الكمي للنوى (تستخدم نوى من الحديد، والفولاذ، والنحاس الأصفر، والبرونز، وخلائط الألمنيوم).

يجب أن يكون تجويف صندوق النواة مضبوط الأبعاد ومماثلاً للنواة المطلوبة، كما يجب أن يحتوي على حمالة نواة موافقة لطابعة النواة بحيث لا يكون هناك صعوبة بوضعها في مكانها.

أنواع صناديق النوى هي:

الصندوق النصفي للنواة: يستخدم الصندوق النصفي للنواة عندما يسمح شكل النواة بتحضيرها من نصفين متماثلين حيث يصنع النصف تلو الآخر وبعد أن يجف القسمان يلصقان مع بعض.

صندوق النواة الكامل المفتوح: يعطي نواة كاملة لا تحتاج لأي لصق.

صندوق النواة المجزأ: مؤلف من قطعتين أو أكثر.

صندوق النواة القاشط: عند إنتاج النواة ذات السطح غير المنتظم يمكن استخدام صندوق النواة القاشط وهو مماثل لصندوق النواة المفتوح، إلا أنه يتم تصنيع السطح غير المنتظم بواسط قشط رمل النواة بقطعة من الخشب تدعى لوح القشط التي تماثل محيط السطح غير المنتظم، يقلل استخدام صندوق النواة القاشط من كلفة صنع النواة.

صندوق النواة ذو القطع السائبة: عندما يكون جزءا النواة غير متماثلين يمكن أن تحضر النواة في صندوق نواة مفرد، وذلك بمساعدة القطع المتحركة، وتصنع النواة في فراغها المناسب بواسطة القطع السائبة.

2-2-4: تشكيل قالب الصب الرملي وطرائق تثبيت النواة داخل فجوة القالب:

عملية السباكة الرملية تنقسم إلى أربع خطوات رئيسة، هي:

1- تصميم النموذج وصناعته وحساب التسامحات المختلفة كما مر معنا سابقاً.

2- إعداد القالب وتشكيله:

وتشمل اختيار الرمل أو مزيج الرمل وإعدادها لصناعة القالب الرملي، وذلك بعد عمل الاختبارات اللازمة لمعرفة صلاحيتها، ومن أنواع رمل السباكة حسب الاستخدام:

رمل السليكا: وهو عبارة عن رمل طبيعي يحوي كمية قليلة من الطين الذي يربط حبيبات الرمل مع بعضها، وهذا النوع من الرمل يقاوم درجات الحرارة العالية، ويتوفر بحجوم حبيبات مختلفة، وتكاليفه منخفضة نسبياً.

الرمل الصناعي: ويتكون من رمل السليكا مضافة إليه مادة رابطة بمقدار حوالي % 4 ، ومن عيوب هذا النوع من الرمل أنه يسبب المسامية الغازية في المسبوكات.

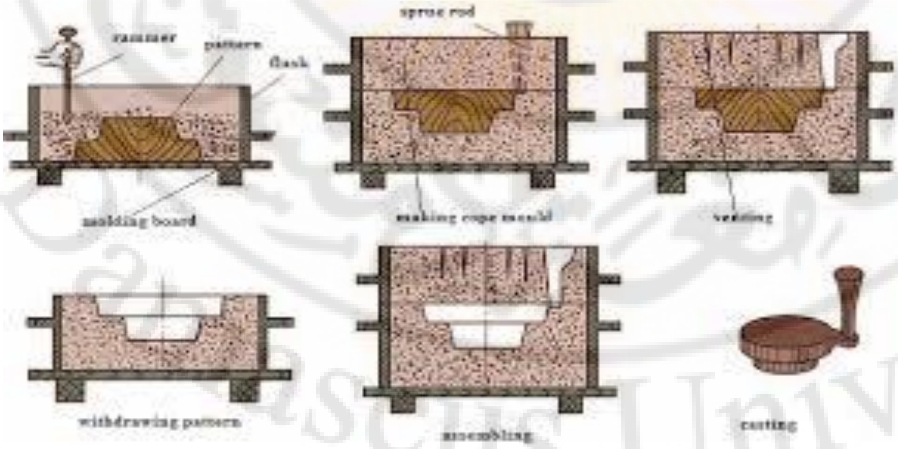
الرمل الأسمنتي: وهو خليط من الرمل الطبيعي والأسمنت والماء، ويمتاز بصلادته ومقاومته العاليتين، ويستخدم عادةً لسباكة المسبوكات الثقيلة نوعاً ما.

وتعتمد جودة المسبوك إلى حد بعيد على مواصفات الرمل المستخدم؛ لذلك من الضروري إجراء بعض الاختبارات على الرمل قبل استخدامه، مثل (اختبار الخشونة، واختبار المقاومة، واختبار الصلادة، واختبار النفاذية، واختبار الرطوبة، واختبار التقلص، واختبار التمدد، واختبار الانهيار) وغيرها من الاختبارات الضرورية لرمل السباكة.

خطوات تشكيل القالب الرملي للمسبوك:

<u>السباكة الرملية بنموذج من قطعة واحدة:</u>

إذا كانت المسبوكة المراد إنتاجها بسيطة لا يختلف النموذج عن القطعة المطلوب سباكتها. لنستعرض بالرسم فقط القطعة الميكانيكية المراد إنتاجها و تسلسل مراحل عمليات الإنتاج للمسبوكة في قالب رملي.

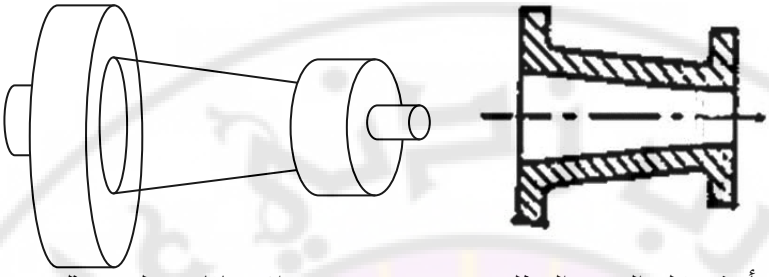


السباكة بنموذج من قطعتين أو أكثر :

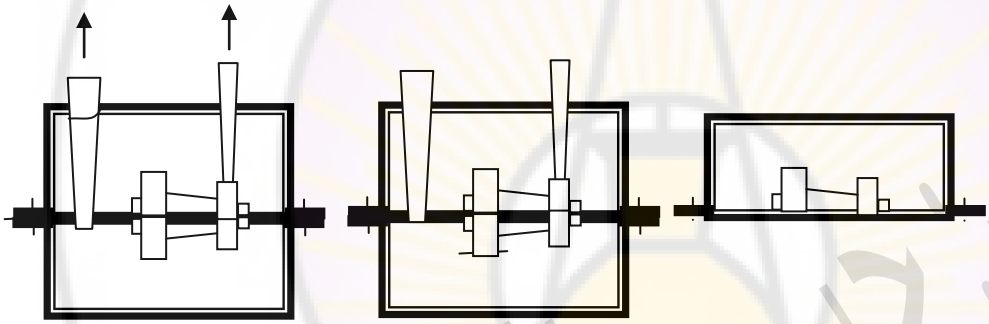
يراد إنتاج المسبوكة المبينة بالشكل. والمطلوب:

a– تصميم النموذج الخشبي المستخدم في تشكيل القالب الرملي (بالرسم فقط).

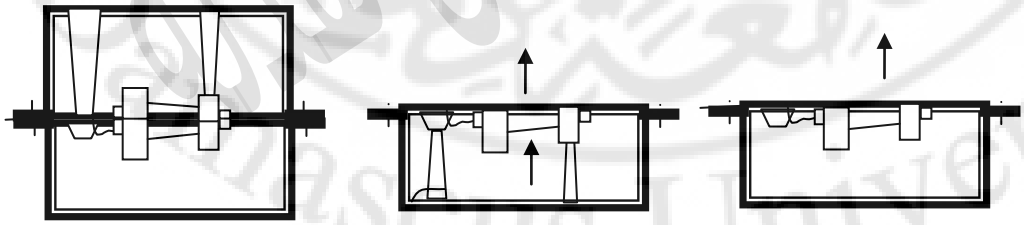
b– ارسم مراحل تشكيل القالب الرملي المستخدم لإنتاج المسبوكة مع تسمية كل مرحلة.



نقوم بتحضير نموذج خشبي يأخذ شكل المنتج المطلوب مع وجود بعض الإضافات عليه، مثل: حمالات للنوى، وتسامحات الانكماش، وتسامحات التشغيل الميكانيكي و...، بحيث يأخذ الشكل التالي، وهو مؤلف من جزءين؛ لنتمكن من إعداده بالقالب الرملي:



- نقوم بتحضير النصف السفلي للنموذج (رقم1)، وذلك بوضع السطح المستوي منه على سطح الطاولة، ومن ثم قلب الريزك (الجزء السفلي من الريزك) بزاوية 180°، ووضعه كما بالشكل وبعدها نرش فوق القطعة (1) رمالاً ناعمة أو هباب الفحم؛ ليعطي سطحاً أملس ناعماً لتجويف القالب وبعدها الإملاء بالرمل الناعم مع الدك (طبعاً بعد إعداد الرمال جيداً، وإضافة نسبة (5–8)% ماء إليها لإعطائها تماسكاً جيداً بين حبيبات الرمل.



- نقوم بقلب النصف السفلي للقالب، ليركب عليه النصف العلوي للقالب (الريزك العلوي). ووضع ضمنه النموذج (رقم2) والمصاعد وقناة الصب الرئيسة التي من خلال فتحتها يتم إملاء فجوة القالب بالمعدن المنصهر وهي تأخذ شكلاً مخروطياً لتفادي حصول اضطراب بالمعدن المنصهر في أثناء دخوله. أما المصاعد أو الصواعد

Risers فمهمتهم هي تأمين منفث للغازات الناتجة عن المعدن المنصهر وتعد كخزان تعوض النقص بالمعدن في أثناء تجمده نتيجة الانكماش؛ وبالتالي فهي آخر نقطة يبقى المعدن فيها بحالة سيولة بعد امتلاء القالب.

- نعمل قمع الصب ثم نرفع المصاعد وقناة الصب الرئيسة.
- نقوم بفصل جزئي القالب ووضعهما على الطاولة – كما هو موضح بالشكل– ونقوم برفع جزئي النموذج الخشبي منهما وبالتالي تتشكل لدينا فجوة القالب. ونضع النواة في مكانها داخل النصف السفلي للقالب.
- تركيب النصف العلوي للقالب على النصف السفلي (قفل القالب) ونضع أوزاناً عند صب القطع الكبيرة لمقاومة قوة رفع المعدن.
- صب المعدن المصهور ضمن القالب، والانتظار حتى يتجمد المعدن ثم نقوم بتكسير القالب الرملي ورفع المسكوبة.
- تهذيب وتنظيف وعمليات تشغيلية لاحقة للمسبوكة بهدف الحصول على المنتج النهائي.

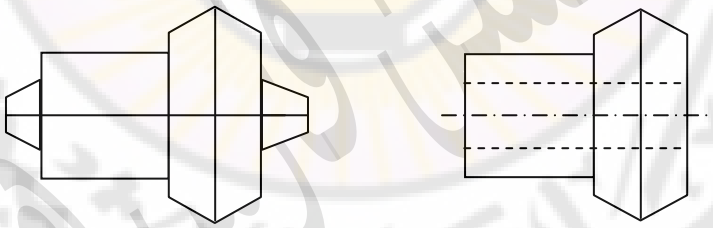
يراد إنتاج المسبوكة الدورانية المبينة بالشكل والمطلوب:

a– تصميم النموذج الخشبي المستخدم في تشكيل القالب الرملي (بالرسم فقط).

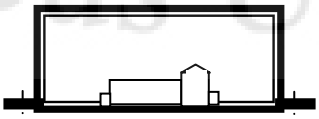
b– ارسم مراحل تشكيل القالب الرملي المستخدم لإنتاج المسبوكة مع تسمية كل مرحلة.

الحل:

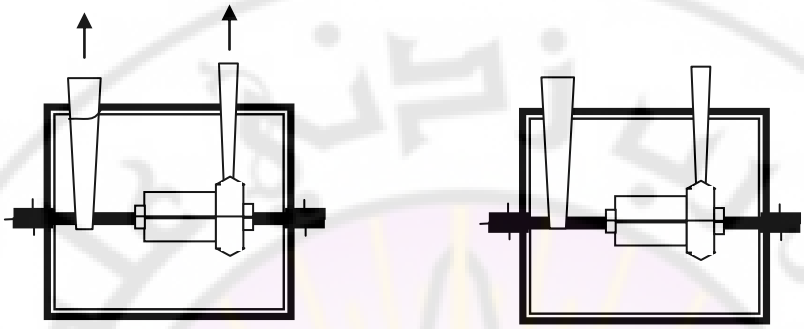
1– نقوم بتحضير نموذج خشبي يأخذ شكل المنتج المطلوب مع وجود بعض الإضافات عليه مثل حمالات للنوى وتسامحات الانكماش وتسامحات التشغيل الميكانيكي و...، بحيث يأخذ الشكل التالي وهو مؤلف من جزأين لنتمكن من إعداده بالقالب الرملي.



2– نقوم بتحضير النصف السفلي للنموذج (رقم1) وذلك بوضع السطح المستوي منه على سطح الطاولة ومن ثم قلب الريزك (الجزء السفلي من الريزك) بزاوية 180° ووضعه كما بالشكل وبعدها نرش فوق القطعة (1) رمال ناعمة أو هباب الفحم ليعطي سطح أملس ناعم لتجويف القالب وبعدها الإملاء بالرمل الناعم مع الدك (طبعاً بعد إعداد الرمال جيداً وإضافة نسبة (5–8)% ماء إليها لإعطائها تماسكاً جيداً بين حبيبات الرمل

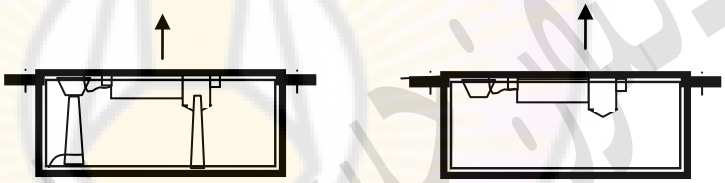


3- نقوم بقلب النصف السفلي للقالب ليركب عليه النصف العلوي للقالب (الريزك العلوي). ووضع ضمنه النموذج (رقم2) والمصاعد وقناة الصب الرئيسية التي من خلال فتحتها يتم إملاء فجوة القالب بالمعدن المنصهر وهي تأخذ شكل مخروطي لتفادي حصول اضطراب بالمعدن المنصهر إثناء دخوله.أما المصاعد أو الصواعد Risers فمهمتهم هي تأمين منفث للغازات الناتجة عن المعدن المنصهر وتعد كخزان تعوض النقص بالمعدن أثناء تجمده نتيجة الانكماش وبالتالي فهي آخر نقطة يبقى المعدن فيها بحالة سيولة بعد امتلاء القالب.

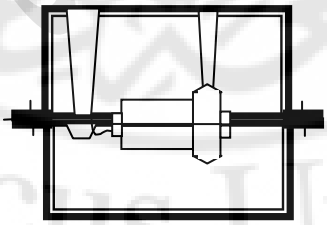


4- نعمل قمع الصب ثم نرفع المصاعد وقناة الصب الرئيسية

5- نقوم بفصل جزأي القالب ووضعهم على الطاولة – كما هو موضح بالشكل- ونقوم برفع جزأي النموذج الخشبي منهم وبالتالي تتشكل لدينا فجوة القالب. ونضع النواة في مكانها داخل النصف السفلي للقالب.



6- تركيب النصف العلوي للقالب على النصف السفلي (فقل القالب) ونضع أوزان عند صب القطع الكبيرة لمقاومة قوة رفع المعدن. نصب المعدن المصهور ضمن فجوة القالب وننتظر حتى يتجمد المعدن ثم نقوم بتكسير القالب الرملي ورفع المسكوبة الت تحتاج بدورها لعمليات تهذيب وتنظيف وعمليات تشغيلية لاحقة للحصول على المنتج النهائي



2- عيوب المسبوكات (أسبابها، طرق معالجتها):

أ- التزحف او الانحراف: وهو عدم التطابق بين نصفي المسبوك أو بين نصفي صندوق القالب.

ب- الانتفاخ: وهو اتساع فراغ القالب بسبب الغازات والأبخرة؛ وذلك بسبب عدم دك الرمل جيداً أو صب المعدن بصورة سريعة، مع ملاحظة أن الدك الشديد للرمل يسبب انخفاضاً في قابلية القالب على تسريب الغازات.

ج- فجوات الانكماش أو عدم اكتمال الجزء المسبوك: وهو الفراغ الناتج عن تقلص المعدن خلال التجمد ويتم التخلص منها بواسطة التصميم الجيد لفتحة التغذية من حيث الحجم والموضع بالنسبة للقالب. أما بالنسبة للمسبوكات الثقيلة، فيتم إنتاج أكثر من فتحة للصب وذلك على حسب النموذج، وذلك للتخلص من فجوات الانكماش.

د- الفجوات الغازية وتتكون للأسباب الآتية:

1- الرطوبة العالية والدك المفرط تتسبب في انخفاض قابلية النفاذ.

2- ارتفاع كمية الغازات المذابة في المعدن المنصهر التي تتحرر في أثناء التجمد مسببة الفجوات الغازية.

3- عدم توفر التنفيس الجيد للقالب الرملي وهي عبارة عن قنوات دقيقة نسبياً يزود بها القالب الرملي لغرض تسريب الغازات.

4- السطح الخشن: وذلك بسبب استعمال الرمل الخشن الحبيبات أو الدك الخفيف جداً للرمل.

3- الكشف على المسبوكات: ويتم بطريقتين، وهما:

آ- الكشف الإتلافي: ويتضمن اختبار الخواص الميكانيكية، مثل: (مقاومة الشد والضغط، الصلادة، المطيلية) وما شابهها.

ب- الكشف غير الإتلافي: ويتضمن الكشف عن عيوب معينة، مثل: الفجوات الغازية، وفجوات الانكماش. ومن طرق الكشف عنها:

- الفحص البصري.
- الكشف بالأشعة السينية.
- الكشف بالجسيمات المغناطيسية.
- الكشف بالموجات فوق الصوتية.
- الكشف بالسوائل النافذة.
- الكشف بالتيارات الدوامة.

3- آلات تشكيل القوالب الرملية والنوى

Forming Machines of Sand Molds and Cores

تمتاز القوالب المصنعة باستخدام الآلات بما يأتي:

1- توفير كبير بزمن القوالبة، وخاصة عندما يراد إنتاج عدد ضخم من المسبوكات صغيرة الحجم والمتماثلة.

2- عندما يكون عدد المسبوكات المراد إنتاجها كبيراً، فهذا يعوض التكلفة الإضافية للقولبة الآلية مثل النماذج المعدنية والتجهيزات الأخرى.

3- المسبوكات المنتجة بالقولبة الآلية أكثر انتظاماً في الحجم، وأكثر دقة من المسبوكات المنتجة بالقولبة اليدوية.

4- لا تحتاج القولبة الآلية لعمال ماهرين كما بالقولبة اليدوية.

3-1: تصنيف آلات صناعة القوالب:

تقسم آلات تشكيل القوالب باستخدام الطاقة بحسب طريقة رك الرمال إلى الأنواع الآتية:

1- الآلات الضاغطة (آلات ضاغطة سفلية- وآلات ضاغطة علوية)

2- الآلات الهزازة.

3- الآلات الهزازة الضاغطة.

4- الآلات القاذفة للرمل.

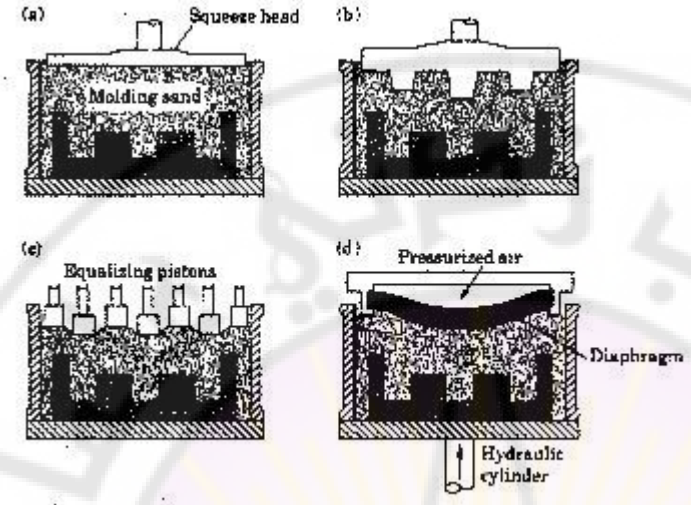
سنستعرض باختصار كلاً منها:

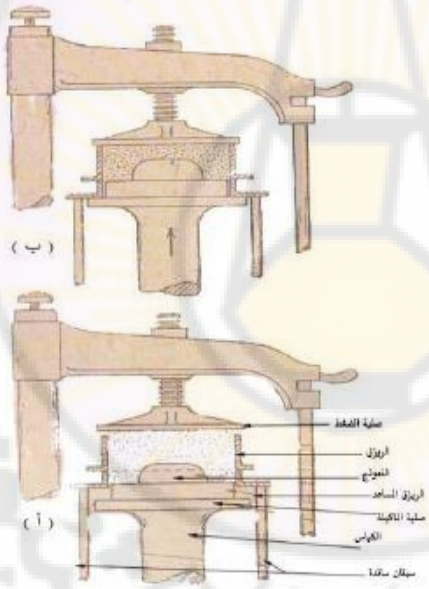
1- **الآلات الضاغطة**: تتلخص طريقة عملها بكبس الرمل ضمن الريزك، الشكل (3-2) وتصنف إلى:

آ- الآلات الضاغطة العلوية: تبلغ درجة الانضغاط في هذا النوع من الآلات القيمة القصوى أسفل رأس الكبس مباشرة؛ وتتناقص درجة الانضغاط بالابتعاد عن رأس المكبس؛ وبالتالي تتفاوت كثافة رمل القالب بالابتعاد عن السطح العلوي للريزك والاقتراب من النموذج. تستخدم لتشكيل قوالب النماذج الصغيرة والريازك قليلة الارتفاع. هذا النوع غير مرغوب فيه لقلة النفاذية الناتجة عن الكثافة العالية عند قمة القالب.

ب- الآلات الضاغطة السفلية: يجب أن يكون شوط الطاولة مساوياً تماماً لارتفاع h بحيث ينطبق السطح العلوي للنموذج عند انتهاء الكبس على سطح الفصل للريزك. نتائج الكبس أفضل من الآلات الضاغطة العلوية؛ لأن كثافة الرمل حول النموذج جيدة، لذلك تستعمل هذه الطريقة للنماذج الكبيرة وذات الشكل المعقد.

من أهم عيوب الآلات الضاغطة بشكل عام هو أن كثافة الرمل بعد الضغط تعتمد على شكل النموذج وأبعاده، أدخلت على هذه الآلات تحسينات باستخدام حواجز مرنة تضغط الرمل داخل الريزك بواسطة الهواء المضغوط، وذلك للحصول على تجانس بكثافة الرمل داخل الريزك.



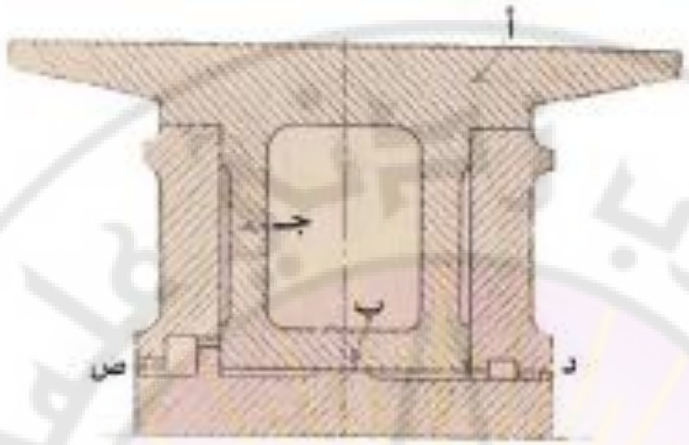


الشكل (3–2): آلات ضاغطة.

2– آلات الرك الاهتزازية:

لا تصلح مكابس الرمل لتشكيل القوالب الرملية للنماذج معقدة الشكل أو كبيرة الحجم، ويستخدم لهذا الغرض ماكينات هزازة حيث تدك الرمل في الريزك بالاهتزاز المستمر. تعمل بالهواء المضغوط يوضع الريزك مع ريزك الملء فوق لوحة النموذج المركب على طاولة الآلة ومن ثم ترفع طاولة الآلة مع النموذج والريزك المملوء بالرمل بواسطة مكبس يعمل بالهواء المضغوط مسافة تتراوح بين (30-100mm) وفي أثناء الحركة يكشف المكبس فتحة تؤدي إلى الهواء الجوي، فيخرج منها الهواء المضغوط؛ مما يُحْدث انخفاضاً للضغط تحت المكبس، فتسقط الطاولة بتأثير ثقلها مصطدمة على مصادم الآلة محدثة صدمة قوية للطاولة تؤدي إلى امتصاص الرمل جزءاً

من طاقة الصدم، ويكتسب طاقة معينة ليتكاثف الرمل فذلك بتحريك جزيئاته بالنسبة بعضها لبعض، والتغلب على قوى الاحتكاك بين الذرات، وتتكرر عملية الصدم ما يعادل 100 مرة في الدقيقة. يكون هناك تفاوت بانضغاط الرمل حيث يكون أعلى شيء حول النموذج (في قاع القالب وأقلها على السطح العلوي للقالب حيث تبقى الطبقة العليا غير مركوكة).

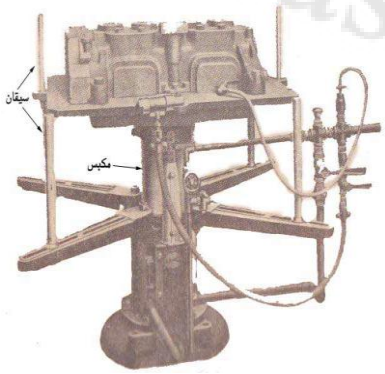


الشكل (3–3): آلات الرك الاهتزازية.

هناك آلات أخرى تعمل على مبدأ العمل نفسه، كما يبينه الشكل (3–3) الذي يبدي قطاعاً لماكينة هزازة تتركب من صينية مسطحه (أ) يثبت عليها لوحة النماذج وفوقها الريزك المطلوب كبسه بالرمل والجزء الأسفل للصينية عبارة عن مكبس (ج) يتحرك حركة ترددية رأسية داخل تجويف أسطواني في قاعدة الماكينة، ويرتكز المكبس في نهاية مشواره على قاعدة ارتكاز (ب). يتحرك المكبس حركة ترددية بدخول هواء مضغوط حوالي4.5 كجم / سم^2 من الفتحة (د) الموصلة لقاع الأسطوانة، فيرتفع المكبس مسافة بسيطة من (2.5 سم إلى 12.5 سم حسب تصميم الماكينة) ثم يصرف الهواء من فتحة (ص) على هذا الارتفاع في الأسطوانة، فيسقط المكبس فجأة ويطرق طرقة على القاعدة (ب) وبتأثير الهواء المضغوط ترتفع الأسطوانة، وتنخفض حوالي 120 دفعة في الدقيقة.

لدك الرمل في الريزك يثبت على سطح صينية الماكينة (أ) لوحة النماذج والنموذج المطلوب تشكيله ثم يثبت الريزك فوق لوحة النموذج، ويملأ بالرمل، ويوضع فوق سطح الريزك مقدار زائد من الرمل بارتفاع حوالي 10 سم، ويفتح صمام دخول الهواء المضغوط، فيبدأ المكبس في الاهتزاز والطرق، ويدك الرمل للدرجة 42 هزة، المطلوبة في الريزك، ويتغير عدد الهزات اللازمة لدك الرمل بين 15 و 40 هزة.

يتلف الطرق المستمر الأسطوانة والقاعدة، ويحدث صوتاً مرتفعاً واهتزازاً في الورشة، وأساس البناء. لذلك تستخدم في الوقت الحاضر ماكينات هزازة يختلف تصميمها عن السابق شرحها. ويحدث فيها الطرق بين مكبسين متقابلين بحيث يرتكز المكبس الأسفل على مخمدات حلزونية حتى لا ينتقل الاهتزاز لقاعدة الماكينة وأساس الورشة. الشكل (3–4) يبين رسماً كاملاً لماكينة هزازة حديثة التصميم ذات أربعة أصابع ترفع الريزك وتفصل رمل القولبة عن النموذج بعد كبس الرمل.



الشكل (3–4): يبين رسماً كاملاً لماكينة هزازة حديثة التصميم.

3- آلات الرك الاهتزازية الضاغطة:

تؤدي هذه الآلة عملين؛ أي اهتزاز مع ضغط؛ وبالتالي تعطي انتظام رك الرمل على كامل ارتفاع الريزك. حيث بعد عملية رك القالب بالاهتزاز ترفع طاولة الآلة مقابل لوح السند العلوي الذي يقوم بعملية ضغط الرمل من الأعلى.

4- الآلات القاذفة للرمال:

تستخدم هذه الآلات لإنتاج قوالب المسبوكات الكبيرة التي لا يمكن وضع ريزكها وركها على آلات الرك الأخرى. الشكل(3-5). مبدأ عمل هذه الآلة يقوم على وجود سير نقال يحمل الرمل من القمع، ويدعه يسقط على شفرات مروحة القذف التي تدور حول محور أفقي بسرعة عالية مساوية (1400-1600) دورة بالدقيقة، فتحول حفنات الرمل المتجمعة على شفرات المروحة بفعل سرعة الدوران العالية على كرات متماسكة تاركة مكانها من على الشفرات، ومندفعة؛ ليقذف بها الريزك، تمتاز هذه الطريقة عن غيرها من طرق التشكيل الأخرى بما يأتي:

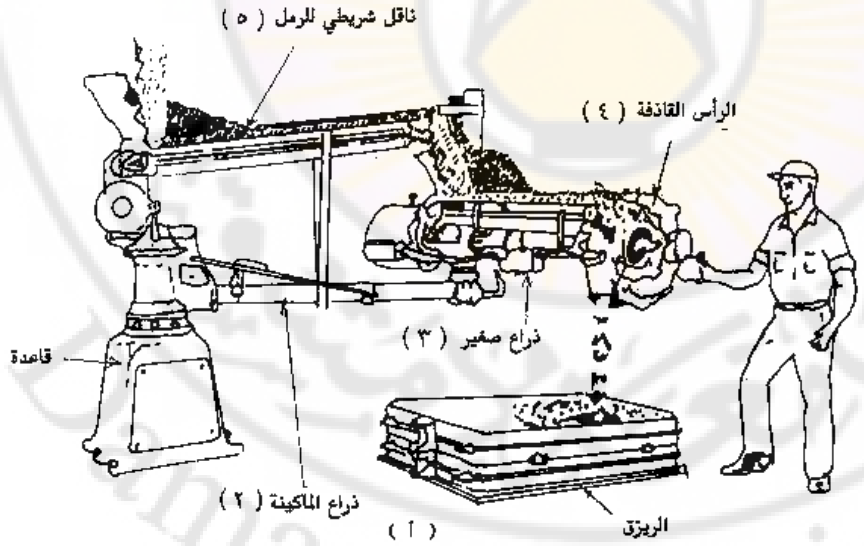
1- سهولة الاستخدام والمرونة في التشغيل، حيث يمكن توجيه فتحة مروحة القذف إلى أركان القالب المختلفة.

2- سرعة العمل حيث تقوم الآلة بعملية ملء الريزك و رك الرمل ضمن الريزك في وقت واحد.

3- انتظام كثافة الرمل في أجزاء الريزك جميعه.

4- التحكم بدرجة الرك للرمل بالتحكم بسرعة دوران مروحة القذف.

5- نفاذية جيدة لرمل القالب، وذلك لتعرض طبقاته في أثناء القذف للتهوية، والتخلص من الرطوبة الزائدة لرمل السباكة.



الشكل (3-5): مبدأ عمل الآلات القاذفة للرمال.

3-2: تصنيف آلات صناعة النوى:

في حالة الإنتاج الفردي تصنع النوى (القلوب) يدوياً، أما في إنتاج الجملة، فتصنع عادة النوى بأعدادها الكبيرة آلياً، حيث تزيد هذه الآلات الدقة في الأبعاد وتخفف من المجهود. ويستعمل في حالة استخدام آلات صنع النوى خلائط رملية قليلة التماسك في حالتها الرطبة؛ وذلك كي تملأ أرجاء قالب النواة كافة.

تستخدم عدة آلات لصناعة النوى، أكثرها شيوعاً:

1- آلات البثق اللولبية والمكبسية.

2- آلات صنع النوى بالضغط.

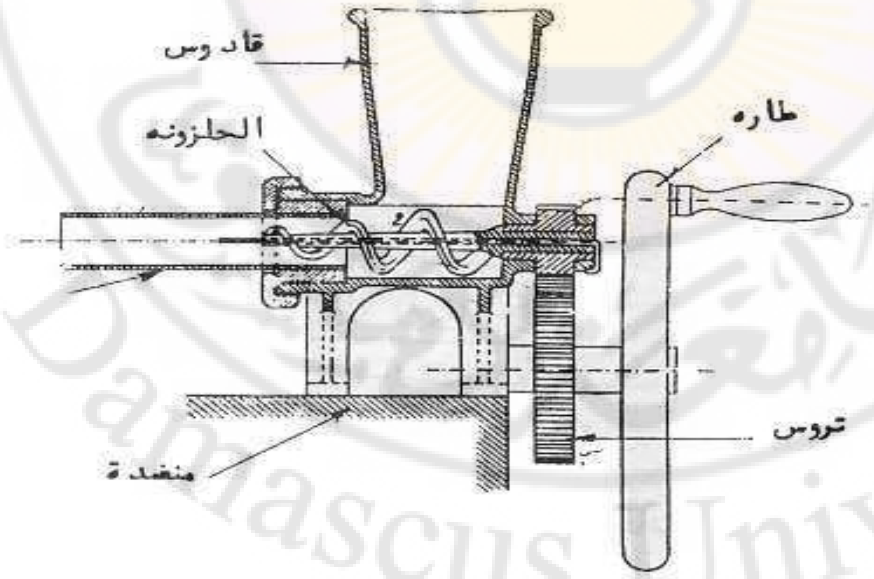
3- آلات صناعة النوى بالاهتزاز.

4- آلات صناعة النوى بالنفخ.

5- آلات صناعة النوى بالقذف.

3-2-1: آلات البثق اللولبية والمكبسية:

تشبه مفرمة اللحمة حيث يقوم حلزون بعصر خليطة الرمل الهابطة من قمع الشحن بمقاطع متباينة، وذلك عبر فوهة قابلة للتبديل، هذا الحلزون يدار يدوياً أو بواسطة جملة مسننات مع محرك كهربائي، وتخرج النواة من هذه الآلة على شكل شريط مستمر وتقطع بأطول مناسبة، وتستقبل على حوامل يدوية، وبعد عملية التجفيف تدبب الأقسام الطرفية المعلمة من القلب، وبعدها يمكن استخدام القلب في العملية الإنتاجية أو التخزين، تكون الآلات الحلزونية بسيطة التركيب مقبولة المردود ومأمونة الاستخدام. الأقطار الممكن إنتاجها تتراوح بين (10-65 mm) وسرعة الإنتاج (40-60) متراً في الساعة. الشكل(3-8).



الشكل (3-8): مبدأ عمل آلات البثق اللولبية.

3-2-2: الآلات الضاغطة لصنع القلوب:

تشبه من حيث المبدأ آلات القولبة بالضغط. يمكن بالضغط أن تصنع القلوب الصغيرة، ومن أجل ذلك يثبت النصف العلوي للصندوق المعدني بالقسم العلوي من الآلة، بينما يثبت القسم السفلي على الطاولة الضاغطة، تعد القدة المركبة على النصف السفلي من الصندوق إطاراً للملء، كما تقوم في الوقت نفسه بعمل الموجة، ويحسب علوها استناداً إلى حجم الخليطة الضرورية للقلب.

يدهن الصندوق قبل التشكيل بالكيروسين والغرافيت ثم يملأ فراغه وفراغ إطار الملء بخليطه رمل القلوب. وبعد عملية الضغط تنزل طاولة الآلة مع النصف السفلي للصندوق والقلب ثم يبعد الجزء العلوي، وينزع القلب من الصندوق.

3-2-3: آلات صناعة النوى بالاهتزاز:

تشبه آلات القولبة بالهز، يصنع كل نصف نواة على حدة وبعدها تلصق. يمكن بمساعدة الآلات الهازة صنع القلوب المتوسطة وأحياناً الكبيرة وذلك في صناديق مفتوحة، أما من أجل الحصول على القلوب الأكبر، فستستخدم الآلات الهازة المجهزة بطاولة قلابة. بعد رك خليطة الرمل المشكلة بالهز، يدور الصندوق المثبت على طاولة الآلة مع القلب الموجود فيه ولوحة التجفيف بزاوية (180) درجة، ويستقر على طاولة مستقبلة، يتم رك القلب في الصندوق بواسطة هزاز مثبت على طاولة الآلة، يمكن بهذه الطريقة الحصول على قلوب ذات أبعاد دقيقة إذا ما قورنت بعملية التشكيل اليدوي.

3-2-4: آلات صناعة النوى بالنفخ:

من أكثر هذه الآلات مردوداً؛ والنوى المصنعة بهذه الطريقة جيدة النوعية مهما كانت درجة تعقيدها تناسب الإنتاج الكمي، وتقسم حسب مرور الهواء إلى آلات أفقية وآلات شاقوليه. وهذه الآلة عبارة عن خزان فيه الرمال، وفتحة لخروج الرمال حيث يخرج منها الرمل بسرعة كبيرة نتيجة النفخ بالخزان الذي يعادل من (7-5) ضغطاً جوياً، ويعتمد زمن عملية الرك على حجم علبة النواة، ويتراوح بين ¼ وحتى 1 دقيقة. شكل (3-9).

3-2-5: آلات صناعة النوى بالقذف:

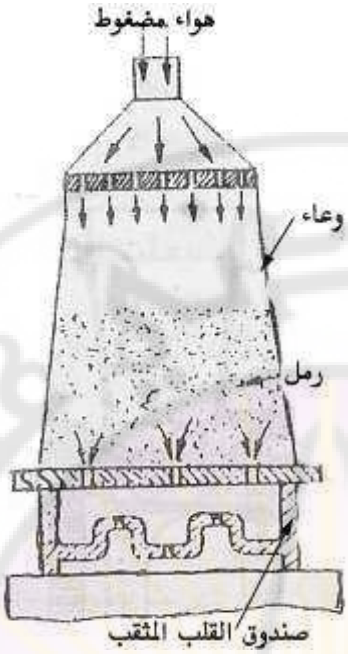
يستخدم قاذف للرمل مشابه للقاذف المستخدم في عملية تشكيل القوالب، وذلك للقوى ذات الأحجام المتوسطة والكبيرة، وعادة يكون قاذف رمل النواة من النوع الثابت وأصغر من القاذف المستخدم في تشكيل القوالب الرملية.

<u>تجفيف القوالب والنوى:</u>

إن الهدف الأساسي من تجفيف القوالب والقلوب (النوى) هو تخليصها من الرطوبة وإكسابها متانة ونفاذية جيدة للغازات، فالرطوبة الموجودة في خليطة رمال القوالب والنوى تتحول في أثناء صب المعدن المنصهر فيها إلى بخار يسبب بخبخة المسبوكات؛ فضلاً عن ذلك، فإن كثيراً من خلائط تشكيل القوالب والنوى لا تكتسب المتانة الجيدة إلا بتجفيف المادة الرابطة.

تختلف درجة حرارة التجفيف وزمنه باختلاف حجم القوالب والنوى ونوع خليطة الرمل المستخدم في تشكيلها، فبينما تجفف القوالب والنوى المشكلة في خليط الرمل الرطب مع إضافات عضوية في غضون (12-18) ساعة وعند درجة حرارة تتراوح من (300-350مْ)، فإن قوالب الرمل الرطب الذي لا يدخل به إضافات أخرى تجف في غضون (12-24) ساعة وعند درجة حرارة (350-400مْ) درجة مئوية.

أما القلوب الزيتية فتجفف عند درجة حرارة (200–250مْ) وعند التجفيف يجب التقيد الدقيق بالحرارة والزمن حتى لا يفقد الرمل خاصية الترابط.



الشكل (3–7): مبدأ عمل آلة صناعة النوى بالنفخ.

<u>أفران تجفيف القوالب والنوى:</u>

يستعمل في تجفيف القوالب والنوى أفران تجفيف يتوقف تصميمها على حجم الإنتاج، أما الوقود المستخدم، فيمكن أن يكون الفحم الحجري أو الغاز الطبيعي أو الطاقة الكهربائية، ففي ظروف الإنتاج الكبير والإنتاج بالجملة تستخدم أفران تجفيف مستمرة العمل أفقية أو رأسية. عند استخدام الأفران الأفقية توضع القلوب على منضدة متعددة الطبقات معلقة إلى سير حلقي أفقي، يشكل السير في الفرن انعطافات عدة تتفاوت عندها درجة الحرارة، وفي أثناء اجتياز المنضدة لمنعطفات الفرن (أقسام)، فإن القلوب تسخن في القسم الأول ثم تجفف في القسم الذي يليه، ثم تبرد في القسم الأخير، وتنزع من على الرفوف.

أما الأفران الرأسية، فصعبة الاستعمال، وتحتاج إلى مكننة كاملة، لهذا لا تستخدم هذه الأفران إلا نادراً.

تقتضي الضرورة في بعض الأحيان تجفيف قوالب ونوى ذات أحجام متباينة، بعضها صغير والآخر كبير؛ مما ينتج عنه عدم انتظام عملية التجفيف لعدم انتظام توزيع الغاز الساخن على الأسطح المراد تجفيفها بالتساوي، وبهذا الشكل تجفف القوالب والنوى الصغيرة قبل مثيلاتها الكبيرة؛ مما يستدعي الانتظار حتى تكتمل عملية التجفيف وهذا بدوره يسبب فقداً كبيراً في الطاقة الحرارية المستخدمة.

4- نظام الصب

Gating System

4-1: تعريف نظام الصب، وظيفته وأنواعه:

نظام الصب هو مجاري الصب وأقنيته النازلة والصاعدة التي ينساب خلالها المعدن المنصهر ليملأ جوف القالب، والتي يتجمع فيها المعدن المنصهر الزائد عن عملية إملائه.

وظيفة نظام الصب:

1. تأمين تغذية مستمرة متجانسة وغير مضطربة للمعدن المنصهر إلى فجوة القالب، على أن تتم بمعدل تدفق مناسب وبدون فقد كبير في درجات الحرارة.
2. التقاط الخبث أو الرمال أو المحتويات غير المعدنية، ومنعها من الدخول إلى فجوة القالب.
3. منع أو تلافي حدوث ظاهرة حت أو تآكل جدران القالب بتيار المعدن المنصهر خلال زمن امتلاء القالب.
4. تزويد القالب بالمعدن المنصهر في أثناء عملية التجمد والتقلص المرافق.

أنواع أنظمة الصب:

يمكن تقسيم أنظمة الصب حسب المستوى الذي يتم بموجبه تزويد القالب بالمعدن أو تغذيته إلى:

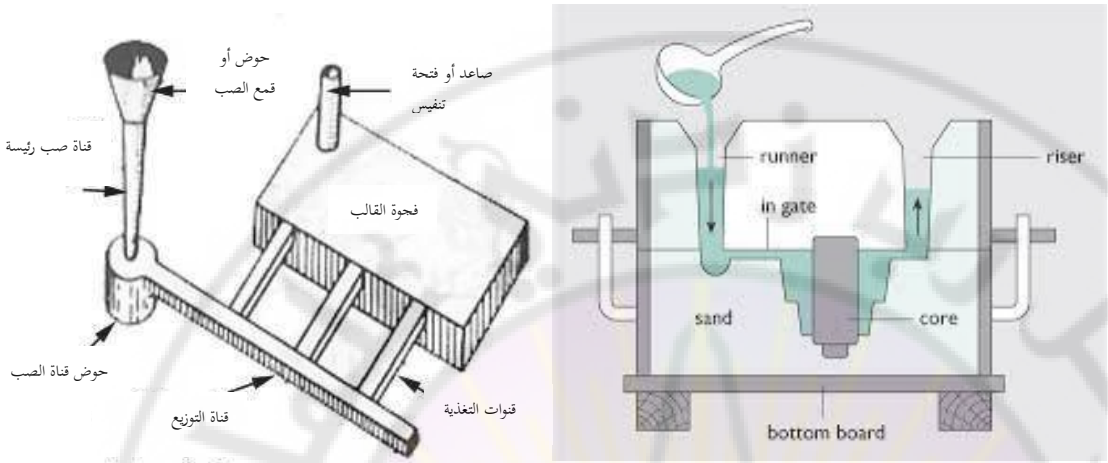
1. أنظمة الصب الأفقية، وبموجبها يندفع المعدن إلى فجوة القالب عند مستوى أفقي.
2. أنظمة الصب الرأسية أو الشاقولية، حيث يدخل المعدن المنصهر طبقاً لهذا النوع إلى فجوة القالب محاذياً لمستوى شاقولي.

4-2: أجزاء نظام الصب:

الغرض من عمل نظام الصب هو توصيل المعدن المنصهر بالكمية المناسبة وخلال الزمن المعين إلى الفجوة الموجودة داخل القالب لملئها. ويتألف الشكل العادي لنظام الصب من الأجزاء الآتية:

1. حوض أو قمع الصب Pouring basin أو Pouring Cup أو Funnel.
2. قناة الصب الرئيسة (القناة النازلة) Sprue.
3. حوض قناة الصب أو مجمع الخبث Slag remover.
4. قناة التوزيع Runner.
5. فتحات أو قنوات التغذية Ingate.
6. إضافة إلى الصواعد Riser أو المرضعات.

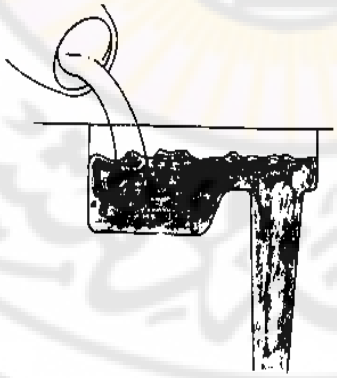
ويوضح الشكل (4–1) أجزاء نظام الصب.



الشكل (4–1): أجزاء نظام الصب.

4–2–1: حوض الصب:

وهو عبارة عن خزان يصب فيه المعدن من بوتقة الصب، فيوجهه إلى مجرى قناة الصب الرئيسة، ويجب أن يضمن تغذية مستمرة للقالب بالمعدن المصهور.



الشكل (4–2): حوض الصب وحركة جريان المعدن ضمنه.

ولضمان حوض الصب ممتلئاً تستخدم إحدى الطرق الآتية. الشكل (4–3):

آ– يستخدم حوض صب مغلق بواسطة سدادة مربوطة بسلك درجة حرارة انصهاره أكبر من درجة حرارة انصهار المعدن المسبوك ولا يتفاعل معه، ترفع بعد امتلاء حوض الصب.

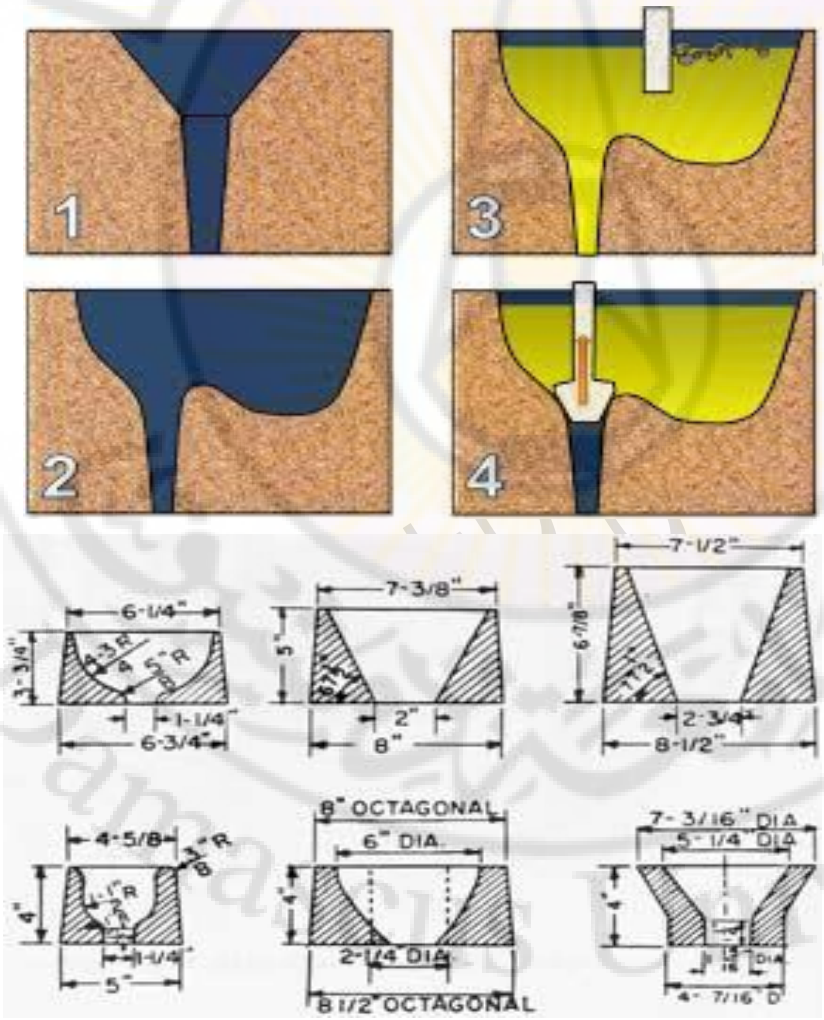
ب- يستخدم حوض صب مغلق بواسطة سدادة معدنية تنصهر بعد فترة، وذلك بتأثير درجة حرارة المعدن المصبوب.

ج- يستخدم حوض صب سيفوني حيث يضمن الحاجز الرملي الموجود فيه امتلاء الحوض بالمعدن المنصهر، ويمنع دخول الخبث.

إذاً يستخدم حوض الصب للتحكم بجريان المعدن وحجز الشوائب حتى لا تدخل إلى تجويف القالب، بينما يستخدم قمع الصب فقط من أجل توجيه المعدن إلى قناة الصب الرئيسة.

كمثال: نظراً لسيولة حديد الصب الجيدة؛ لذلك لا تحتاج إلى ضاغط كبير (المسافة بين سطح المعدن في فجوة القالب وسطح المعدن في حوض الصب) لإملاء فجوة القالب، بينما عند صب الفولاذ ولأن سيولته أقل تحتاج إلى قمع صب للحصول على قدرة حركية كبيرة للمعدن المصبوب.

يتراوح حجم حوض الصب بين ¼ وحتى 1/12 من حجم المسبوكة، وفي مسبوكات الألمنيوم يساوي أحياناً حجم الحوض حجم المسبوكة المنتجة.



الشكل (4-3): أشكال مختلفة من حوض أو قمع الصب.

4–2–2: قناة الصب الرئيسة:

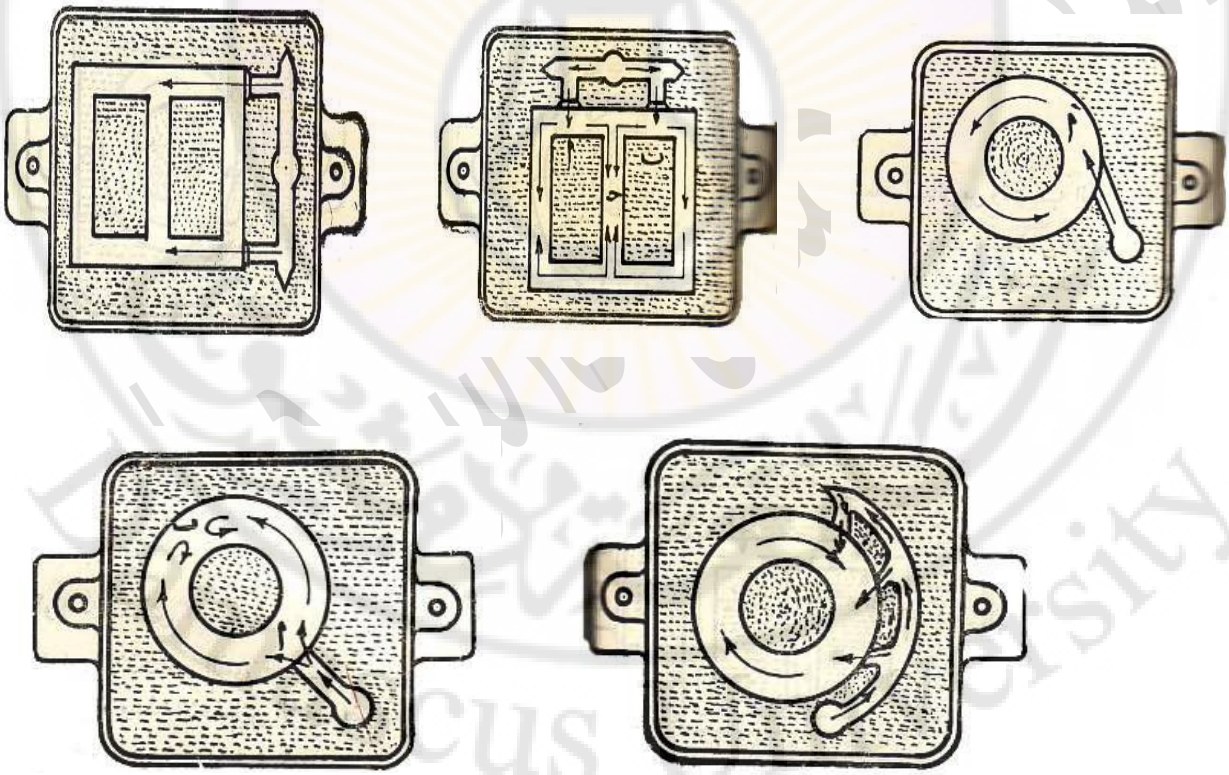
وهي عبارة عن قناة رأسية، غالباً ما تكون على هيئة مخروط ناقص مسلوب إلى أسفل بسلبية تتراوح بين (4–6%)، وهي تصل بين حوض الصب ومجمع الخبث، وفي حالة القوالب ذات الارتفاع الكبير تستعمل قناة الصب متدرجة لتقليل أثر سقوط المعدن. تعد قناة الصب الرئيسة الممر الشاقولي لنظام الصب في الريزك العلوي التي تصل حوض الصب ومجمع الخبث أو قناة التوزيع، وفي حالة القوالب ذات الارتفاع الكبير تستعمل قناة صب متدرجة لتقليل أثر سقوط المعدن ولالتقاط الخبث من المعدن في المنتصف بين قناتي الصب. الشكل (4–4).

4–2–3: قناة التوزيع أو مجمع الخبث:

ينقل المعدن عادة في المسبوكات الكبيرة من قاعدة قناة الصب الرئيسة إلى قنوات متعددة حول فجوة القالب عبر ممر يدعى قناة التوزيع. الشكل (4–5).

التفرع من قنوات التوزيع إلى فجوات القالب تدعى بقنوات التغذية، يفضل أن تكون قناة التوزيع في الريزك السفلي، وأن يصمم مقطعها بحيث لا يحدث اضطراب للمعدن المصهور أو امتصاص الغازات إلى تيار المعدن المصهور.

تكون قنوات التغذية متصلة مع مجمع الخبث في أسفل نقطة منه.



الشكل (4–5): توضعات مختلفة لقناة التوزيع وفقا للمسبوكة المراد إنتاجها.

4-2-4: قنوات التغذية:

تقود المعدن المنصهر من قناة التوزيع إلى داخل تجويف القالب، شكلها نصف دائري أو مثلثي للخلائط المعدنية للبرونز والفولاذ وحديد الزهر ومستطيلة لسبائك الألمنيوم.

عمل قنوات التغذية هو تزويد فجوة القالب بالمعدن المصهور دون حدوث اضطراب بالمعدن أو تبريد حراري. الشكل(4-6).

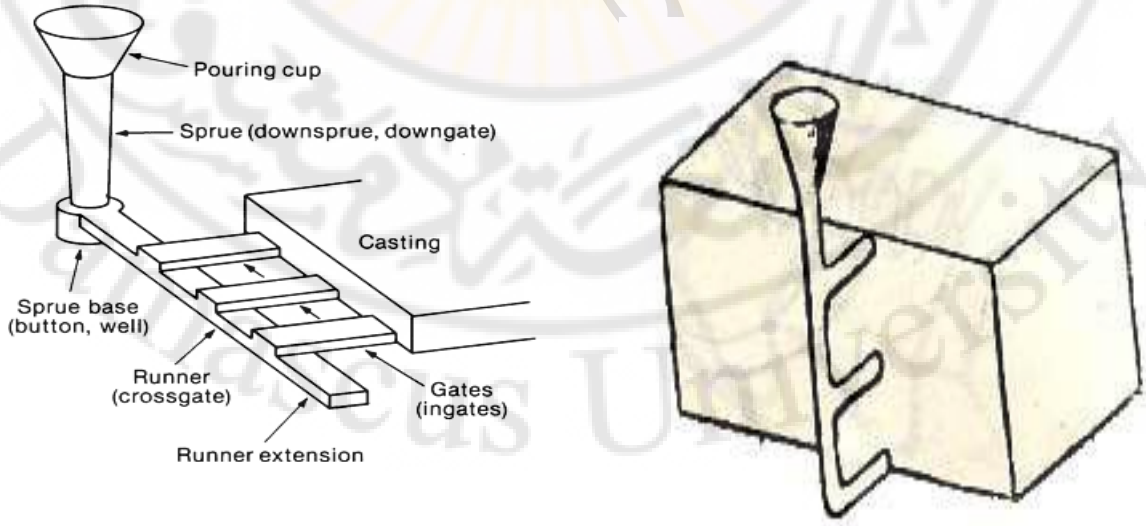
تصنف قنوات التغذية بحسب موضعها في فجوة القالب إلى الآتي:

آ- **قنوات علوية:** حيث يصب المعدن المصهور مباشرة من قناة علوية عبر المغذي (المرضع) للمسبوكة، يجب أن يكون القالب قاسياً وقوياً بحيث يقاوم الحت والتآكل الحادث نتيجة المعدن المتساقط من ارتفاع كبير، كما أنه يحدث اضطراب بالمعدن؛ لذلك يفضل استخدامها للمعادن قليلة التأكسد، ميزتها أنها تحقق التجمد الموجه للمعدن باتجاه المرضع العلوي.

ب- **قنوات الحد الفاصل:** حيث يمر المعدن المصهور عبر قناة الصب الرئيسة ويصل إلى السطح الفاصل للقالب حيث تتصل قناة الصب الرئيسة مع قناة التغذية في اتجاه أفقي للمسبوكة. أهم مميزاتها: سهلة التصنيع، في حال كون المسبوكة ذات ارتفاع كبير هذا يؤدي بأن قنوات الحد الفاصل تشبه القنوات العلوية التي تحدث اضطراباً بالمعدن. يمكن أن يستخدم بها تجهيزات حجز الشوائب أو الخبث أو الرمل التي يمكن أن تمر مع المعدن المصهور عبر قناة الصب الرئيسة.

جـ- **قنوات التغذية السفلية:** تستخدم هذه القنوات للتقليل ما أمكن من اضطراب المعدن المصهور خلال الصب، ولتجنب تآكل القالب يفضل استخدامه للمسبوكات الفولاذية ضخمة الحجم.

د- **القنوات المدرجة:** تستخدم هذه القنوات للاستفادة من مميزات القنوات السفلية، وتجنب سيئاتها حيث يتدفق المعدن المصهور في القنوات المدرجة من القناة الأولى حتى يمتلئ القالب بالمعدن المصهور إلى مستوى القناة الثانية حيث يبدأ بالتدفق من القناة الثانية وهكذا .. تصنع عادة القنوات بميل نحو الأعلى.



الشكل (4-6): بعض أشكال قنوات التغذية.

نسب مقاطع قنوات نظام الصب:

يستخدم هذا المصطلح للدلالة على مساحة المقطع العرضي لمكونات نظام الصب. فمثلاً 1:3:3 تدل إلى نسب مقطع قناة الصب الرئيسة (هنا مساحة مقطعها العرضي $1cm^2$) وقناة التوزيع مساحة مقطعها العرضي $3\ cm^2$ وثلاث قنوات تغذية كل منها بمساحة مقطع عرضي مساوٍ إلى $1\ cm^2$.

يصنف نظام الصب إلى النوعين اللآتيين:

– **نظام الصب المضغوط:** تختار نسب المساحات لقناة الصب الرئيسة وقناة التوزيع وقنوات التغذية بحيث يؤدي إلى ضغط مرتفع للمعدن المصهور ضمن النظام، وذلك بواسطة إعاقة الجريان في قنوات التغذية، لذا يتطلب أن تكون مساحة مقطع قناة الصب الرئيسة أكبر من مجموع مساحات قنوات التغذية؛ فمثلاً نسب مقاطع قنوات نظام الصب: 2:1:1---1:2:1---1:0.75:0.5

مميزات نظام الصب المضغوط وهي الآتية:

أ. يقلل هذا النظام ما أمكن من سحب الغازات إلى داخل تيار المعدن المصهور.

ب. حجم هذا النظام مقارنة بالغير مضغوط صغير؛ وبالتالي لا يحتاج إلى كمية كبيرة من المعدن وبالتالي يكون مردود عملية السباكة باستخدام هذا النظام أفضل.

سيئة هذا نظام الصب المضغوط، هي الآتية:

- سرعة جريان المعدن المصهور سريعة؛ مما يسبب اضطراباً للمعدن الداخل لتجويف القالب.
- هذا النظام يناسب المعادن الحديدية والنحاس.

– **نظام الصب غير المضغوط:** سرعة جريان المعدن المصهور أقل؛ مما يقلل من اضطراب المعدن، ومساحة مقاطع قنوات النظام أكبر من المضغوط؛ وبالتالي نحتاج لمعدن مصهور أكبر؛ مما يعطي مردوداً أقل بعملية السباكة. يستخدم للمعادن، مثل: الألمنيوم والمغنيزيوم.

نسب مقاطع قنوات هذا النظام: 1:3:3 --- 1:2:2 ... إلخ .

4–2–5: صواعد المسبوكات:

الصاعد Riser هو عبارة عن تجويف يحفر أو يقولب في الريزك العلوي؛ ليسمح للمعدن المصهور بالارتفاع فوق أعلى نقطة في المسبوكة. الشكل (4–7).

إن للصاعد عدداً من المهام، وهي:

آ. تمكن عامل الصب من مراقبة عملية الصب والحكم على نجاح المسبوكة، حيث عدم ظهور المعدن بالصاعد يعني أن المعدن غير كاف لملء تجويف القالب أو هناك إعاقة بجريان المعدن.

ب. يساعد الصاعد على خروج الغازات والأبخرة والهواء من تجويف القالب عند صب المعدن المصهور.

جـ. أهم عمل له هو العمل كمغذٍ يعوض المعدن الناقص بالمسبوكة نتيجة النقص في أثناء عملية التبريد.

للمسبوكات المعقدة ذات المقاطع الرقيقة قد يكون من الضروري استخدام أكثر من مرضع.

4-3: طرائق حساب نظام الصب:

مثال (1):

المطلوب حساب الوزن اللازم إضافته إلى سطح الريزك العلوي لقالب المسبوك الموضح بالشكل (4-13) كي لا يطفو، علماً أن:

. أبعاد الريزك هي: 300 × 300 × 200 مم.

. الوزن النوعي للصلب المنصهر هو 7.2غ/سم^3.

. الوزن النوعي لخليطة الرمل المستعملة في تشكيل القالب هو 1.67 غ/ سم^3.

يحسب الوزن اللازم بالعلاقة:

$$F = Fi_2 - W_m$$

حيث: W_m وزن الريزك العلوي Fi_2 – قوة الدفع الهيدروليكية الديناميكية.

تحسب قوة الرفع الستاتيكية من العلاقة:

$$Fi_1 = A_b \times \rho \times h_m$$

حيث:

A_b : المساحة الأفقية لفجوة القالب في الريزك العلوي.

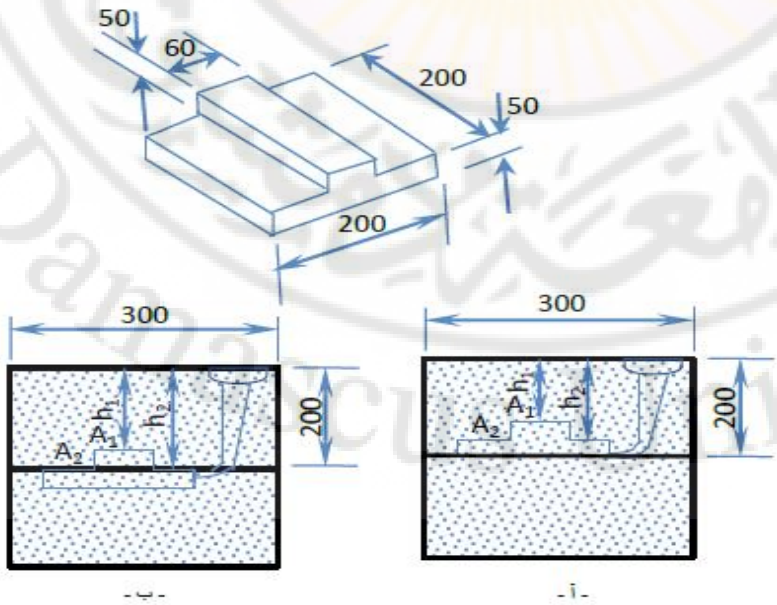
ρ : كثافة المعدن.

h_m : ارتفاع المعدن فوق المساحة A_b.

وتكون قوة الدفع الديناميكية: $Fi_2 = 1.5\times Fi_1$

الحل:

يمكن أن يصادفنا حالات عدة لوضع فراغ القالب بالنسبة لكل من الريزكين؛ لذا سوف نعالج كلاً من الحالتين (آ) و(ب) على انفراد.



الشكل (4-13): حسابات موازنة قوى دفع المعدن المنصهر.

الحالة الأولى (آ):

قوة دفع الريزك العلوي الستاتيكية تعطى بالعلاقة الآتية:

$$F_1 = A.h.\rho = \rho(A_1h_1 - A_2h_2)$$

$$A_1 = 6 \times 20 = 120\ cm^2$$

$$A_2 = 2(7 \times 20) = 280\ cm^2$$

$$h_2 = 15\ cm \quad ،h_1 = 10\ cm$$

$$F_1 = 7.2\ (120 \times 10 + 280 \times 15) / 1000 = 38.8\ kg$$

قوة الدفع الديناميكي:

$$F_2 = F_1 \times 1.5 = 58.2\ kg$$

وزن الرمل داخل الريزك مع إهمال وزن الغاز تعطى بالعلاقة:

$$F3 = 1.67\ [30 \times 30 \times 20 - (20 \times 20 \times 5 - 20 \times 6 \times 5)] = 25.72\ kg$$

وزن الريزك: $F4 = 6\ kg$

الوزن اللازم إضافته:

$$F = F_2 - (F_3 + F_4) = 58.2 - 31.72\ kg = 26.5\ kg$$

الحالة الثانية: (ب):

$$h_2 = 20\ cm \quad ،h_1 = 15\ cm$$

$$F_1 = 7.2\ (120 \times 15 + 280 \times 20)/\ 1000 = 53.28\ kg.$$

$$F_2 = 53.28 \times 1.5 \sim 80\ kg.$$

وزن الرمل داخل الريزك مع إهمال حجم النازل تحسب كالآتي:

$$F_3 = 1.67\ (30 \times 30 \times 20 - 6 \times 5 \times 20) \sim 29\ kg.$$

الوزن اللازم إضافته:

$$F = 80 - (29 + 6) = 45\ kg.$$

5- السباكة في القوالب الدائمة

Permanent Mold Casting

درسنا السباكة الرملية بالفصول السابقة، إلا أن الحاجة إلى المسبوكات متميزة بالدقة وبنعومة السطح والحاجة إلى الإنتاج الكمي أدت لدخول طرق خاصة بالسباكة، ندرس منها تقانة بعض الطرق:

1- اختيار الطرائق الخاصة في السباكة:

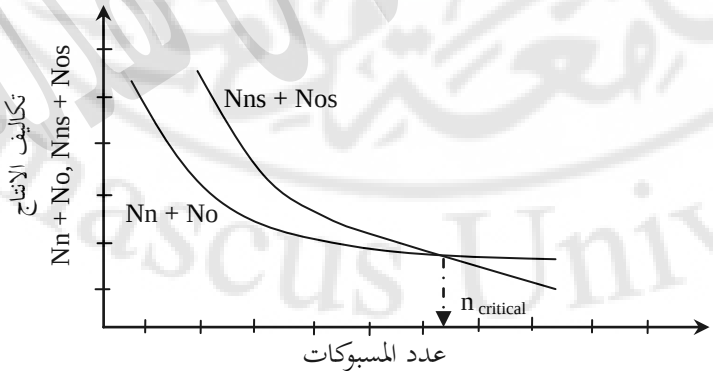
ينتج بالطرائق الخاصة (20-40%) من المسبوكات غير الحديدية ونسبة أقل من حجم المسبوكات الحديدية. وإن اختيار الطرائق الخاصة يؤخذ من وجهة نظر نوعية الإنتاج واقتصاديته. فاختيار أي طريقة يعتمد على الفرق بين كمية العمل المبذول بالطريقة الكلاسيكية وكمية العمل المبذول باستعمال الطريقة الخاصة. أي على فرق تكاليف الإنتاج للقطع الجاهزة وعلى خواصها الميكانيكية، فإذا كانت تكاليف الإنتاج (العدد والآلات) بالطريقة الكلاسيكية (Nn) وتكاليف إنتاج القطعة الجاهزة بالطريقة نفسها (No)، وإذا كانت تكاليف وسائل الإنتاج في الطريقة الخاصة (Nns) وتكاليف إنتاج القطعة الجاهزة بالطريقة الخاصة (Nos) تشمل (No) و (Nos) أيضاً على جزء من التكاليف الخاصة بالمسبوكات العاطلة في كلتا الحالتين.

يتضح من الشكل (5-1) أنه عندما يزيد عدد المسبوكات على $n_{critical}$ يصبح استخدام الطريقة الخاصة أفضل. ويمكن حساب عدد المسبوكات الحدي بطريقة بسيطة من العلاقة:

$$(No - No_s * n_{cr} = (N_{ns} - N_n)$$

$$n_{cr} = (Nn_s - Nn)/(No - No_s)$$

إذا كان عدد المسبوكات المطلوبة أكبر من العدد الحدي، فيعد استخدام الطريقة الخاصة مفيداً. يستحصل على التكاليف No, Nos, Nn, Nns باستعمال طرائق حساب التكاليف. وعند حساب Nns, Nn يؤخذ في الحسبان اهتلاك وسائل الإنتاج.



الشكل (5-1): اختيار الطرائق الخاصة في السباكة.

5-1: السباكة بالقوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة والضغط:

يتوقف عدد القطع الممكن إنتاجها بالقالب المعدني على نوع المعدن المصبوب وعلى شكل المسبوكة، لإطالة عمر القالب نخفف من الصدمة الحرارية عن طريق تسخينه لدرجة الحرارة المناسبة للصب، وبطلاء السطح العامل للقالب بمواد مقاومة للحرارة. وبحسب درجة تعقيد المسبوكة يمكن أن يكون القالب مؤلفاً من قطعة واحدة أو أكثر، حيث يكون بالقالب ذي القطعة الواحدة الجزء المتبقي من القالب رملياً.

تصنع القوالب المعدنية إما من حديد الزهر أو الفولاذ منخفض الكروم، يزود القالب بتسامح ميلان وتمدد حراري وتسامح تقلص، كما تستخدم نوى معدنية أو رملية أو قشرية، تشكل قناة صب رئيسة ومرضعات بالقالب، تتشكل عند سكب المعدن غازات بالقالب المعدني ناتجة عن طلاء سطح القالب، وعن الهواء المزاح من تجويف القالب، يتم إخراج هذه الغازات عن طريق سطح الفصل بأقنية تهوية (تنفيس).

تتميز مسبوكات القوالب المعدنية بما يأتي:

1. خلوها من الرمال.
2. خلوها من المسامية الناتجة عن الغازات بسبب التبريد السريع.
3. نعومة بنيتها نتيجة التبريد السريع.
4. دقة أبعاد المسبوكات ونعومة سطحها.
5. خلو المسبوكات من التقلصات الداخلية.

إن خطوات السباكة بالقوالب المعدنية الدائمة هي الآتية:

1. تنظيف القالب وتسخينه لدرجة حرارة مناسبة للصب (تتبع لنوع المعدن المراد صبه).
2. طلاء السطح العامل للقالب بالمادة المقاومة للحرارة.
3. وضع النواة بمكانها وإحكام إغلاق القالب.
4. سكب المعدن المصهور داخل تجويف القالب.
5. إبقاء المسبوكة داخل تجويف القالب حتى يتصلب المعدن.
6. فتح القالب وإخراج المسبوكة المتجمدة.

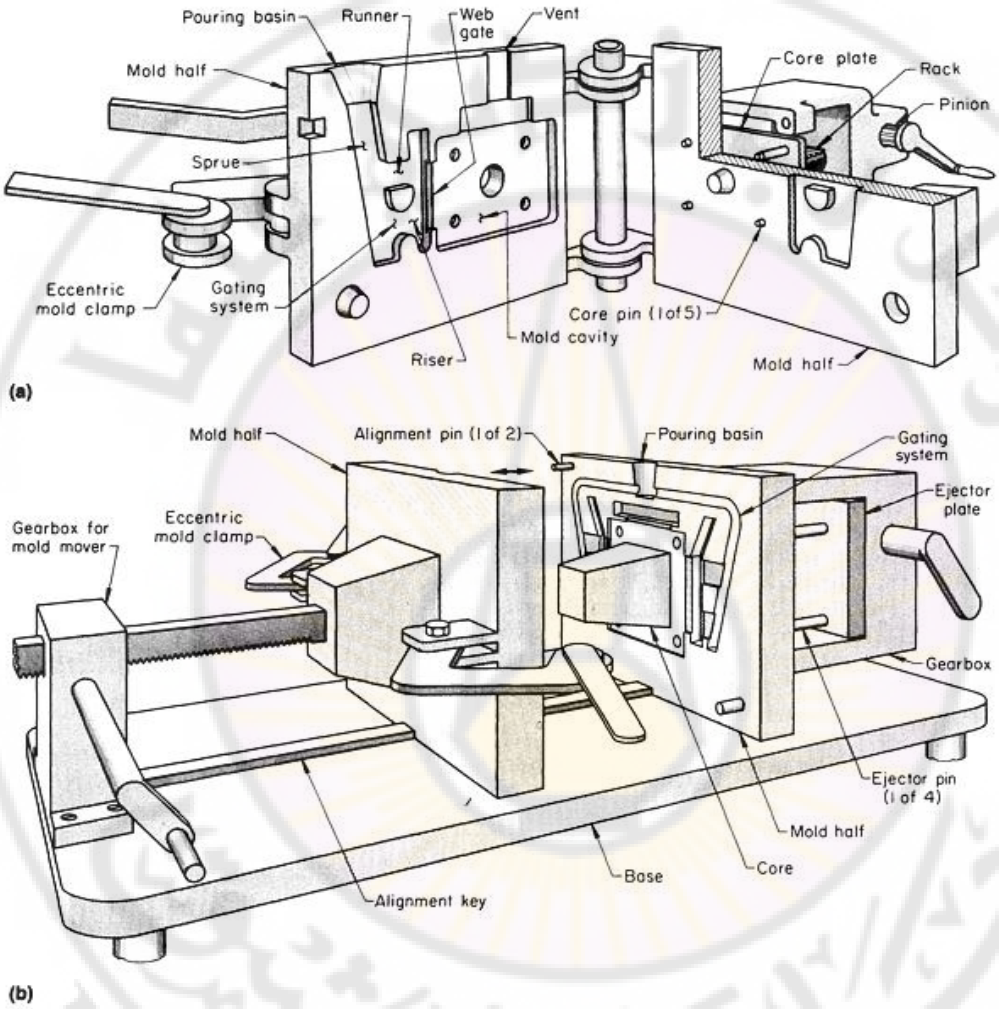
يجب أن تحقق المسبوكات المصنعة بالقوالب المعدنية بعض الشروط، وهي كالآتي:

1. أن تكون سماكة جدار المسبوكة مناسباً بحيث تمتلئ فجوة القالب بالمعدن.
2. أن يكون لجدران المسبوكة ميلانات مقبولة حتى نستطيع إخراج المسبوكة من القالب المعدني بسهولة.
3. لا يسمح أن يكون لجدار المسبوكة تغيرات فجائية بالسماكة، وكذلك لا يسمح بالحواف الحادة وبالزوايا الداخلية.

تقسم القوالب المعدنية إلى الأنواع الآتية. الشكل(5-2):

آ- القوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة.

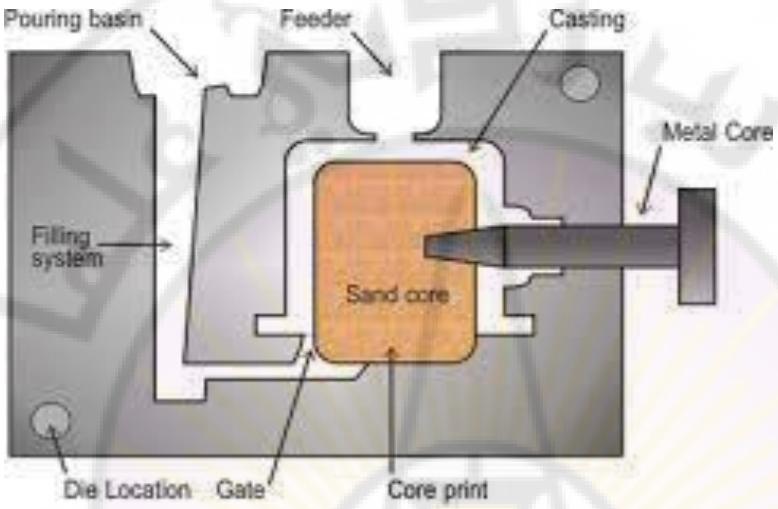
ب- القوالب المعدنية التي تعمل بالضغط.



الشكل (5–2): نوعان من آلات صب القالب الدائم التي تدار يدوياً. (a) قوالب بسيطة للمسبوكات ضحلة التجويف. (b) قوالب عميقة التجويف.

آ– القوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة Gravity Die Casting: تشابه القوالب المعدنية حيث يتم إملاء فجوة القالب بتأثير ثقالة المعدن، الشكل الآتي: يجهز القالب بتنظيف سطحه الداخلي، ويسخن إلى درجة حرارة مناسبة للصب، كما يطلى سطحه العامل بالطلاء المقاوم للحرارة والذي يساعد على عدم التصاق المسبوكة بسطح القالب، توضع النواة المجمعة ضمن تجويف القالب ويغلق القالب. يصب المعدن المصهور ضمن

القالب وبعد تجمد المعدن يتم إخراج النواة، تتحرر عند ذلك المسبوكة، ويفتح القالب لإخراج المسبوكة، ويكرر العمل لإنتاج مسبوكة جديدة. الشكل (5–3).



الشكل (5–3): القوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة.

ب– القوالب المعدنية التي تعمل بالضغط Pressure Die Casting: تتم السباكة بالضغط بدفع المعدن المصهور إلى داخل فجوة القالب بسرعة كبيرة وتحت تأثير ضغط عالٍ، يتألف قالب السباكة بالضغط من جزءين أحدهما ثابت مربوط على اللوح الثابت لآلة السباكة بالضغط ويوجد ضمنه قناة الصب، والثاني متحرك ويرتبط بالنظام المتحرك لآلة السباكة ويحتوي الجزء المتحرك على نظام لفظ المسبوكة، تصنع هذه القوالب من الفولاذ الخلائطي الذي يجب أن يتحمل درجات حرارة السكب المرتفعة والصدمات الحرارية وألا يلتحم بالمعدن المسكوب ضمن القالب، وأن يقاوم التآكل الاحتكاكي الحادث بالمعدن المصهور.

إن آلات السباكة بالضغط تقوم بالعمل حسب التسلسل الآتي:

1. إغلاق نصفي القالب، وذلك بتحريك الجزء المتحرك للقالب باتجاه الجزء الثابت.
2. تطبيق ضغط على القالب يسمى ضغط الإطباق بحيث لا يفتح القالب بتأثير ضغط المعدن المصهور.
3. دفع المعدن المصهور إلى داخل تجويف القالب.
4. فتح القالب وذلك بتحريك الجزء المتحرك للقالب عن الجزء الثابت.

يجب أن يكون لآلة السباكة بالضغط جسم قوي يتحمل فتح القالب وإغلاقه بتسامت صحيح، وضغط الإطباق يصل إلى 100 طن.

فيما يلي استخدام طرق متعددة لإغلاق القالب وإحكام هذا الإغلاق:

- هيدروليكية.
- هيدروليكية وميكانيكية.
- ميكانيكية.

تتميز طريقة السباكة بالمميزات الآتية:

1. تعطي معدلات إنتاج عالية جداً، فمثلاً معدل الإنتاج بآلات السباكة بالضغط ذات الحجرة الساخنة حوالي 300-350 مسبوكة بالساعة، و ذات الحجرة الباردة 75-150 مسبوكة بالساعة.
2. الحصول على دقة جيدة للمسبوكات المنتجة.
3. يمكن سباكة المعادن الرقيقة (للتوتياء أصغر سماكة 0.5mm وللألمنيوم 0.8mm).
4. ينتج المسبوكات بتفاصيل دقيقة جداً.
5. الحصول على إنهاء سطحي جيد.
6. يستطيع القالب الجيد إنتاج عدد كبير من المسبوكات يصل إلى 5 ملايين مسبوكة لخلائط التوتياء.
7. طريقة السباكة بالضغط اقتصادية لا تحتاج إلى عمليات تشغيل للمسبوكات وتوفر باليد العاملة.

مساوئ طريقة السباكة بالضغط، هي الآتية:

1. يمكن فقط السباكة بشكل اقتصادي لبعض الخلائط غير الحديدية.
2. الحجم الأعظمي للمسبوكات الممكن إنتاجها محدود (90Kg لخلائط التوتياء، و 30Kg لخلائط الألمنيوم، وذلك باستخدام قوة إطباق بحدود 2000 طن).
3. يجب أن يكون عدد المسبوكات المطلوبة كبيراً (2000 مسبوكة) لكي تكون عملية السباكة اقتصادية.
4. تحتوي عادة مسبوكات الضغط بعض المسامية، وذلك بسبب الهواء المحتجز ضمن القالب.

تقسم آلات السباكة بالضغط إلى الأنواع الآتية:

1. آلات سباكة بالضغط ذات الحجرة الساخنة.
2. آلات سباكة بالضغط ذات الحجرة الباردة.

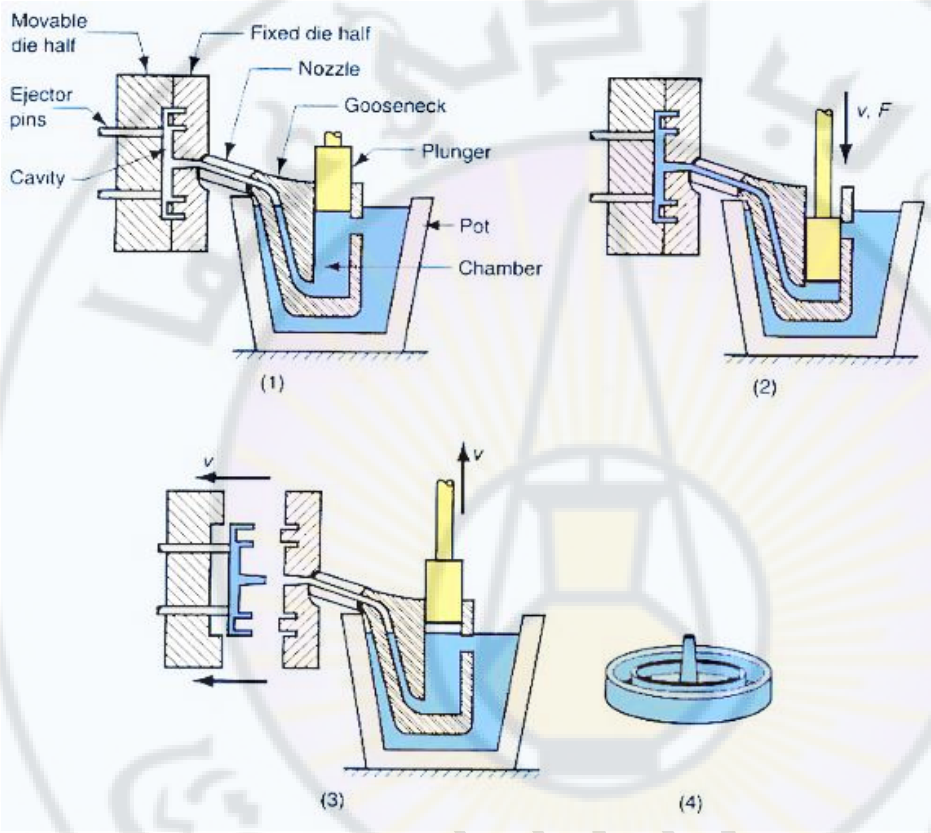
– آلات سباكة بالضغط ذات الحجرة الساخنة:

سباكة بالضغط بمكبس الحقن: تتألف الآلة من فرن صهر المعدن، يوجد ضمن الفرن حجرة الضغط مغمور بالمعدن المصهور، وتتألف الحجرة من أسطوانة متصلة بقناة التغذية متصلة بفوهة القالب، للأسطوانة فتحة لدخول المعدن المصهور ودافع لدفع المعدن وحقنه عبر قناة التغذية إلى داخل تجويف القالب. تعمل هذه الآلة بضغط لا يتجاوز $150\ Kg/cm^2$. يُستخدم نوعان من هذه الآلات:

آ– الآلات ذات مكبس الضغط:

تستعمل للحصول على مسبوكات درجة انصهارها قليلة بحدود 450 مْ مثل المسبوكات القصديرية والرصاصية وغيرها، ويصب المعدن المصهور في حمام (حجرة) من حديد الزهر. الشكل (5–4)، وتبقى درجة حرارة الحمام ثابتة بتسخينه بوشائع، ويملأ المعدن السائل خلال الفتحة تجويف الأسطوانة، وقناة التغذية، وعند إدارة يد التشغيل يغلق نصفا القالب ويلتصق طرف الأنبوبة بفوهة قناة التغذية، وعند تشغيل أسطوانة آلية الضغط أوتوماتيكياً، تتحرك تحت تأثير مكبس الحقن في أسطوانة الحقن، فيضغط المعدن المنصهر من خلال قناة التغذية إلى القالب.

وبتجمد المسبوكة في القالب يرتفع المكبس، فينساب المعدن السائل من القناة، وينفتح القالب بتراجع النصف المتحرك من القالب وتتحرر المسبوكة، وبعد نفخ القالب تكرر العملية. يصل إنتاجية مثل هذه الآلات نصف آلية من 50 إلى 250 مسبوكة في الساعة، والآلية تصل إلى 1000 مسبوكة في الساعة.



الشكل (5–4): آلة مكبسية للسباكة تحت الضغط بغرفة ساخنة ومكبس ضغط.

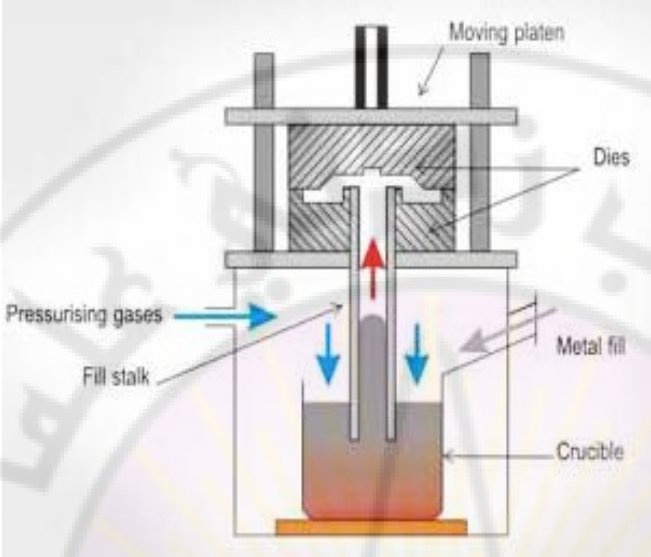
ب– الآلات التي تعمل بضغط الهواء مباشرة على سطح المعدن السائل:

الشكل (5–5) يوضح آلية عمل هذه الآلات التي تعمل بهواء مضغوط تحت ضغط (من 10 إلى 100 ضغط جوي).

سباكة بالضغط بالهواء المضغوط: تختلف عن سابقتها بأنها تستخدم الهواء المضغوط لدفع المعدن المصهور إلى داخل تجويف القالب.

الوضعية الأولى: هي وضعية الإملاء بالمعدن المنصهر حيث تفتح سدادة الحجرة، وتغمر الفتحة بالمعدن المنصهر.

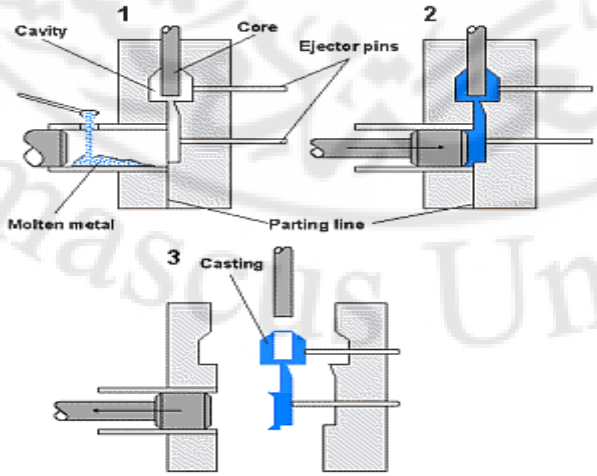
الوضعية الثانية: هي وضعية نفخ الهواء حيث ترفع الفتحة الجانبية من المعدن المصهور، وتغلق بواسطة سدادة، وتلتصق فوهة الضغط بقناة صب القالب المعدني المغلق، ويتم نفخ الهواء الذي يدفع المعدن المصهور إلى داخل تجويف القالب، من مساوئها: المسامية الكبيرة للمسبوكات نتيجة تعرض المعدن مباشرة للهواء المضغوط.



الشكل (5–5): آلة تعمل بضغط الهواء مباشرة على سطح المعدن السائل.

- **آلات السباكة بالضغط ذات الحجرة الباردة:**

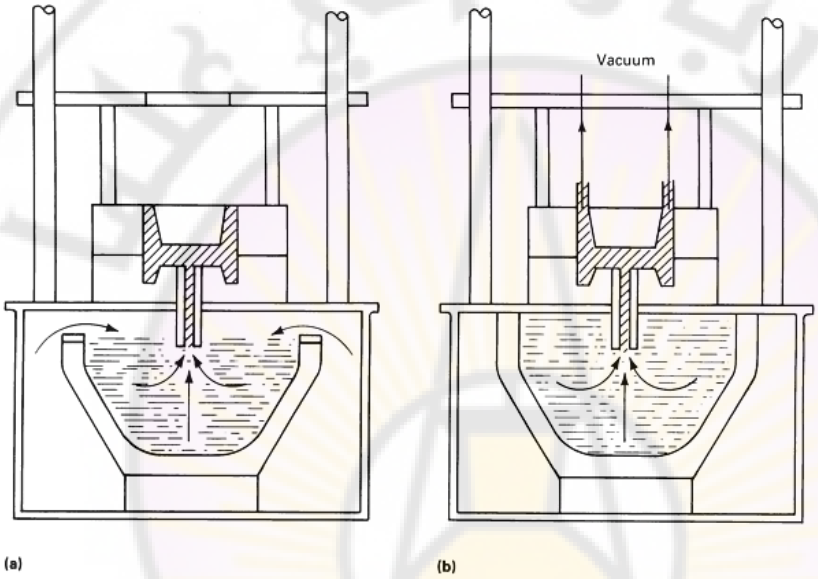
تستعمل لسباكة المعادن التي تتفاعل مع غرفة الضغط، مثل الألمنيوم (يتفاعل مع الفولاذ) كما يستعمل للمعادن غير الحديدية ذات درجة حرارة الانصهار المرتفعة. تحتوي الآلة على حجرة ضغط أفقية ، عادة يصب المعدن المصهور يدوياً وبكمية معايرة أكثر بقليل من الكمية المطلوبة لإنتاج المسبوكة، يتقدم الدافع للأمام أوتوماتيكياً، ويقوم بدفع المعدن داخل حجرة الضغط الباردة حيث يتراوح الضغط بين ($300\text{-}1600\ Kg/cm^2$). للمسبوكات المنتجة بهذه الطريقة دقة عالية، وبنيتها مصمتة لا تحتوي على تجاويف، كما أن معدل الإنتاج مرتفع. الشكل (5–6).



الشكل (5–6): الة السباكة بالضغط ذات الحجرة الباردة.

- **السباكة بالضغط المنخفض:**

تمكن هذه الطريقة من إنتاج مقاطع رقيقة جداً، تستخدم لتصنيع أجزاء الطائرات والسيارات، وتصنيع عنفات المضخات. كمثال إنتاج عنفات مضخات من خليط ألمنيوم قطرها 250 mm يطبق عليها ضغط 0.75 Kg/cm^2 لمدة حوالي (30-45 Sec)، يسخن القالب والنواة قبل السكب إلى درجة حرارة مساوية 250 °C، ضغط إغلاق القالب بحدود 30 Kg/cm^2، ويتم ذلك بواسطة أسطوانة هوائية. تصنع النوى لهذه الصفات من الجبي، والمنتجات ذات سماكة أصغر من 1mm، وهي عالية الدقة والإنهاء وجيدة النوعية، ومعدل المسبوكات المرفوضة لا يتجاوز 2%. الشكل(5–7).



الشكل (5–7): آلة السباكة بالضغط المنخفض. (a): مع تخلية بالهواء، (b): وحدات تستخدم مع القوالب الدائمة.

5–3: السباكة بالطرد المركزي:

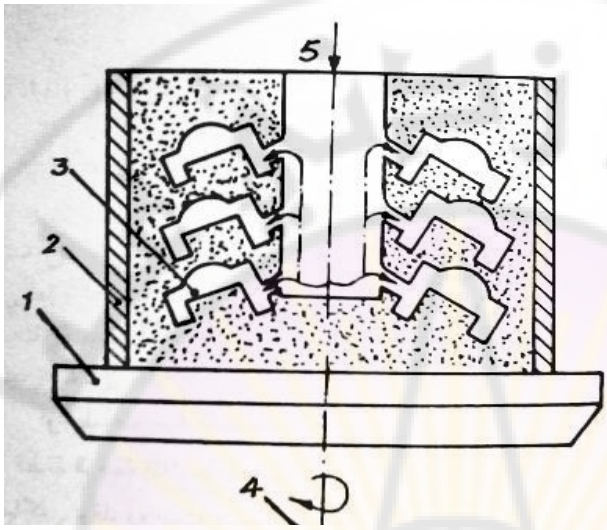
يتم صب المعدن المنصهر إلى داخل قالب دوار حيث يدفع هذا المعدن إلى محيط هذا القالب بواسطة قوة الطرد المركزية، تتعلق قوة الطرد المركزي، بنصف القطر وبعدد الدورات وبوزن الجسم المتأثر بقوة الطرد المركزية ،تبقى الشوائب الأخف وزناً عند مركز القالب، بينما يدفع المعدن النظيف ذو الوزن النوعي الأكبر إلى محيط القالب، والمنتجات تكون كثيفة، وخالية من المسامات وذات متانة جيدة. هذه الطريقة لا تحتاج إلى نوى ولا إلى نظام الصب ولا مرضعات (أحياناً يستخدم نوى معدنية أو رملية CO_2)، تصنع القوالب من حديد الصب الرمادي أو الفولاذ الخلائطي كما يمكن أن تستخدم قوالب غرافيتية.

تصنف طريقة السباكة بالطرد المركزي حسب وضعية محور دوران القالب إلى:

- **طريقة السباكة بالطرد المركزي في قالب محور دورانه شاقولي:** وتقسم إلى:

آ– مسبوكات الدفع المركزي:

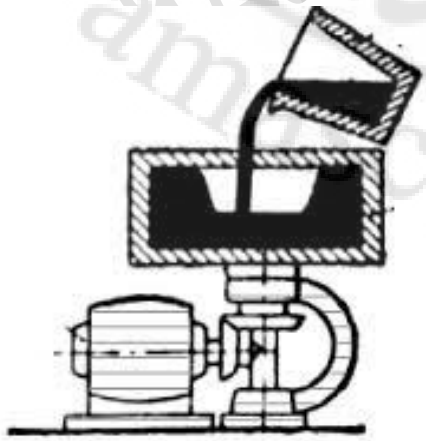
يصب المعدن إلى قالب دوار يحوي فجوات مسبوكات منظمة حول قناة صب مركزية، يدخل المعدن النظيف إلى داخل تجويف القالب عبر قنوات تغذية قطرية. يبين الشكل (5–8) طريقة صب كتلة من القوالب المجهزة بواسطة النماذج الشمعية المفقودة بالطرد المركزي، فيثبت الريزق 2 وبه كتلة النماذج المحمصة 3 على صينية مكَنَة الطرد المركزي 1، بحيث ينطبق محور دوران المكنة الرأسي 4 على محور دوران القوالب والمصب الأوسط 5، وبعد صب المعدن وتجمده تخرج المسبوكات، وتخلص من مصباتها ثم ترسل إلى التنظيف.



الشكل (5–8): آلة سباكة بالدفع المركزي.

– مسبوكات شبه الدفع المركزي:

تستخدم هذه الطريقة لصنع المسبوكات ضخمة الحجم المنتظمة حول محورها، مثل: الطارات والمسننات وعنفات المضخات، يصب المعدن من خلال قناة الصب المركزية، عدد الدورات أقل من مسبوكات الدفع المركزي، بسبب كبر حجم القالب؛ وبالتالي عملية فصل الشوائب بفعل الدفع المركزي أقل فاعلية، السرعة السطحية المطبقة على المحيط الخارجي للمسبوكة بحدود غير واضح. الشكل (5–9). وتصب في وضع رأسي المسبوكات التي لا تتجاوز ارتفاعاتها قطر الجوف. وتعمل قوة الدفع شبه المركزي على تسلق المعدن للجوانب الرأسية للقالب، ويبرد في هذا الوضع مكوناً في الداخل منحني قطع مكافئ، ويصل الميل الداخلي لحوالي من 10 إلى 20 مم للمتر (0.5 درجة إلى 1 درجة) حسب ارتفاع القالب وسرعة المكنة. وتحسب سرعة المَكَنة للحصول على قوة نابعة في داخل المسبوك من 75 إلى 100 مرة قوة الجاذبية.



الشكل (5–9): مسبوكات شبه الدفع المركزي بقالب محور دورانه رأسي.

- **السباكة بالطرد المركزي في قالب محور دورانه أفقي:**

تستخدم هذه الطريقة لإنتاج مسبوكات طولها أكبر من أربعة أضعاف قطرها. تستخدم نواة عند نهاية القلب لمنع المعدن من الخروج من القالب، ولملء كامل بالمعدن، تستخدم حركة انسيابية لقالب الصب أو المجرى مع حركة دورانية لقالب الصب. باستخدام هذه الطريقة يمكن إنتاج مسبوكات يصل قطرها إلى 1200 mm وبطول mm 4800 وذات سماكة صغيرة بحدود 6mm .

يستخدم محور الدوران المائل عندما يكون طول المسبوكة أقل من أربعة أضعاف قطر هذه المسبوكة، وفجوة المسبوكة المنتجة غير أسطوانية، بسبب المحور المائل مع سرعة دوران كبيرة يقترب السطح من الأسطواني، بهذه الطريقة تسهل إملاء القالب بالمعدن.

اختيار سرعة دوران مناسبة أمر مهم جداً للحصول على مسبوكة سليمة خالية من العيوب. تحسب سرعة دوران الآلة بحيث نحصل على قوة قطرية للمعدن المصهور مساوية (75–100) مرة من قوة الجاذبية، وذلك عند استخدام قوالب رملية ومساوية إلى 60 مرة في حالة استخدام قوالب معدنية. الشكل(5–10)

الشكل (5–10): السباكة بالطرد المركزي في قالب محور دورانه أفقي.

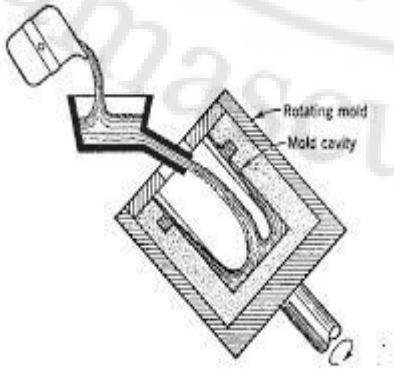


Fig. 71—True centrifugal casting process.

الشكل (5–10): السباكة بالطرد المركزي في قالب محور دورانه مائل.

حددت عدد الدورات الدنيا اللازمة من علاقة قسنطانطين الآتية:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot R}}$$

حيث:

n : عدد الدورات بالدقيقة (r.p.m)

γ : الوزن النوعي للمعدن(g/cm^2)

R : نصف القطر الداخلي للمسبوكة (cm^2)

5-4: السباكة المستمرة:

لا تستخدم طريقة الصب بالطرد المركزي لإنتاج الأنابيب (المواسير) الطويلة ذات الأقطار الكبيرة، وذلك لاعتبارات اقتصادية مهمة، ولهذا السبب ابتكرت طريقة الصب المتواصل التي أمكن بواسطتها إنتاج مواسير تصل أقطارها الاسمية 1500 مم، وتصل أطوالها إلى تسعة أمتار.

تستخدم هذه الطريقة بصورة عامة لإنتاج القضبان والمواسير والألواح المعدنية وغيرها، وفيها يصب المعدن خلال ممر رأسي يُبرد باستمرار بواسطة ترتيبة مناسبة، فإذا ما تجمد المصبوب يغذى وهو ما زال ساخناً لدرجة الاحمرار أو يقطع إلى أجزاء حسب الأطوال المطلوبة.

وتمتاز الأجزاء المنتجة بهذه الطريقة بمقاومتها الميكانيكية العالية وبإمكان الحصول منها على مصبوبات رقيقة وباقتصاد في المعدن المستخدم في صبها، وعندما كان التبريد في هذه الطريقة يتم بسرعة، فإن مصبوباتها ذات بنية بلورية دقيقة، ولهذا السبب تصل مقاومة الشد في مصبوبات حديد الزهر الرمادي المنتجة بهذه الطريقة إلى أكثر من ضعف مقاومة الشد في المنتجات المصبوبة في قوالب رملية أو بطريقة الصب بالطرد المركزي. ويمكن تقسيم هذه الطريقة إلى نوعين، هما:

آ- صب الأنابيب والأعمدة. ب- صب الألواح.

- صب الأنابيب بالطريقة المستمرة.

يبين الشكل (5-11) رسماً تخطيطياً لجهاز (آلة) صب الأنابيب بالطريقة المستمرة، ويتألف الجهاز من الأجزاء الآتية:

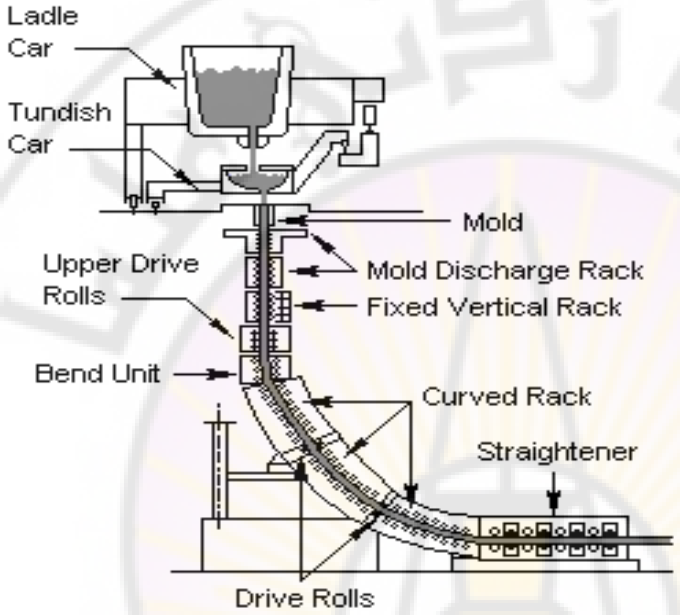
1- مبرد معدني خارجي أسطواني الشكل مبرد بالماء الجاري، ويطابق قطره الداخلي القطر الخارجي للمسبوكة.

2- مبرد داخلي معدني أسطواني الشكل يُبرد بالماء الجاري، ويطابق قطره الخارجي القطر الداخلي للمسبوكة.

3- لوح جذب يتحرك على عمودي جر مقلوظين لتأمين حركة خطية نحو الأعلى والأسفل، ويركب عليه نواة معدنية.

4- محرك كهربائي لإدارة عمودي الجر.

يجمع القالب، ويبدأ بصب حديد الزهر المنصهر من البوتقة الحرارية وبعد أن يملأ المعدن فجوة القالب (الفراغ ما بين المبردين) يتجمد نتيجة ملامسته لسطوح المبردات الباردة وفي الوقت نفسه يدور المحرك، وينسحب لوح الجذب نحو الأسفل ببطء، فيحصل للماسورة تحت تأثير ثقلها ما يشبه عملية السحب من المبرد. أما لصنع ماسورة جديدة، فلا علينا إلا وضع نواة أخرى على لوح الجذب ثم رفعه نحو المبردات ومباشرة صب حديد الزهر من جديد.



الشكل (5–11): رسم تخطيطي لماكينة صب المواسير بالطريقة المستمرة.

السباكة الدقيقة

Precision Casting

تستخدم السباكة الدقيقة إما لإنتاج مسبوكات مطابقة بشكلها وأبعادها النهائية لشكل المشغولات المكتملة وأبعادها، أو على الأقل لإنتاج مسبوكات أبعادها في حدود تسامحات ضيقة جداً، ومن أمثلة المسبوكات المنتجة بهذه الطريقة المسبوكات التي ينبغي عدم تشغيلها ميكانيكياً (وذلك لصعوبة التشغيل خاصة إذا كانت الأشكال معقدة كريش العنفات الغازية... وغيرها) أو الاقتصار على تشطيب سطحها بالتلميع فقط. وأهم طرائق السباكة الدقيقة، هي:

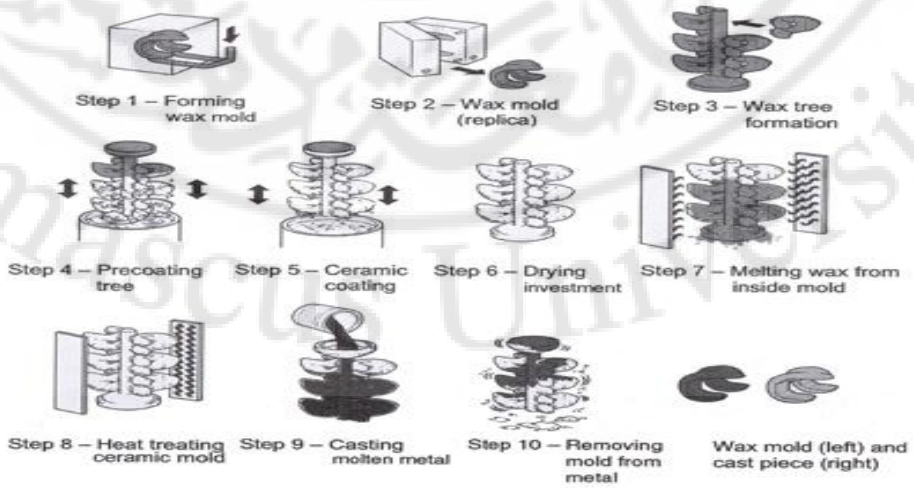
1. الصب باستخدام نماذج الشمع المفقود.
2. الصب في قوالب قشرية.
3. القولبة بطريقة النموذج المتبخر.
4. القولبة بالضغط المنخفض.
5. السباكة بقوالب الجص.
6. الصب بالقوالب السيراميكية.

6-1: السباكة الدقيقة باستخدام نماذج الشمع المفقود:

وهي طريقة قديمة استخدمت في القرن التاسع عشر في صناعة الأسنان، حيث تتطلب في المسبوكة المطلوب صناعتها دقة متناهية في أبعادها لتلائم الفراغ المعد لها بين الأسنان الأخرى، وقد تطورت السباكة الدقيقة باستخدام نماذج الشمع المفقود في السنوات الأخيرة، وشاع استخدامها في سباكة كثير من أجزاء المنتجات الدقيقة في أبعادها والمتميزة بنعومة أسطحها مما يغني عن استخدام أي عمليات تشغيلية لاحقة للإنهاء.

– مراحل إنتاج المسبوكات باستخدام نماذج الشمع المفقود:

تتكون تكنولوجيا إنتاج المسبوكات بالطريقة المذكورة من المراحل الآتية: كما يوضح الشكل (6-1):



الشكل (6-1): مراحل إنتاج مسبوكات بطريقة الشمع المهدور.

1- تجهيز نموذج قياسي للمنتج.
2- تجهيز قالب لصب النماذج الشمعية.
3- صب النماذج الشمعية بالحقن وتجهيزها.
4- تجهيز شجرة النماذج، وذلك بتثبيت النماذج على قضبان شمعية تمثل المصب وقنوات التغذية وقمع الصب وذلك باستخدام أدوات يدوية ساخنة لصهر النماذج الشمعية بعضها مع بعض.
5- تطلى مجموعة النماذج (أو شجرة النماذج) الشمعية بغمرها بمحلول الرمل السيليسي الناعم جداً مع مادة رابطة من السليكا، وذلك للمعادن ذات درجة الانصهار العالية يرش سطحها بالرمل الناعم.
6- تجفف الطبقة الرملية المترسبة على النماذج الشمعية عند درجة حرارة (20 °C) وذلك لمدة (6) ساعات.
7- يدخل الريزك مع مجموعة النماذج في فرن بدرجة حرارة من (100 – 120) مئوية حتى يسيل الشمع منه.
8- ترفع حرارة القالب إلى درجة حرارة (1000 مْ) حتى يتصلب، ويجفف، وتزال آثار الشمع.
9- إجراء عملية صب المعدن المصهور في القالب وهو بدرجة حرارة بحدود (700 – 900) درجة مئوية، وذلك إما بطريقة تفريغ الهواء أو بطريقة الصب تحت الضغط أو بالطرد المركزي.
10- إخراج المسبوكات من القالب، وتنظيفها حتى تصبح جاهزة للاستثمار.

6-2: السباكة الدقيقة باستخدام القوالب القشرية:

لوحظ عند سباكة المعادن في قوالب رملية أنه لا يسخن من الرمل إلا الطبقة الرقيقة الملامسة للمسبوك؛ أي إن باقي الرمل لا يتعرض لدرجة حرارة عالية، وقد استغلت هذه الحقيقة في الطرق الحديثة للحصول على المسبوكات بصبها في قوالب رقيقة الجدران (قشرية) من خليط خاص لمواد السباكة يتكون من رمل الكوارتز الناعم وإضافات من البكاليت نسبتها (5-6%) وللبكاليت قابلية للانصهار عند ملامسته لسطح النموذج المعدني الساخن، وتغليف حبيبات الكوارتز ثم التحميص مكوناً قشرة متماسكة ذات ناقلية جيدة للغازات.

يمكن استخدام هذه الطريقة لمعادن السباكة كافة كالصلب، وسبائك الصلب الخاصة، وحديد الزهر، وسبائك النحاس والتيتانوم. وتصلح هذه الطريقة بصفة خاصة لصب المسبوكات ذات الجدران الرقيقة.

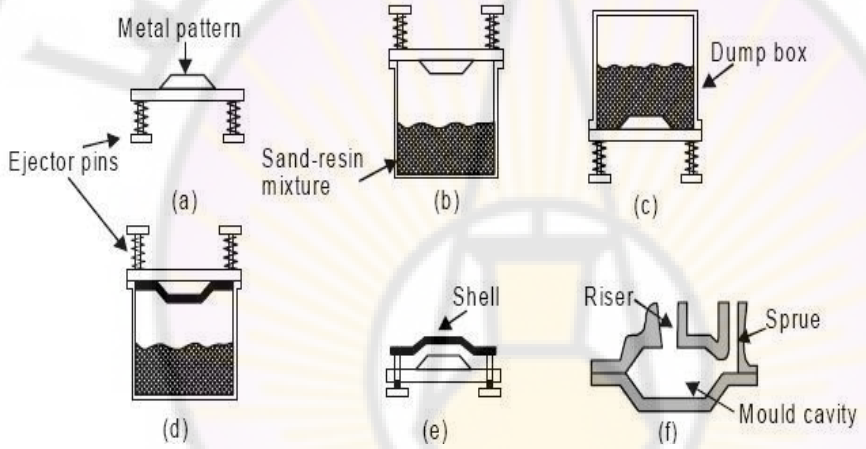
- خطوات صنع القالب القشري:

لصنع القالب القشري الشكل (6-2) تُتبع الخطوات حسب التسلسل الآتي:

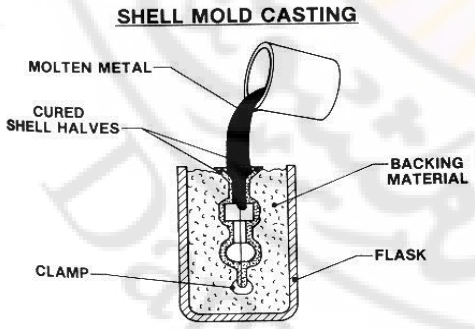
- تصنيع النموذج، ويوضع على لوح النموذج المصنوعة من المعدن ثم يتم تسخين كل من النموذج ولوحة النموذج تبعاً لدرجة انصهار المادة الراتنجية، إلى درجة حرارة تتراوح بين (200-300) °م.
- يتم ثبيت لوحة النماذج على مستودع الرمل القشري، ومن ثم قلب مستودع الرمل بحيث يغطي لوحة النماذج.
- تنصهر المواد الرابطة المختلطة بالرمل عند ملامستها لسطح النموذج الساخن، وتُكون مع الرمل في ثوان معدودة طبقة منتظمة الشكل، تتراوح سماكتها تبعاً لطول فترة التسخين من (4-12) مم.

- نقلب لوحة النموذج بعد ذلك فيسقط الرمل السائب الباقي وغير المتأثر بالحرارة، ويبقى الغلاف القشري المتماسك.
- تحمص قشرة الرمل المتوضعة فوق النموذج، وذلك بحرارة (450) °م ولمدة (3–5) دقائق ويتم ذلك في أفران خاصة أو أي وسيلة أخرى، لكي تتصلب القشرة بشكل كامل.
- تزال القشرة عن النموذج بواسطة لوافظ موجودة في لوحة النموذج أي وسيلة أخرى.
- يصنع النصف الثاني بالطريقة نفسها، ثم يجمع النصفان، ويربطان معاً لتكوين قالب السباكة المتناظرة، وبعد ذلك يوضع القالب في وعاء، ويحاط بالرمل.
- يصب المعدن المصهور، ويترك ليتجمد، ويبرد. الشكل (6–3).

يستطيع القالب مقاومة ضغط المعدن المصهور حتى يتجمد المعدن ثم يتفتت القالب بعد ذلك حيث تحترق المادة الرابطة، ومن ثم يصبح من السهل تنظيف المسبوكات.



الشكل (6–2): مراحل إنتاج مسبوكة بطريقة القوالب القشرية.



الشكل (6–3): صب المعدن المصهور في قالب قشري.

– مزايا السباكة في القوالب القشرية ومساوئها:

أهم مميزات السباكة بالقوالب القشرية:

1– مناسبة للإنتاج الكمي من المسبوكات.

2– تكون مسبوكاتها دقيقة الأبعاد، وناعمة السطوح مقارنة بالسباكة بقوالب رمل السباكة الطبيعي.

3– تحتاج هذه الطريقة (10–20%) رملاً قشرياً مقارنة بطرق السباكة برمل السباكة الطبيعي.

4- تتميز القوالب القشرية بنفاذية عالية للغازات وبعدم امتصاص الرطوبة، وبذلك يمكن تخزينها.

5- لا تحتاج هذه الطريقة إلى ريازك.

6- انخفاض تكاليف الإنتاج بدرجة كبيرة لقلة النفايات ولصغر احتمال رفض المسبوكات لعدم صلاحيتها.

مساوئ السباكة بالقوالب القشرية:

1- ارتفاع تكاليف النماذج والرمل والمادة الرابطة.

2- تعقيد تجهيزات النموذج المعدني (لوح النموذج ولوافظ على هذا النوع).

3- اختصار استخدامها على إنتاج المسبوكات الصغيرة حجماً ووزناً.

4- حاجتها إلى تجهيزات إضافية ودقة مراقبة.

6-3: السكب بالقالب الكامل (النموذج المتبخر):

يصنع النموذج المستخدم في هذه الطريقة من مادة البوليسترين كاملاً مع نظام الصب والمرضعات، وذلك بواسطة عمليات التشغيل والتشكيل. يطلى بعد ذلك النموذج بطلاء مناسب للقوالب، يغطس النموذج في رمل سباكة يتصلب في درجات الحرارة العادية، مثل رمل سيليكات الصوديوم مع غاز CO_2. يصب بعد ذلك المعدن المصهور الذي يقوم بتبخير النموذج وتحويله إلى غاز؛ وبالتالي يحل المعدن المصهور مكان النموذج المتبخر. درجة حرارة المعدن المسكوب يجب أن تكون أعلى بحوالي (20 – 30) درجة مئوية عن طرق السباكة الأخرى كي يحدث تبخر النموذج بشكل جيد. الشكل (6-4).

مميزات طريقة السباكة بالنموذج المتبخر:

1- تمكن هذه الطريقة من إنتاج المسبوكات المعقدة بشكل سريع وبتكلفة منخفضة.

2- دقة مرتفعة لأبعاد المسبوكات.

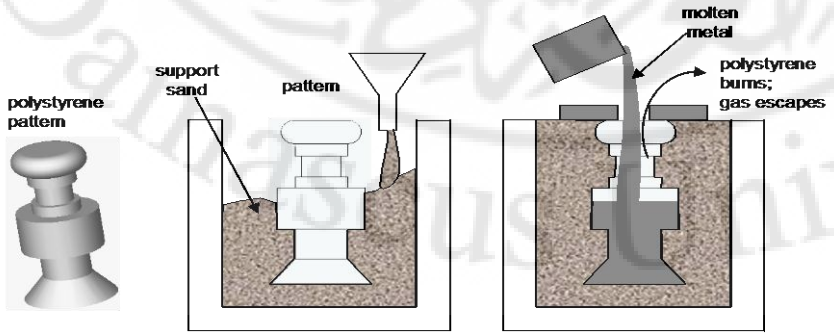
3- المسبوكات المنتجة خالية من العيوب، مثل الفجوات الهوائية.

4- المسبوكات المنتجة لا يوجد لها آثار عند سطح الفصل (عدم وجود سطح فاصل).

5- يمكن إنتاج المسبوكات الضخمة ومعقدة الشكل، فلا يوجد محدودية للمسبوكات المنتجة.

6- يمكن إنتاج الطريقة بسهولة لإنتاج المسبوكات التجريبية (المنتج الأولي).

7- تستخدم الطريقة لإنتاج المسبوكات من المعادن الحديدية والمعادن غير الحديدية.



الشكل (6-4): السباكة بطريقة القالب الكامل.

6-4: القولبة بالجبس:

يحضر القالب من الجبس حيث يمزج الجبس مع الكمية الصحيحة من الماء(أضف الجبس إلى الماء) قد تضاف عند الحاجة بعض المواد، مثل الإسبستوس، والتالك وطحين السيلكا، وذلك لإعطاء الجبس متانة إضافية و نفوذية ومقاومة انصهار. يتم التصلب خلال مدة 30 دقيقة تقريباً ، حيث ينزع النموذج من القالب، ويجفف هذا القالب بتسخينه ببطء إلى حدود 200 درجة مئوية، عندما يفقد القالب الماء بشكل كامل يصب المعدن المصهور في هذا القالب .

إن السيئة الأساسية لهذه القوالب أن الجبس ضعيف النفاذية للغازات؛ لذلك يفضل أن يحضر القالب ويصب المعدن المصهور تحت تأثير التخلية، كما يمكن استخدام ضغط الهواء لتغذية المعادن غير الحديدية، وذلك بسبب المقاومة الحرارية المنخفضة للجبس.

مميزات هذه الطريقة:

1- إمكانية الحصول على مسبوكات رقيقة الجدران، وذلك بسبب انخفاض الناقلية الحرارية للجبس حيث لا يتجمد المعدن ضمن القالب بشكل سريع.

2- يمكن صب المعدن المصهور ضمن القالب ببطء وهذا يساعد على خروج الغازات من القالب.

3- الدقة العالية للمسبوكات المنتجة.

4- الإنهاء الجيد لسطح المسبوكات المنتجة.

مساوئ هذه الطريقة:

1- الجبس ضعيف النفاذية للغازات.

2- الجبس مناسب فقط لسباكة المعادن غير الحديدية، وذلك بسبب المقاومة الحرارية المنخفضة للجبس.

تستخدم هذه الطريقة لإنتاج القطع الهندسية، كما تستخدم بشكل خاص لمسبوكات التماثيل والمجوهرات. الشكل (6-6)

الشكل (6-6): قالب جبس جاهز للصب.

6-5: القولبة بالسيراميك:

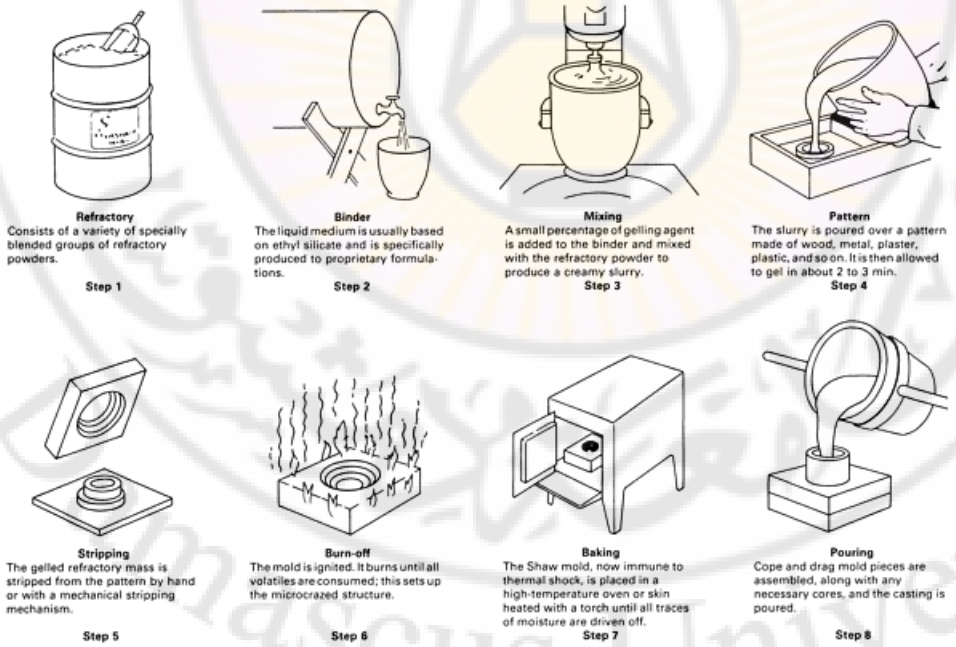
تستخدم هذه الطريقة لإنتاج مسبوكات عالية الدقة واستثنائية بجودة السطح حيث يستخدم في تصنيع القالب ملاط سيراميكي مع مادة رابطة كيميائية.

هذه الطريقة مناسبة لكل أنواع المعادن والخلائط المعدنية ،لا تحتاج مرضعات أو تهوية أو مبردات، حيث معدل التبريد بطيء جداً.

هذه الطريقة مناسبة بشكل خاص لإنتاج قوالب التطريق، وقوالب الإطارات، وقوالب البلاستيك وقوالب السحب، والبثق، وقوالب السكب بالضغط، وقوالب تصنيع الزجاج، ونماذج القوالب القشرية، ومراوح المضخات ذات الممرات الضيقة وأجزاء المفاعلات....

يُستخدم في طريقة القولبة هذه نماذج من الخشب أو المعدن أو الريزين، ويتم تحضير الملاط الحراري بمزج حبيبات سيراميكية خاصة مختارة مع رابطة كيميائية مثل (رابع إيثيل السيلكات)، يصب الملاط السيراميكي المحضر فوق النموذج الموضوع ضمن الإطار، بحيث يملأ تجاويف النموذج ونتوءاته كلها بدون الرك أو الرج للقالب.

تستقر المادة الرابطة بمدة تتراوح (3–5) دقيقة، وترتبط الحبيبات الحرارية بعضها ببعض، ينزع بعد ذلك النموذج، وتزال الكتلة السيراميكية من الإطار. يسخن القالب لدرجة حرارة 980 °C للحصول على المتانة الكاملة. هذه الدرجة تعتمد على حجم وسماكة مقطع القالب. يصب بعد ذلك المعدن المصهور ضمن القالب، ويترك ليبرد ببطء ضمن هذا القالب. الشكل (6–7).



الشكل (6–7): مراحل تصنيع قالب سيراميكي.

الدكتور: حسن فارس هدله
Damascus University

عمليات التشكيل بدون قطع

تعتبر عمليات التشكيل بدون قطع (أي التشكيل بدون إزالة رايش) من العمليات المهمة والأساسية في عمليات الإنتاج. وهذه العمليات لها أهمية كبيرة من الناحية الاقتصادية في تشكيل الأشكال النصف مصنعة semi product حيث يمكن توفير عمليات تشغيل كثيرة على آلات الورش. علاوة على أن هذا النوع من التشكيل يستخدم في إنتاج المنتجات الضخمة مثل فرش المخارط والفرايز والمثاقب وأجسام المحركات...الخ

يشتمل هذا الفرع من المتالورجيا على معالجة الفلزات في الحالة الصلبة. تسبك الفلزات عادة على شكل صبات ، تبرد بسرعة على السطح و ببطىء خلال المركز. لهذا السبب لا بد أن توضع الصبات في أفران تسمى الأفران الغاطسة حيث تسخن إلى درجة حرارة منتظمة في كل نواحيها. الفلز الساخن لين بشكل ملائم و يمكن كبسه تحت ضغط قوي ليأخذ أشكال متعددة.

ومن أهم طرق التشكيل المستخدمة في تشكيل المنتجات بدون عمليات قطع هي:

آ- عمليات التشكيل التي تحتاج لقوى كبيرة مثل:

1. الحدادة Forging
2. الدرفلة Rolling.
3. البثق Extrusion
4. سحب الأسلاك Wire Drawing

ب- عمليات تشكيل الصفائح وتشمل:

1. القص Shearing.
2. الثني Bending
3. فصل الأغفال Blanking
4. الخرق (الثقب) Piercing
5. التدويم Spinning
6. السحب العميق Deep Drawing

ج- ميتالورجيا المساحيق.

تتم عملية التشكيل إما على البارد أو على الساخن:

مقارنة بين عمليات التشكيل على البارد والتشكيل على الساخن	
التشكيل على البارد	التشكيل على الساخن
يعطي منتجات ذات دقة عالية بالأبعاد.	دقتها أقل.
منتجات ذات إنهاء سطحي جيد	يعطي منتجات ذات اختلافات كبيرة بالسماكة
يزيد متانة وقساوة المعدن.	يحسن مطيلية المادة
عملية تشكيلية ذات تكلفة عالية	أرخص من عمليات التشكيل على البارد.
تحتاج لقوى كبيرة لانجاز العمل	يخفض القوى اللازمة للتشكيل
محدودة الاستخدام	واسعة الاستخدام
لابد أن يكون سطح المعدن نظيفا وخاليا من الأكاسيد	لا تحتاج لذلك
عادة تتم عملية التشكيل على البارد أولا ومن ثم تتبع بعملية تشكيل لاحقة على الساخن وذلك لتحسين المنتجات.	

آ- عمليات التشكيل التي تحتاج لقوى كبيرة وتشمل:

1– عمليات الحدادة Forging Process:

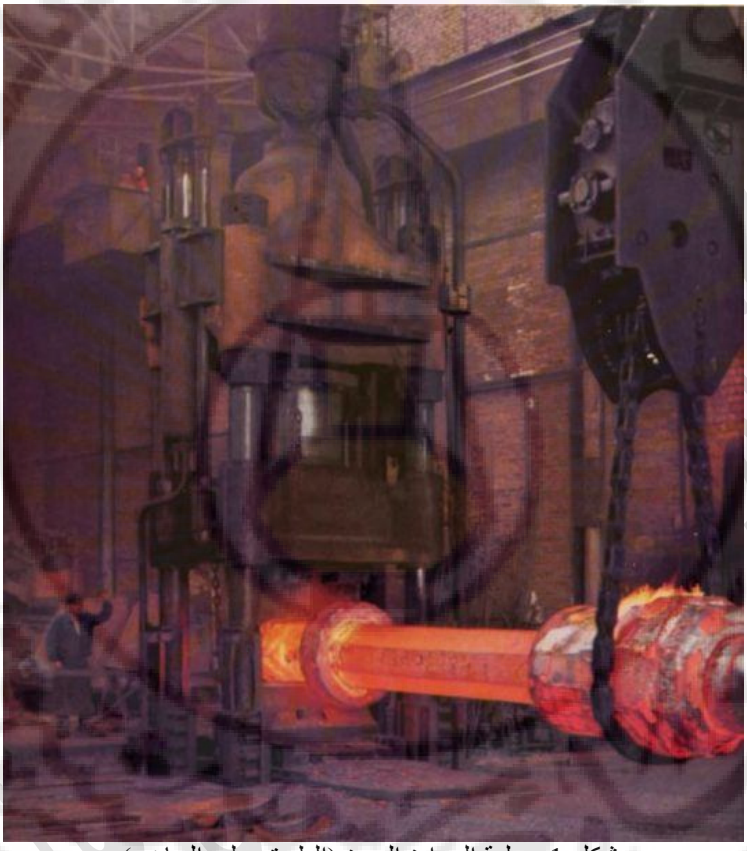
تعتبر عمليات الحدادة من أقدم عمليات التشكيل المعروفة من القدم عمليات الحدادة إما أن تتم على الساخن أو على البارد.

- **عمليات الحدادة على الساخن:**

تتم عملية الحدادة على الساخن عن طريق رفع درجة حرارة المعدن إلى درجة حرارة عالية مناسبة (أقل من درجة انصهار المعدن) لكي تسمح لحدوث التشوه اللدن بسهولة، ثم الطرق عليها بقوة ضغط مناسبة لتأخذ الشكل المطلوب وتتم عملية الحدادة عادة على المعادن التي لها مرونة ولدونة عالية مثل الفولاذ مثلا ولكنها لا تتم على المعادن القصفة الهشة مثل الحديد الزهر.

A: الحدادة الحرة:

وتجرى عمليات الحداد بواسطة الطرق الحر باستخدام مجموعة من الأدوات الأساسية لعمليات التشكيل المختلفة.
فى هذه العملية يطرق الفلز أو يكبس للشكل المطلوب. و يمكن استعمال مكبس هيدروليكى (حتى 30000 طن) أو مطرقة ساقطة ذات أجزاء متحركة تصل إلى 30 طن لهذا الغرض (شكل 1).



شكل 1 عملية الحدادة الحرة (الطرق على الساخن)

ومن أهم العمليات الممكن إجراؤها بواسطة عمليات الطرق الحر (أيضا معروفة باسم الحدادة اليدوية أو الحدادة في قوالب مفتوحة) هي:

الفلطحة Upsetting

في هذه العملية يزداد مساحة المقطع بينما يقل طولها. واتجاه تأثير القوى يكون في اتجاه موازي لطول الشغلة وعمودي على مساحة المقطع. ويمكن أن يكون الفلطحة جزئيا من طريق تسخين الجزء المراد فلطحته من الشغلة فقط .

السحب

في هذه العملية يزداد طول القطعة ويقل مساحة المقطع والقوى المؤثرة عمودية على الطول وموازية للمقطع. ويمكن أن تبدأ عمليات السحب من الأطراف أو من الوسط.

الخرق (الثقب) Piercing

وهي عبارة عن عملية حدادة للحصول على ثقوب نافذة أو غير نافذة. ويستخدم سنابك بقطر مناسب مع القطر المطلوب. أما بالنسبة للأقطار الكبيرة (أي عندما يكون الناتج شكل حلقة) فلنقبل السمك وزيادة القطر الداخلي للحلقة فإن إما أن يستخدم السندان، أو تستخدم شاقة وذلك لتقليل سمك الحلقة وزيادة قطرها الداخلي وفي الوقت نفسه زيادة عرض الحلقة.

4- الثني Bending

5- القص Shearing

ويستخدم لإجراء عمليات القص للقطع الأولى باستخدام المقصات أو باستخدام البلط المناسبة.

6- التشكيل بالطرق داخل زهرة Swaging (قالب معدني مغلق مصنع من حديد الزهر)

وهي عبارة عن زهرة بها مجموعة من الفتحات بأبعاد وأشكال مختلفة، وتتم عملية التشكيل عن طريق وضع الشغلة بعد تسخينها والتي دائما يكون مقطعها أكبر من المقطع المطلوب داخل شكل الفراغ المطابق لأبعاد وشكل الشغلة وحيث يطرق عليها. ويمكن بهذه الطريقة أن نحصل مثلا على مقطع مستدير من خامة مقطعها مربع أو مستطيل والعكس صحيح مع الأخذ في الاعتبار أن طول الشغلة يزداد بعد الانتهاء من عملية الطرق.

7- الترحيل Offseting

وهي عملية حدادة يتطلب منها عمل قطعة واحدة ولكن بها جزء محوره موازي لمحور آخر ولكن يبعد عنه بمسافة. (مثال على ذلك عمود الكرنك).

B: الحدادة في القوالب المغلقة Hot Closed-Die Forging Process

تنفذ عملية الطرق في اسطمبات مغلقة بواسطة أداة تشكيل خاصة تسمى الاسطمبة وتتكون الاسطمبة من جزئين أو أكثر حيث يكون للشكل على سطحي الجزئين في الاسطمبة تجاويف متناسبة مع شكل المنتج المراد تشكيله.

وهذا النوع من الحدادة بالرغم من أن تكاليف إنتاج الاسطمبة باهظ التكاليف إلا أن القدرة الإنتاجية عالية علاوة على أن المطروقات المنتجة ذات أبعاد عالية الدقة مما يؤدي إلى تقليل واضح في كمية المعدن المستهلك بجانب ذلك فإن السطوح الناتجة لها تشطيب أعلى جودة وأحسن مثلا عن السباكة في الرمال وكذلك سهولة الحصول على منتجات معقدة لا يمكن الحصول عليه بالطرق الحر. شكل(2)

وفي الغالب يستخدم الطرق في اسطمبات مغلقة بواسطة المطارق والمكابس وماكينات الطرق الأفقية وماكينات الثني.

هناك مجموعة من الأفران تستخدم في عمليات تسخين المعادن بالنسبة لعمليات حدادية يدوية بسيطة تستخدم الكور. ولكن بالنسبة لعمليات الحدادة الكبيرة والتي تتطلب فيها التحكم في درجات الحرارة التي تصل إلى 1350°م فهناك مجموعة من الأفران منها مثلا أفران اللهب والأفران المستمرة. ويتم الاشتعال داخل هذه الأفران بواسطة استخدام فحم الكوك أو الغاز أو المازوت.

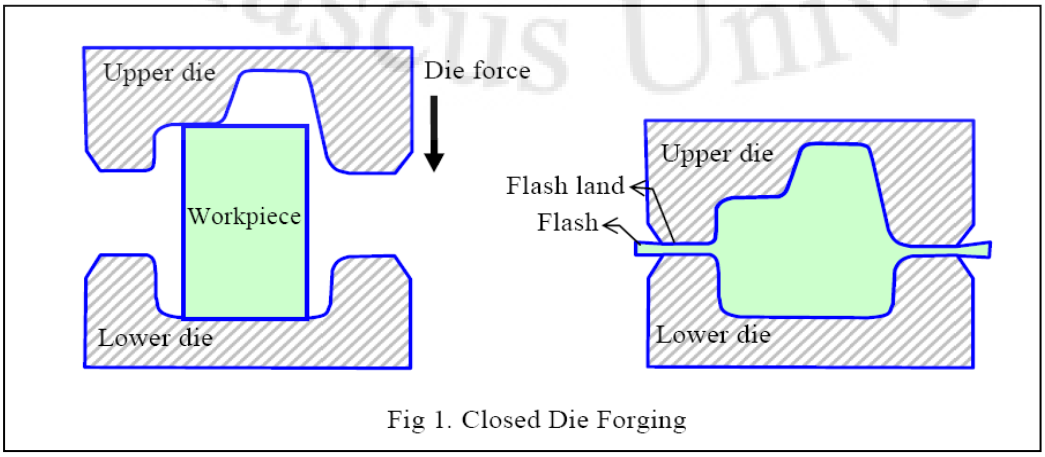
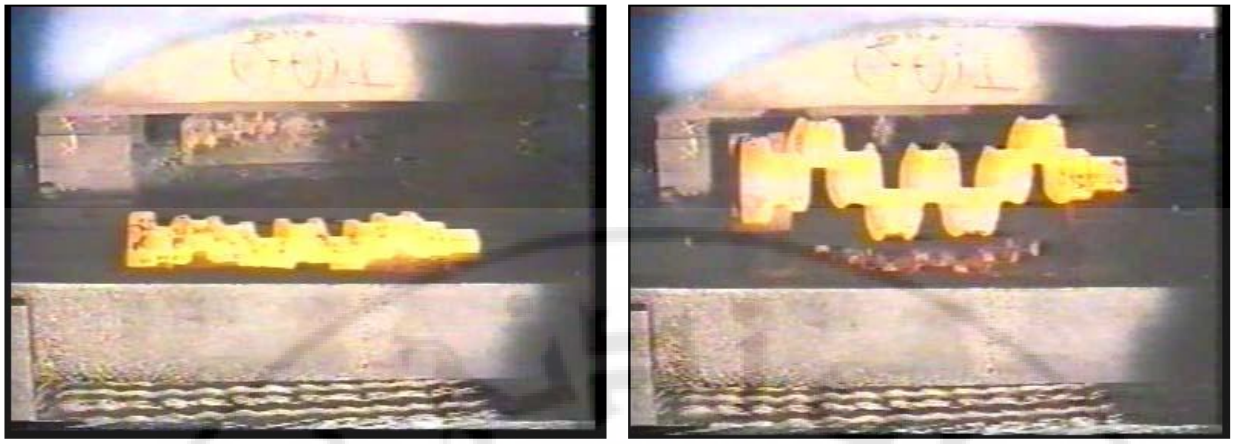


Fig 1. Closed Die Forging



شكل 2 عملية الحدادة المغلقة (تصنيع عمود الكرنك)

C: مقارنة بين الحدادة الحرة والحدادة في القوالب المغلقة:

مقارنة بين عمليات الحدادة الحرة والحدادة المغلقة	
الحدادة الحرة	**الحدادة المغلقة**
يعطي منتجات ذات دقة أقل.	دقتها أعلى.
تحتاج إلى عمال مهرة	لا تحتاج
تستخدم لإنتاج قطع يصل وزنها إلى 200 طن أو أكثر	لانتاج قطع محدودة الوزن (حوالي 100 كغ)
غير مكلفة	مكلفة بسبب ثمن القوالب المعدنية (الاسطمبات) المرتفع
تستخدم مطارق ذات بناء تركيبي مغلق أو مفتوح	مغلق
تستخدم سندان	قوالب (اسطمبات)

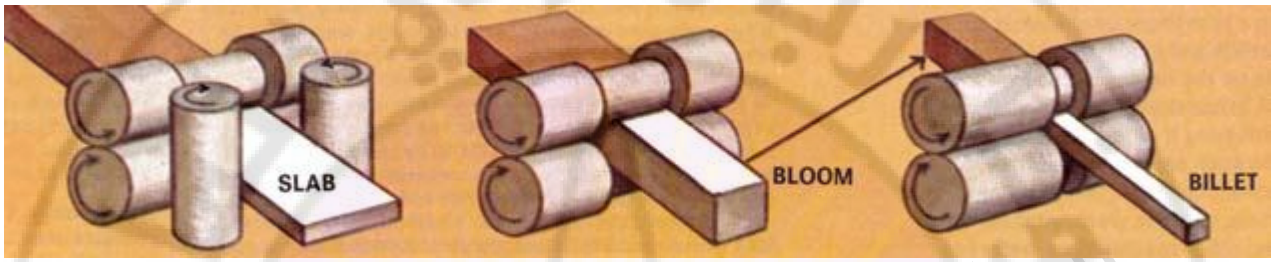
- **عمليات الحدادة على البارد:**

وهذه الطريقة تشمل عملية التشكيل على البارد منها مثلا عمليات الاستعدال straightening - القص (التهذيب للمطروقات) وأيضا عمليات الصك....الخ.
وتعتبر عمليات الحدادة على البارد من أقسى عمليات التشكيل حيث المعدن يجبر على الانسياب في الحالة اللدنة داخل قوالب. وتتم هذه العملية عن طريق قطع أقراص سمكها مساو لأكبر سمك في المنتج النهائي توضع هذه الأقراص بعد ذلك بين قوالب خاصة ويعصر إلى السمك المناسب، حيث يزداد المعدن في القطر ويقل السمك حسبما هو مطلوب وتسوى بعد ذلك حواف المنتج للشكل النهائي المطلوب.
يتسع استخدام الطرق الباردة في إنتاج أجزاء ماكينات الخياطة والتطريز وعدادات قياس السرعة.....الخ.

2: عمليات الدرفلة Rolling Process:

يتم الحصول على القطاعات والألواح المدرفلة بإدخال المعدن عدة مرات بين الدرافيل الذي يعتمد عددها على النسبة بين أبعاد الشكل وشكل المقاطع الأولى مثل عملية الدرفلة.

وتدرفل الألواح والشرائح التي تصنع منها المواسير والشرائط على درافيل ملساء ويتم التحكم في سمك الأجزاء المدرفلة عن طريق تغيير المسافة بين الدرفيلين.
أما درفلة القطاعات للمعدن فتتم بين درافيل مقطوعة على سطحها الخارجي مجاري أو فجوات يتناسب شكلها مع شكل المنتج وفي حالة المنتجات ذات نسبة التخفيض العالية فإن المنتج يمر بمجموعة مراحل للوصول إلى الشكل النهائي من خلال عدة ممرات أولية وممرات نهائية كما هو موضح بالشكل (3). وتتم عملية الدرفلة إما على الساخن أو على البارد .
حيث تُمرر الصبات الساخنة بين درافيل صلب قوية حيث تدرفل فى ماكينات منفصلة إلى بلاطات و نَوْرَات و كتل (شكل 3). تذهب هذه الأشكال الثلاثة النصف نهائية إلى ماكينات التشطيب. و تدرفل هناك كما يلى:



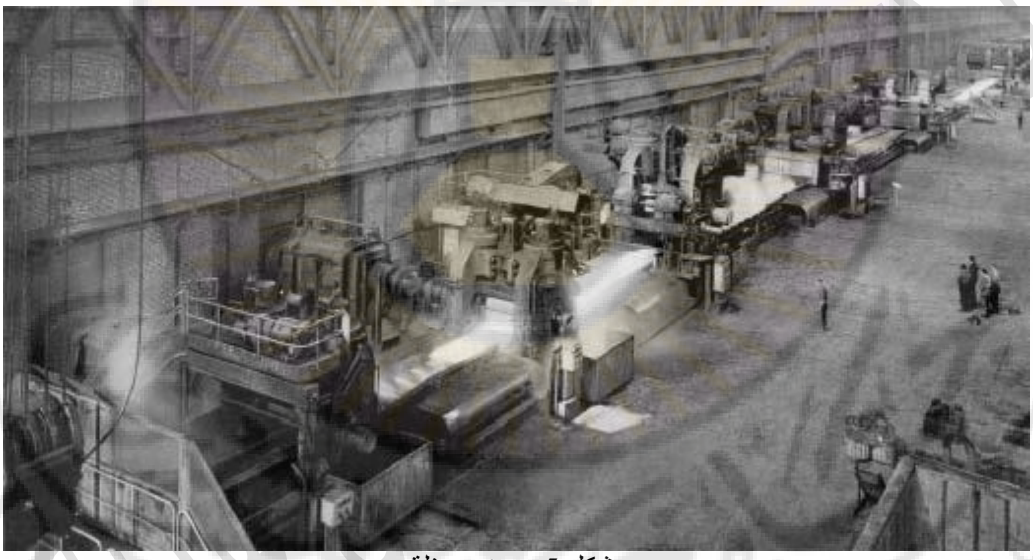
شكل3 منتجات الدرفلة الأولية

البلاطات (Slabs): تسمى هذه الأشكال المسطحة ألواح عندما يتم خفض سمكها إلى حوالى 6 مم ، أما الأشكال الأقل سمكا فيطلق عليها صفائح أو شرائط و حينما تدرفل لسماكات غاية فى الرقة تعرف بالرقائق. و تستخدم هذه الأشكال فى تصنيع معدات النقل و الأجهزة المنزلية. أما الصفائح و الشرائط فتستخدم أيضا فى تصنيع المواسير الملحومة و شبكات الأنابيب.
النورات (Blooms): (مفردها نَوْرَة) هى عبارة عن قضبان مربعة الشكل بأحجام مختلفة من الممكن تشكيلها سواء إلى كمرات أو غيرها من الأشكال المطلوبة للأغراض الإنشائية
العروق (Billets): أو تسمى الشبقات (مفردها شَبْقة) و هى تنتج من النورات لعمل قضبان و أعواد بمقاطع مستديرة أو مربعة أو لإنتاج أشكال أخرى بأحجام متفاوتة و يصنع منها العدد و البرشام و الكابلات و الأسلاك و غيرها.

- **الدرفلة على الساخن:**

عادة ما تتم الدرفلة ساخنة فى المراحل الأولى و باردة في المراحل اللاحقة. و تُصَلِّد الدرفلة الباردة الفلزات حتى أنه بعد خفض السمك لنسب معينة يصبح من الصعب جدا استكمال الدرفلة بشكل اقتصادي ، و في هذه المرحلة تُلَدَّن لتَلْيينَها لمراحل الدرفلة التالية و تستمر هذه العمليات المتبادِلة حتى يتم الحصول على المعيار المطلوب. (شكلى 4 و 5)

شكل 4 عملية الدرفلة الساخنة



شكل 5 مصنع درفلة

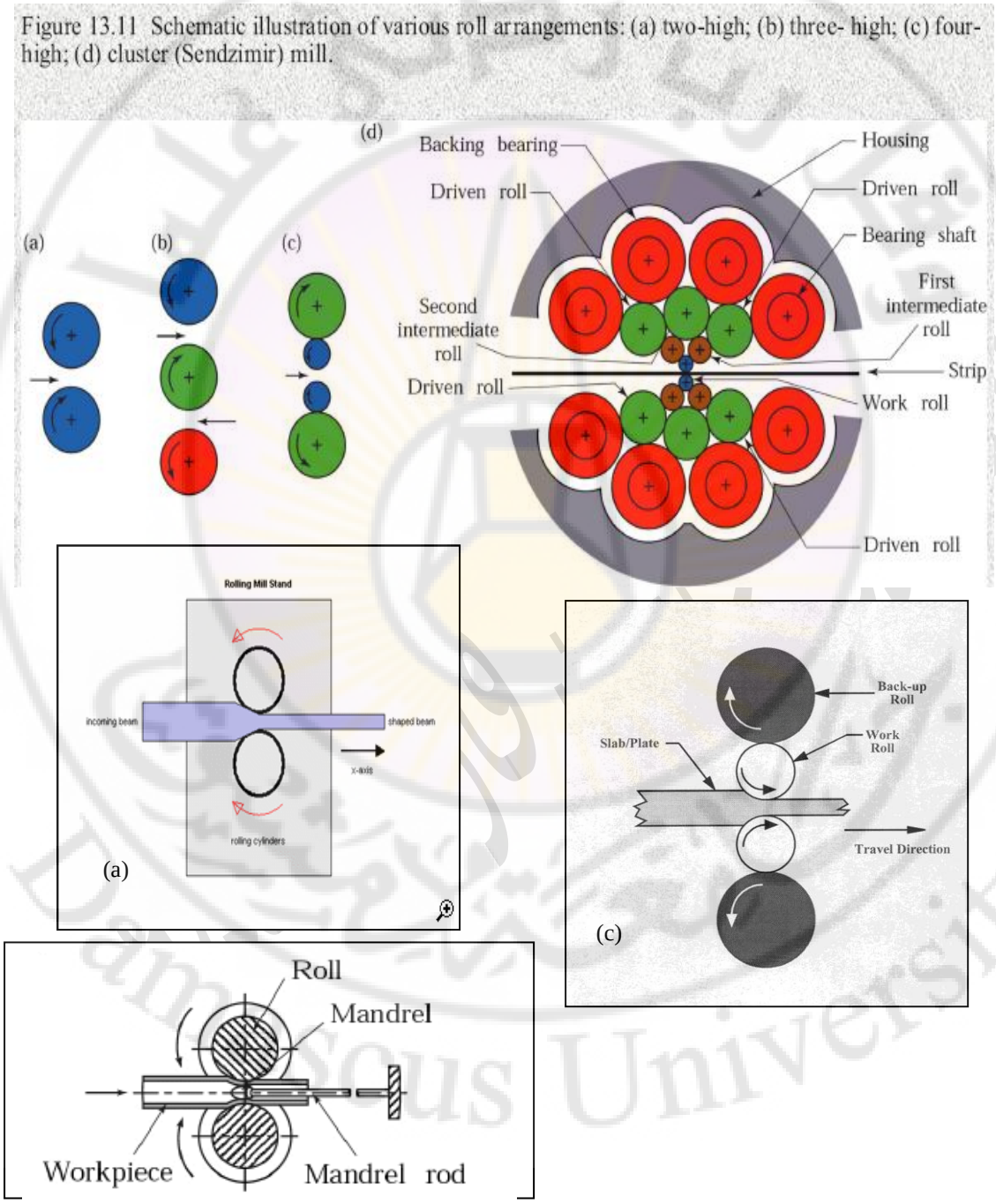
إذاً تتم عملية الدرفلة على الساخن وذلك بعد تسخين كتل الصلب داخل أفران خاصة بعد تركها فترة مناسبة داخل الفرن حتى تضمن تجانس توزيع الحرارة داخل كتلة الصلب كلها وبعد مرور كتلة الصلب الساخنة بين الدرفيلين يمكن الحصول على المنتج المطلوب كما هو موضح بنفس الشكل (4).
وتتم عملية عمليات الدرفلة على ماكينات درفلة يوضحها الشكل (5).

تنقسم أنواع الدرافيل كالتالي: شكل (6)

1. درفيلين اتجاه دورانهم عكس بعض حيث تتم عملية الدرفلة في اتجاه واحد ويستخدم عادة في درفلة الأجسام الصغيرة.

2. درفيلين اتجاه دروا نهم عكس بعض مع حركة عكسية للشغلة، في هذه الحالة تتم عملية الدرفلة في اتجاهين وتستخدم في عمليات درفلة البيروفيلات والألواح.
3. ثلاث درافيل فيها يمكن أن تتم الدرفلة بين الدرفيلين العلوي ثم يتبع بدرفلة من الدرفيلين السفليين ويستخدم هذا النوع من الدرافيل أيضا في درفلة الألواح والبروفيلات.
4. استخدام أربعة درافيل شكل ويمتاز هذا النوع بالحصول على أكبر نسبة تخفيض مع أقل قوى مؤثرة.

وجميع الدرافيل من a إلى d من النوع الأفقي ولكن يوجد أيضا درافيلات من النوع الرأسي (وأيضا راسي وأفقي) حيث تؤثر على عرض المنتج المدرفل.
غالبا عملية الدرفلة تتم باستخدام العديد من المراحل كما يوضحه الشكل (7).



الشكل (6): أنواع مختلفة من الدرافيل من النوع الرأسي.

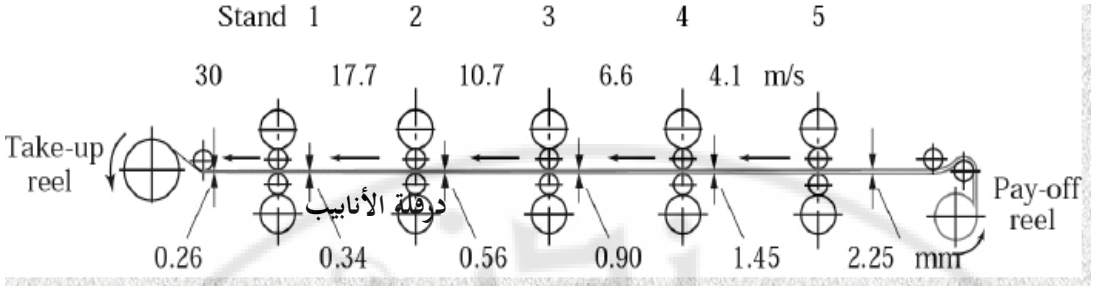


Figure 13.12 A tandem rolling operation.

الشكل (7): الدرفلة باستخدام عدد من الستاندات.

- **الدرفلة على البارد:**

وتتم عملية الدرفلة في هذه الحالة على المنتجات في درجات حرارة منخفضة عن درجات حرارة الدرفلة على الساخن بكثير. ولكن بالرغم من أنها معروفة باسم الدرفلة على البارد إلا أن المعدن ترفع درجة حرارته إلى درجة صغيرة لذا نجد أن نسبة التخفيض عامة في هذا النوع من الدرفلة أقل بكثير عن الدرفلة على الساخن.
وتتم عملية الدرفلة على ماكينات مزودة بأربع درافيلات ولكن يجب تنظيف الألواح المراد إجراء الدرفلة على البارد عليها قبل إجراء عملية الدرفلة وذلك بإزالة طبقة الأكاسيد التي ربما تكون موجودة عليها وذلك باستخدام محاليل حمضية ومن أهم مميزات الطريقة:

1. الحصول على سطوح لها درجة تشطيب عالية خالية من الأكاسيد.
2. الحصول على منتجات بأبعاد لها دقة عالية.
3. تحسين في بعض الخواص الميكانيكية للمعدن.
4. ارتفاع الصلادة في المعدن.

3: عمليات البثق Extrusion Process:

تستعمل عمليات البثق لإنتاج القضبان والمواسير والمقاطع المعقدة من المواد والسبائك المختلفة، من مزايا هذه الطريقة دقة مقاسات المنتجات والاستغناء عن عمليات التشطيب، وتتم عمليات البثق إما على الساخن أو على البارد وهذا يعتمد على نوع المعدن وكذا على درجة مقاومة المعدن للتشوه. كلما زادت هذه المقاومة تزيد معها القوى اللازمة لعملية البثق مما يتطلب إجراء عمليات التسخين اللازمة.

A: البثق على الساخن:

عند إجراء عمليات البثق على الساخن، تسخن القطعة المراد بثقها إلى درجة حرارة الحدادة. وهناك ثلاث أنواع رئيسية من البثق فهو إما بثق مباشر direct أو بثق غير مباشر indirect أو بثق بالصدمات Impact ويتم عادة عن طريق الضغط على المعدن بقوى كبيرة لنجبره على الخروج من فتحة لها شكل خاص يتفق مع شكل المنتج المراد إنتاجه هذه الفتحة موجودة داخل جزء يسمى القالب Die.

البثق المباشر Direct extrusion:

في هذا النوع من البثق تكون حركة اتجاه خروج المعدن من القالب في نفس اتجاه حركة المكبس الضاغط. كما هو موضح بالشكل (8).

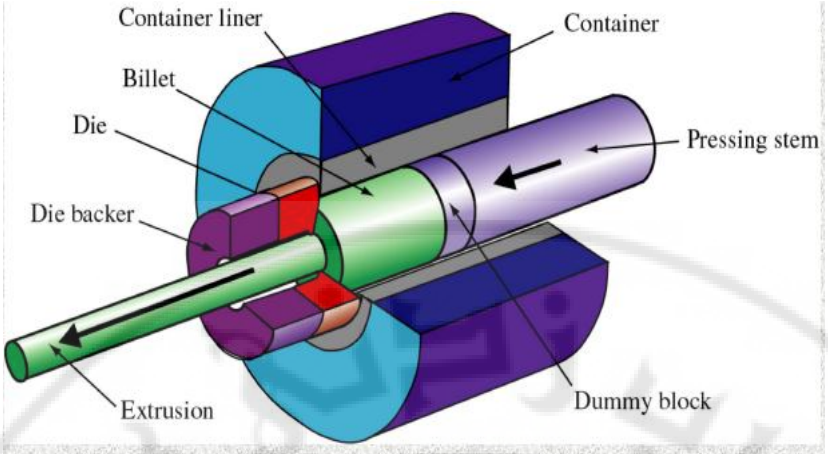
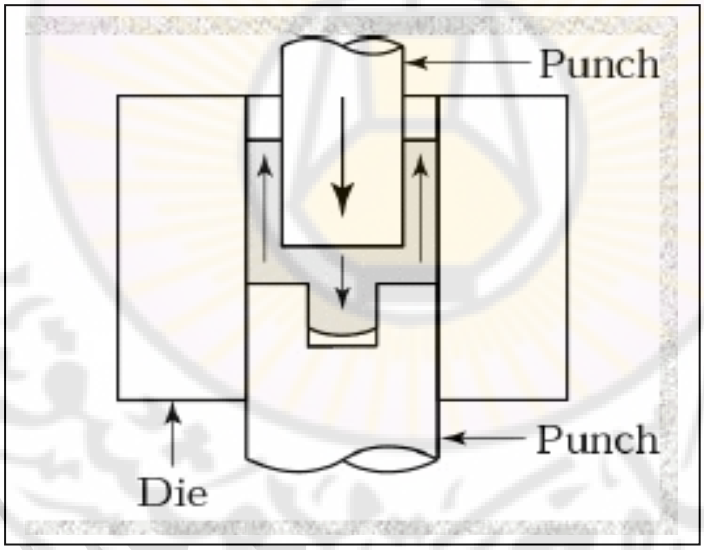


Figure 15.1 Schematic illustration of the direct extrusion process.

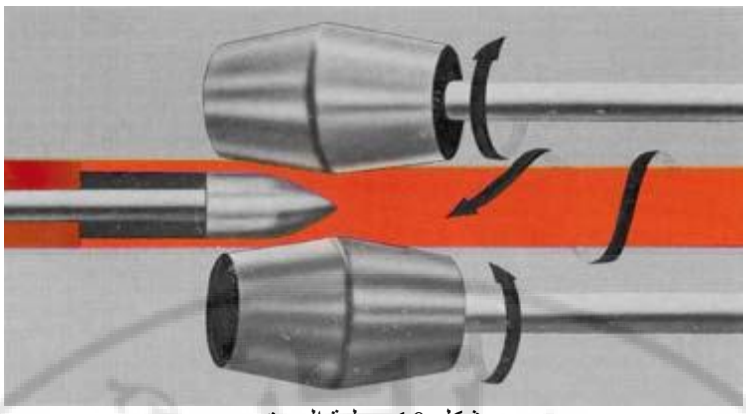
- **البثق الغير مباشر أو العكسي Indirect extrusion:**

في هذا النوع من البثق تكون حركة خروج المنتج من القالب عكس اتجاه حركة المكبس كما هو موضح بالشكل (9). وتمتاز هذه الطريقة بأن قوى البثق اللازمة تكون أقل من الطريقة السابقة علاوة على أنها أكثر اقتصادية نظرا لأن الخردة الناتجة بعد عمليات البثق في هذه الطريقة أقل من الطريقة السابقة.

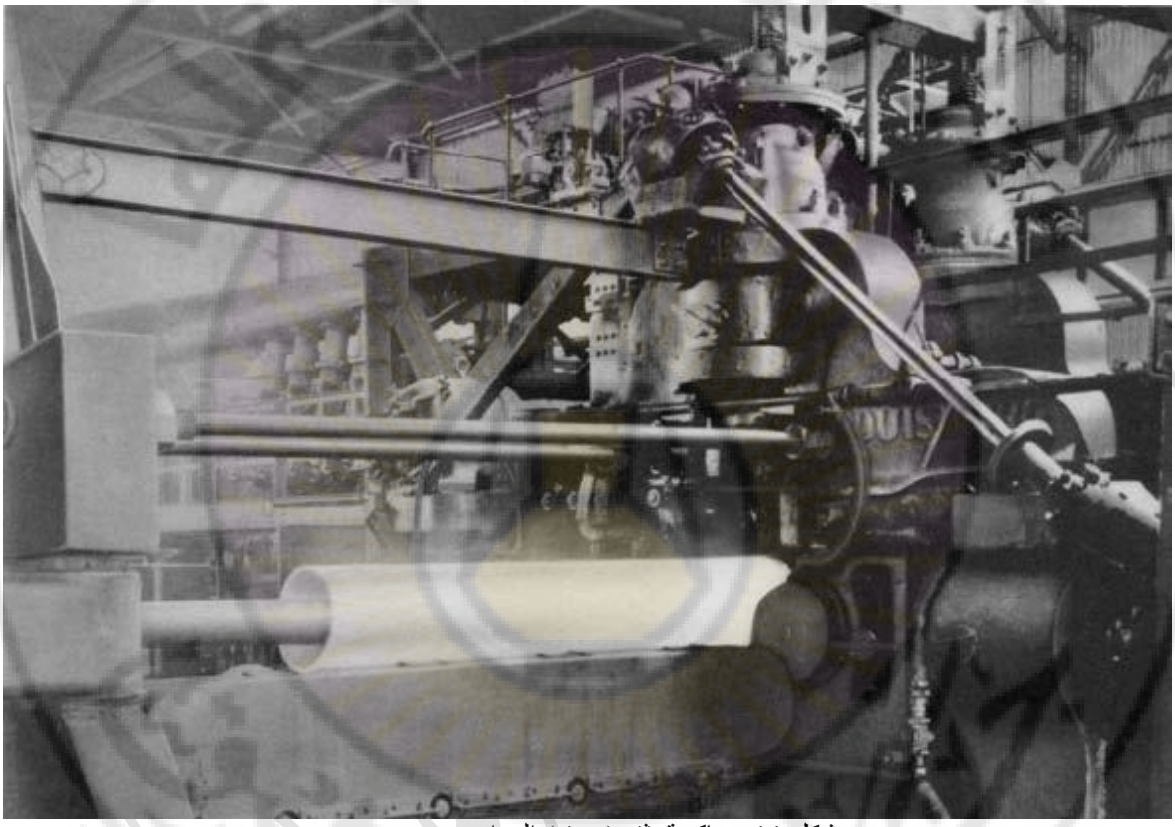


- **بثق الأنابيب Tube extrusion:**

يمكن أن يتم البثق للأشكال المبينة مثل المواسير mandrel وذلك بنفس الطريقة الأولى كما يوضحه الشكل (10 و 11).



شكل 10 عملية الخرق



شكل 11 : ماكينة بثق (خرق) المواسير mandrel.

ودرجات الحرارة المناسبة لإجراء عمليات البثق هي كالتالي:

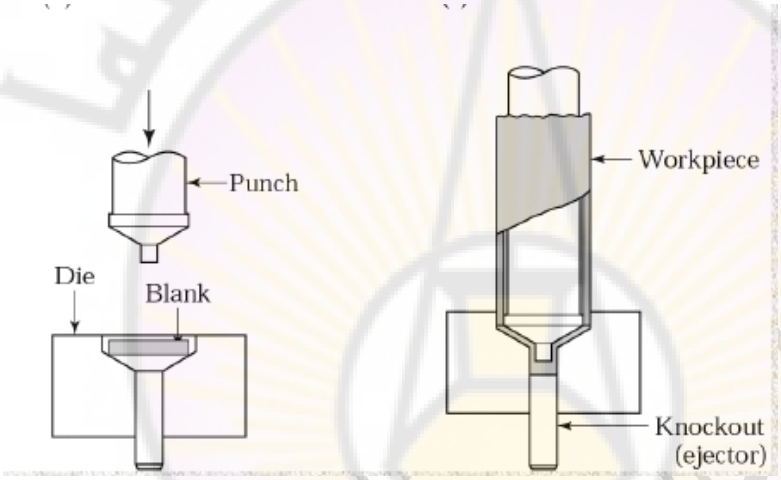
الرصاص	200 – 250 °م
الألمنيوم وخلائطه	375 – 475 °م
النحاس وخلائطه	650 – 975 °م
الفولاذ	875 – 1300 °م
الخلائط المقاومة للحرارة	975 – 2200 °م

B: البثق على البارد :

تتم علمية البثق على البارد على المعادن التي لها مقاومة ضعيفة جدا للتشوه مثل الزنك- الرصاص والقصدير. وتتم عملية البثق على البارد بطريقتين:

1- بثق أمامي على البارد: وتتم عملية البثق عن طريق خروج المنتج أمام المكبس.

2- بثق خلفي على البارد : وفي هذا النوع إما أن يكون من نوع البثق ذو الصدمات أو البثق بالحدادة على البارد. البثق بالصدمات عادة يستخدم في عمل المنتجات ذات السمك الرفيع جدا للمعادن الطرية مثل تصنيع أنابيب معجون الأسنان أو الحلاقة التي تصنع من الألمنيوم النقي. شكل (12). أما البثق بالحدادة على البارد فهي تختلف عن الطريقة السابقة في استخدام مكابس هيدروليكية تؤثر بقوى عالية لذا هذه الطريقة يمكن أن تستخدم ليس فقط في المعادن الطرية جدا ولكن أيضا في المعادن المطيلية ductile مثل الصلب المنخفض الكربون. ولتقليل الاحتكاك الناشئ بين الخامة والقالب فإنه يستخدم نوع معين من سوائل التزييت يدهن بها السطح الخارجي للخامة.



4: سحب الأسلاك والقضبان المعدنية: Wire & Rod Drawing:

يتم فى عملية السحب خفض مقطع كتلة فلزية بسحبه من خلال إسطمبة و يعتمد نجاح هذه العملية على خاصية المطيلية التى تسمح للفلز بأن يستطيل استطالة كبيرة بدون كسر ، و يستخدم السحب بشكل أساسى لصناعة الأسلاك. و المادة الأولية عبارة عن عود قطره تقريبا 6 مم أُنتج قبل ذلك بدرفلة أو بثق كتلة أكبر حجما ، و بعد ذلك يتتابع سحب السلك خلال إسطمبات صلب أصغر فأصغر مما يؤدى إلى تناقص القطر تدريجيا . و تتعرض الإسطمبات لبِلَى كبير و لذلك تتكون الفوهات عادة من مواد متينة مثل كربيد التنجستين ، و قد يستخدم الماس الصناعى لإنتاج الأسلاك الرفيعة جداً ، و عادة ما تستخدم مزلقات لتقليل الاحتكاك أثناء عمليات السحب. و تميل عملية السحب إلى جعل الأسلاك صلدة و إلى حد ما قصفة و يخفَف من هذا التأثير بالتلدين. شكل (13).

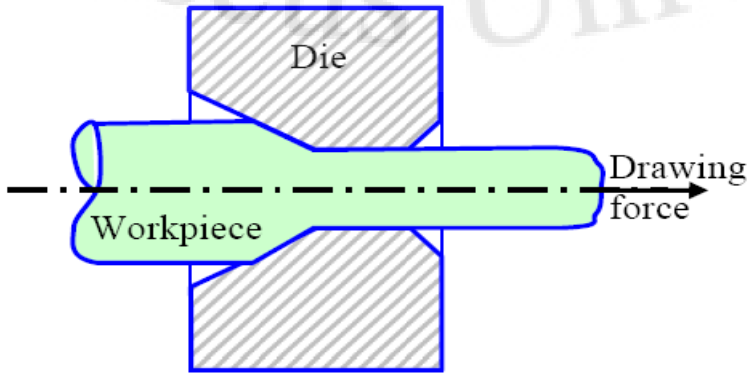


Fig 3. Rod Drawing

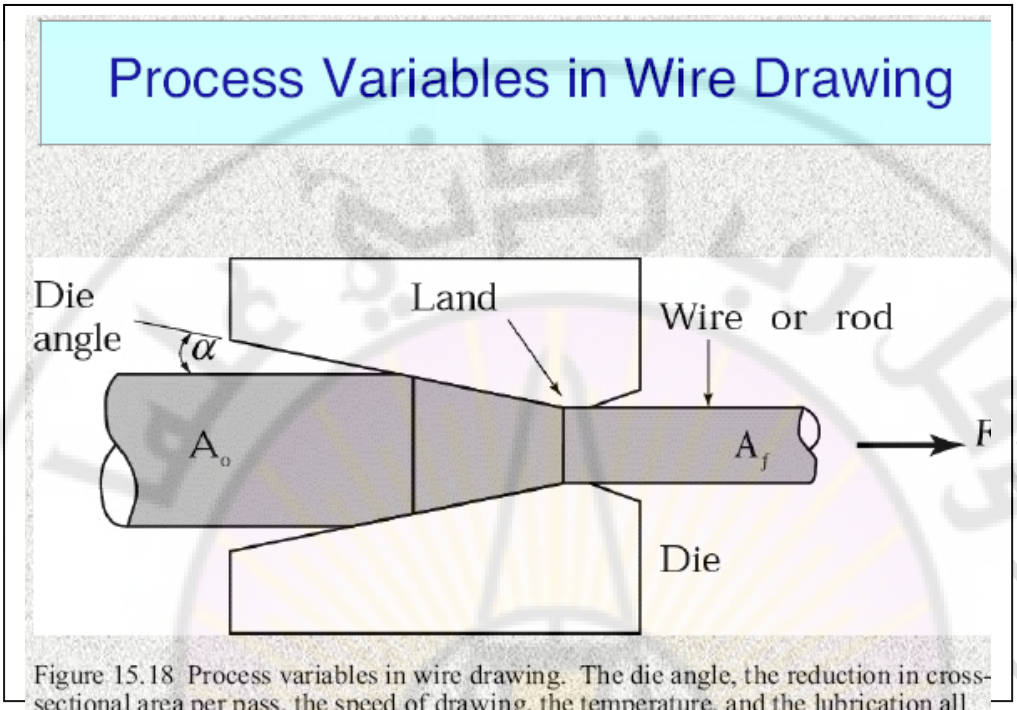


Figure 15.18 Process variables in wire drawing. The die angle, the reduction in cross-sectional area per pass, the speed of drawing, the temperature, and the lubrication all affect the drawing force, *F*.

ب- عمليات تشكيل الصفائح.

وهي عمليات **تشكيل تتم على البارد** وهي عبارة عن عملية تشكيل المعادن خلال التشوه اللدن. وفي أغلب الأحيان تتم عملية التشكيل في درجة الحرارة العادية. وتعتبر هذه الطريقة من التشكيل من أحدث الطرق المستخدمة وأهمها، ومن مزايا هذه الطريقة للتشكيل (التشكيل على البارد):

1. التحكم في دقة الأبعاد.
2. جودة السطوح المنتجة.
3. إتمام عملية التشغيل بدون تسخين.
4. التحسن في الخواص الميكانيكية للمعدن.

ولكن من عيوب هذه الطريقة:

1. الاحتياج إلى معدات أكبر وقوية لإتمام عملية التشغيل اللازمة.
2. الاحتياج إلى قوة كبيرة لإحداث التشوه المطلوب.
3. لابد أن يكون سطح المعدن نظيفا وخاليا من الأكاسيد.

ويتحكم في عملية التشغيل على البارد بالنسبة للمعادن التركيب الكيميائي للمعدن، فمثلا إذا زادت نسبة الكربون في ألواح الصلب وكذا المنجنيز يزيد من صلادة المعدن حيث يصعب عملية التشغيل.
وأهم العمليات التي يمكن أن تجرى بواسطة هذه الطريقة:
القص Shearing - فصل الأغفال Blanking - الخرق Piercing - السحب Drawing - التهذيب Trimming – الختم Stamping - الصك Coining. علاوة على بعض العمليات الأخرى مثل الدرفلة- سحب الأسلاك والمواسير....الخ.

- **طرق تجهيز المعدن قبل عمليات التشغيل على البارد:**

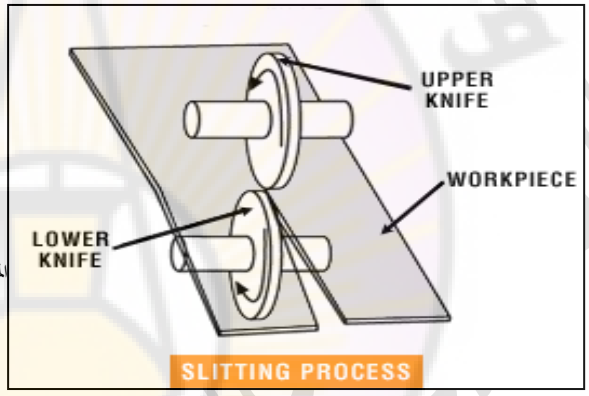
1. لابد أن يكون سطوح الألواح المستخدمة خالية تماما من القشور وذلك باستخدام أنواع معينة من المحاليل الكيميائية لإزالتها وتغسل بعد ذلك جيدا حتى لا تسبب في تلف أجزاء القالب المعدني.
2. يستحسن أن تكون الألواح المستخدمة ذات سمك واحد ومنتظم، وفي بعض الأحيان تجرى عملية الدرفلة على البارد على الألواح قبل إجراء عمليات التشغيل.

1– القص Shearing:

وهي تعتبر عمليات قطع للألواح وذلك حسب الطول والعرض المطلوب وتستخدم المقصات التالية: شكل(14)

1. المقص المربع ذو الحدين عدل أو مائل، أحد الحدين ثابت والآخر متحرك
2. المقص الدائري بقرصين دائرين.

وكقاعدة هامة للحصول على منتج له أطراف مهذبة لابد أن يكون هناك خلوص مناسب بين الفك الثابت والمتحرك ويمتاز المقص ذات الحد المائل بأن قوى القص تؤثر تدريجيا على اللوح المراد قطعه.



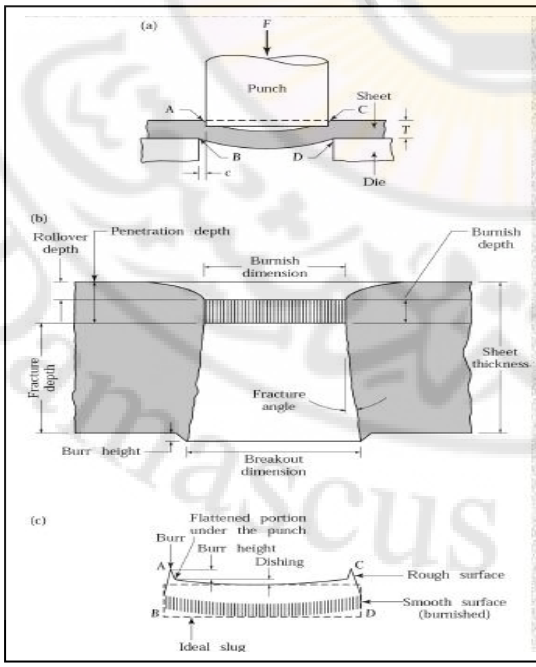


Figure 16.2 (a) Schematic illustration of shearing with a punch and die, indicating some of the process variables. Characteristic features of (b) a punched hole and (c) the slug. Note that the scales of the two figures are different.

2– الثني Bending

تحدث عملية الثني في المعادن نتيجة حدوث تشوه لدن للمعدن أثناء عملية السحب. وكما هو واضح من الشكل (15) نجد أن الألياف الداخلية من المنحنى تخضع لجهد ضغط، أما الألياف الخارجية للمعدن فهي تخضع لجهد الشد. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار النقاط التالية لإجراء عملية ثني صحيحة وهي:

1. يجب أن يكون الانحناء عمودي على اتجاه درفلة المعدن.
2. يجب أن يكون نصف قطر الانحناء مناسبا حيث تزداد قيمته كلما ازدادت صلادة المعدن حتى لا تسبب حدوث شروخ في نصف قطر الانحناء. حيث:

$$r_{min} = K.t$$

حيث

K : معامل الثني.

t : سمك اللوح [مم].

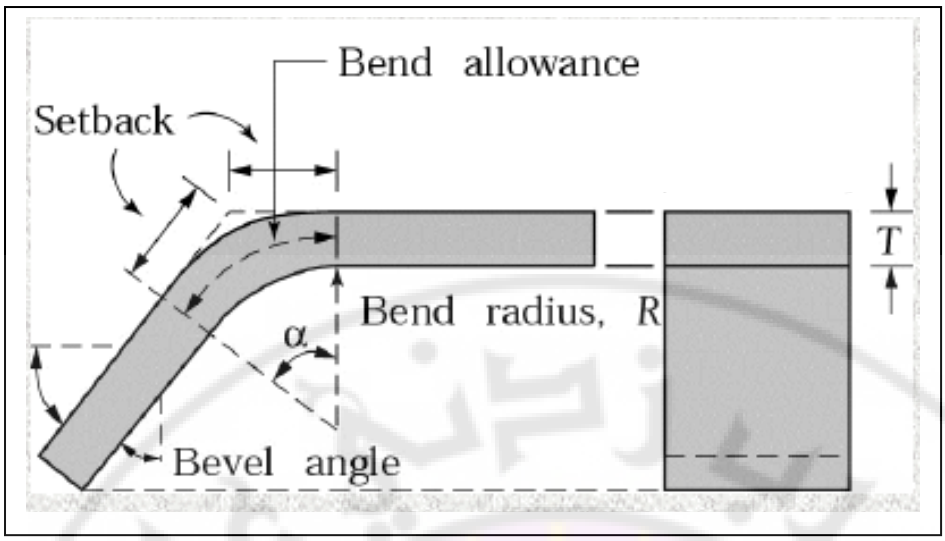
الصلب	K = 0.5 – 0.6
البرونز	K = 0.6
نحاس أصفر	K = 0.3 - 0.35
للألمنيوم النقي	K = 0.6
للألمنيوم متوسط الصلادة	K = 0.9
للألمنيوم العالي الصلادة	K = 2

ولإيجاد الطول الكلي للشريحة قبل عملية الثني L

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \ldots\ldots + l_n + \frac{\pi \times \alpha}{180}[r + 0.4t]$$

حيث:

طول الأطوال العدله	l1 + l2 + l3 + ... + ln
زاوية الثني	α
نصف قطر الثني	r



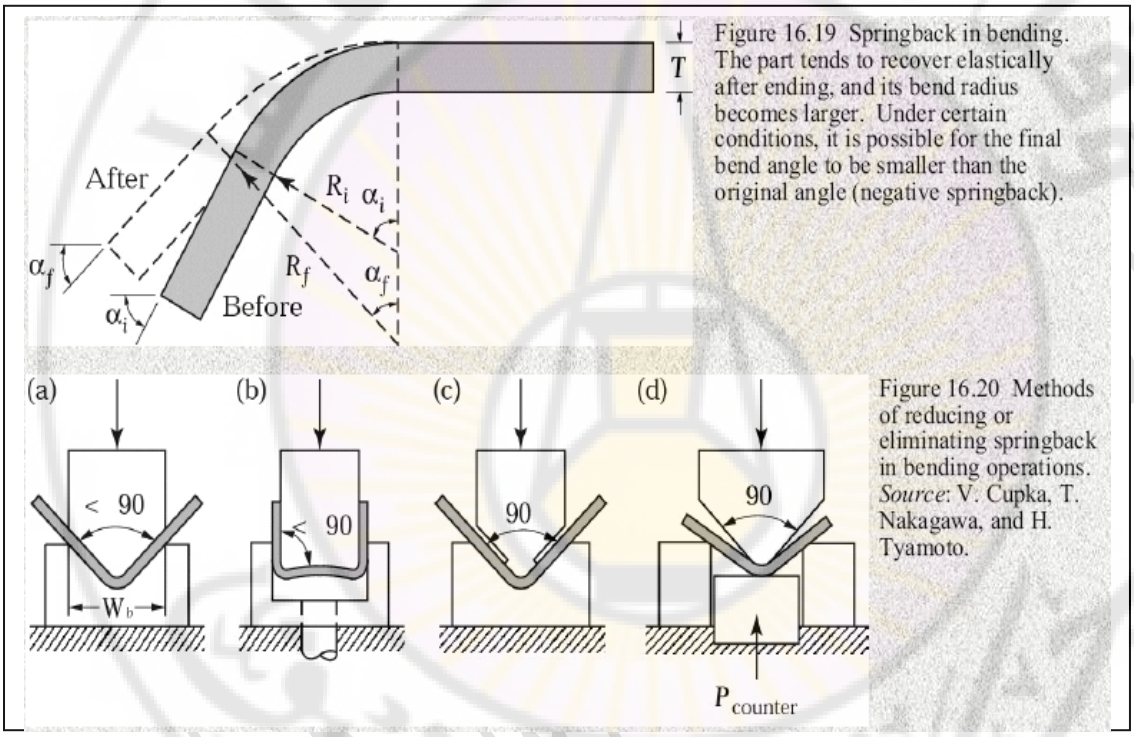


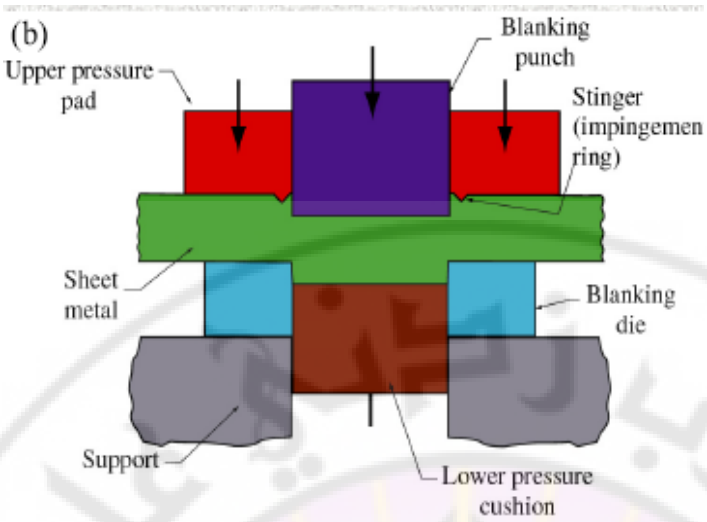
Figure 16.19 Springback in bending. The part tends to recover elastically after ending, and its bend radius becomes larger. Under certain conditions, it is possible for the final bend angle to be smaller than the original angle (negative springback).

Figure 16.20 Methods of reducing or eliminating springback in bending operations. *Source*: V. Cupka, T. Nakagawa, and H. Tyamoto.

الشكل (15): عملية الثني لصفيح نتيجة حدوث التشوه اللدن للمعدن.

3– فصل الأغفال Blanking

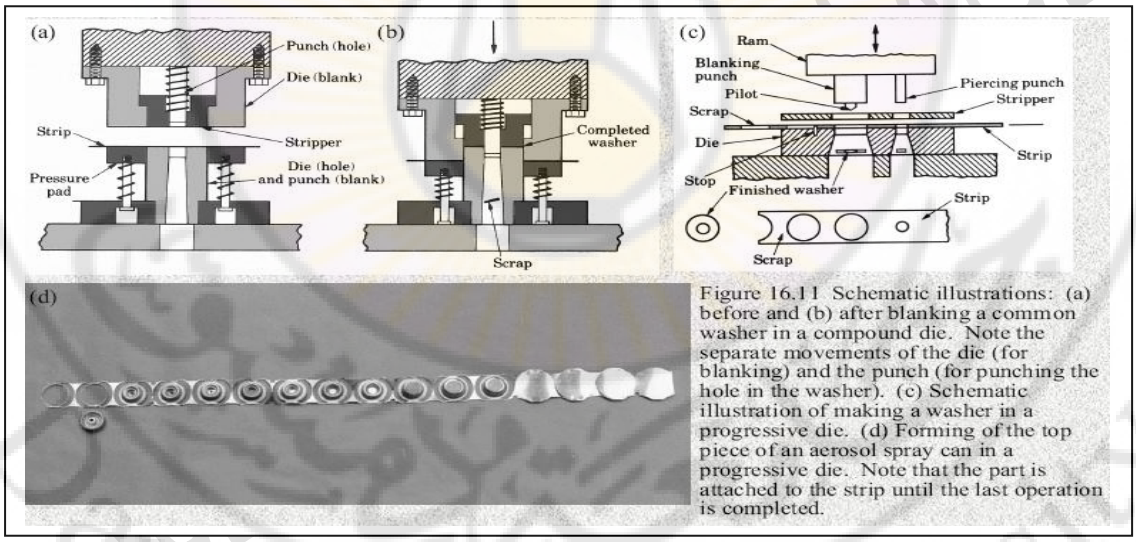
وهي عملية قص حيث تقطع فيها أقراص دائرية أو أي أشكال أخرى. وتتم عملية فصل الأغفال (الأقراص) باستخدام اسطمبة كما هو موضح بالشكل (16) كالتالي: حيث يوضع اللوح على القالب ونتيجة حركة السنبك إلى أسفل (حيث يكون قطر السنبك وفراغ القالب يتناسب مع قطر البلانك المراد فصله) تحت تأثير قوى القص اللازمة التي تتوقف على نوع المعدن وسمك المعدن وقطره. ويكون شكل السنبك مطابقا تماما لشكل الفراغ الموجود في القالب والذي أيضا يتناسب مع شكل القطعة المراد فصلها. ويثبت السنبك في رأس المكبس المتحرك وتزود الاسطمبة بواسطة لوح انتزاع لمنع اللوح من التحرك إلى أعلى مع السنبك.



الشكل (16): عملية فصل الأغفال.

4– الخرق (الثقب) Piercing

وهي عبارة عن عملية تشكيل ثقوب في المنتج وهي عملية عكسية لعملية فصل الإغفال. كما هو في الشكل (17) وبالنسبة لهذه العملية فإنه تتم بنفس القواعد السابق الكلام عنها في عملية فصل الإغفال. والشكل (17) يوضح اسطمبة تستخدم في عمل وردة حيث تتم أولا عملية الثقب (الخرق) ثم يتبعها بعد ذلك عملية فصل الوردة.

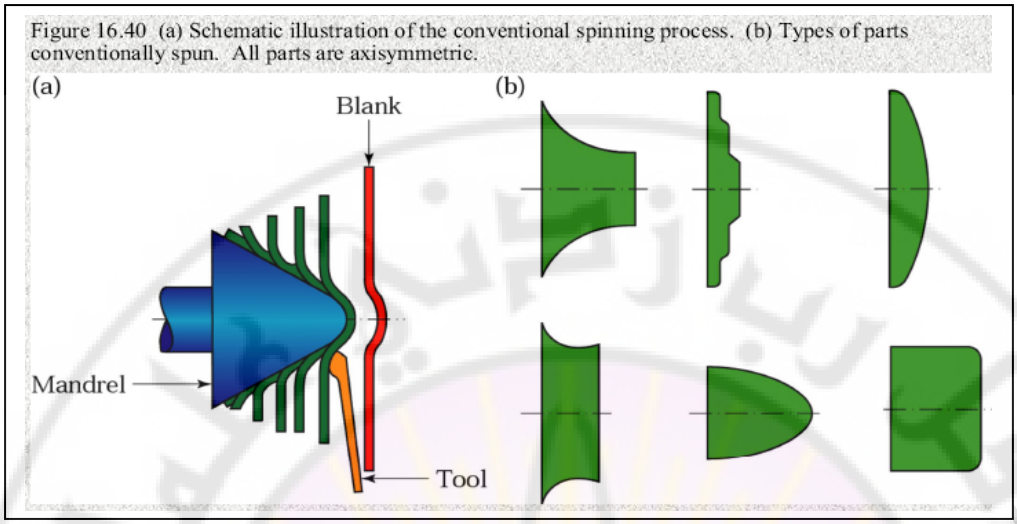


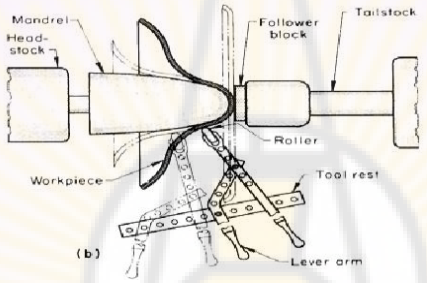
الشكل (17): عملية الثقب.

5– التدويم Spinning

وتستخدم هذه الطريقة في عمليات تشكيل الأجزاء الاسطوانية المتماثلة وهذه الطريقة عادة يمكن تطبيقها مع المعادن الدقيقة السمك. بالنسبة للتشغيل على البارد. وهذه الطريقة تنتج منتجات شبيهة بعمليات السحب وسعر التكلفة في هذه الطريقة أقل من طريقة السحب لذا تستخدم هذه الطريقة في حالة إنتاج منتجات كميات صغيرة أما في إنتاج الكميات الكبرى يفضل استخدام اسطمبات السحب بالرغم من ارتفاع سعر تكلفة الاسطمبة.

وتتم هذه العملية على مخرطة عادية مع استخدام سرعة دوران مناسبة والشكل (18) يوضح خطوات عمل شكل اسطواني لهذه الطريقة مع الأخذ في الاعتبار استخدام سائل تزييت على السطح الخارجي للشغلة لتقليل الاحتكاك بين الشغلة وعدة التشغيل.





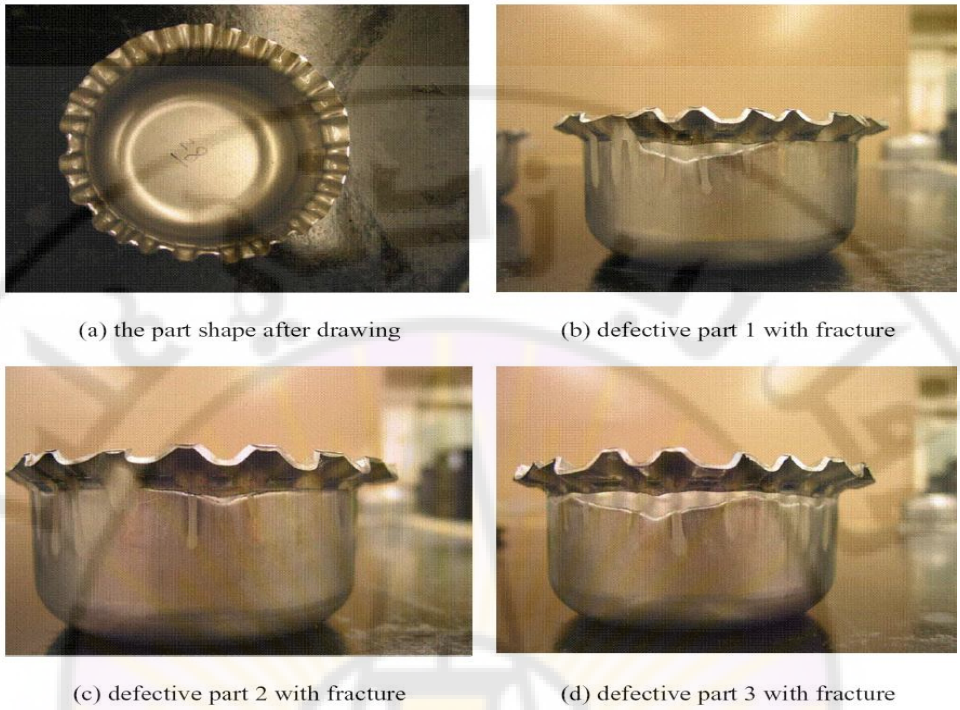
الشكل (18): التدويم.

6– السحب العميق Deep Drawing

تعتبر عملية سحب المعادن من العمليات المهمة في الصناعة ويمكن تعريف هذه العملية بأنها عملية تشكيل الأجزاء المفرغة تحت تأثير ضغط معين على أقراص من المعدن المسطح.

أ– **عند سحب الأقراص**: توضع شريحة أو قرص مستو فوق فراغ موجود في القالب شكله يتناسب مع شكل القطعة المراد سحبها وتشكيلها حيث يدفع القرص داخل فراغ القالب بواسطة السنبك الذي شكله يتناسب مع شكل المنتج وأبعاده تتناسب مع شكل وسمك المنتج. ويجب أن تكون حواف القالب والسنبك مستديرة حتى تقلل من القوى اللازمة للسحب وكذا تمنع حدوث شروخ وتشققات في زوايا المنتج.

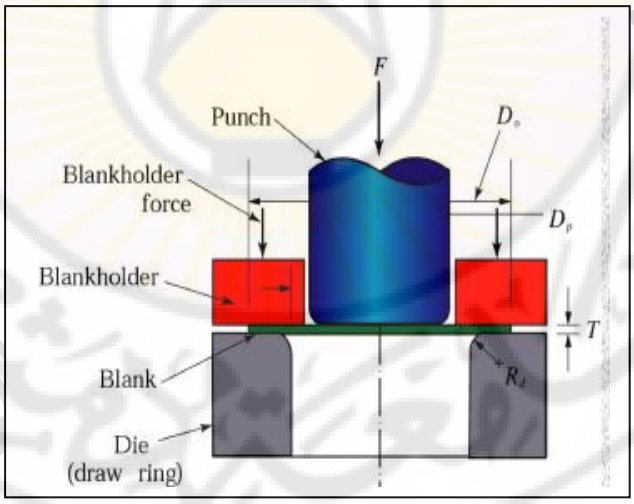
ولكن نتيجة النقص الحادث في المحيط في الجزء الخارجي من الشريحة بسبب عملية السحب ينشأ عنه ضغط في الدوائر المتحدة المركز. بينما تتعرض الشريحة للشد في اتجاه نصف القطر. وينتج عن ذلك أثر يسمى بالتجعيد (الكشكشة) كما بالشكل وذلك إذا كان مقدار إجهادات الضغط المؤثرة أكبر من إجهادات الشد. ولتلافي هذا العيب فيجب أن يستخدم ماسك أو ضاغط للشريحة Blank holder or pressure ring، كما يوضحه نفس الشكل (19) ولكن يجب ألا يكون الضغط كبيرا إلى الدرجة التي تمنع المعدن من الانسياب داخل فراغ القالب فتأتي بنتيجة عكسية. وبالنسبة للأشكال الأسطوانية يمكن حساب قطر القرص Db اللازم لتشكيل شكل معين حسب ما هو موضح بالشكل التالي:



(a) the part shape after drawing (b) defective part 1 with fracture

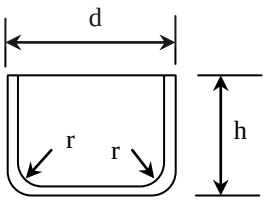
(c) defective part 2 with fracture (d) defective part 3 with fracture

Figure 4.6. The parts after drawing and the defective parts.



الشكل (19): السحب العميق.

حيث:



القطر الخارجي للشكل	d
ارتفاع الشكل	h
نصف قطر انحناء الإناء المطلوب تشكيله	r

وبالنسبة لعمليات السحب فهناك سحب بسيط أي عندما يتم السحب على مرحلة واحدة وذلك عندما يكون $d \geq h$ وأيضا يوجد سحب عميق وهو الذي يتم على عدة مراحل وذلك حيثما يكون $d < h$

ب– **سحب المواسير**: شكل (20) . عملية السحب على البارد المطبقة في تشطيب المواسير تستخدم لإنتاج مواسير ذات أقطار أصغر، وجدران ارق عن التي يمكن الوصول عليها بواسطة التشطيب الساخن. وتستخدم أيضا لتشكيل مواسير لأشكال أخرى غير دائرية، أو لتكفل تشطيب ناعم ولامع وذو أبعاد دقيقة على سطحها أو لزيادة قوتها ومتانتها.
ويمكن تشطيب المواسير بأقطار تتراوح بين 0.5 : 250 مم، وسمكها يتراوح بين 0.1: 2 مم، بواسطة السحب على البارد وعملية سحب المواسير تتم بشد المواسير خلال اسطمبة حلقية الشكل، تدخل شاقة داخل الماسورة تعطي القطر الداخلي المطلوب. وبهذه الطريقة يستطيل المعدن، وينساب خلال الفراغ بين الشاقة والاسطمبة، ومن ثم يمكن تخفيض كلا القطرين الداخلي والخارجي ويعتبر مقدار الخفض في القطر للماسورة على مطولية معدنها.

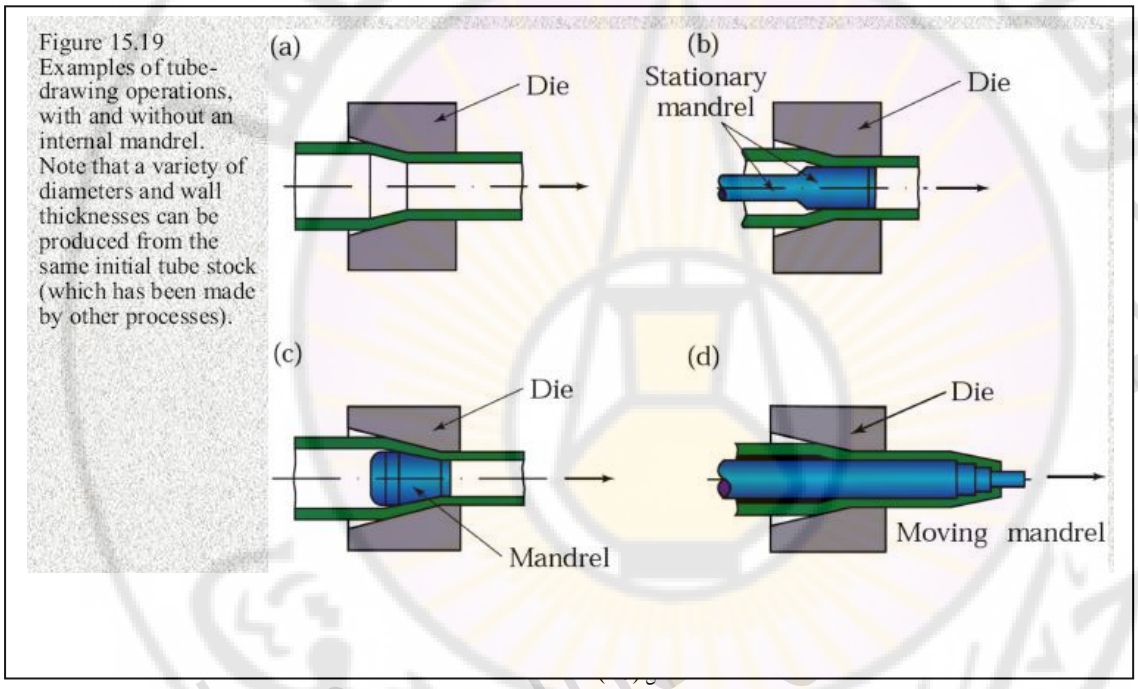
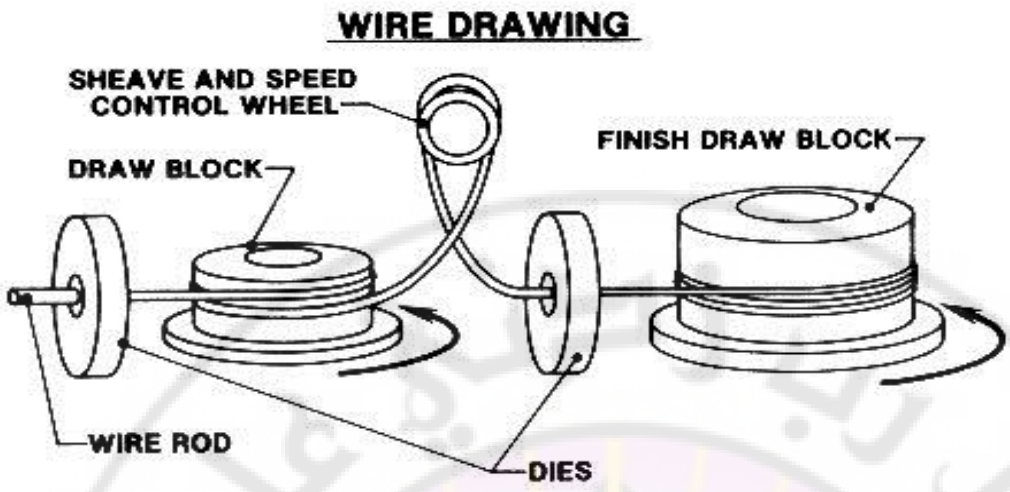


Figure 15.19 Examples of tube-drawing operations, with and without an internal mandrel. Note that a variety of diameters and wall thicknesses can be produced from the same initial tube stock (which has been made by other processes).

ج– **سحب الأسلاك**: تسحب المعادن التي تستخدم في إنتاج الأسلاك، إلى قضبان بالحجم المناسب، في ماكينة الدرفلة. وتجهيز القضبان للسحب على أسلاك تعامل مبدئيا وفق معاملات تعتمد على نوع الصلب المستخدم ومقدار السحب اللازم لها، وأيضا التشطيب المطلوب أن تكون عليه. تغمر القضبان داخل أحواض بها جير ساخن التي تغطي سطح القضيب وتعمل كمادة تزييت خلال عمليات السحب المتتالية بعد أن يكون القضيب قد أعد أعدادا مناسبا يؤخذ إلى منضدة السحب (تزجة السحب) ويوضع على بكرة. تطرق النهاية الحرة من القضيب الملفوف إلى سن مدبب، ليمكن ادخاله خلال اسطمبة السحب ويصنع جسم الاسطمبة، شكل (21) من مادة لها درجة صلادة عالية جدا، والتي يكون بها عدة ثقوب ذات أقطار مختلفة. يوضع جسم الاسطمبة في حامل الاسطمبة وتدفع النهاية المدببة للقضيب خلال الثقب المناسب في الاسطمبة. وتمسك النهاية المدببة للقضيب بواسطة خوصة سحب، ويسحب السلك ميكانيكا للخارج إلى عدة أقدام من خلال الاسطمبة وهذا يعطي طول كافي للسلك، بحيث يمكن تثبيتها إلى بكرة والتي عليها سيلف السلك وبدوران هذه البكرة ينسحب القضيب خلال الاسطمبة كما في نفس الشكل .



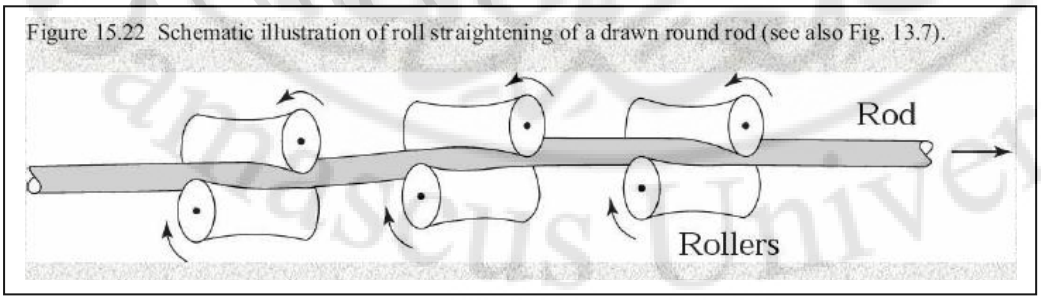
وتشمل عمليات التشكيل على البارد بجانب عمليات القص والثني والسحب .... على العمليات التالية:

1- الصك **Coining**: وتستخدم هذه الطريقة في إنتاج أشكال دقيقة بارزة أو غائرة وذلك تحت تأثير قوى كبيرة لإجبار المعدن لكي ينساب بين قالبين خصوصا لملء الفراغات الدقيقة في القالب. واهم المنتجات التي يمكن الحصول عليها بواسطة هذه الطريقة هي: صك النقود –الميداليات – تصنيع بعض أجزاء الساعات والأنواط.....الخ. وتمتاز هذه المنتجات بأن لها درجة تشطيب عالية. وفي الغالب تتبع هذه العملية بواسطة عمليات تشطيب (تهذيب الأطراف).

2- الختم **Stamping**: وهي طريقة مشابهة للطريقة السابقة في حالات حفر حروف على سطح عدل.

3- التسوية أو التهذيب **Trimming**: وهي طريقة تستخدم لإزالة الزيادة الناتجة من عمليات التشغيل التكنولوجية وهى تعتبر أحد عمليات القص.

1- الاستعدال Straightening: **وتستخدم هذه الطريقة لاستعدال السطوح المنحنية أو الغير مستقيمة والأجزاء المطلوب استعدالها. واستعدال هذه السطوح إما يتم بواسطة استخدام مكبس بسطح ناعم عدل. وفي هذه الحالة تكون المنتجات ذو درجة حرارة تشطيب عالية، أو مكبس ذو سطح مسنن خشن على أن تكون المسافة بين السنة والأخرى في حدود السمك. وتكون المسافة بين السطحين مساوي للسمك المعدن. أو يتم الاستعمال بواسطة الدرافيلات الشكل أدناه. الشكل (22).**



الشكل (22): سحب الأسلاك.

2- الانتفاخ Bulging: **وتستخدم هذه الطريقة في توسيع الأشكال من الداخل ويتم عن طريق التأثير بقوى من الداخل، حيث يتم التأثير بالقوى عن طريق استخدام مكابس هيدروليكية داخل قالب من نصفين.**

3- تشفير Flanging: **وهى عبارة عن عملية تشكيل على الكنتور الخارجي لشغلة أو حافة ثقب ويستخدم مع المعادن حيث سمك <30مم.**

ج- ميتالورجيا المساحيق:

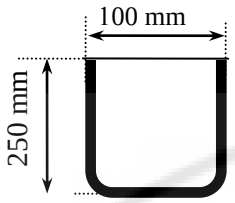
المتخصص في ميتالورجيا المساحيق معنى بإنتاج و معالجة مساحيق الفلزات و عمل منتجات صناعية صلبة منها. تنتج الفلزات المسحوقة بعدة عمليات مثل : التحليل الكهربائي و اختزال الهيدروجين من المحاليل و اختزال الأكاسيد و التَّذْرِية (الترذيذ) و التفريز و الطحن ، و تتوفر المساحيق بأشكال مختلفة كروية و شجرية و إسفنجية و غير منتظمة و قشارة ، و توجد بعض السبائك المسحوقة التي نالت أهمية تقنية. الشكل (23)

شكل 23 منتجات مصنعة بميتالورجيا المساحيق

ففى متالورجيا المساحيق ، تكبس المساحيق على أشكال معينة ثم تسخن و تُلَّبد. و تُصنع أعداد متزايدة من الأجزاء الصغيرة مثل التروس و كراسي التحميل (المحامل) و البطانات و الصامولات و الأقفال و أجزاء المعدات الحربية بهذه الطريقة. و هي في معظم الأحيان أجدى اقتصادياً من قطع و تشغيل الأجزاء من كتل الفلزات المطاوعة أو المصبوبة. ففي كراسي التحميل المسامية المشربة بالزيت و المرشحات المسامية يتم التحكم في حجم المسام عن طريق حجم حبيبات المسحوق الكروية و يتم ذلك بأساليب ميتالورجيا المساحيق. و نجحت حديثاً عمليات درفلة مساحيق الفلزات على شكل ألواح و شرائط و نجح كذلك بثقها مباشرة في شكل أنابيب. و قد تستخدم بعض مساحيق الفلزات مثل النحاس و البرونز الذهبى كصبغات في صناعة طلاء السطوح و في الفنون التخطيطية.

حل المسألتين التاليتين:

1- يراد تصنيع منتج (كما هو موضح بالشكل (1) وذلك بطريقة السحب العميق. والمطلوب: a- احسب قطر المادة الخام b- وضح ذلك تخطيطيا.



الشكل (1)

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dh$$

$$D^2 = d^2 + 4dh$$

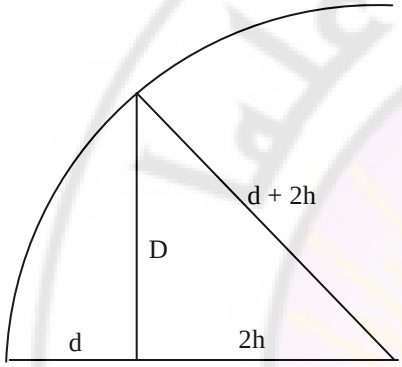
$$D = \sqrt{d^2 + 4dh}$$

حيث D قطر المادة الخام.

$$D = \sqrt{(100)^2 + 4 \times 100 \times 250}$$

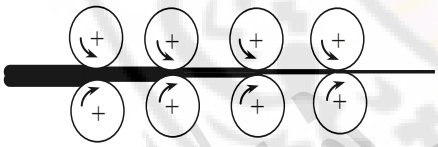
D=331.67 mm

تخطيطيا يعبر عن الحل بالشكل:



2- شريحة فولاذية سماكتها 2 mm تم درفلتها على البارد من خلال أربعة أزواج من الدرافيل الرأسية كما هو موضح بالشكل. قيمة التخفيض بكل مرحلة كانت مساوية 20% ، وسرعة الشريحة عند أول دخول بين الدرافيل كانت قيمتها 3 m/s والمطلوب: أحسب سماكة وسرعة الشريحة بعد كل مرحلة..

التخفيض بالسماكة بكل مرحلة:



الشكل (2)

$h_1 = 2$ mm
$h_2 = 2 \times 0.8 = 1.6$ mm
$h_3 = 1.6 \times 0.8 = 1.28$ mm
$h_4 = 1.28 \times 0.8 = 1.024$ mm
$h_5 = 1.024 \times 0.8 = 0.8192$ mm

وسرعة الشريحة بعد كل مرحلة تحسب من العلاقة:

$$v_2 \times h_2 = v_1 \times h_1 \Rightarrow$$

$v_2 = 3 \times 2 / 1.6 = 3.75$ m/s
$v_3 = 3.75 \times 1.6 / 1.28 = 4.6875$ m/s
$v_4 = 5.859375$ m/s
$v_5 = 7.32421875$ m/s

انتهى قسم الدكتور حسن فارس هدله

يتبعه قسم الاستاذ الدكتور محمد علي سلامه

الدكتور حسن فارس هدله
Damascus University