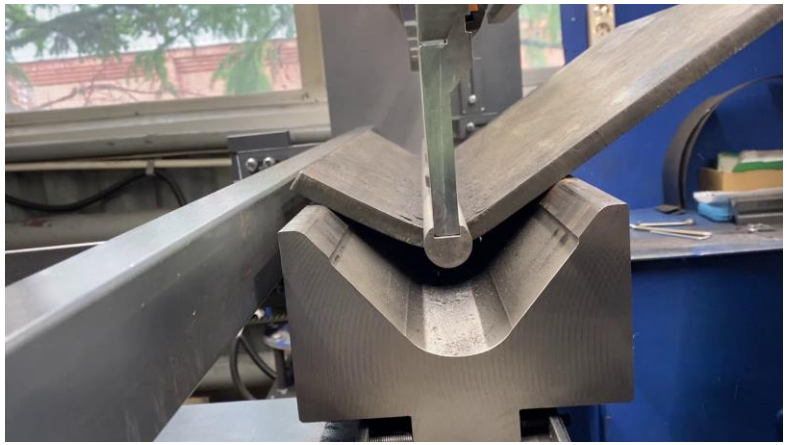
المعهد التقني التكنولوجي في بصرة

قسم التقنيات الميكانيكية/انتاج

عمليات التشكيل



عمليات التشكيل الميكانيكي

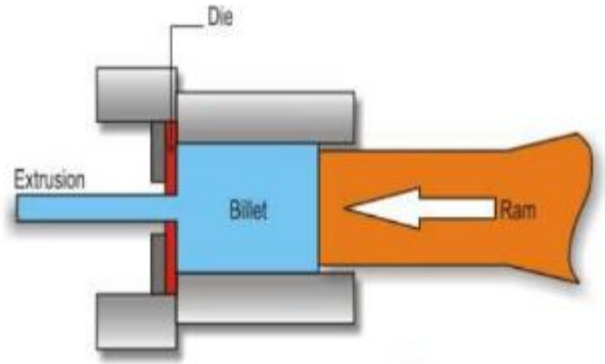
يمكن تعريف عمليات التشكيل الميكانيكي على إنها العمليات التي تستخدم قوى ميكانيكية مثل الشد والضغط إضافة إلى الحرارة من أجل تشكيل المعدن بأشكال مختلفة وبدون خسارة في حجم أو كمية المعدن . إن عمليات التشكيل الميكانيكي لا ينتج فيها رايش مثل بقية عمليات التشغيل مثل الخراطة والتفريز . تعتمد هذه العمليات على عدد من العوامل الخاصة بالمعدن المُشكل وبماكنات التشكيل والتي يمكن توضيحها كما يلي :

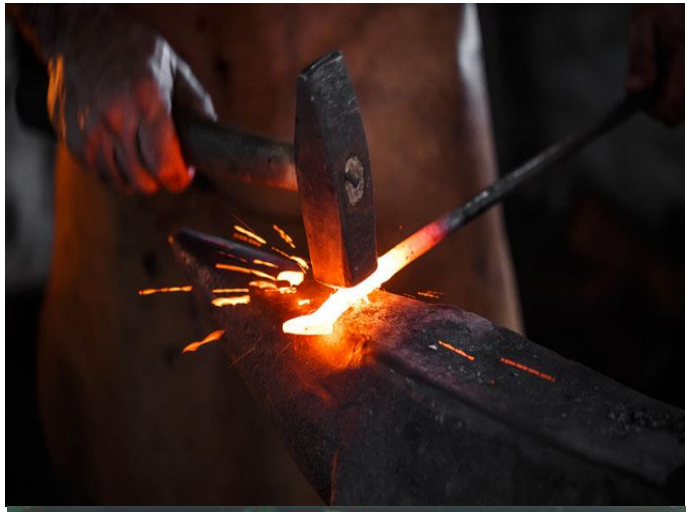
1- لدونة المعدن المُشكل . وتعني قابلية المعدن للخضوع للقوى المسلطة عليه من أجل تغيير شكله .

2 - كفاءة ماكنة التشكيل. حيث يجب أن تمتلك الماكنة الجساءة الملائمة التي توفر الكفاءة المطلوبة والتي تنعكس على جودة الجزء المُشكل .

3- خواص عُدة التشكيل . يجب أن تكون عُدة التشكيل ممتلكة صلادة ومتانة أعلى من المعدن المُشكل .

4- القوى المُسلطة في التشكيل . وهي تمثل القوى التي تسلطها ماكنة وعُدة التشكيل على المعدن والتي يجب أن تكون كافية لإيصاله إلى حدود اللدونة وبالتالي الحصول على الشكل المطلوب .





تصنيف عمليات التشكيل

تصنف عمليات التشكيل الميكانيكي إعتماداً على درجة الحرارة التي يجري فيها التشكيل إلى مجموعتين

عمليات التشكيل على الساخن

يُقصد بالتشكيل على الساخن التغيير أو التشويه اللدن الدائمي الذي ينتج في المعادن نتيجة تأثير قوى أو جهود عليها وهي ساخنة ، حيث تكون درجة حرارتها دائماً فوق درجة حرارة الغرفة بمقادير تختلف بإختلاف المعدن والسبائك قيد التشغيل .

مزايا التشكيل على الساخن :

1- إن الطاقة الضرورية للتشكيل على الساخن أقل بكثير من الطاقة التي يتطلبها التشكيل على البارد .

2- يطرأ تحسن على بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمعدن المُشكل على الساخن ، حيث تتحسن المطيلية ومقاومة الصدمة إضافة إلى التحسن في مدى التجانس داخل بنية المعدن .

3- يساعد التشكيل على الساخن على التخلص من بعض عيوب المسبوكات الأولية مثل الفجوات والمسامية الغازية ، والتي تلتحم نتيجة درجة الحرارة العالية والضغط المستعمل في التشكيل .

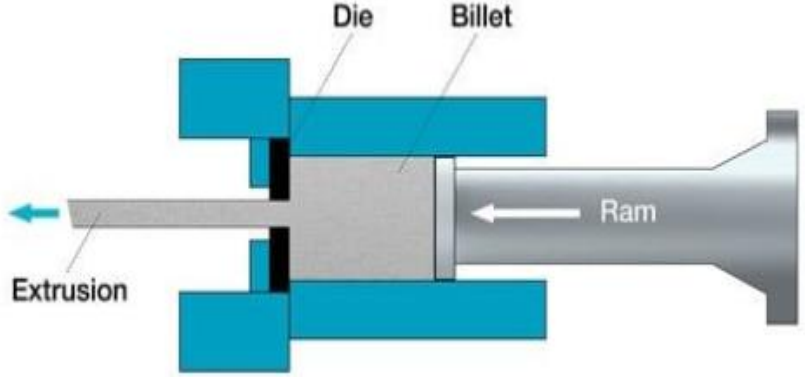
ولكن هذا النوع من التشكيل يمتلك أيضاً بعض العيوب والتي يمكن توضيحها كالآتي :

1- تأكسد السطوح الساخنة بسهولة .

2- صعوبة السيطرة على أبعاد ومقاس المنتجات نظراً للتمدد الحراري الناتج في المشغولات قيد التشكيل على الساخن .

عمليات التشكيل على البارد

إن عمليات التشكيل التي تُجرى في درجة حرارة الغرفة أو في درجة حرارة قريبة منها تسمى بالتشكيل على البارد . وبصورة عامة فإنه بالإمكان تشكيل المعادن على البارد في درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة ، حيث إن الحد الفاصل بين التشكيل على البارد و التشكيل على الساخن هو في درجة حرارة إعادة التبلور التي تكون عادة ولمعظم المعادن أعلى من درجة حرارة الغرفة



مزايا التشكيل على البارد :

1- يسبب التشكيل على البارد إرتفاعاً في الخواص الميكانيكية مثل الصلادة ومقاومة الشد وإنخفاضاً في خواص أُخرى مثل المطيلية .

2- تتميز المنتجات المُشكلة على البارد بإنهاء سطحي ومظهر خارجي جيدين .

3- يمكن التحكم بصورة دقيقة في أبعاد ومقاسات المنتجات المُشكلة على البارد ، لذلك فإن التشكيل على البارد يستخدم كمرحلة نهائية لتشكيل المنتجات المُشكلة على الساخن .

وبرغم ذلك يمتلك التشكيل على البارد عدد من المحددات التي يجب الإنتباه لها في حالة إستخدامه في التشكيل وهذه المحددات هي :

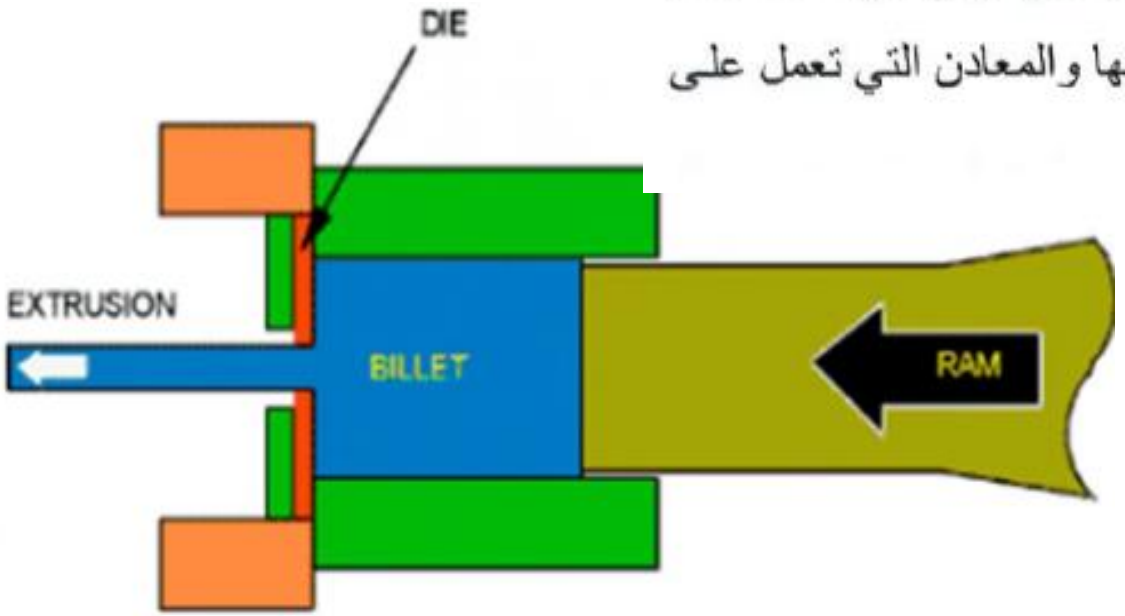
1- تعتبر متطلبات الطاقة العالية من أهم عيوب التشكيل على البارد ، بما يستوجب ذلك من إستخدام المعدات والأجهزة المصنوعة من مواد معدنية عالية الكفاءة والمقاومة .

2- مقدار التشكيل الذي يمكن إنجازه تحت قوة أو جهد ثابت في التشكيل على البارد يكون أقل منه في التشكيل على الساخن تحت نفس الجهد .

3- إنخفاض مطيلية المنتجات بعد تشكيلها على البارد .

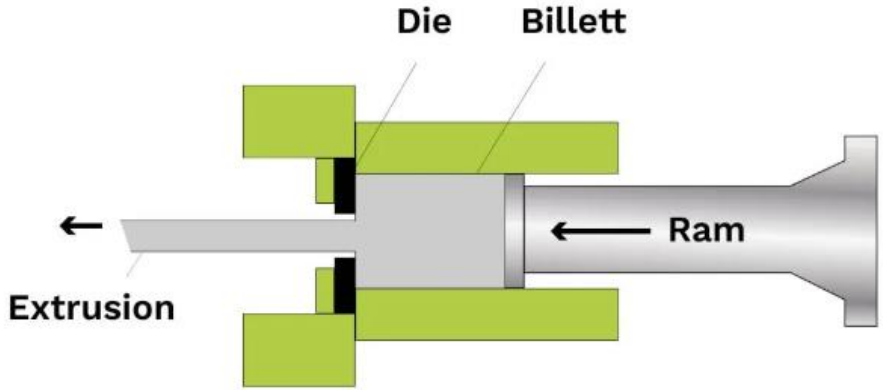
أنواع عمليات التشكيل

هنالك أنواع عديدة من عمليات التشكيل والتي سواء أكانت تنفذ على الساخن أو على البارد ،وتختلف هذه العمليات في مبدأ عملها والماكنات المستخدمة فيها ونوعية الأشكال المنتجة فيها والمعادن التي تعمل على تشكيلها ومن هذه العمليات مايلي :



عمليات البثق

يمكن تعريف البثق على إنه عملية كبس المعدن فوق حدود مرونته في حاوية وإجباره على الخروج من فتحة في نهاية الحاوية ليأخذ شكل هذه الفتحة . تستخدم عملية البثق عادة لتشكيل المعادن اللاحديدية التي تمتاز بإرتفاع ليونتها وإنخفاض درجة إنصهارها مثل الألمنيوم ، النحاس ، النحاس الأصفر ن المغنيسيوم ، والرصاص . و تستخدم عملية البثق بشكل محدود لتشكيل الفولاذ بسبب صعوبة التشكيل وإرتفاع درجات الحرارة الضرورية للتشكيل . تنفذ عملية البثق بطريقتين أساسيتين هما :



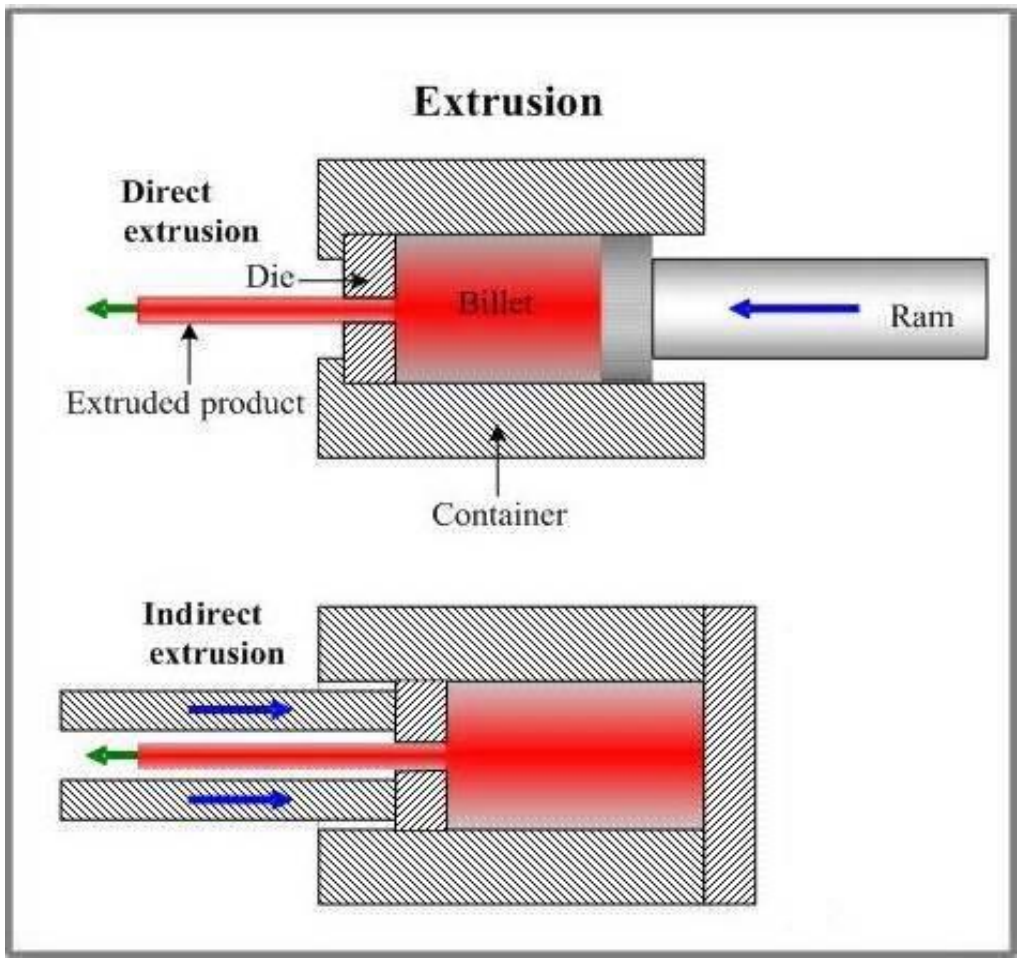
1- **البثق على الساخن (Hot Extrusion)** . إن المشكلة الرئيسية في البثق على الساخن تكمن في حماية أدوات البثق من درجات الحرارة العالية والحفاظ عليها كما هي لذلك يكون من الضروري تزييت وحماية كل من الحاوية ، المكبس ، والقالب .

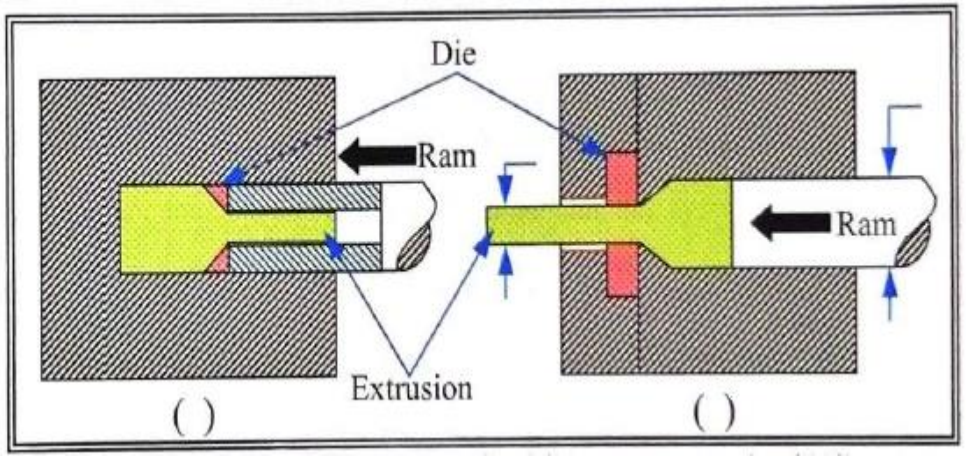
2- **البثق على البارد (Cold Extrusion)** . يتم إنجاز البثق على البارد عند سرعات عالية من أجل تقليل القوة المسلطة .

تتم عملية البثق سواء أكانت على البارد أو على الساخن بإسلوبين أساسيين وإعتماداً على إتجاه البثق وهما:

1- البثق المباشر (Direct Extrusion) .

ويسمى أيضاً البثق الأمامي ( ) حيث يكون إتجاه إنسياب المعدن المبثوق بنفس إتجاه حركة المكبس ، حيث تقابل فتحة خروج المعدن مكبس الدفع . هذا النوع من البثق موضح في الشكل رقم (10-1-) . إن الكتلة المعدنية في البثق المباشر سوف تحتك بالجدران الداخلية للحاوية لذلك يتم إستخدام التزييت لتخفيف قوى الإحتكاك وخاصة لتشكيل المعادن الصعبة التشكيل من الفولاذ .





2- البثق غير المباشر **(Indirect Extrusion) .**

ويدعى كذلك بالبثق الخلفي ( ) ، حيث تكون حركة المعدن بعكس حركة المكبس إذ يكون المكبس مجوف ويتم تثبيت القالب عليه الذي سوف يُشكل فيه المعدن . البثق غير المباشر موضح في الشكل رقم (10-1-) . إن الإحتكاك سوف يقل كثيراً في البثق غير المباشر ويكون مقتصراً فقط على الإحتكاك بين جدران فتحة القالب الصغيرة المساحة نسبياً وبين المعدن المبثوق . ويستخدم هنا التزييت أيضاً لتقليل قوى الإحتكاك . هنالك عِدة مواصفات يجب أن يمتلكها المكبس والقالب المستخدمين للبثق وهذه المواصفات هي :

1- مقاومة درجات الحرارة المتولدة نتيجة لضغط المعدن المبثوق.

2- مقاومة الإحتكاك العالي بين المعدن المبثوق وسطح القالب حيث كلما زادت مقاومة الإحتكاك قل تآكل القالب .

3- مقاومة الإجهادات العالية المتولدة من عملية البثق .

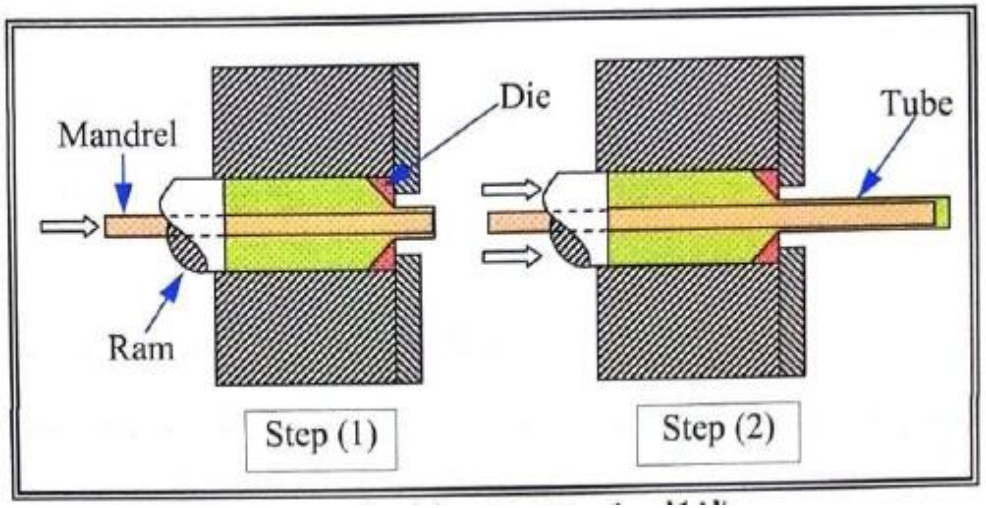
تقسم عملية البثق إلى أنواع عديدة وإعتماداً على طبيعة وميكانيكية البثق وهذه العمليات هي :

1- البثق الصلد **(Solid Extrusion) .**

ويمكن أن يتم للأمام أو للخلف على حد سواء وينتج مشغولات صلدة وغير مجوفة وهو موضح في الشكل رقم (10-1) .

2- البثق المجوف **(Hollow Extrusion) .**

في هذا النوع من البثق يتم إنتاج الأشكال المجوفة



البثق المجوف

3- **البثق الهيدروستاتيكي** **(Hydrostatic Extrusion)** .

في هذا النوع من البثق يقوم سائل هيدروستاتيكي بتسليط القوة الضرورية للبثق ، ويتم بثق المعدن أما بالضغط الجوي للسائل الذي يملئ الحاوية أو بواسطة سائل واطئ الضغط

4- **بثق الفجوة المغلقة** **(Closed Cavity Extrusion)** .

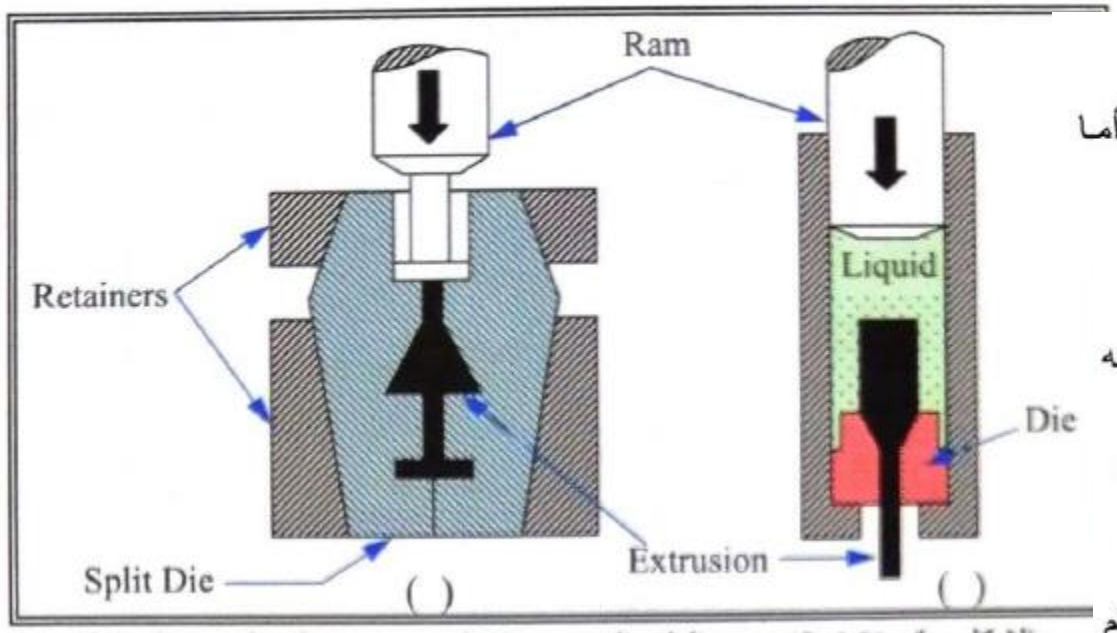
إن آلية عمل بثق الفجوة المغلقة تشبه عملية السباكة حيث يتم كبس المعدن داخل قالب مغلق من نهايتيه بعدها يتم فتح القالب وإخراج المنتج منه وكما موضح في الشكل رقم (10-3-) .

5- **البثق بالطرق** **(Pressing Extrusion)** .

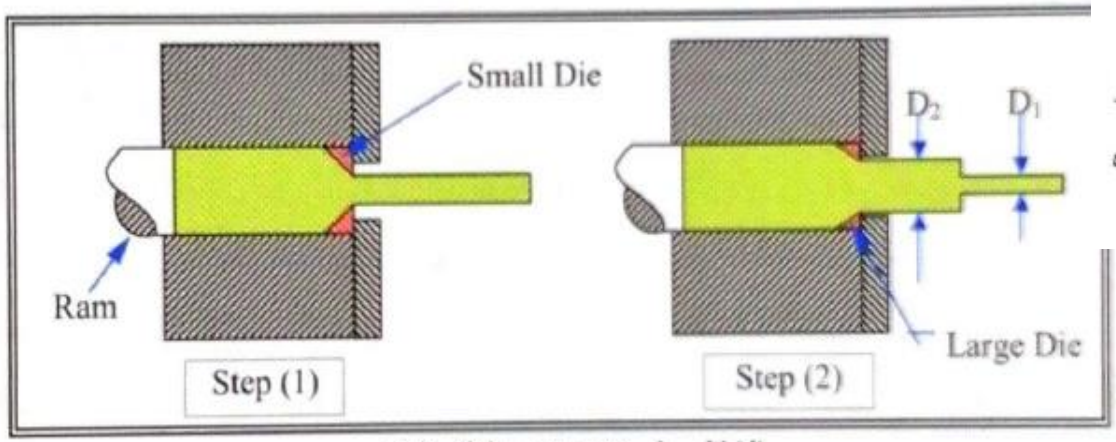
وهو أحد طُرق البثق على الساخن ، حيث يتم تسخين المعدن إلى درجة حرارة معينة ومن ثم طرقه ليتم بثقه من القالب .

6- **البثق المتدرج** **(Step Extrusion)** .

في هذه العملية يكون البثق على مراحل ، حيث في المرحلة الأولى يتم بثق المعدن من خلال قالب صغير ومن ثم يتم إستبدال القالب بأخر أكبر ليتم بثق المعدن مرة ثانية فينشأ من ذلك منتج متدرج في أبعاده الخارجية وكما موضح في الشكل رقم (10-4).



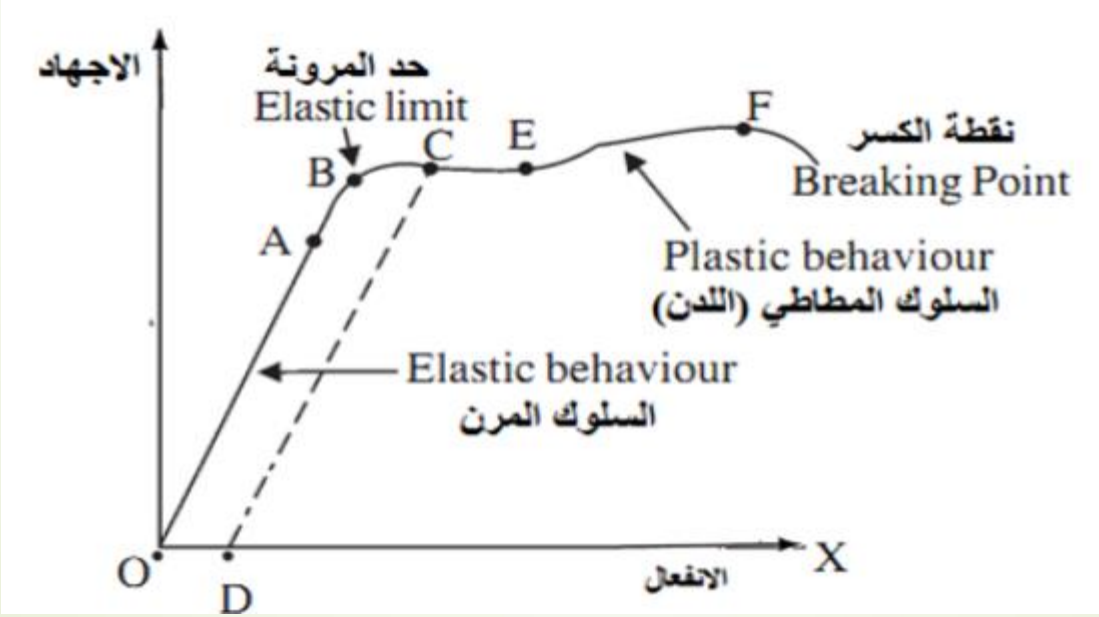
الشكل رقم (10-3) : - البثق الهيدروستاتيكي - بثق الفجوة المغلقة



الشكل رقم (10-4) : البثق المتدرج

شروط عملية التشكيل

1. الاستفادة من قابلية المعدن للتغير بصورة لدنة في الحالة الصلبة
2. تشكيل المعدن الى الشكل المطلوب دون ازالة كميات منه
3. تحتاج الى قوة كبيرة وطاقة عالية
4. المكائن والعدد المستخدمة في التشكيل تكون مرتفعة الكلفة لذلك يجب ان يكون حجم الانتاج كبير لتكون العملية اقتصادية

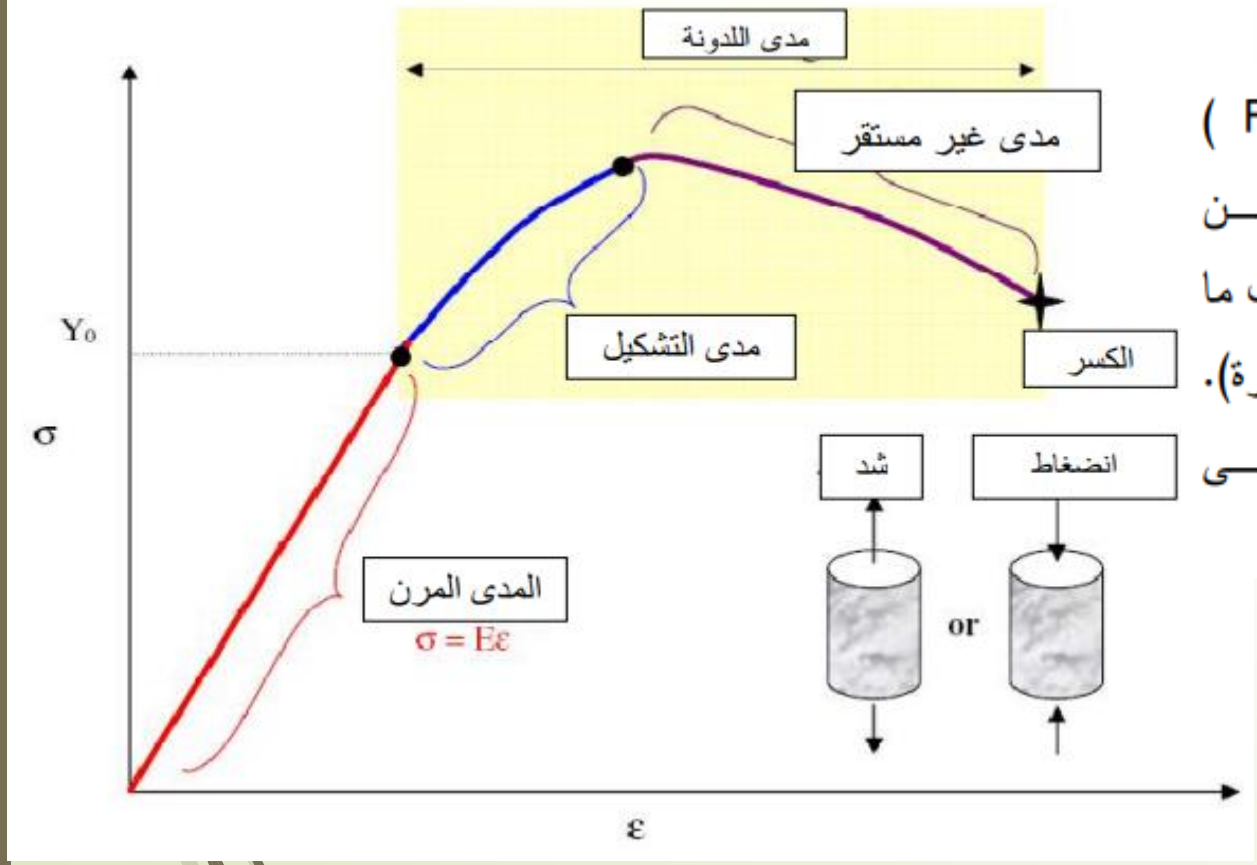


منحني الاجهاد والانفعال

يمر الجزء عند تسليط جهد شد أو ضغط بمرحلتين مميزتين:

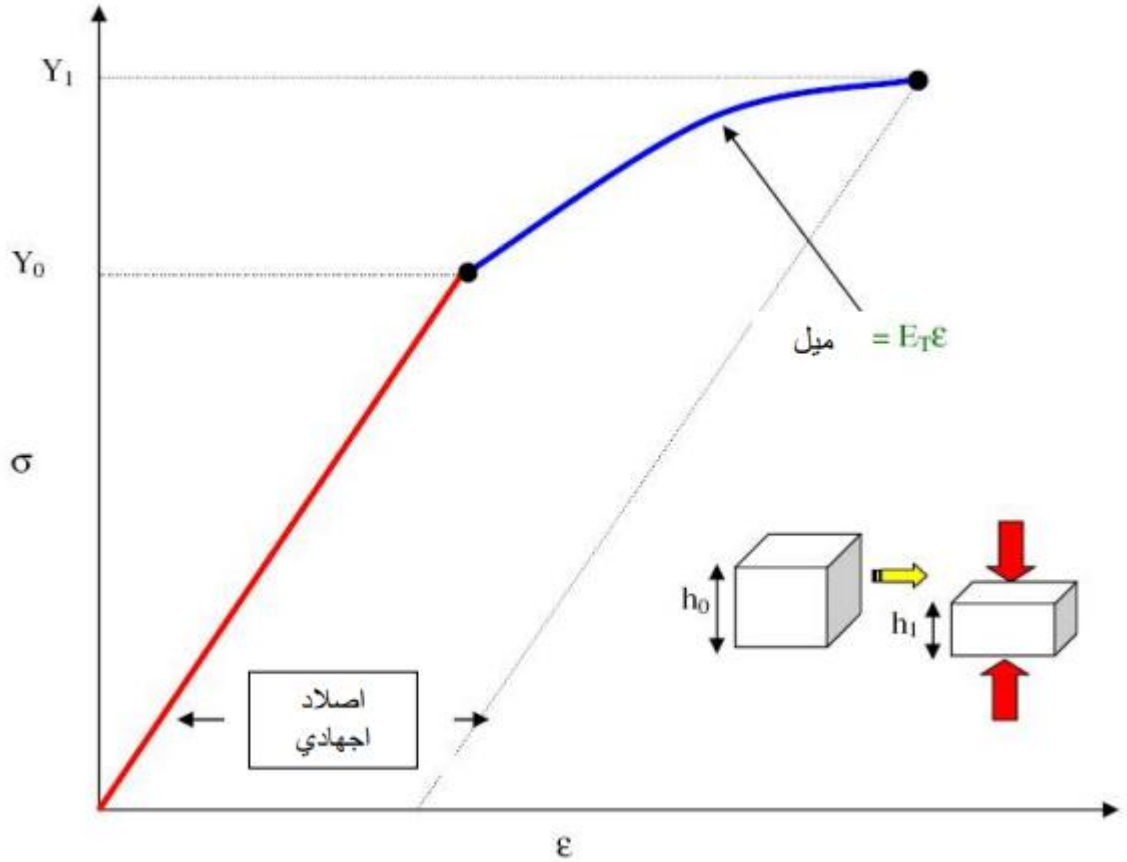
١. مرحلة الاجهاد المرن Elastic stress : عند تحرير الجزء من الجهود في أية نقطة في هذا المدى يعود الجز إلى شكله الهندسي الاصلي وأبعاده الأولية.

٢. مرحلة الاجهاد اللدن Plastic stress : فيه يتعرض الجزء إلى تشوه دائم نتيجة الجهود المسلطة والمتزايدة لحين الوصول إلى إجهاد الشد الأقصى Ultimate Tensile stress و حينها يبدأ المعدن بالفشل وينكسر بعد ذلك



في منطقة التشوه (Deforming) (في هذا النص سنسميها منطقة التشكيل Forming) وبعد تعرض المادة لجهد معين (وهو جهد الخضوع Y_o) تبدأ بالخضوع والانتقال من حالة المرونة إلى حالة اللدونة حيث يصبح التشوه دائمي. هذا التشوه اللدن للمادة يسبب ما يسمى التصليد الانفعالي Strain hardening (وهذا مرتبط بنوع المادة ودرجة الحرارة). هذا التصليد الانفعالي يزيد من مقاومة المادة وبذلك تصبح لها نقطة خضوع جديدة اعلى من السابقة.

فعلى سبيل المثال لو أتينا بجسم مكعب من الفولاذ مقاومتـــه للخضـــوع الابتدائيـــة هـــي $500\ N/mm^2$ ، ثم ضغطنا هذا الجسم بواسطة الطرق لتقليص ارتفاعه بنسبة 20% فان ذلك سيسبب أصلاد انفعالي له. و سنجد ان مقاومة الخضوع لهذه المادة ارتفعت لتصـــل الى $620.42\ N/mm^2$.



اذن كيف نستطيع حساب قيمة مقاومة الخضوع الجديدة للمادة بعد التشكيل ؟

في مدى المرونة (شكل ٢-٢) نلاحظ وجود خط مستقيم يعبر عنه بـــ :

$$\sigma = Ee$$

حيث ان E هو معامل المرونة و e هو الانفعال الهندسي Engineering strain

$$e = \frac{\Delta h}{h_o} = \text{Engineering strain}$$

في حالة تقليص الارتفاع لجسم ما بواسطة الضغط Compression تكون :

h_o هو الارتفاع الاصلي

و Δh هو التغير في الارتفاع ويساوي $h_1 - h_0$

في مدى التشكيل Forming range نلاحظ ان الشكل يعبر عنه بـــ :

$$\sigma = E_T \varepsilon$$

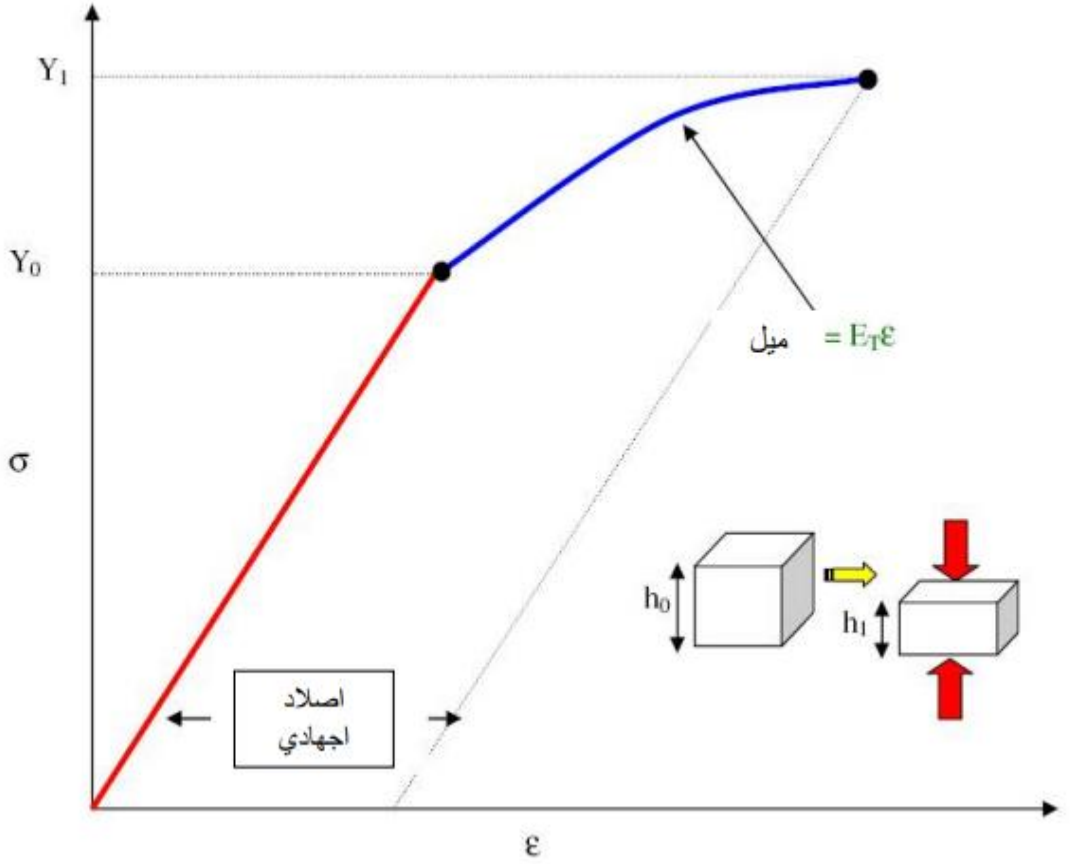
حيث إن E_T هو معامل اللدونة Plastic modulus و ε هو الانفعـــال الحقيقـــي True strain

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{h}{h_o}\right)$$

في حالة تقليل ارتفاع الجسم بواسطة الطرق (h_o هو الارتفاع الأصلي و Δh هو التغيـــر في الارتفاع ويساوي $h_0 - h_1$)

سيكون حساب مقاومة الخضوع الجديدة للمادة باستخدام المعادلة

$$Y_1 = Y_0 + E_T \varepsilon$$



مثال : جسم مكعب (100 x 100 x 100 mm) من الفولاذ له مقاومة خضوع ابتدائيـــة هي $500\ N/mm^2$ ، هذا الجسم ضغط بعملية الطرق لتقليل ارتفاعه بنسبة 20%. احسب قيمة مقاومة الخضوع الجديدة علما ان معامل اللدونة (ويسمى الجساءة Stiffness) هو $540\ N/mm^2$ ؟

الجواب : باستخدام الارتفاع لحساب الانفعال :

h_o= 100 mm و بما ان نسة التقلص هي 20%

اذن h_I=80 mm لذلك :

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right) = \ln\left(\frac{100}{80}\right) = 0.223$$

وتصبح قيمة المقاومة الجديدة

$$Y_1 = Y_0 + E_T\varepsilon = 500 + 540*(0.223)\ N/mm^2$$
$$Y_1 = 620.42\ N/mm^2$$

وباستخدام المساحة لحساب الانفعال :

A_o=100 x 100 mm وبعد التقليص تصبح A_o=80 x 100 mm

وبذلك فان

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) = \ln\left(\frac{100x100}{80x100}\right) = 0.223$$

وهكذا فان قيمة المقاومة الجديدة هي

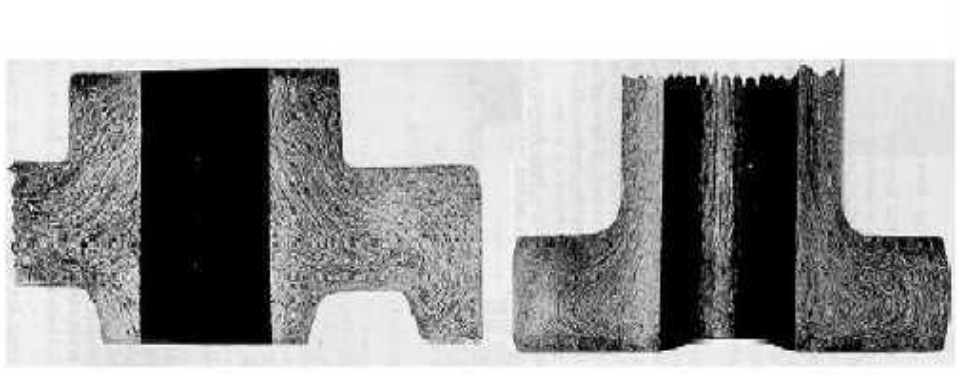
$$Y_1 = Y_0 + E_T\varepsilon = 500 + 540*(0.223)\ N/mm^2$$
$$Y_1 = 620.42\ N/mm^2$$

عمليات الحدادة

الحِدادة وهي طَرق الحديد والمعدن،وتشكيلها بعد تليينها بالنار لإنتاج الأدوات التي يحتاج إليها الإنسان في حياتة اليومية .وليس ثمة مجال من مجالات الحياة من زراعة وصناعة وتجارة وخدمات إلا والحديد ضروري فيها، فالحديد والنار، عنصران مهمان أتاحا للحياة البشرية أن تحقق قفزات نوعية هائلة، أوصلت الإنسانية إلى حضارتها الراهنة.

مميزات تشكيل المعادن بالحدادة

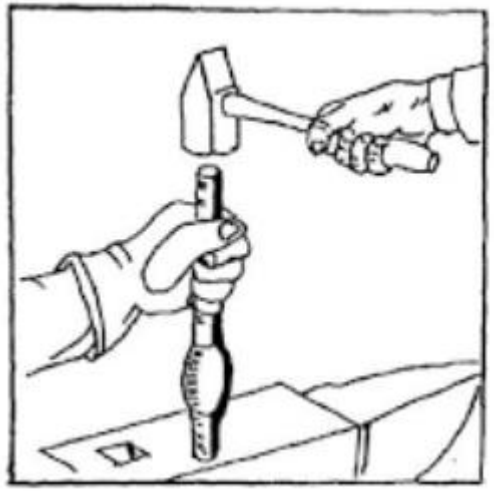
1- شدة الكثافة
2- عدم حدوث تمزق في الالياف
3- ارتفاع مستوى المتانة
4- انخفاض في مسام المعدن
5- تحسين الخواص الفيزيائية بصورة عامة
6- قدرة عالية على تحمل الاجهادات
7- التوزيع المنتظم للشوائب الحبيبية في المعدن
8- تعتبر من طرق التشكيل الاقتصادية
9- تهذيب الحبيبات الخشنة



طرق الحدادة

1. الحدادة اليدوية

أهم وسيلة لتشكيل المعدن الساخن إلى الشكل المطلوب قبل ظهور الطرق الحديثة للحدادة. لكن في العصر الحديث أصبحت تكاليف أداة الحدادة بالطرق اليدوية وعدم دقتها غيرمجدية تماما، ويكاد يقتصر استخدامها في تشكيل بعض المنتجات البسيطة المطلوبة لأغراض الصناعة وفى تشكيل المنتجات التي في مرحلة التصميم .



2. الحدادة بالمطارق الميكانيكية

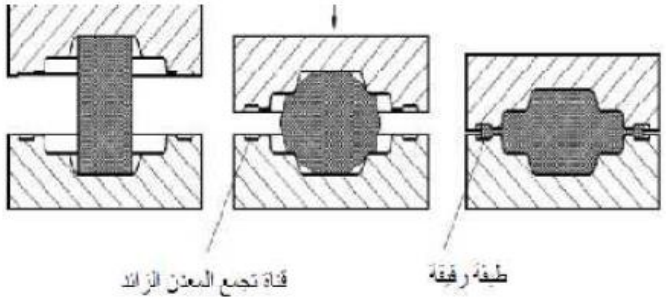
وتشبه الحداة اليدوية إلا أن الماكينات المستخدمة تدار ميكانيكيا بواسطة سير، أو تدار مباشرة باستخدام الهواء أوالبخار .وتستعمل قوالب تشكيل بسيطة مسطحة قليلة التكاليف لتسهيل عملية الحدادة .ويستعمل قالبان يركب أحدهما في الجزء المتحرك من المطرقة أو رأسها، ويثبت الأخر في سندان

3. الحدادة بالطرق المتساقط

تجرى عملية الحدادة بهذه الوسيلة بطرق قضبان أو كتل من المعدن بعد تسخينها بين قوالب تشكيل من النوع المقفل. ويجرى تشكيل المعادن وهو في حالتها العجينية في قوالب التشكيل. فتخرج الأجزاء المطلوبة من القالب في الشكل والحجم والأبعاد المطلوبة. وتدمج ضربات المطرقة المتلاحقة التكوين الحبيبي في لب قضيب أو في الكتلة كما تحسن من خواص المعدن الفيزيائية.

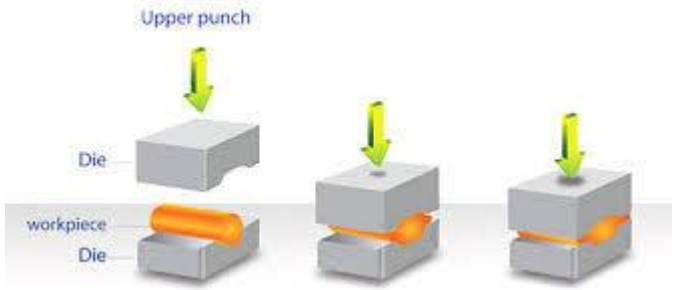
4. حدادة المعادن بالكبس

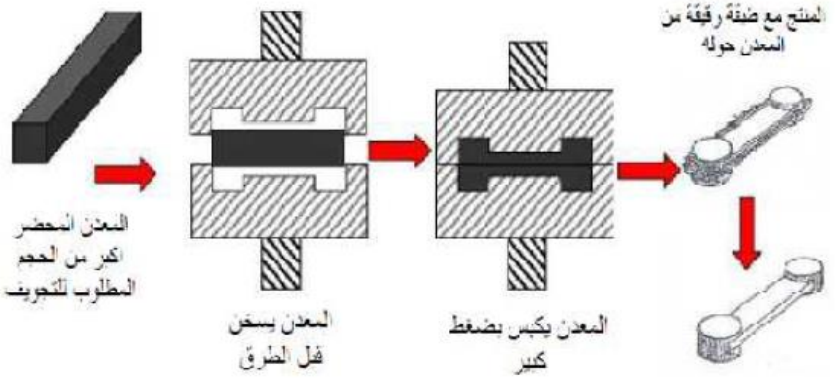
عملية عصر بطيئة لتشكيل المعدن العجيني إلى الشكل المطلوب، ويتراوح الضغط الواقع على المعدن بين طن واحد و 25 طناً على البوصة المربعة. وتستعمل غالباً المكابس الهيدروليكية في هذه العملية.



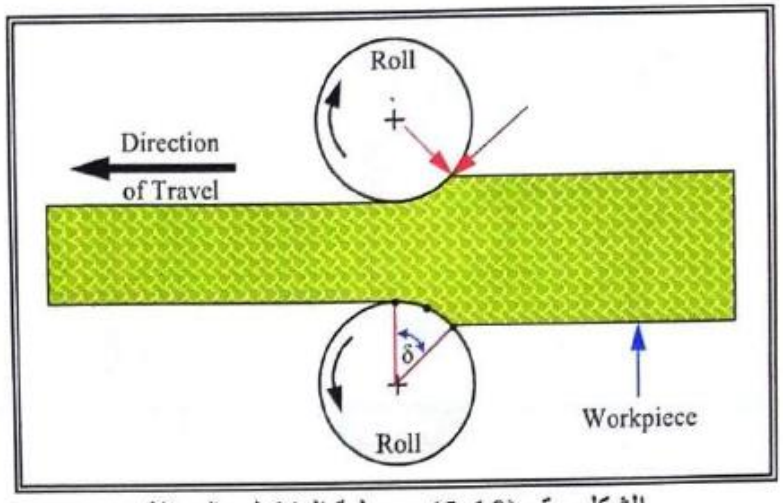
معدات الحدادة

1- المطارق والسندان والماسكات الحديدية
2- الحدادة بالقالب المفتوح
3- الحدادة بالقوالب المغلقة



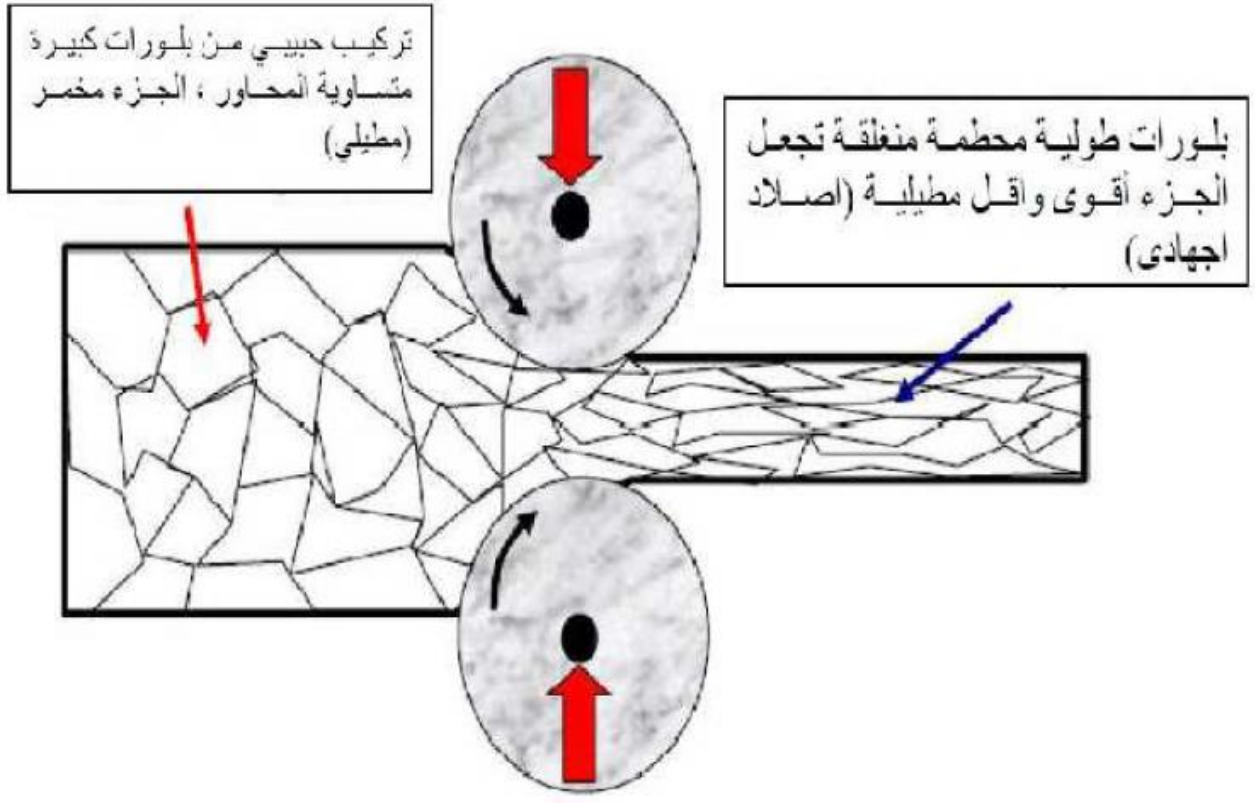


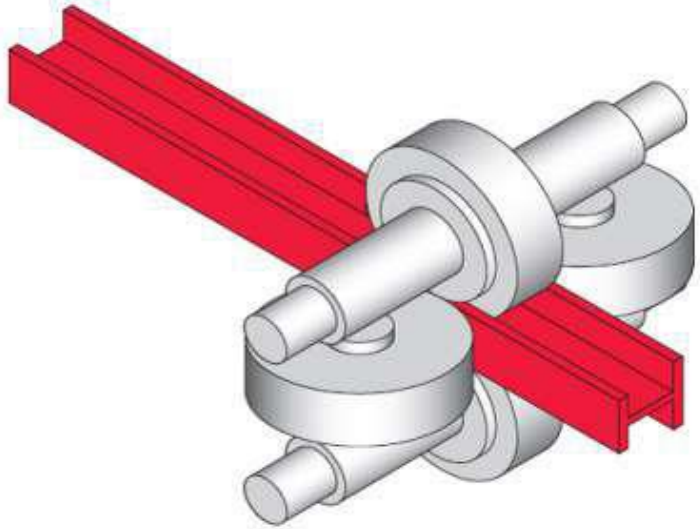
عمليـات الدرفلة

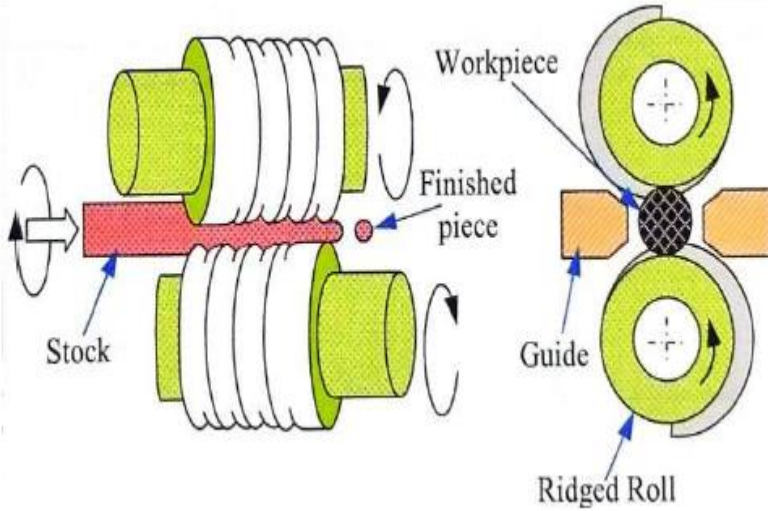


الشكل رقم (10-5) : عملية التشكيل بالدرفلة

الدرفلة أو الدلفنة هي عملية تشكيل المعدن بين درافيل دوارة عن طريق ضغطه بينها من أجل الحصول على الشكل والحجم المطلوبين ، تتضمن عملية التشكيل هذه نقصان في سمك المعدن المُشكل مع زيادة في طوله وعرضه . تستخدم الدرفلة للحصول على الألواح ، القضبان ، البكرات ، الأنابيب ، والأشرطة المعدنية وغيرها من المنتجات والأشكال . الشكل رقم (10-5) يوضح عملية التشكيل بين الدرافيل .







هنالك نوعان من القوى التي تؤثر في عملية الدرفلة والموضحة في الشكل رقم (10-5) وهي القوة العمودية أو نصف القطرية ( ) وتمثل قوة ضغط الدرافيل وقوة الإحتكاك ( ) . يمكن أن تقسم عملية الدرفلة إلى خمسة أنواع رئيسية والتي تختلف فيما بينها من حيث آلية عمل الدرافيل وشكل المنتج وهذه الأنواع هي :

1- الدرفلة الطولية (Longitudinal Rolling) .

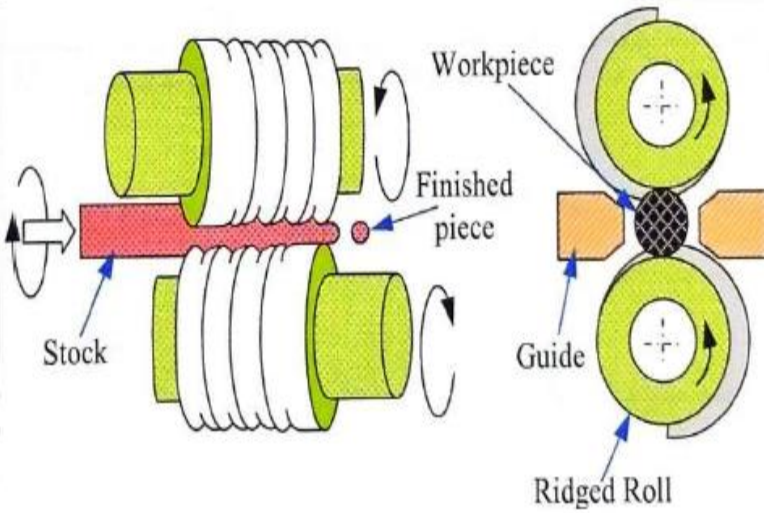
في هذا النوع من الدرفلة يتم وضع الشُغلة بين درفيلين يدوران بإتجاهين مختلفين ،ويستخدم هذا النوع لإنتاج الصفائح المعدنية (إنظر الشكل رقم(10-5)) .

2- الدرفلة العرضية (Cross Rolling) .

وتسمى أيضاً بالدرفلة الإسفينية ( ) . يستخدم في الدرفلة العرضية درفيلين متزامنين يدوران بنفس الإتجاه مع نتوء حلزوني صاعد حول كل منهما ( ) . تكون محاور الدرفيلين متقاطعة بشكل طفيف أي بزاوية صغيرة أو متوازية . يمكن أن يصنع بهذه الطريقة الأعمدة وحدبات التروس . الدرفلة العرضية موضحة في الشكل رقم (10-6) .

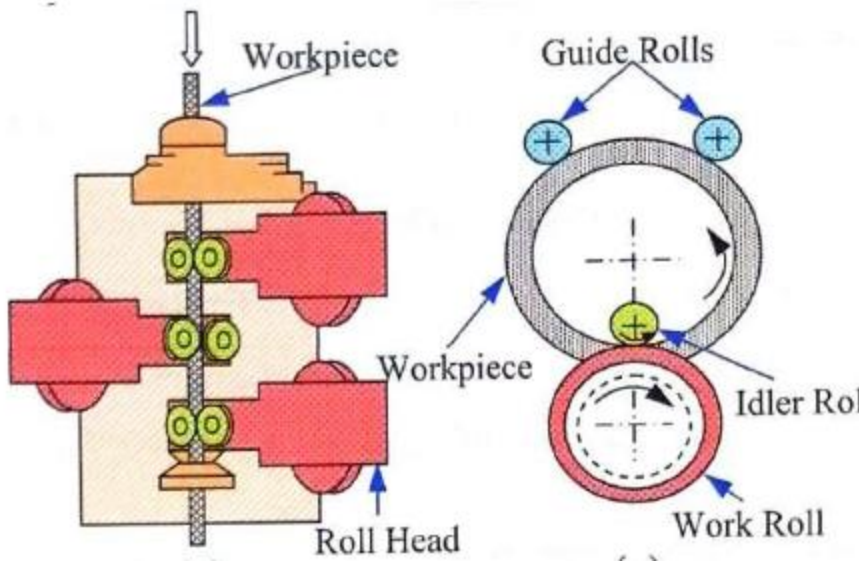
3- الدرفلة اللولبية (Skew Rolling) .

تنفذ هذه الطريقة مع درفيلين على محاور متعامدة ( ) كما موضح في الشكل رقم(10-6-).
يمتلك كل درفيل شكل حلزوني خارجي يحمل الخام قيد التشغيل ويُشكل بشكل مستمر عند دوران الدرفيل.
تستخدم الدرفلة اللولبية لإنتاج الكرات الفولاذية (فوق 400 لكل دقيقة) ومحاور مركبات السكك الحديدية.



4- الدرفلة الحلقية (Ring Rolling) .

يبدأ هذه النوع من الدرفلة مع حلقة صغيرة مجوفة ويتم تشكيلها بين درفيل واحد أو درفيلين ودرفيل وسطي . الحلقة تزداد في القطر وتقل وتشكل في المقطع العرضي(إنظر الشكل رقم (10-7-)) . الشغلة المجوفة يمكن أن تُحضر بالحدادة أو التخريم . تمتد القِطع المنجزة بواسطة هذه العملية من المحامل المتدحرجة الصغيرة إلى الحلقات التي قطرها حوالي (9) .



5- الدرفلة أحادية الإتجاه (Unidirectional Rolling) .

وتسمى أيضاً درفلة القالب ( ) وتتضمن تمرير الخام بشكل مستمر بين زوج واحد أو أكثر من الدرافيل مع قالب ذو أثار غائرة حول محيطها وكما موضح في الشكل رقم (10-7-). يمكن بالدرفلة أحادية الإتجاه إنتاج الأعمدة ، المحاور ، والعتلات .

أنواع مكائن الدرفلة

أولاً: ماكينة الدرافيل الثنائية

وتستعمل في مراحل الدرفلة على الساخن أو البارد وخصوصاً لقطع العمل الأولية.

ثانياً: ماكينة الدرافيل الثلاثية (العكسية)

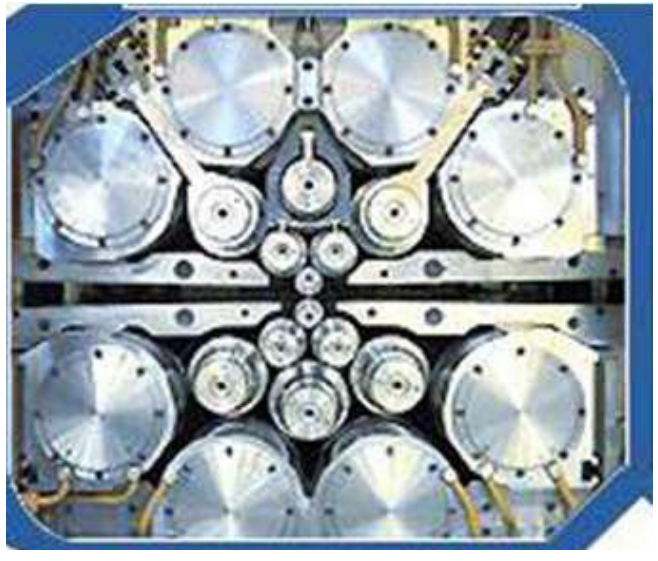
يعكس اتجاه حركة قطعة العمل فيه بعد كل شوط مع تقليل الفراغ بين الدرفيلين تدريجياً بين الأشواط.

ثالثاً: ماكينة الدرفلة الرباعية

وتستعمل هذه الدرافيل لتقليل قوى الدرفلة والطاقة المستهلكة.

رابعاً: ماكينة الدرفلة العنقودية Cluster Mill

وهي ماكينة تم تطويرها للدرفلة على البارد لإنتاج الصفائح الرقيقة وبأبعاد دقيقة للمعادن عالية المقاومة.

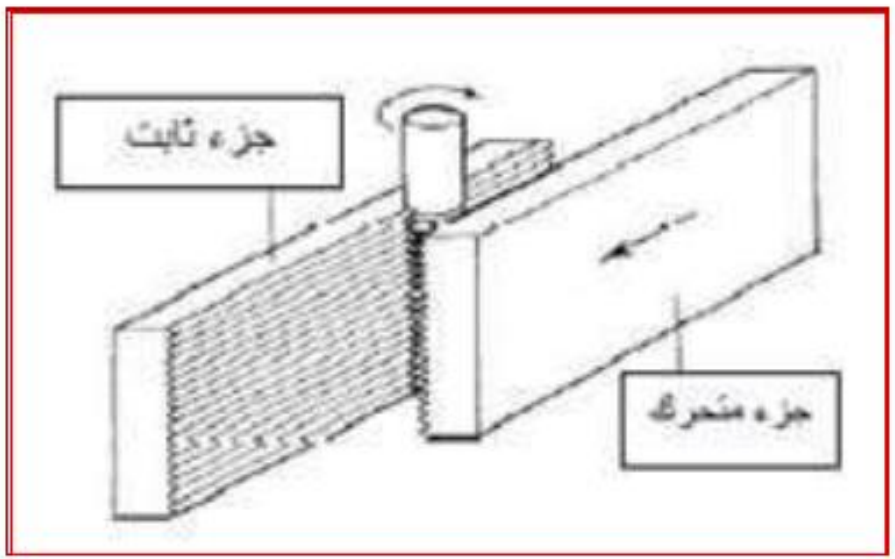


سادساً: الدرفلة التشكيلية Shape Rolling

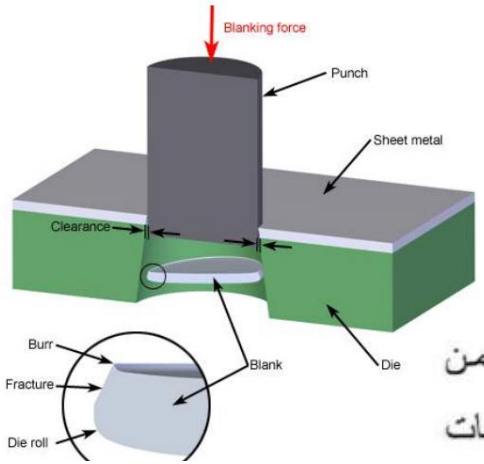
- تشابه الدرفلة المستقيمة، إلا أن سطوح الدرافيل تحتوي على تشكيلات تناسب والمقطع المطلوب إنتاجه.
- تستعمل لإنتاج ودرفلة معادن باستقامة وطول كبيرين كمقاطع البناء الفولاذية مثل Solid Bar، والسكك الحديدية.
- تحتاج هذه الدرفلة إلى أشواط متعددة، وذلك لأن المقطع يتم تشكيله تدريجياً شيئاً فشيئاً

سابعاً: درفلة التسنين Thread Rolling

لغرض الدرفلة على البارد للتسنين المستقيم أو الزاوي يتم التشكيل على الأسطوانات بإمراره بين قوالب تحوي شكل الأسنان المطلوبة. من ميزات هذه الطريقة تكون الإنتاجية بمعدل عالٍ مع زيادة المقاومة.

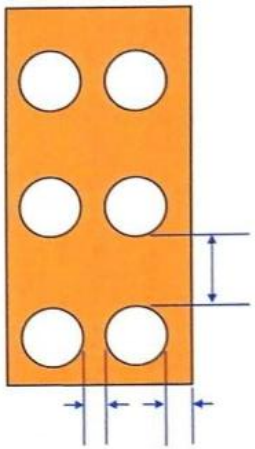


قص الصفائح المعدنية Shearing of Metal Sheets



تتم عملية قص صفيحة المعدن من دون تكوّن الرايش Chips بتعريض المعدن إلى جهود قص بين المكبس (Punch) والقالب (Die) (والاثنان مصنوعان من الفولاذ المصلد)، وكما في الشكل

تستخدم عمليات القص للحصول على قطع معدنية من الألواح أو الشرائط أو تستخدم لفصل جزء من القطعة المعدنية عن جزء آخر الشكل . يوضح مبدأ عملية القص . هنالك عدد من عمليات القص المستخدمة في تشكيل المعادن والتي تختلف في كيفية إنجازها للقص وهذه العمليات هي :

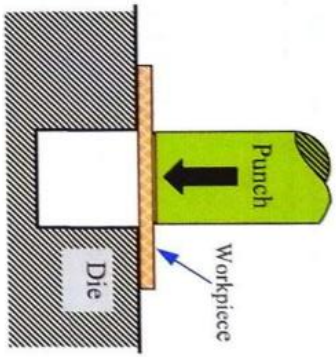


1- عمليات الفصل . تستخدم لفصل جزء من الشُغلة .

2- عمليات القص . وهي عملية قص المشغولات الناتجة من عمليات الفصل ، شريحة تستخدم كمنتج للألواح المعدنية .

3- عمليات الثقب . وهي عملية إزالة جزء من الشُغلة مع تكوين ثقب وعدم إستخدام الجزء الذي يتم إزالته.

4- عمليات القص الجزئي . تتضمن هذه العمليات قص جزئي للشُغلة مع عدم الفصل التام للشُغلة على إمتداد الطول أو العرض.

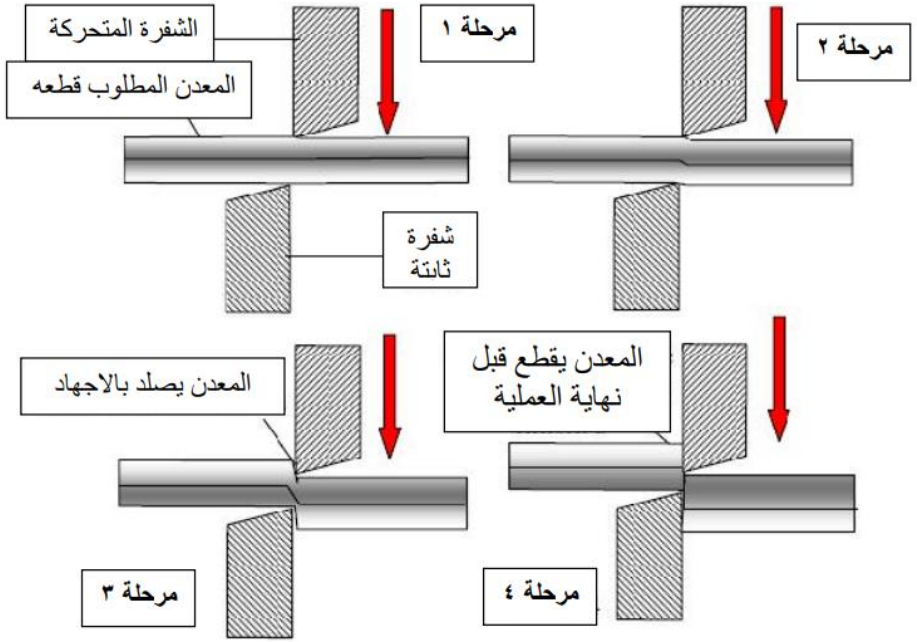


5- عمليات قص الزوائد . وهي عملية فصل المعدن الزائد عن الشُغلة مع عدم إستخدام المعدن المُزال .

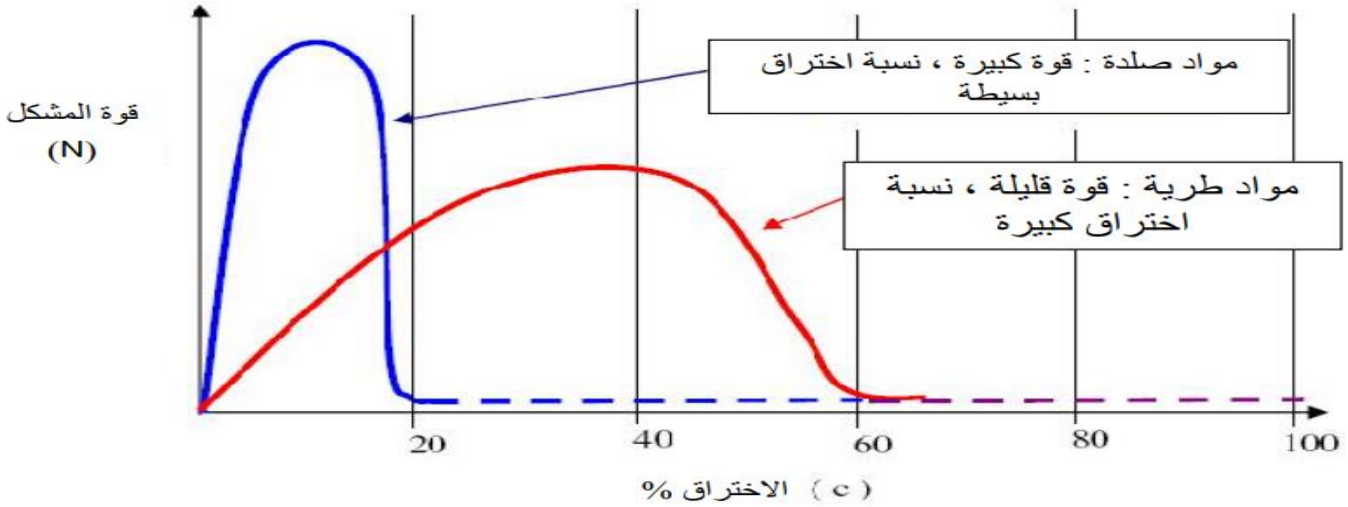
مراحل عملية قص الصفائح:

1. تتحرك الحافة العليا للمشكل (Punch) باتجاه الحافة السفلى من القالب (Die) إلى أن يلامس سطح الصفيحة، ومن ثم تبدأ عملية التشكيل.
2. مع زيادة الضغط تقترب الحافتين من بعضهما وتبدأ عملية التشويه اللدن.
3. تبدأ الحافات القاطعة باختراق المعادن وفي هذه المرحلة تتعرض المادة لعملية التصليد الانفعالي.
4. يبدأ القطع بالحدوث في منطقة التصليد عند نقطة الاتصال مع الحافات القاطعة.

حينما يلتقي طرفا القطع يُفصل المعدن المقطوع بالقص إلى جزئين مختلفين ويحدث فشل المادة قبل أن تخترقهُ حافة القطع المعدنية بصورة كلية، وتعرف النسبة بين قيمة السمك الذي تخترقهُ الشفرة من المعدن إلى السمك الكلي لهُ بنسبة الاختراق (Penetration)، والشكل (6-27) يبيّن مراحل عملية قص الصفائح.



عند ملاحظة الشكل (٧–٤) نلاحظ ان القوة المطلوبة لقطع الجزء تزداد ومن ثم تنخفض بسرعة كبيرة عند فشل وكسر المعدن. القوه العظمى (F_{max}) للفولاذ المصلد تحتاج الى نسبة اختراق (c) تصل الى 15%، بينما المعادن الطرية مثل الالمنيوم والنحاس فان نسبة الاختراق تقريباً 40% لكن مع قوة (F_{max}) اقل.

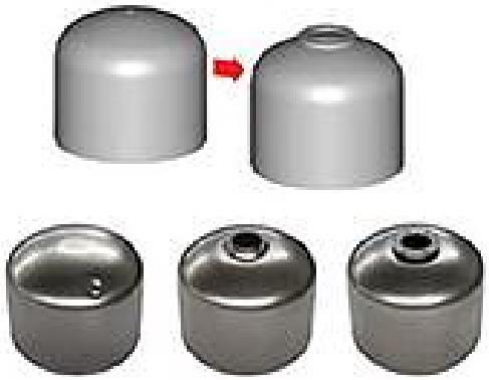


شكل (٧–٤) العلاقة بين قول القطع ونسبة الاختراق
ملاحظة : المساحة تحت المنحنى تتناسب مع الشغل المبذول

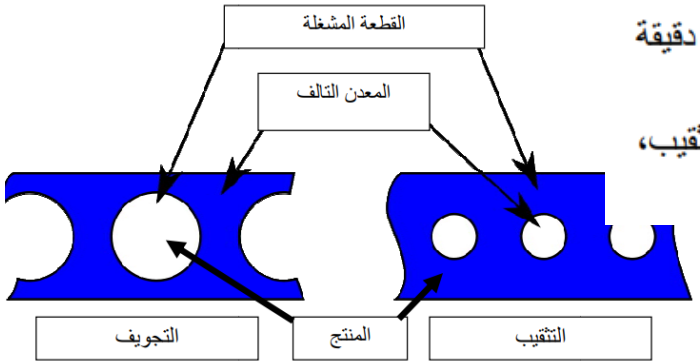
جدول الخلوص الأمثل لعمليات القطع والثقب لمواد مختلفة

المادة	الصلادة HV	الفراغ % من السمك
الفولاذ الطري	١٤٤–٩٤	١٠–٥
البراص ٣٠١٧٠	١١٠–٧٧	١٠–٠
النحاس	٩٣–٦٤	١٠–٠
الزنك	٦١	٥–٠
الألمنيوم	٢٨–٢١	٥–٠

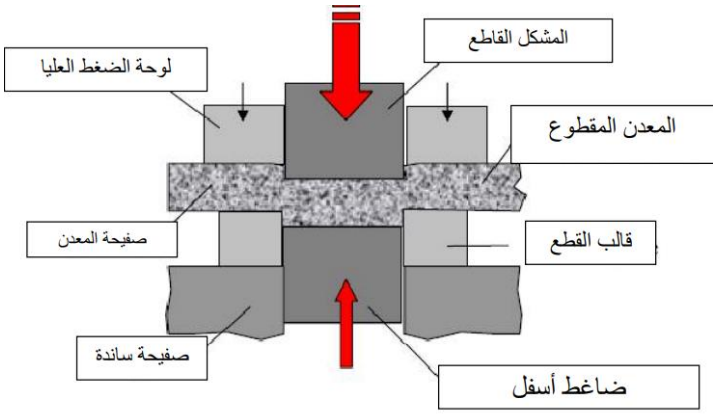
أنواع عملية قص الصفائح

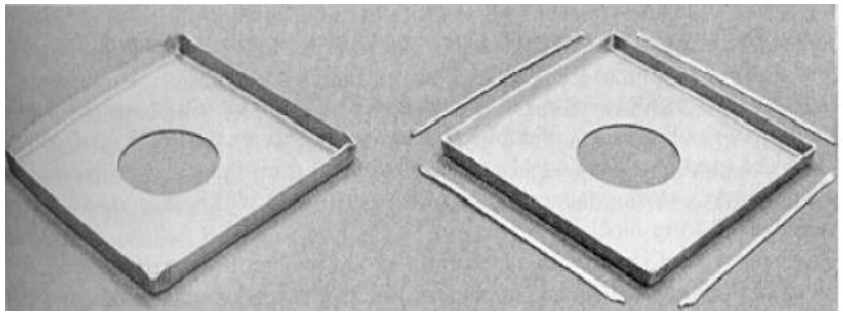


1. التجزئة Parting: قطع الصفيحة إلى قطعتين بوساطة حافات مستقيمة.
2. التخريم Piercing (Punching) والتظريف Blanking: وهاتان العمليتان متشابهتان وكلاهما عبارة عن قطع أشكال من خلال عملية قص الصفيحة والفرق بين العمليتين هو يتم قطع الشكل ورمي باقي الصفيحة في عملية التظريف بينما في التخريم يتم رمي الجزء المقطوع وتكون الصفيحة المثبتة هي المنتج، ويبيّن الشكل (6-28) بعض استعمالات عملية التخريم، في حين يوضّح الشكل (6-29) الفرق بين العمليتين.



3. التظريف الدقيق Fine Blanking :عملية شبيهة بالتظريف العادي ولكن قبل حدوث عملية القص يتم مسك الصفيحة بقوة ويتم ضغطها من الأعلى والأسفل للحصول على أبعاد دقيقة وحافات ذات أسطح جيدة، وكما في الشكل (6-30).
4. التحديد Trimming: هو إزالة المادة الزائدة (Flash) من الجزء وهي شبيهة بعملية التثقيب، ويوضّح الشكل (6-31) منتوجاً قبل وبعد عملية التحديد.

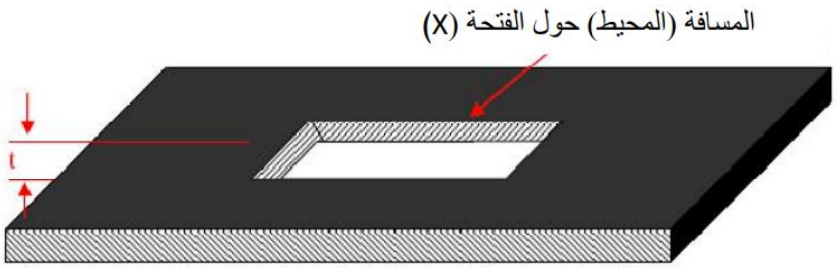




قوة الــمشكل :

اكبر قوة F_{max} للــمشكّل هي محصلة لقوة القــص shearing force (تعتمــد علــى مساحة السطح المقطوع) وقوة الاحتكاك. قوة القص هي ناتج مقاومة القــص القصــوى لمعدن الصفيحة والمساحة المقطوعة

$$F_{max} = \tau_{max} . t . x$$



حيث x : محيط الشكل المقطوع

t : سمك المعدن

τ max : مقاومة القص القصوى

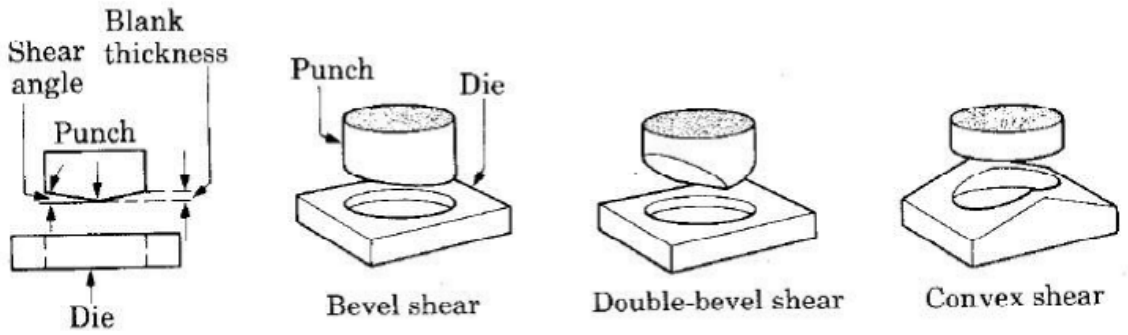
في هذه المعادلة يفترض ان عملية القص تتم لحظياً على طول الحافات (الحافات موازية لسمك الصفيحة).

المساحة المتعرضة لقوة القص هي المسافة المتعرضة للخرق قبل حدوث الفشل وســقوط المعدن ، لذلك يستخرج الشغل المبذول WD من المعادلة الآتية :-

سمك المعدن x نسبة الخرق x اكبر قوة للــمشكل = WD (الشغل المبذول)

$$\therefore WD = F_{max} . c . t$$

لتقليل القوة F_{max} يتم توزيع الشغل المبذول على طول شوط القطع. قوة القطع من الممكن تقليلها اذا جعل المشكل ذو سطح غير مستوي. تعمل زاوية القص بين الشفرة والصفيحة على تقليل القوة المسلطة (القدرة المبذولة تبقى ثابتة) وكذلك يقل الصوت والضجيج الناتج أثناء عمليةالقطع. شكلي (٧- ٧) (٧ -٨).



مثال

جد اعظم قوة للمشكل و جد الشغل المبذول لتقطيع حلقة فولاذ قطرها الخارجي 44.45mm وقطرها الداخلي 22.3mm من صفيحة مستطيلة سمكها 1.59mm لها جهد قص أقصى قيمته 432N/mm² ، علما ان نسبة الاختراق هي 25% ؟

الجواب:-

اولا نحسب المحيط x :-

$$x = 2*\pi*(R_{outside}) + 2*\pi*(R_{inside}) \quad = 2*\pi*(\frac{44.45}{2}\,mm) + 2*\pi*(\frac{22.3}{2}\,mm)$$

$$x = 209.7 \text{ mm}$$

$\tau_{max} = 432 \text{ N/mm}^2$; and the percentage penetration c = 25 %.

اكبر قوة للـــمشكل هي:-

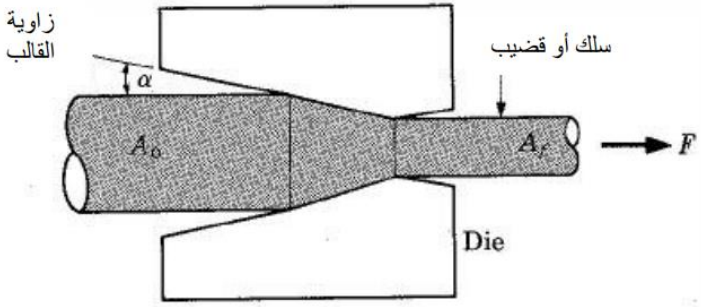
$$= \tau_{max} \cdot t \cdot x$$

$$F_{max} = (432 \text{ N/mm}^2)*(1.59 \text{ mm})*(209.7 \text{ mm})$$
$$F_{max} = 144.04 \text{ kN}$$

الشغل المبذول يساوي :-

$$WD = F_{max} .c. t = (144.04\text{kN})(0.25)(1.59\text{m})$$
$$= 57.26 \text{ kN}$$

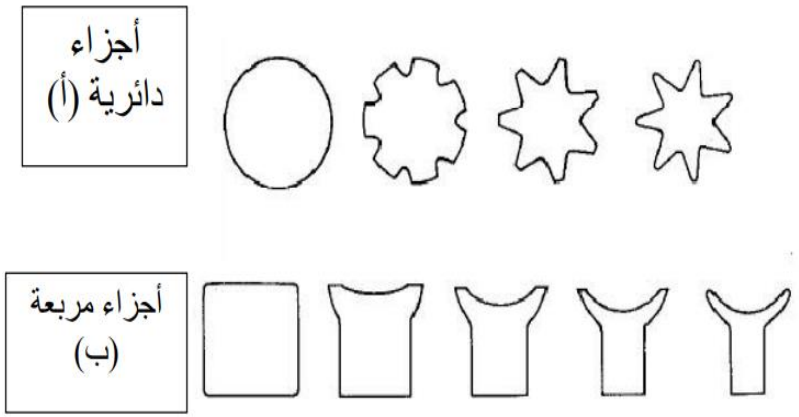
السحب Drawing



تتضمن عمليات السحب تشكيل القضبان المعدنية إلى الأسلاك بوساطة السحب على البارد، وكذلك تشكيل الصفائح المعدنية إلى أوعية بوساطة السحب العميق، وتُعد المطيلية العالية من أهم خواص المواد المعدنية التي تؤهلها لعمليات التشكيل بالسحب على البارد، وكما في الشكل

السحب متعدد المراحل Multi-pass drawing :-

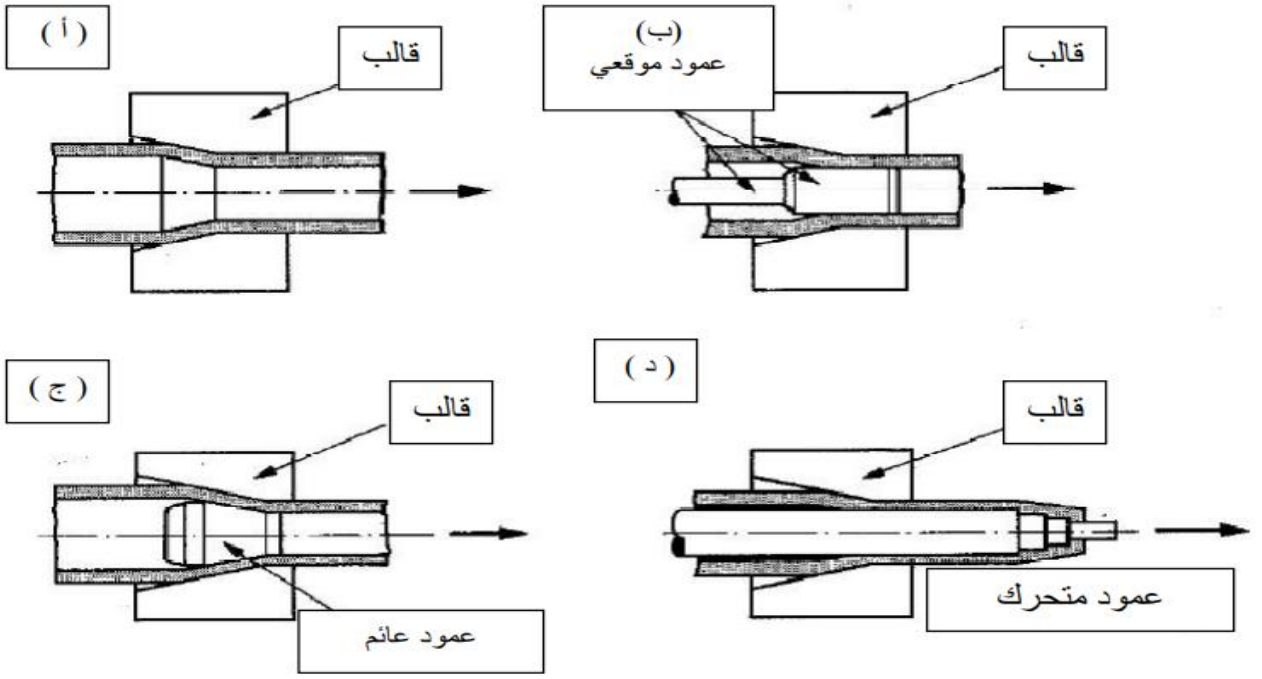
إذا كانت نسبة التقليل كبيرة فمن الممكن ان يتم السحب في عدة مراحل. وكـــذلك يمكـــن تشكيل شكل المقطع العرضي تدريجياً.



السحب متعدد المراحل

طرائق سحب الأنابيب Tube Drawing

1. من دون عمود: يسحب الأنبوب خلال القالب من دون عمود وبذلك يكون القطر الداخلي والإنهاء السطحي غير مسيطر عليه، كما في الشكل (أ)
2. مع عمود ثابت: وهنا لا يتحرك العمود نسبة إلى القالب ويتحدد سُمك الأنبوب بمقدار الفراغ بين العمود والقالب، ولذلك فمن الممكن الحصول على إنهاء سطحي جيد وسُمك دقيق، وكما في الشكل (ب)
3. باستعمال عمود عائم: يسحب العمود مع الأنبوب لكنه لا يُعد جزءاً من القالب، وسُمك الأنبوب غير دقيق لأنه يعتمد على موقع العمود نسبة إلى القالب، وهذا الموقع يتحدد بمقدار الاحتكاك بين القالب والأنبوب من جهة والأنبوب والعمود من جهة أخرى، وتستعمل هذه الطريقة لسحب الأنابيب الطويلة رقيقة الجدران (طول العمود لا يحدد طول الأنبوب)، وكما هو موضّح بالشكل (ج).
4. باستعمال العمود المتحرك: يتحرك العمود مع الأنبوب ليقلل الاحتكاك (لا يوجد احتكاك بين العمود والأنبوب) لذا يجب أن يشغل العمود بدقة، لاحظ الشكل (د).



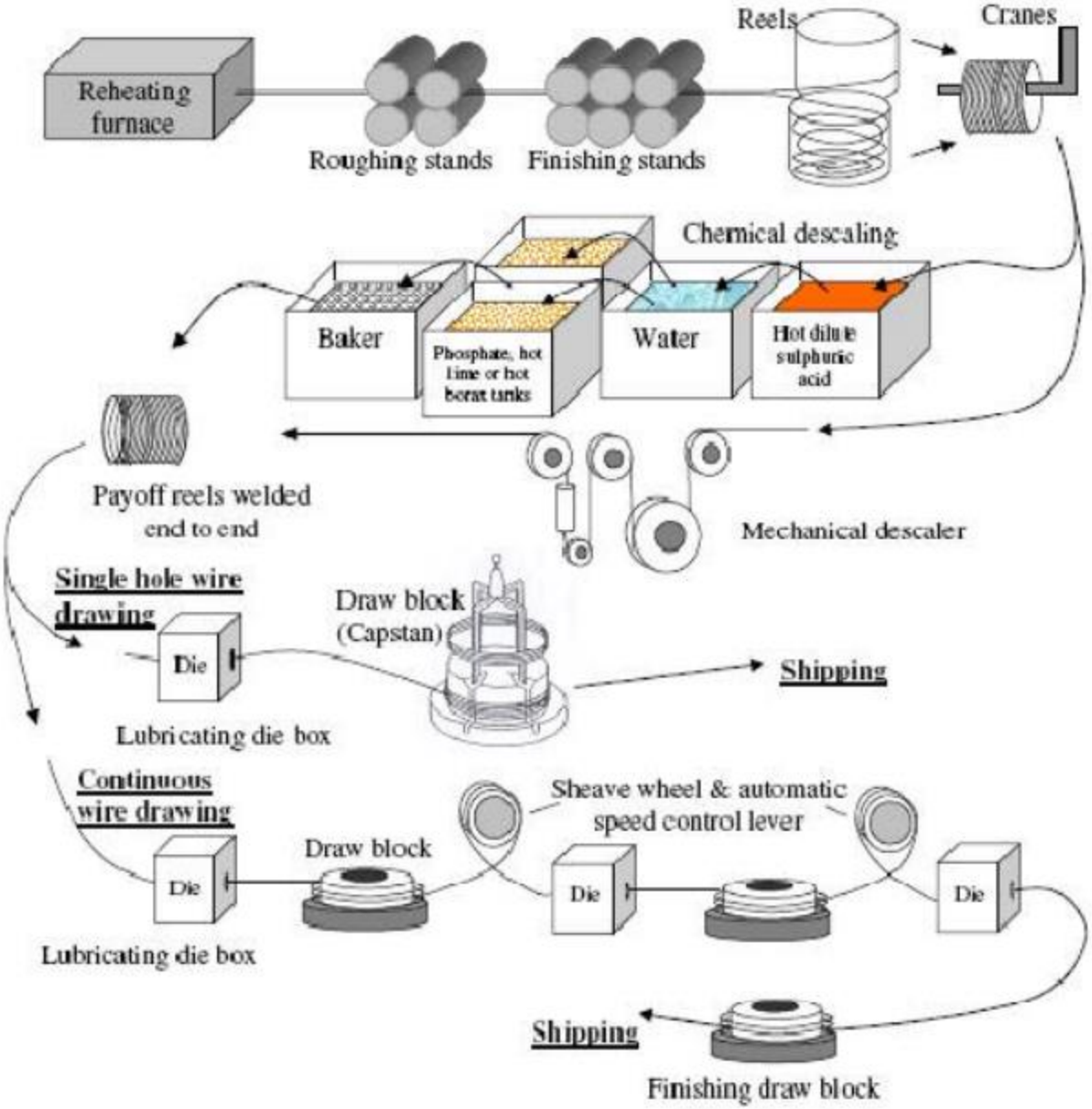
الخطوات العامة لعملية سحب الأسلاك

1. تسخين كتل الفولاذ في أفران إعادة التسخين.
2. درفلة الكتلة على الساخن قبل سحب الأسلاك (هذه العملية يجب أن تكون سريعة قبل أن يبرد المعدن ويصبح أقوى).
3. يوجد نوعين من البكرات لاستلام القضيب، الأولى تدور بسرعة مناسبة مع سرعة الدرفلة وتقوم بلف القضيب، بينما الثانية ثابتة وفي الحالتين تقوم آلية ميكانيكية بلف القضيب حول البكرات.
4. تقوم الرافعات بحمل البكرات إلى العملية التالية.
5. يتم تحضير قضبان الفولاذ لعملية السحب بعدة طرائق:

- التنظيف الكيميائي (إزالة القشرة كيميائياً): وتتم باستعمال حامض الكبريتيك لتنظيف السطح من الصدأ والأكاسيد وباستعمال مرشات مائية، تُطلى القضبان المحضرة بمادة مثل بوراكس الفوسفات لحماية السطح والتي تعمل كمزيتات في عملية السحب.
- التنظيف الميكانيكي: وهنا تتم إزالة القشرة ميكانيكياً بطرائق متعددة مثل الحث المتعاكس للقضيب أو باستعمال الهواء المضغوط مع مواد مخدشه أو باستعمال فرش ميكانيكية.

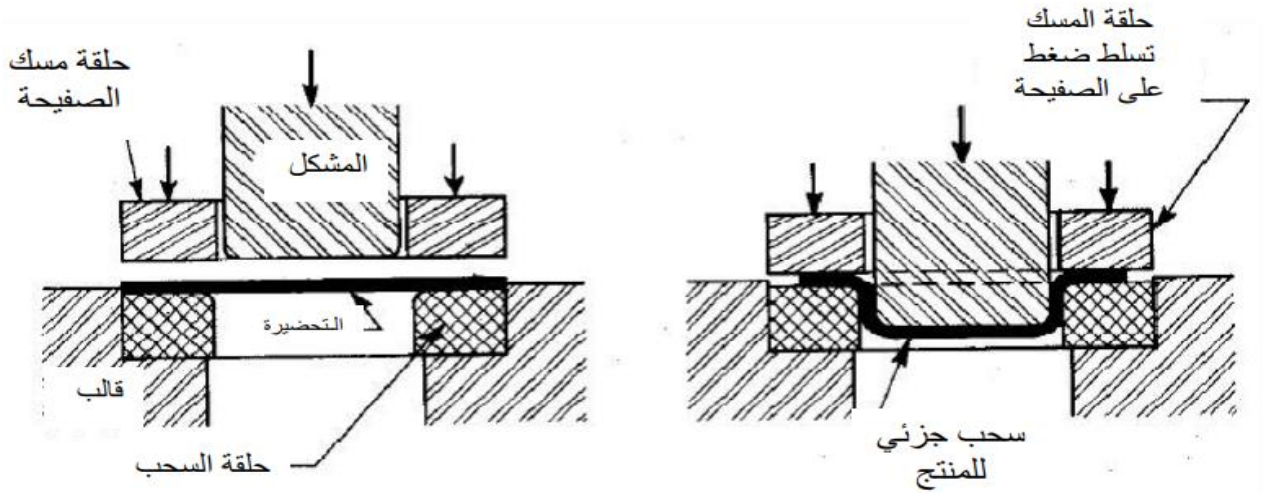
6. بعد إزالة القشرة تربط القضبان بوساطة اللحام ومن ثم تدخل إلى البكرات.
7. لسحب سلك مفرد يتم تغذية القضيب إلى صندوق القالب المزيت وبعد السحب يلف لغرض التسويق.
8. يُسحب السلك المستمر بتغذية السلك إلى صندوق القالب المزيت ومن ثم يدرفل على عجلة لضبط سرعة السحب وبعدها يلف على بكرة لغرض التسويق.

خطوات عملية سحب الأسلاك



السحب العميق Deep drawing :-

يتم تسليط قوة الـــمشكل على صفيحة معدنية مستقيمة باتجاه تجويف القالب. يـــتم مســـك الصفيحة بواسطة لوحة مسك مسلط عليها قوة محسوبة.



مراحل السحب العميق المتعددة لانتاج اوعية الصودا

وتستعمل عملية السحب بصورة واسعة في نتاج الصفائح الحديدية لانتاج الاواني والاحواض المعدنية وهي عادةمن العمليات النهائية.

خصائص المادة المناسبة لعملية السحب العميق:-

- مطيلية عالية للسماح بجريان لدن واسع إثناء العملية.
- قابلية أصلاد- إجهادي واطئة لمنع تشقق الجزء وتقليل عمليات إعـــادة التخميـــر الضرورية.
- مقاومة شد عالية ليتحمل جهود السحب التي تحاول تمزيق جدران المنـــتج إثنـــاء سحبة من تحت لوحة المسك.
- حجم حبيبي متجانس ومنتظم للحصول على جريان منتظم وتقليل ظـــاهرة التـــأذن earing .

منتجات مختلفة مصنوعة بطريقة السحب العميق

الصفيحة المحضرة للسحب والممسوكة بلوحة المسك يتم سحبها شعاعياً إلى الداخل و في نهاية شوط السحب فان الصفيحة بأكملها تكون قد انضغطت إلى داخل القالب فيما يكـــون قطرها قد صغر. الغرض من لوحة المسك هو منع الصفيحة تحت جهد الضغط مـــن إن تتعرض للتجعد (wrinkling) ، لذلك فان الاختيار الصحيح لقوة المسك هـــو أمـــر مهـــم ومؤثر على نجاح السحب. عادة يتراوح ضغط صفيحة المســـك مـــن 0.7 –1 % مـــن مجموع جهدي مقاومة الخضوع والمقاومة القصوى لمعدن الصفيحة.

العوامل الرئيسة المؤثرة على عملية السحب العميق (للصفائح الدائرية):-

١. خصائص معدن الصفيحة.
٢. نسبة قطر المعدن المحضر الى قطر الـــمشكل والقالب .
٣. الخلوص بين الـــمشكل و القالب.
٤. نصف قطر المشكل R_p .
٥. نصف قطر زاوية القالب R_d.
٦. قوة المسك F
٧. الاحتكاك والتزييت.

تحليل جهد السحب :-

يعبر عن جهد السحب (للقضيب او السلك) معوجود الاحتكاك وجهد القص الداخلي

$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_1}{D_0}\right]^{2\beta}\right)$$

ونلاحظ إن هذه المعادلة شبيهة بمعادلة البثق ماعدا الاختلاف في الحد :-

$$\left[\frac{D_1}{D_0}\right]^{2\beta}$$

بالنسبة لسحب القطع المستطيلة غير الدائرية فان المعادلة تصبح بالشكل الآتي :-

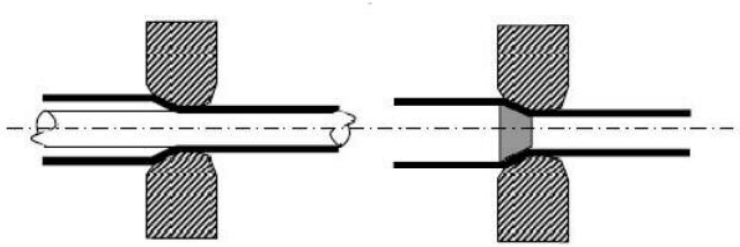
$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{h_1}{h_0}\right]^{\beta}\right)$$

حيث h_1 ,h_o هي سمك القطعة قبل وبعد السحب على التعاقب.

وحيث

$$\beta = \mu.\cot\alpha$$

في حال سحب الأنابيب نستعمل قيم β مختلفة



شكل (٦-١٣) عملية سحب الأنابيب

عند استعمال عمود منتظم ، فان :-

$$\beta^* = \frac{(\mu_1+\mu_2)}{(\tan\alpha-\tan\delta)}$$

أما عند استعمال إلعمود العائم

$$\beta^* = \frac{(\mu_1-\mu_2)}{(\tan\alpha-\tan\delta)}$$

حيث μ_1 ، α هما معاملا الاحتكاك والزاوية بين القالب والأنبوب بينما μ_2 ، δ هما معاملا الاحتكاك والزاوية بين الأنبوب والعمود العائم .

مثال:- لوح من سبيكة (النيكـــل – الفضـــة) (NIKEL–SILVER) بعـــرض 12 mm وبسمك 0.6 mm ، تم سحبها الى سمك 0.35 mm خلال قوالب لها زاوية كلية مقدارها 20 درجة. هذه المادة لها جهد خضوع محوري 500 N/mm² ومعامل الاحتكـــاك بـــين المادة والقالب هو 0.08 احسب جهد السحب المطلوب ؟

الجواب:-

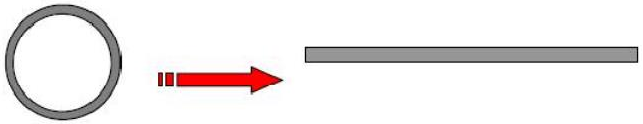
$$=\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_1}{D_0}\right]^{2\beta}\right)$$

$$\beta = \mu.\cot\alpha = (0.08)*\cot\left[\frac{20^0}{2}\right] = 0.45$$

$$P = Y.\frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_1}{D_0}\right]^{2\beta}\right) = (500\ N.mm^{-2}).\ \frac{1+0.45}{0.45}\left(1-\left[\frac{0.35}{0.6}\right]^{2(0.45)}\right)$$

$$P = (500\ N/mm^2)*1.2385$$

$$\underline{P = 619.25\ N.mm^{-2}}$$



مثال:–قارن بين نسبة السحب للعمود العائم ، والعمود المنتظم عند سحب أنبوب من الفولاذ الطري قطره الداخلي 50 mm مع سمك 2.5 mm ليصبح بقطر داخلي يساوي 49 mm مع سمك 1.8 mm افترض معامل الاحتكاك والزاوية الكلية هي 0.15 و 30° على التعاقب بين الأنبوب والقالب و 0.1 و 20° على التعاقب بين الأنبوب والعمود العائم .

الجواب : المساحة A_0 تساوي المحيط x السمك :-

$$\pi.\overline{D}_0.h_0 \approx \pi.D_0.h_0 = 3.14\ (50)(2.5) = 392.7$$

المساحة A_1 :

$$A_1 = \pi.D_1.h_1 = 3.14\ (49)(1.8) = 277.0\ mm^2$$

(أ):

$$\beta_{Plug} = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{(\tan\alpha - \tan\delta)}, \text{ where } \mu_1 = 0.15,\ \mu_2 = 0.1,\ \alpha = 15^0, \text{ and } \delta = 10^0$$

حيث :

$$\beta_{Plug} = \frac{(0.15 - 0.1)}{(\tan 15 - \tan 10)} = 0.55$$

وهكذا

$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1 - \left[\frac{A_1}{A_0}\right]^{2\beta}\right) = \frac{1+0.55}{0.55}\left(1 - \left[\frac{277}{392.7}\right]^{2(0.55)}\right) = 0.899$$

(ب)

$$\beta_{Mandrel} = \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{(\tan\alpha - \tan\delta)}$$

حيث :

$$\beta_{Mandrel} = \frac{(0.15 + 0.1)}{(\tan 15 - \tan 10)} = 2.73$$

وهكذا :

$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1 - \left[\frac{A_1}{A_0}\right]^{2\beta}\right) = \frac{1+2.73}{2.73}\left(1 - \left[\frac{277}{392.7}\right]^{2(2.73)}\right) = 1.163$$

نستخرج نسبة الزيادة

$$\%\ \text{Increase} = \frac{0.899 - 1.163}{0.899} = 29\%$$

الجهد المطلوب للعمود المنتظم هو 29% أعلى من الجهد المطلوب للعمود العائم.