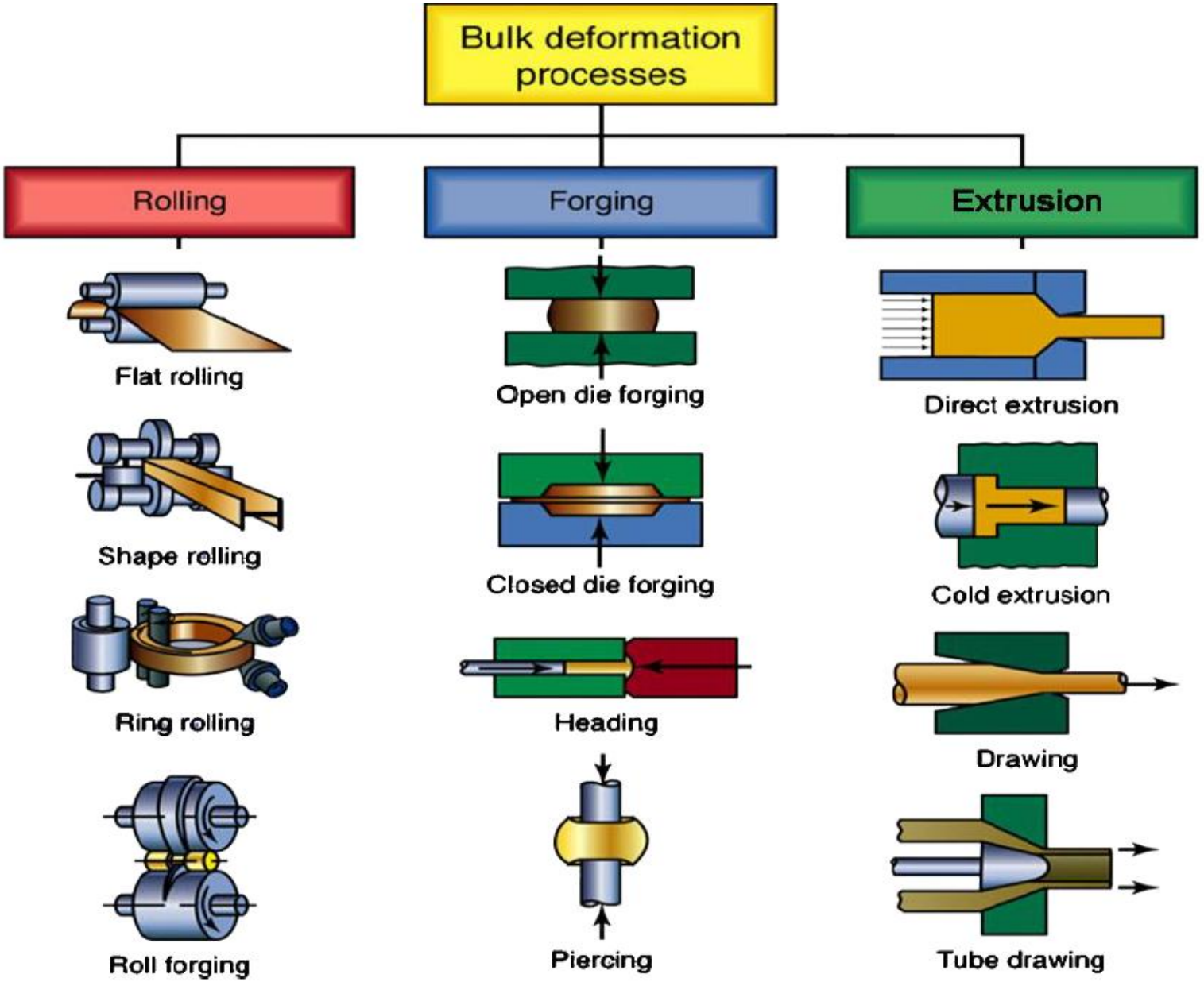

Bulk deformation processes
Rolling
Forging
Extrusion
Flat rolling
Shape rolling
Ring rolling
Roll forging
Open die forging
Closed die forging
Heading
Piercing
Direct extrusion
Cold extrusion
Drawing
Tube drawing

التشكيل العجائني للمعادن

هي العمليات الصناعية التي تتعرض فيها المعادن لقوى ميكانيكية خارجية في صورة ضغط أو شد أو طرق تحدث تغيراً في شكل ومقاسات المعدن نتيجة لخاصية اللدونة التي يتمتع بها المعدن دون أن يتغير حجمه أو كتلته.

تتميز عمليات التشكيل العجائني بالأتي:

- قلة الفجوات والفراغات الداخلية للمعدن التي قد تكونت أثناء سباكته.
- تساعد عملية التشكيل هذه على إستطالة الشوائب وتكسيرها والتقليل من تأثيرها السلبي على خواص المعدن مما يعمل على تحسين المقاومة الميكانيكية للمعدن.

الأساليب المستخدمة في التشكيل العجائني

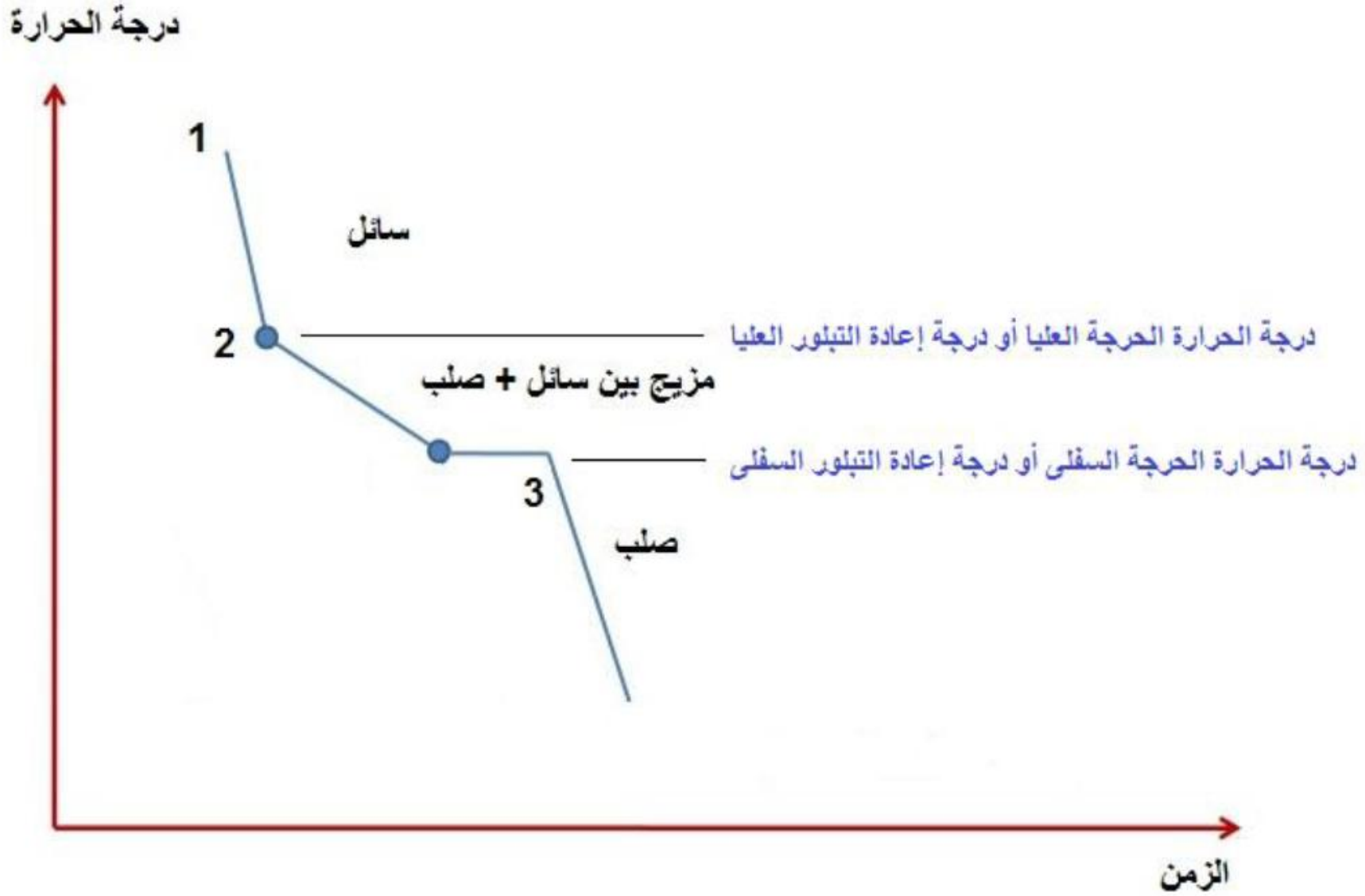
1) التشكيل العجائني للمعادن على الساخن:

مثل: الدرفلة على الساخن – الحدادة بأنواعها – البثق بأنواعه – تصنيع الأنابيب.

2) التشكيل العجائني للمعادن على البارد:

مثل: الدرفلة على البارد – التشكيل الرحوي على البارد – سحب الأسلاك – الثني.

منحنى التبريد (خاص بعمليات المعالجة الحرارية)



التشكيل العجائني للمعادن على البارد

تنفذ هذه العمليات عند درجات حرارة مساوية لدرجة حرارة الغرفة او أقل بكثير من درجة الحرارة الحرجة الصغرى(درجة إعادة التبلور الصغرى) حيث لا يسمح للمعدن بإعادة ترتيب بلوراته ويحتفظ بجزء من الإنفعال الناتج عن قوة التشكيل بداخله مما يتسبب في زيادة صلادة المعدن (**التصلد الإنفعالي**) مما يقلل من إمكانية الإستمرار في التشكيل على البارد دون التخلص من التصلد الإنفعالي Strain Hardening والذي يتم التخلص منه عن طريق المعالجة الحرارية (عملية المراجعة وهي التسخين الى درجة الاحمرار التي تسبق الانصهار بحيث يكون المعدن لدن ثم التبريد في الهواء).

مميزات التشكيل العجائني للمعادن على البارد

1- يسبب التشكيل على البارد ارتفاعا في الخواص الميكانيكية مثل الصلادة ومقاومة الشد وانخفاضا في خواص أخرى مثل المطيلية .

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

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

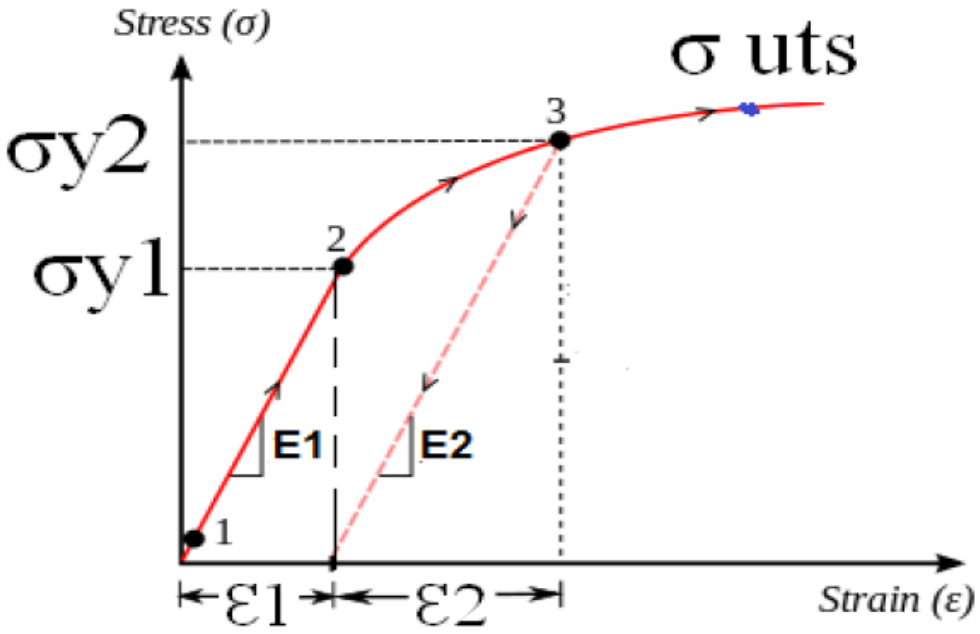
عيوب التشكيل العجائني للمعادن على البارد

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

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

3-تقل مطيلية المنتجات بعد تشكيلها على البارد.

التصلد الإنفعالي Strain Hardening



في حالة الشد $L0 < L1 < L2$

في حالة الشد $A0 > A1 > A2$

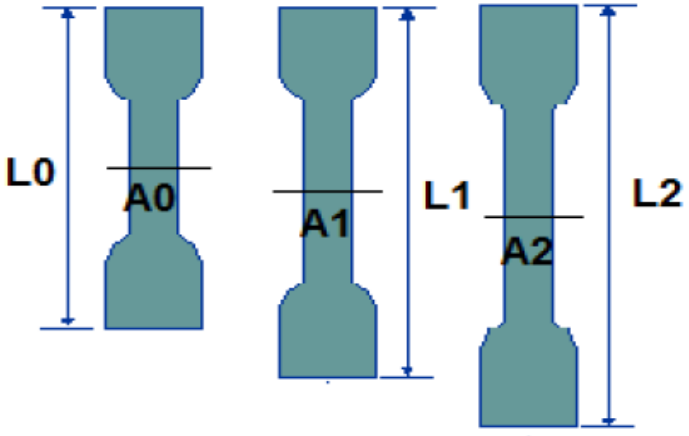
$\varepsilon 1 > \varepsilon 2$

$E1 = E2 = E$

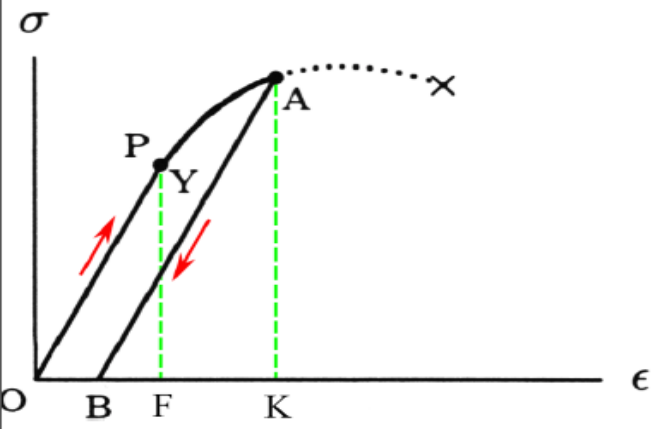
$\sigma y1 < \sigma y2$

2 المطولية > 1 المطولية

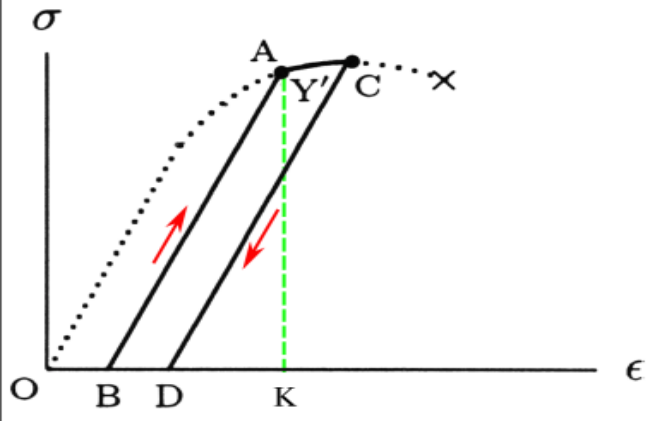
2 الصلادة > 1الصلادة



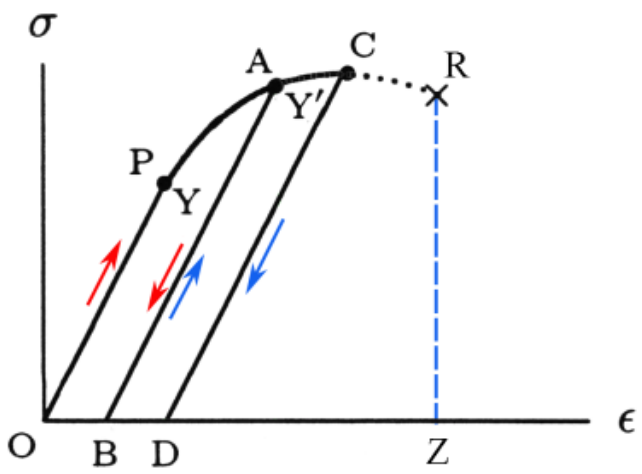
تحدث هذه العملية اثناء التشكيل على البارد فقط نتيجةً لحدوث إجهادات داخلية وتشوه في بلوراته وعدم إنتظامها .



- عند إجهاد المادة لأول مرة حتى النقطة **A**، أي بعد حد المرونة **P**، يحدث إنفعال مرن من النقطة **O** حتى النقطة **P** قيمته (**OF**)، وينتج إنفعال لدن من النقطة **P** حتى النقطة **A**، أي حدث تغيرات دائمة في البنية الداخلية حيث تتولد وتتحرك إنخلاعات داخل المادة.
- عند إزالة التحميل تسلك المادة المسار (**BA**) الموازي للخط (**PO**) ويبقى الإنفعال اللدن (**OB**) بالمادة.



- عند إعادة إجهاد المادة للمرة الثانية لا يحدث لها أي تغير لدن جديد حتى أن يصل الإجهاد إلى النقطة **A**، وبالتالي فإن الإنفعال الحادث من النقطة **B** حتى النقطة **A** ماهو إلا إنفعال مرن.
- بعدها إذا أجهدت المادة يبدأ حدوث تغير جديد لدن ودائم في بنية المادة، وبالتالي فإن الإنفعال الحادث من النقطة **B** حتى النقطة **A** ماهو إلا إنفعال مرن وقدره (**BK**) وهو أكبر من الإنفعال المرن الذي حدث أثناء إجهاد المادة لأول مرة والذي قيمته (**OF**).



✓بمقارنة المنحنيين الناتجين من التحميل الأول والثاني نجد إن حد المرونة في المرة الثانية Y′ (النقطة A) أعلى منه في المرة الأولى من التشكيل Y (النقطة P).

✓وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة في مقاومة الخضوع للمادة أي زيادة في صلادة المادة ولذلك تسمى هذه العملية بالتصليد الإنفعالي Strain hardening أو الإصلاد بالتشكيل Work hardening أو التشكيل على البارد Cold work.

✓ظاهرة التصلد الإنفعالي من الخواص الهامة للمادة، فعند تشكيل المواد نجد أنه **كلما زادت كمية التشكيل اللدن زاد التصلد الإنفعالي وقلت مطيلية** المادة (المطيلية قبل التشكيل = **OZ** وبعد التشكيل = **BZ**) وبالتالي تقل كمية التشكيل اللدن المسموح بإجرائها على المادة للوصول إلى الشكل المطلوب.

✓ويتسبب التصلد الإنفعالي في خفض معايير متانة المادة المشكلة مما يجعلها سهلة الكسر عند تعرضها للصدمات.

✓يستفاد من هذه الظاهرة في رفع مقاومة الخضوع للمادة.

التشكيل على الساخن

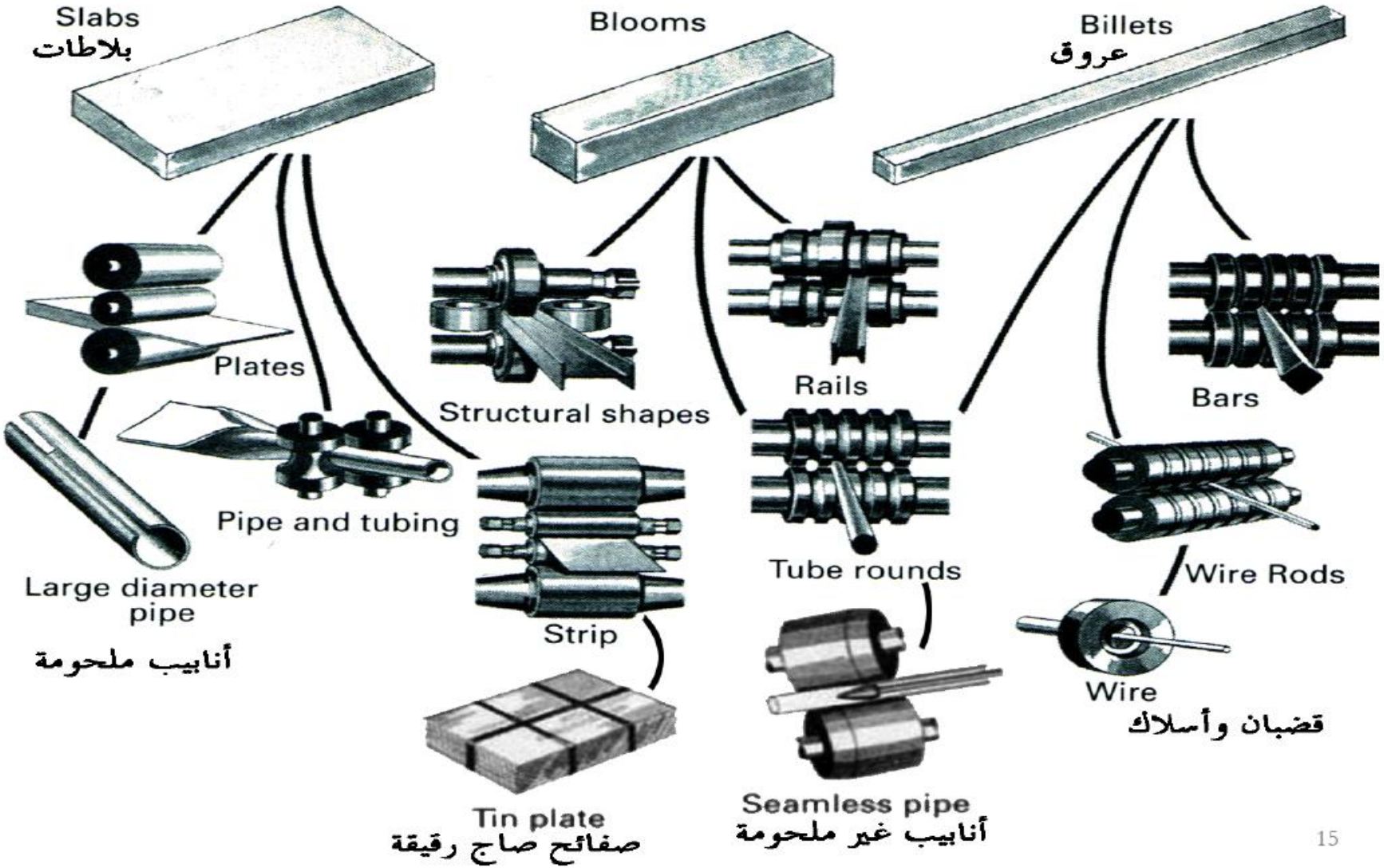
تنفذ هذه العمليات عند درجات حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة السفلي وأقل من درجة الحرارة الحرجة العليا (درجة حرارة إعادة التبلور العليا) والتي عندها يتمكن المعدن من إعادة ترتيب بلوراته لتأخذ وضعها الطبيعي أثناء وبعد الإنتهاء من عملية التشكيل مباشرةً.

بذلك يكون المعدن قد تخلص من إجهاداته الداخلية مما يعطي إمكانية تكرار عملية التشكيل على الساخن عدة مرات نتيجة لعدم حدوث التصليد الإنفعالي.

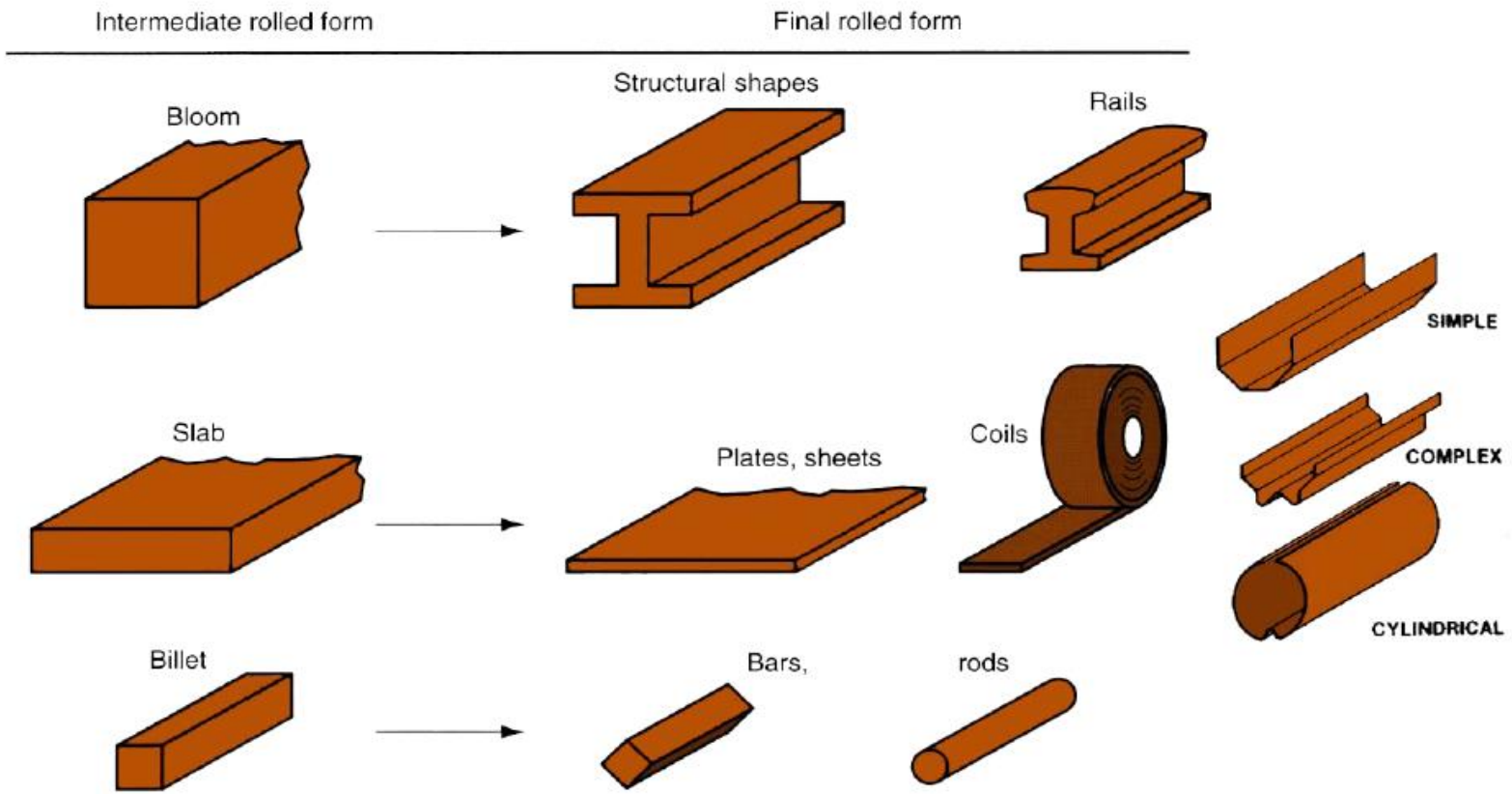
التشكيل على الساخن

يتميز أسلوب التشكيل على الساخن بأنه لا يحتاج لقوة كبيرة لإحداث التشكيل المطلوب على عكس التشكيل على البارد، حيث إن زيادة درجة حرارة المعدن تعمل على زيادة لدونته وبالتالي تقل مقاومته للتشكيل.

الدرفلة Rolling

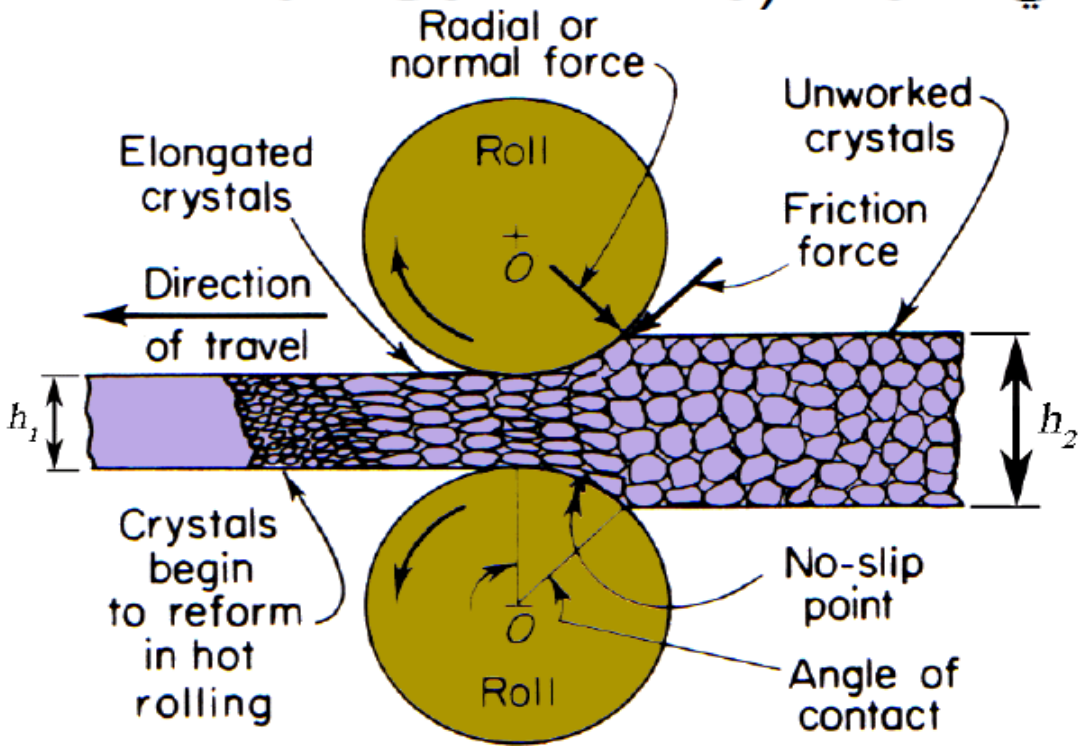


أمثلة لبعض النماذج لمقاطع أنتجت بالدرفلة

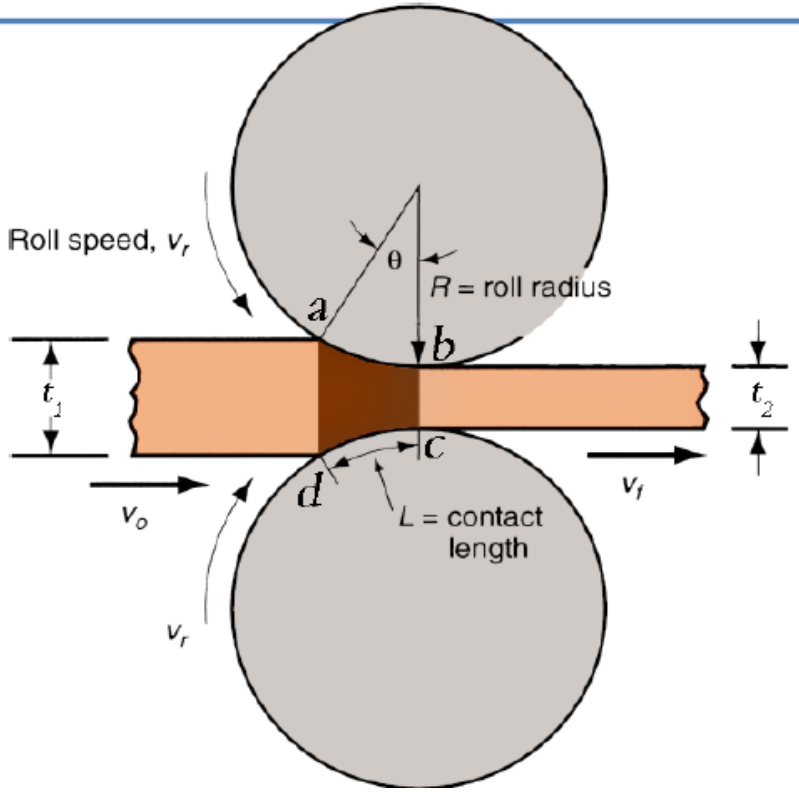


تعريف عملية الدرفلة

تعرف عملية الدرفلة بأنها عملية تشكيل المعدن عبر ضغطه بين درفيلين يدوران في إتجاهين متعاكسين حيث يؤدي الإحتكاك بين المعدن والسطح العامل للدرافيل إلى إستمرار مرور المعدن بين الدرفيلين والذي يؤدي إلى تقليل سمك المعدن مع زيادة في طوله (وأحياناً تكون الزيادة كذلك في العرض).



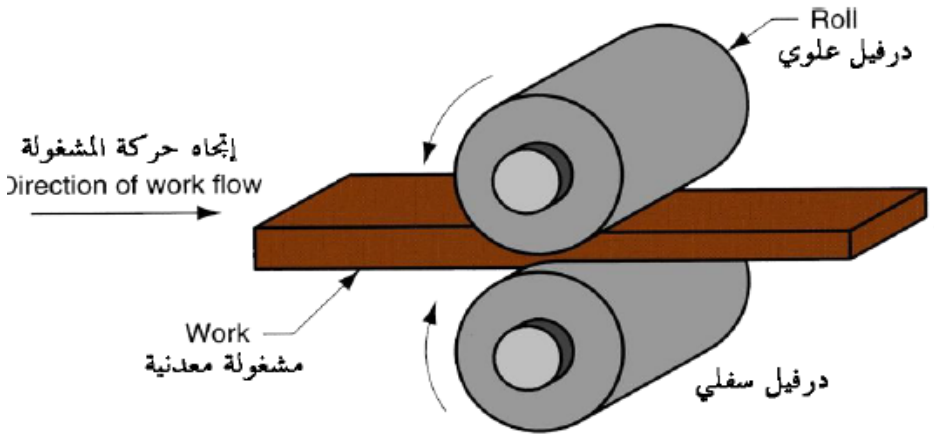
- المنطقة (abcd) تسمى بمنطقة التشكيل Deformation zone.
- القوس (ab) يسمى بقوس التلامس بين المعدن والدرفيل العلوي.
- القوس (cd) يسمى بقوس التلامس بين المعدن والدرفيل السفلي.
- الزاوية المركزية (θ) تسمى بزاوية التلامس أو زاوية الخطف.
- t_1 & t_2 = سمك المشغولة قبل وبعد الدرفلة. تتحدد السماكة النهائية للمعدن من خلال المسافة العمودية بين سطحي الدرفيلين.

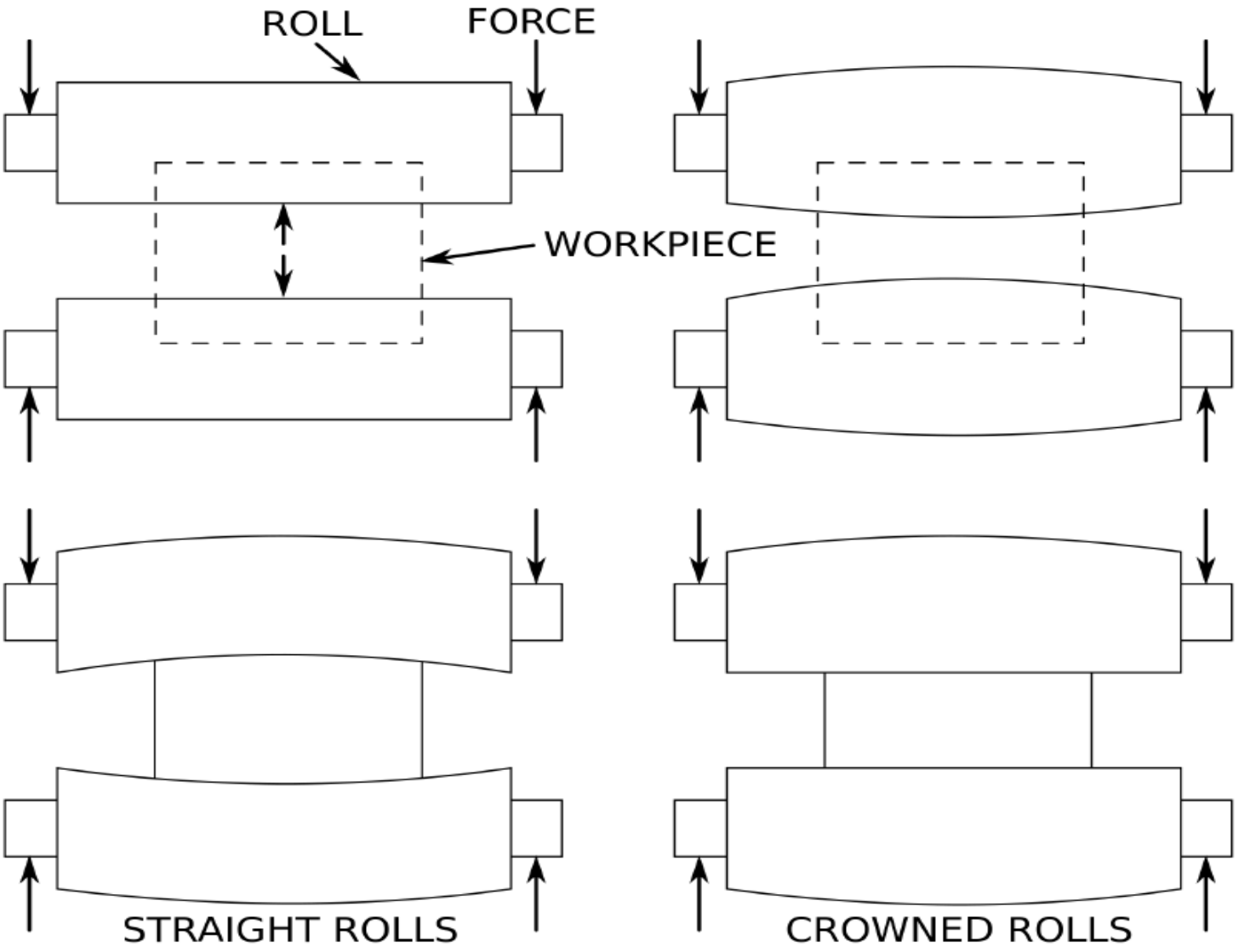


- يمكن أن تتم عملية الدرفلة على الساخن أو البارد، ولكن عادة ما تستعمل الدرفلة على البارد في المراحل النهائية لتشكيل المعادن وذلك للإستفادة من مميزات التشكيل على البارد مثل جودة السطح الناتج ودقة مقاساته.

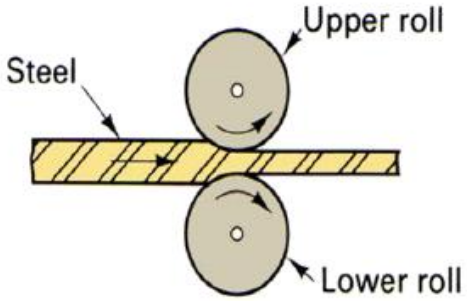
آلات الدرفلة

- تتركب آلات الدرفلة من أسطوانتين يتراوح قطرهما بين 600 مم إلى 1400 مم ومصنوعتين من الحديد الزهر أو الصلب السبائكي ويقسى سطحهما الخارجي لكي يستطيع مقاومة الاحتكاك بينهما وبين المعدن المدرفل.
- المسافة بين سطحي الإسطوانتين (الدرفيلين) والواقعة على طول الخط الواصل بين مركزيهما تحدد سمك المعدن بعد عملية الدرفلة، وهذه المسافة يمكن ضبط قيمتها بما يتناسب مع قيمة الإختصار المطلوب في سمك المعدن في كل مرحلة.
  - تستقبل الدرافيل العاملة في آلات الدرفلة حركة دورانها من محركات كهربائية ذات قدرة عالية عبر وحدة تروس خاصة يمكن بواسطتها التحكم في سرعة وإتجاه حركة الدرافيل.

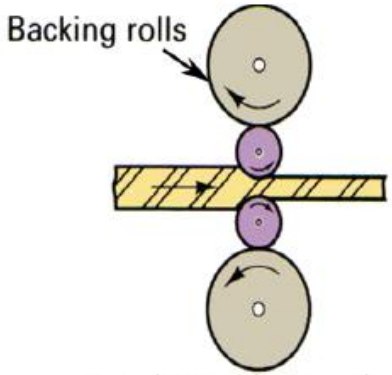



ROLL
FORCE
WORKPIECE
STRAIGHT ROLLS
CROWNED ROLLS

أشكال آلات الدرفلة

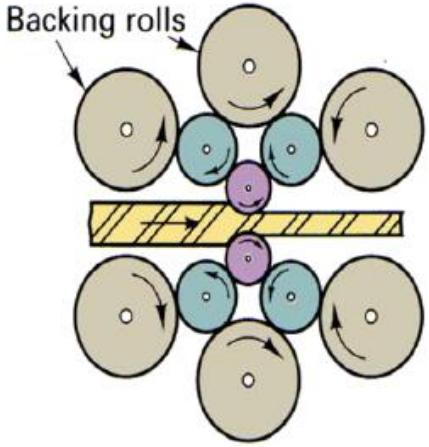


آلة درفلة ثنائية تدور في إتجاه واحد.

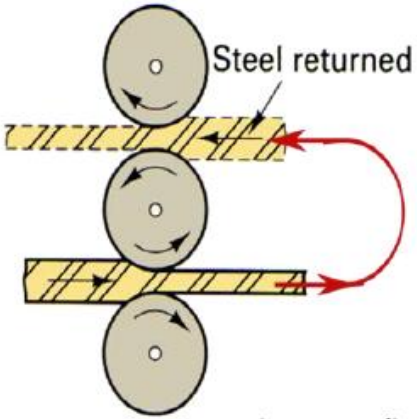


آلة درفلة رباعية، الدرفيلان الصغيران لدرفلة المعدن والكبيران لإسنادهما

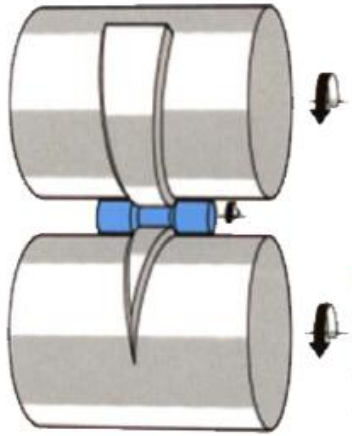
Shaped rolling
Flat slab passed through a series of rolls with shaped grooves in them (1 - 7).



آلة درفلة عنقودية، وهي عادة ما تستعمل في الدرفلة على البارد نظرا لكبر قوة الدرفلة المطلوبة.

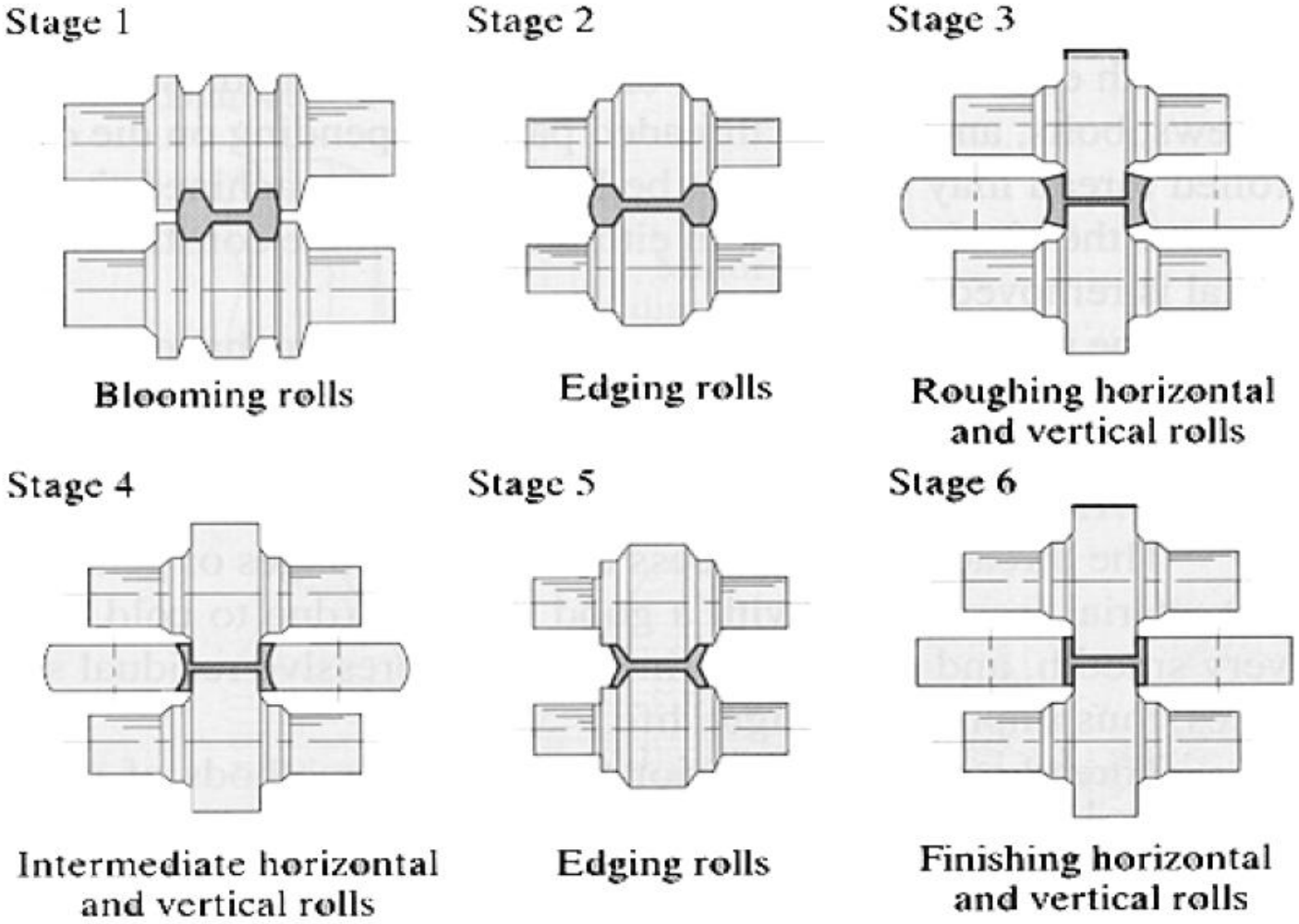


آلة درفلة بثلاثة درافيل، تغذية المعدن تتم من الجهتين في مرحلتين متتاليتين.

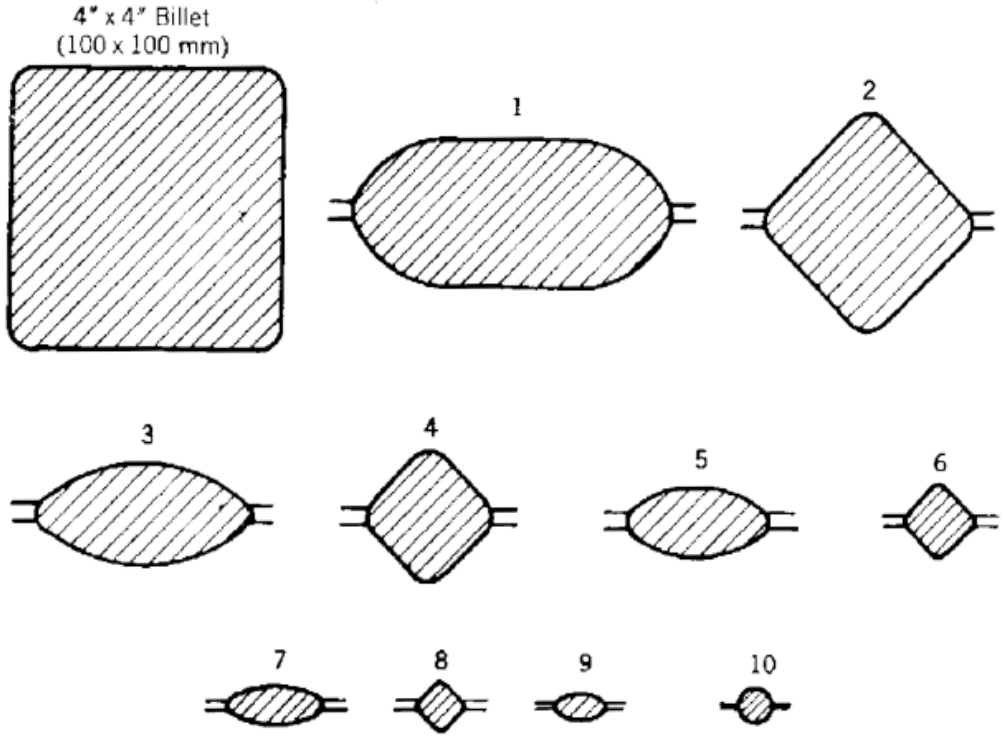


Transverse rolling
Circular wedge rolls used. Heated bar cropped to length fed in transversely between rolls. One revolution of rolls only.

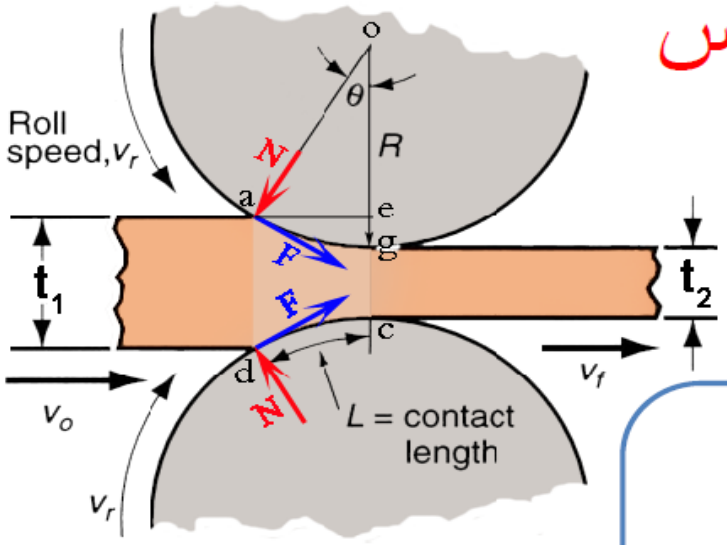
Stages in the shape rolling of an H-section part. Various other structural sections, such as channels and I-beams, are also rolled by this kind of process.



يمكن بواسطة الدرفلة إحداث تغير في مقطع المعدن وذلك بواسطة الفراغ المشكل على محيط الدرافيل والذي غالباً ما يتم في مراحل متوالية.



حساب زاوية التلامس



يمكن حساب زاوية التلامس من المثلث (aoe):

$$\cos\theta = \frac{oe}{oa} = \frac{og - eg}{oa}$$

حيث إن:

oa = og = نصف قطر الدرفيل (R).

$$\frac{\Delta t}{2} = \frac{t_1 - t_2}{2} = eg$$

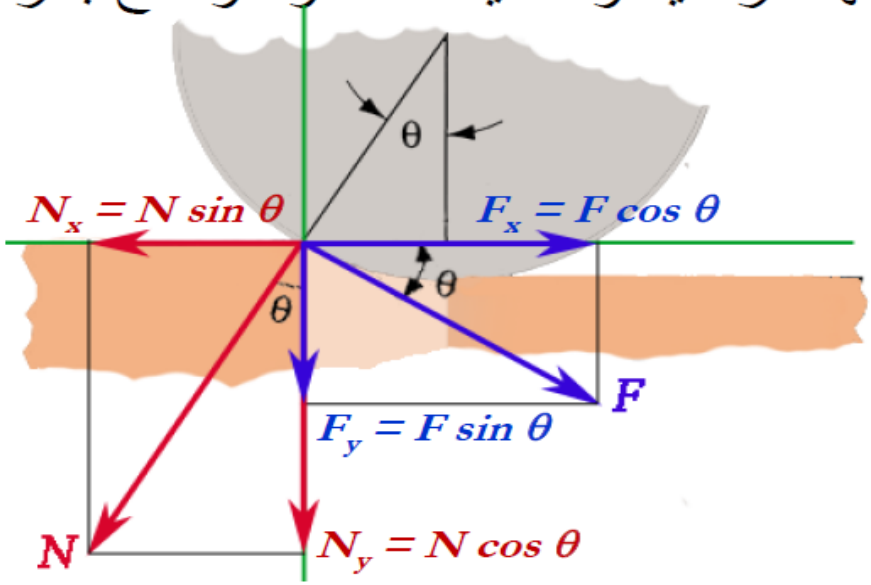
Δt = مقدار الإختصار = الفرق بين سمك المعدن قبل الدرفلة وبعدها ($t_1 - t_2$).

$$\cos\theta = \frac{R - \left(\frac{\Delta t}{2}\right)}{R} = \frac{2R - \Delta t}{2R} = \frac{2R}{2R} - \frac{\Delta t}{2R} = 1 - \frac{\Delta t}{D}$$

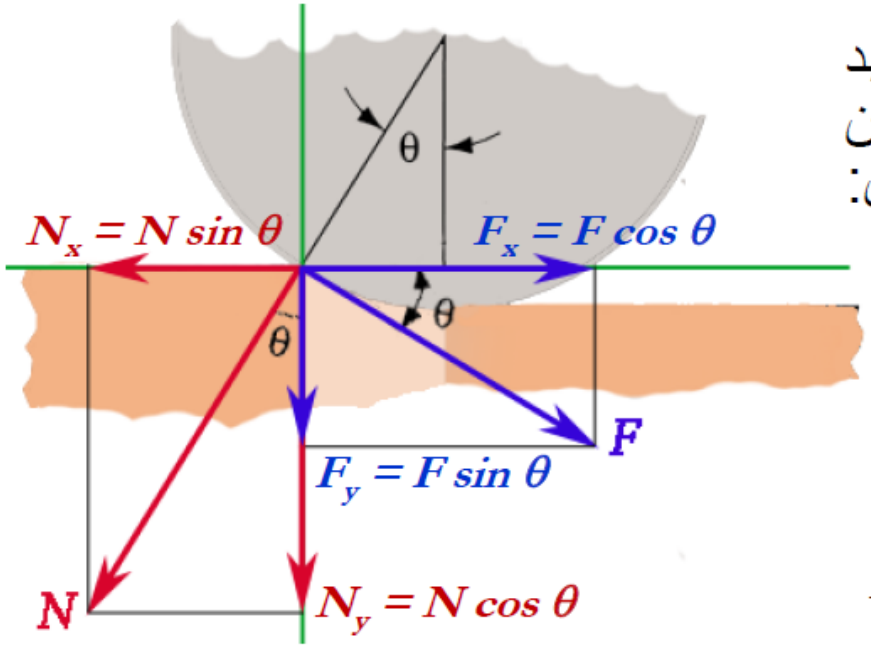
$$\theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{\Delta t}{D}\right)$$

حساب قوة الدرفلة

بتحليل قوى الضغط N وقوى الإحتكاك F الواقعة بين المعدن والدرافيل العاملة إلى مركباتها الرأسية والأفقية كما هو موضح بالرسم.



- ✓ نلاحظ أن محصلة القوة الرأسية (F_y & N_y) تعمل على عصر المعدن من الجهتين العلوية والسفلية.
- ✓ تعمل القوتان (F_x) العلوية والسفلية على سحب المعدن بين الدرفيلين.
- ✓ تعمل القوتان (N_x) العلوية والسفلية على مقاومة سحب المعدن بين الدرفيلين.



مما سبق يتضح أنه لكي تتم عملية الدرفلة لابد أن تتغلب القوى التي تعمل على سحب المعدن بين الدرفيلين على القوى التي تقاومه، أي أن:

$$2F_x > 2N_x$$

$$F_x > N_x \quad \text{--------- (1)}$$

بالتعويض عن قيم F_x و N_x:

$$F\cos\theta > N\sin\theta \quad \text{--------- (2)}$$

بالرجوع إلى قوانين الإحتكاك فإن:

$$F = \mu N \quad \text{--------- (3)}$$

حيث μ هو معامل الإحتكاك بين الدرافيل والمعدن، وتعتمد قيمته على نوع المادة المصنوعة منها كل من الدرافيل والمشغولة – درجة نعومة سطح الدرافيل – سرعة دورانها – درجة الحرارة التي تجرى عندها الدرفلة.

بالتعويض عن قيمة F من المعادلة (3) في المعادلة (2) ينتج التالي:

$$\mu N\cos\theta > N\sin\theta$$

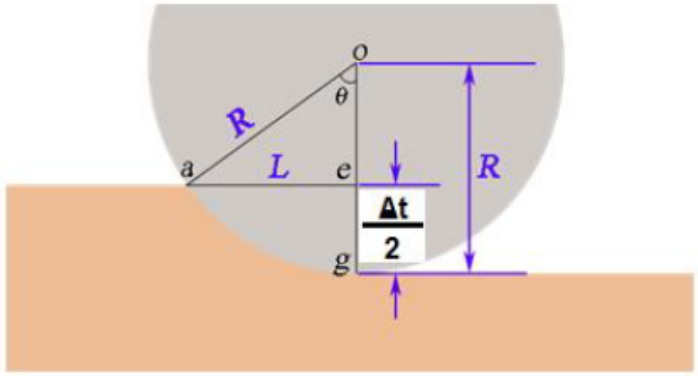
$$\mu > \tan\theta$$

حساب قوة وعزم الدرفلة

قوة التشكيل = متوسط الإجهاد اللدن المؤثر **X** مساحة التلامس بين الدرافيل والمعدن

مساحة التلامس = طول القوس (ag) **X** عرض المشغولة المعدنية (W)

يمكن إعتبار أن القوس (ag) = مسقطه على الأفقي (ae) = **L** لأن زاوية التلامس تكون عادة صغيرة.



من المثلث (aoe):

$$oe = R - \frac{\Delta t}{2}$$

$$L = ae = \sqrt{(ao)^2 - (oe)^2} = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta t}{2}\right)^2}$$

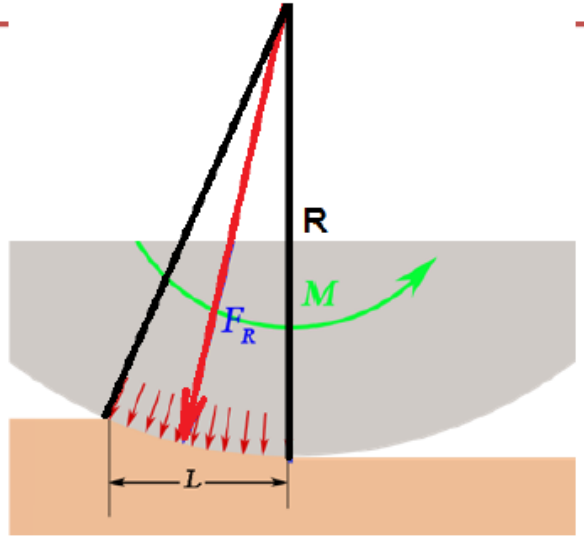
بتربيع القوس الداخلي وإهمال القيمة الصغيرة $(\Delta H/2)^2$، ينتج:

$$L = \sqrt{R\ \Delta t}$$

وبذلك يمكن حساب مساحة التلامس A:

$$A = W \times L$$

يمكن بالتالي حساب قوة الدرفلة (القوة اللازمة للتشكيل) المطلوبة F_R بالنيوتن وذلك في حالة معرفة متوسط الإجهاد اللدن σ_a المؤثرة على المعدن.



$$F_R = \sigma_a \times A = \sigma_a \times W \times L$$

$$F_R = \sigma_a \times W \times \sqrt{R \times \Delta t}$$

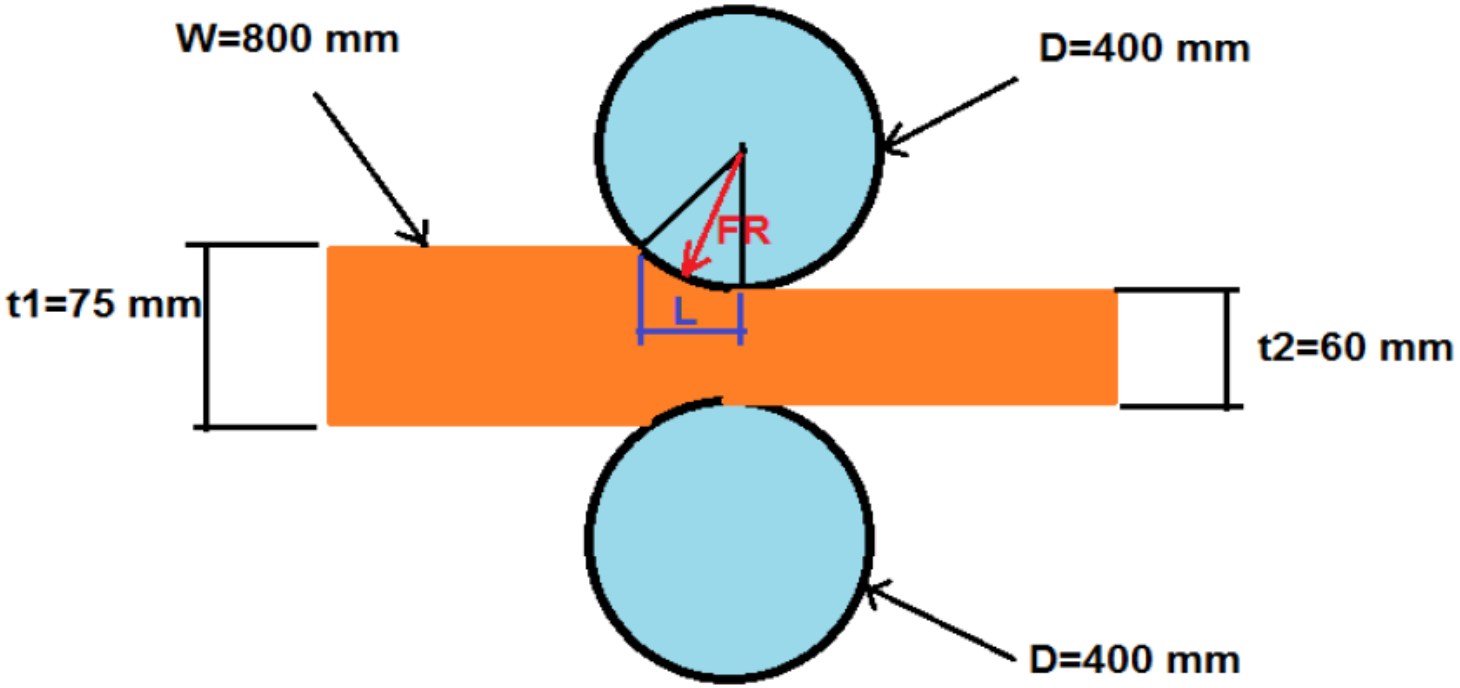
لحساب العزم اللازم لإدارة الدرافيل M يمكن أن نفترض أن قوة الدرافيل F_R تؤثر عند منتصف المسافة L وبشكل عمودي. ويقاس العزم بـ (N.m).

العزم = القوة X المسافة العمودية المحصورة بين نقطة تأثير القوة ومركز الدوران

$$M = F_R \times \frac{L}{2}$$

مثـــــال

أحسب كل من القوة والعزم اللازمين لدرفلة كتلة معدنية سمكها الإبتدائي 75 مم وعرضها 800 مم ومصنعة من معدن إجهاد خضوعه 500 نيوتن/مم^2، إذا علمت أن قطر كل من الدرفيل العلوي والسفلي لآلة الدرفلة 400 مم، وأن السمك المطلوب الوصول إليه في خطوة واحدة هو 60 مم، بفرض أن العرض لا يتغير.



الحـــــــل:

$$\sigma_a = 500\ \frac{N}{mm^2} \qquad W = 800\ mm$$

$$t_1 = 75\ mm \qquad R = \frac{D}{2} = \frac{400\ mm}{2} = 200\ mm$$

$$t_2 = 60\ mm$$

- حساب القوة اللازمة للدرفلة:

$$F_R = \sigma_a \times W \times \sqrt{R \times \Delta t}$$

$$F_R = \left(500\ \frac{N}{mm^2}\right) \times (800\ mm) \times \sqrt{(200\ mm) \times (75\ mm - 60\ mm)}$$

$$F_R = 21908902.3\ \text{N} = 21.9089023\ \text{MN}$$

- حساب العزم اللازمة لإدارة الدرفيل:

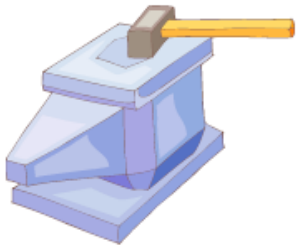
$$M = F_R \times \frac{L}{2} = F_R \times \frac{\sqrt{R\,\Delta t}}{2}$$

$$M = (21908902.3\ \text{N}) \times \left(\frac{\sqrt{(200\ mm) \times (75\ mm - 60\ mm)}}{2} \right)$$

$$M = 600000000\ \text{Nmm} = 600\ \text{MNmm} = 0.6\ \text{MNm}$$

الحدادة Forging

- الحدادة هي عملية تغيير شكل المعدن المسخن حتى درجة اللدونة بالطرق بواسطة المطرقة اليدوية او بطرق الية حيث يتكثف المعدن أثناء عملية طرقه وتتغير بعض خواصه الميكانيكية. يسمى الجزء الناتج عن عمليات الطرق المتتالية بالمطروقة.
- يمكن أن يكون الطرق حراً أو في قوالب كبس خاصة تسمى القوالب.
- تستخدم الحدادة الحرة بشكل ضيق في إنتاج القطع الميكانيكية لإنه من الصعب الحصول على أجزاء معقدة ومن عيوبها ضعف إنتاجيتها لاعتمادها على المجهود البشري في الطرق.



طرق الحدادة

ينفذ التشكيل المعدني إما بالطرق أو بالكبس.

1) **الحدادة بالطرق Hummer Forging**: ويمكن تنفيذها بالطرق اليدوي (الطرق الحر) أو الطرق بإستخدام المطرقة ذات الكتلة الساقطة.

   a) **الحدادة اليدوية Smith Forging**: تنفذ بواسطة القوة العضلية للإنسان بإستخدام معدات لقط وتشكيل وطرق بسيطة، وجودة تشكيل المنتج يعتمد على خبرة ومهارة الحداد.

   b) **الحدادة بإستخدام المطرقة الساقطة Drop Forging**: حيث تنزلق المطرقة الساقطة التي تزن عدة أطنان بين دليلين رأسيين وتسقط من علو كبير فوق كتلة المعدن بشكل متكرر.

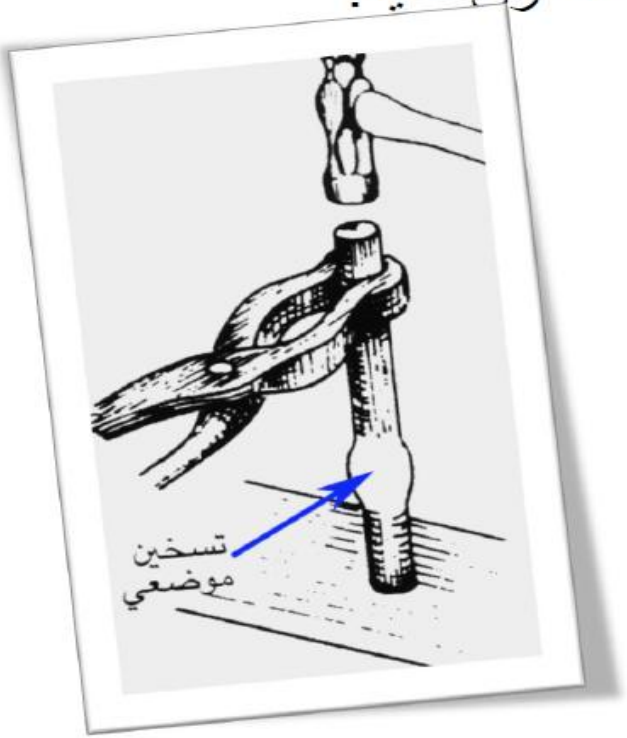
2) **الحدادة بالكبس Press Forging**: حيث يستخدم قوة ضخمة تقوم بالضغط على قالب به المعدن المراد تشكيله بشكل بطئ حتى ينساب المعدن داخل تجويف القالب بالكامل. يتكون القالب من جزء علوي وسفلي وبينهما يقع التجويف الذي يمثل شكل المطروقة (المعدن المراد تشكيله) المطلوب كبسها.

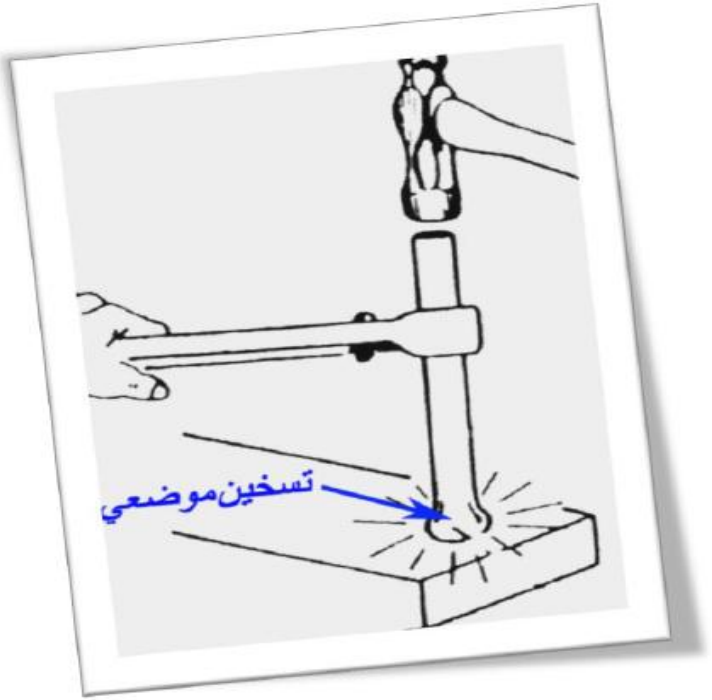
العمليات المستخدمة في الحدادة اليدوية

- الكبس
- الخصر والسحب بالحدادة
- الثني بالطرق
- التخريم بالحدادة
- القطع بالحدادة

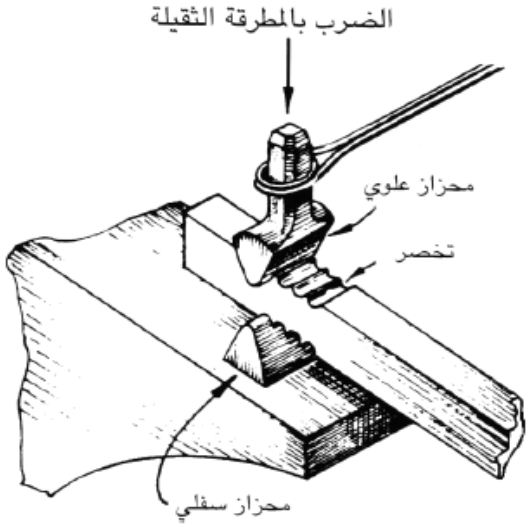
a) الكبس (الفلطحة بالطرق):

يتم في هذه العمليات الطرق على قطعة العمل بغرض زيادة مساحة مقطعها والتقليل من طولها ويمكن أن يحدث هذا عند غحدى النهايتين لقطعة العمل أو في اي جزء منها وذلك بالتحكم في عملية تسخين المعدن وطريقة الطرق عليه.

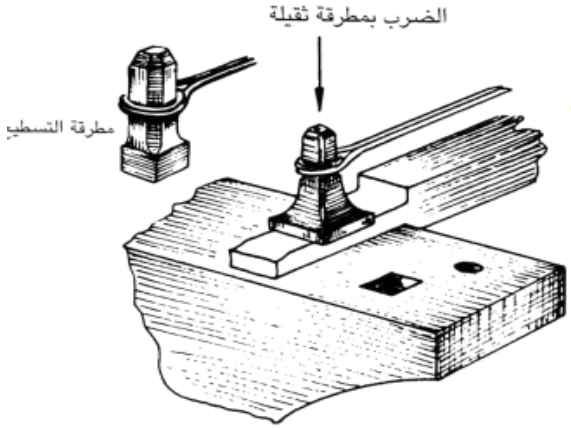




b) الخصر والسحب بالحدادة:

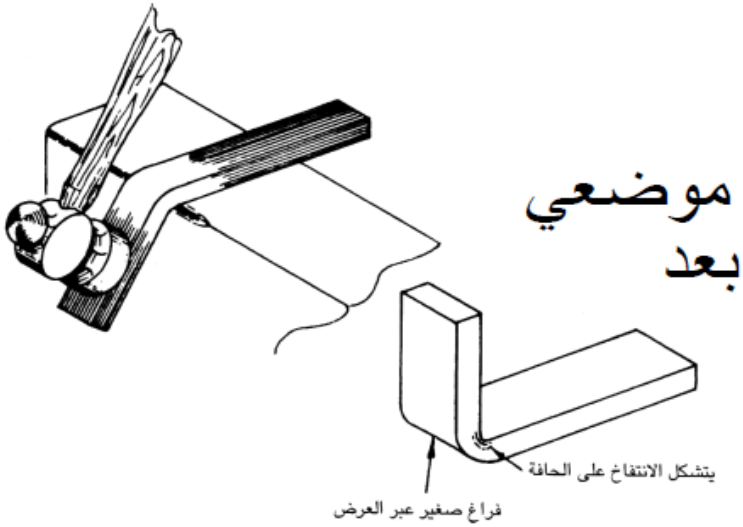


- تهدف هذه العملية إلى تقليل مساحة مقطع قطعة العمل وزيادة طولها.
- يتم ذلك عن طريق إستخدام محزاز بشكل مزدوج، حيث يثبت المحزاز السفلي على السندان أما المحزاز العلوي فيوضع على قطعة العمل الساخنة ليتم الطرق عليها بمطرقة مناسبة. عندما تكرر العملية يبدو سطح قطعة العمل متموجاً.



- بعد عملية الخصر وإعادة التسخين إن لزم الأمر توضع قطعة العمل على السندان (السطح المستوي) ويعاد الطرق عليها بإستخدام أداة أخرى بسطح مستو (مطرقة التسطيح) فتعمل على تسوية تلك التموجات وبذلك يزداد طول قطعة العمل على حساب مساحة مقطعها.

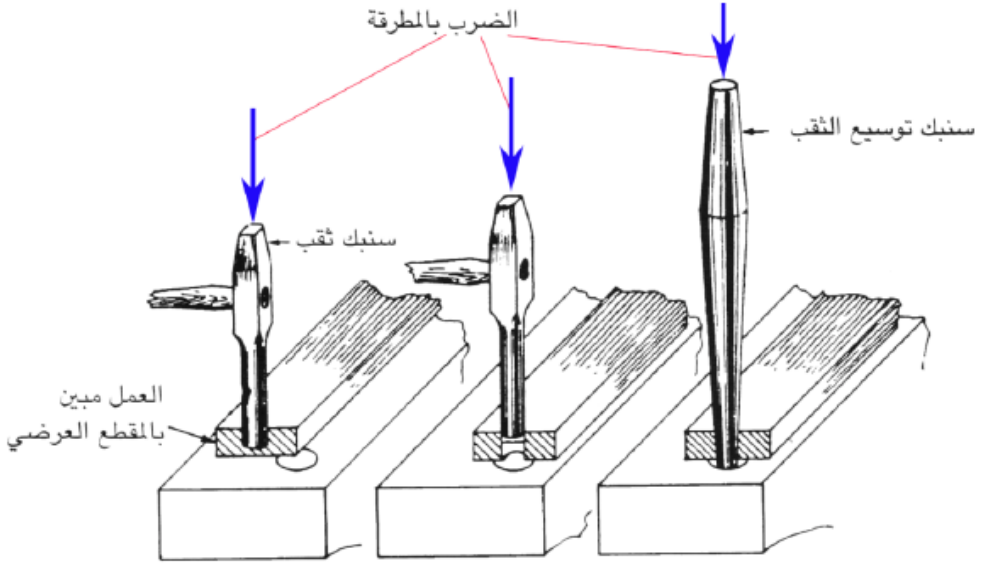
c) الثني بالطرق:



يتم ثني المشغولات بعد تسخينها بشكل موضعي في المكان المراد ثنيه ثم الطرق عليها بعد إسنادها على سطح به زاوية.

d) التخريم بالطرق:

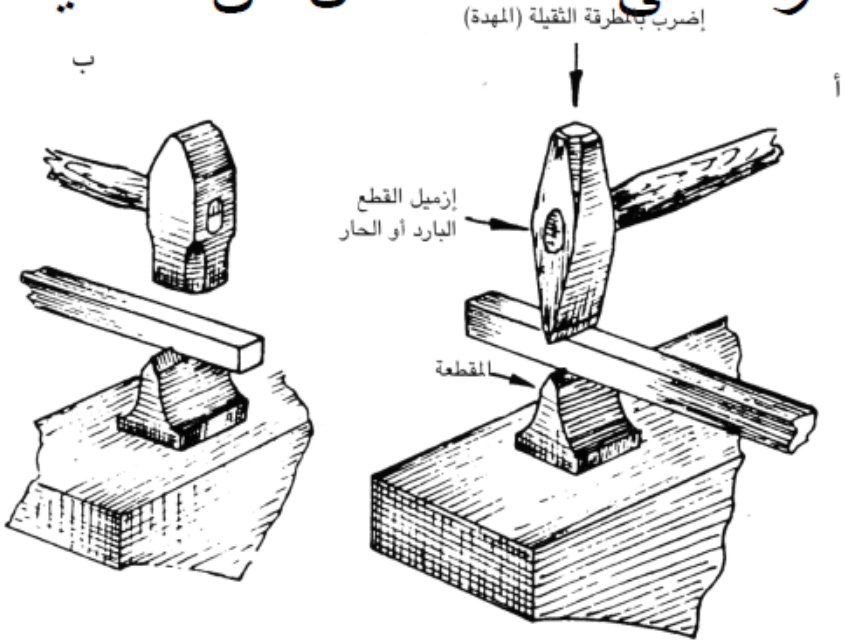
وهو إحداث ثقب في المشغولة بواسطة أداة تخريم خاصة يتم الطرق عليها بعد تسخين المعدن. يلاحظ ظرورة وجود ثقب تحت قطعة العمل في مكان الثقب.



الثقب والتوسيع

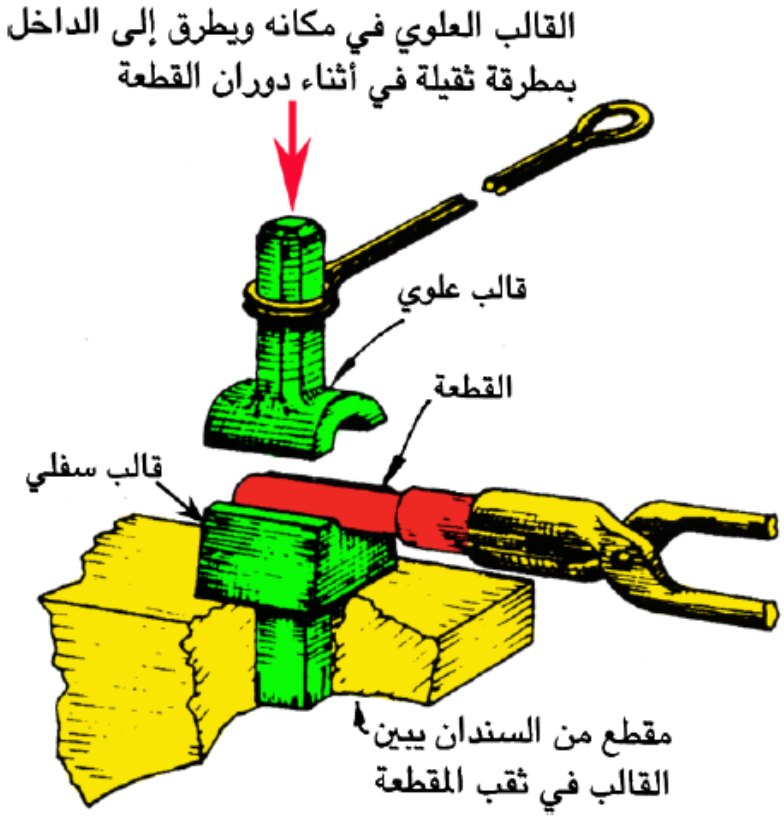
e) القطع بالحدادة:

تستخدم عملية القطع عند الحاجة إلى تسوية نهايات قطع العمل أو تجزئتها وتتم العملية بواسطة الطرق على قطعة العمل الساخنة بأداة خاصة لها حد قاطع (أزميل)، أو يثبت الحد القاطع (المقطعة) على سطح السندان ويطرق مباشرةً على قطعة العمل من الناحية العلوية.



(أ) القطع بإزميل القطع والمقطعة. (ب) القطع على المقطعة.

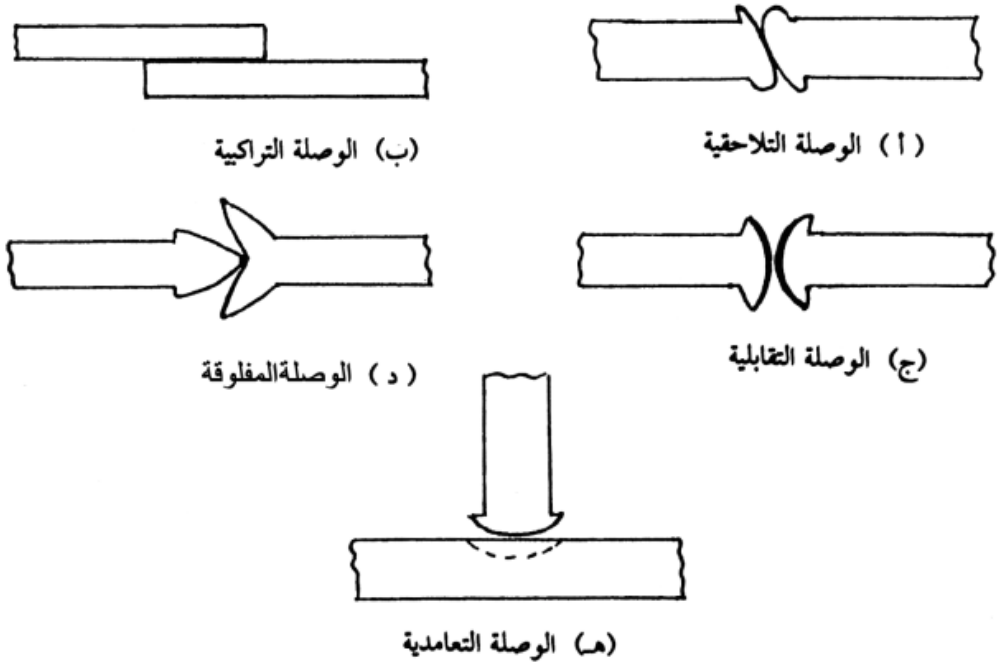
f) التدوير بالحدادة اليدوية:



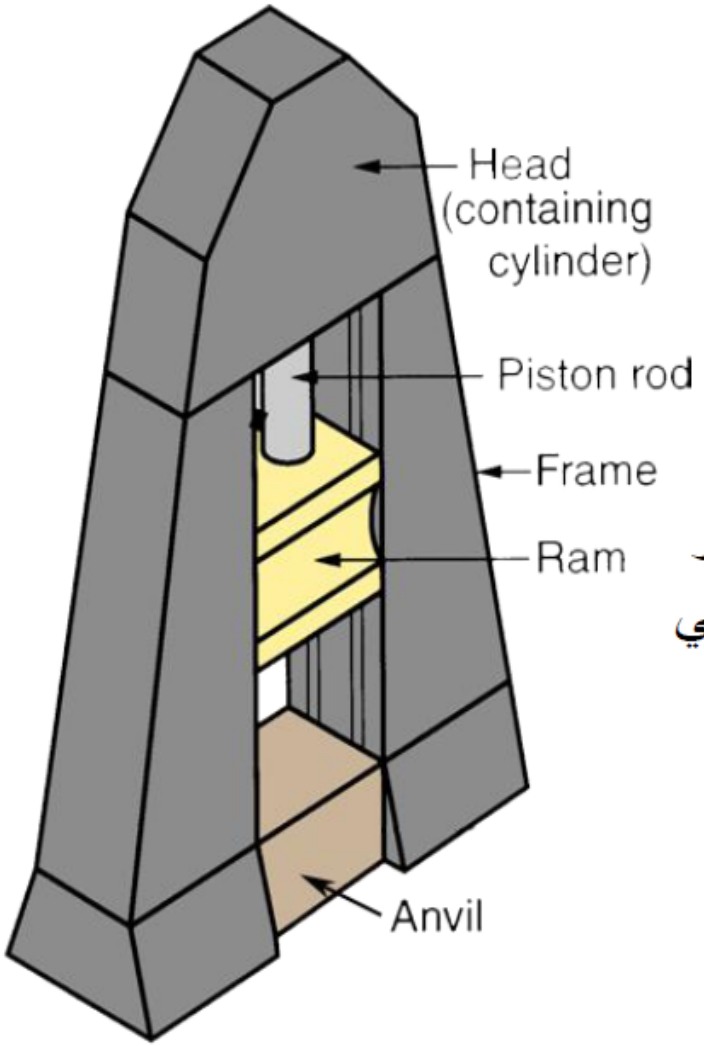
- تستعمل قوالب تشكيل مستديرة بشكل ثنائي لتسوية الأجزاء المراد إستدارتها من قطعة العمل.
- للقالب السفلي ساق مربعة تدخل في ثقب بالسندان (أو المقطعة)، بينما يجهز القالب العلوي بمقبض سلكي ويضرب بالمطرقة الثقيلة.

g) اللحام بالطرق:

- يتم تسخين منطقة الوصل للقطعتين المراد لحامهما حتى تصل للحالة العجينية ثم توضع فوق بعضهما وتطرقان يدوياً حتى تلتحما في قطعة واحدة.



الحدادة بالمطرقة الساقطة



- ✓ وتكون القوة المستخدمة في التشكيل ناتجة من عدة طرقات متتالية من مطرقة آلية ضخمة. تعمل هذه المطارق بشكل آلي، ويوجد منها نوعين:

1) مطارق ضخمة تعمل بواسطة السقوط الحر.

2) مطارق تكون القوة المحركة لها تعمل إما بالهواء أو بالزيت مضغوط. عادة ماتستخدم هذه المنظومات في المطارق التي تتحرك بشكل أفقي.

حدادة الكبس Press Forging

- حيث يطبق ضغط تدريجي متزايد على المشغولة معدنية (تكون في الغالب موضوعة داخل قالب معدني) حتى تأخذ الشكل المطلوب.

- يستخدم لذلك مكابس تستمد حركتها إما من منظومة ميكانيكية أو من منظومة هيدروليكية (تعمل بواسطة زيت أو هواء مضغوط) الذي تكون له قدرة على تطبيق ضغط متزايد على المعدن المراد تشكيله حتى يأخذ شكل التجويف الموجود بقالب الحدادة.

- هذه الآلات يمكن أن توضع بشكل عمودي أو أفقي.

الفرق بين حدادة المطارق وحدادة المكابس

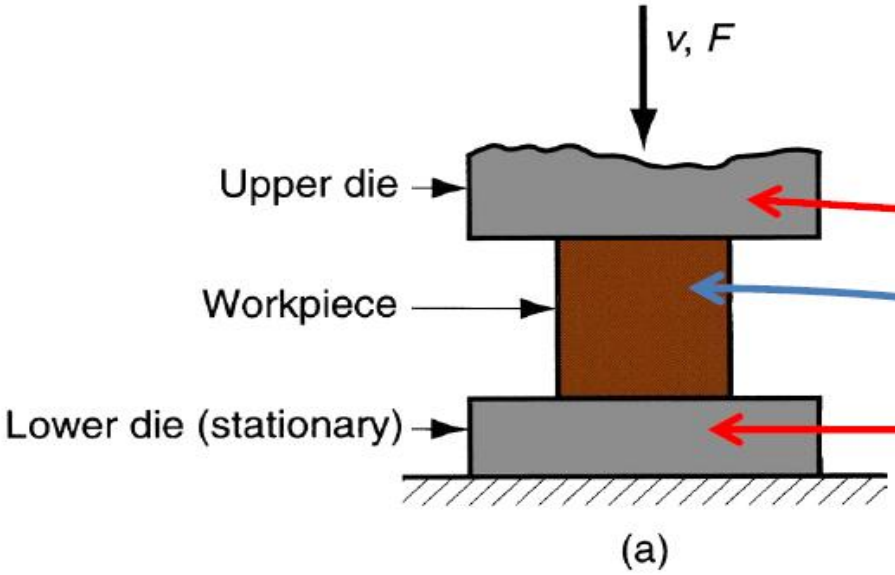
- إن الفرق بين حدادة المطارق وحدادة المكابس هو الفترة الزمنية التي تحصل فيها عملية التشكيل.
- في حالة حداد المطارق يكون معدل التشكيل أو إنسياب المعدن داخل القالب لحظياً وسريعاً نتيجة لأن القوة المسلطة عليه ناتجة من طرقة في زمن قصير جداً.
- في حالة حدادة المكابس فإن الفترة الزمنية المتاحة للمعدن لكي يأخذ شكل التجويف الموجود بالقالب أطول نسبياً من حالة الحدادة بالطرق.

أنواع قوالب الحدادة

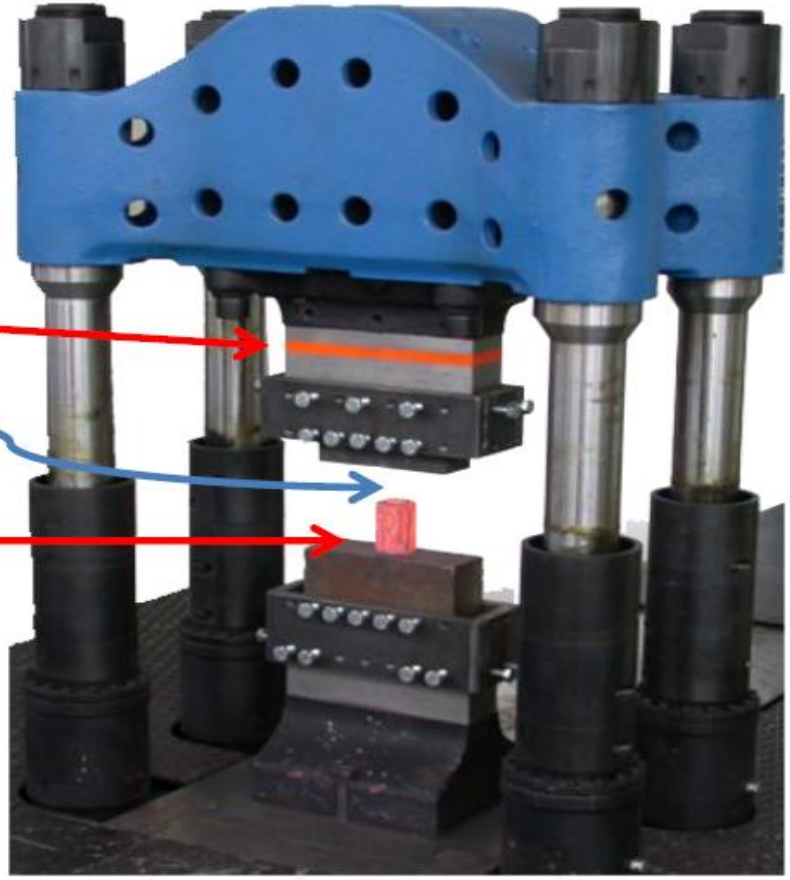
1) قالب الحدادة المفتوح Open-die forging: حيث يشكل المعدن المشغل بين سطحين مستويين ويمكن للمعدن أن ينساب بينهما بإتجاه السطحين.
2) قالب الطبع Impression-die forging: حيث يتشكل المعدن داخل قالب متكون من جزئين علوي وسفلي ويقع بينهما تجويف الذي يمثل شكل المطروقة المطلوب كبسها. تترك فتحة صغيرة بين جزئي القالب لينساب منها المعدن الزائد للخارج مشكلاً زائدة رقيقة تزال فيما بعد تسمى 'الزعانف Flash'.
3) قالب الحدادة الأحادي Flashless-die forging: حيث يكبس المعدن داخل قالب غير مجزء. وبالتالي لا يوجد زوائد في المنتج النهائي.

قالب الحدادة المفتوح

Open-die Forging



(a)

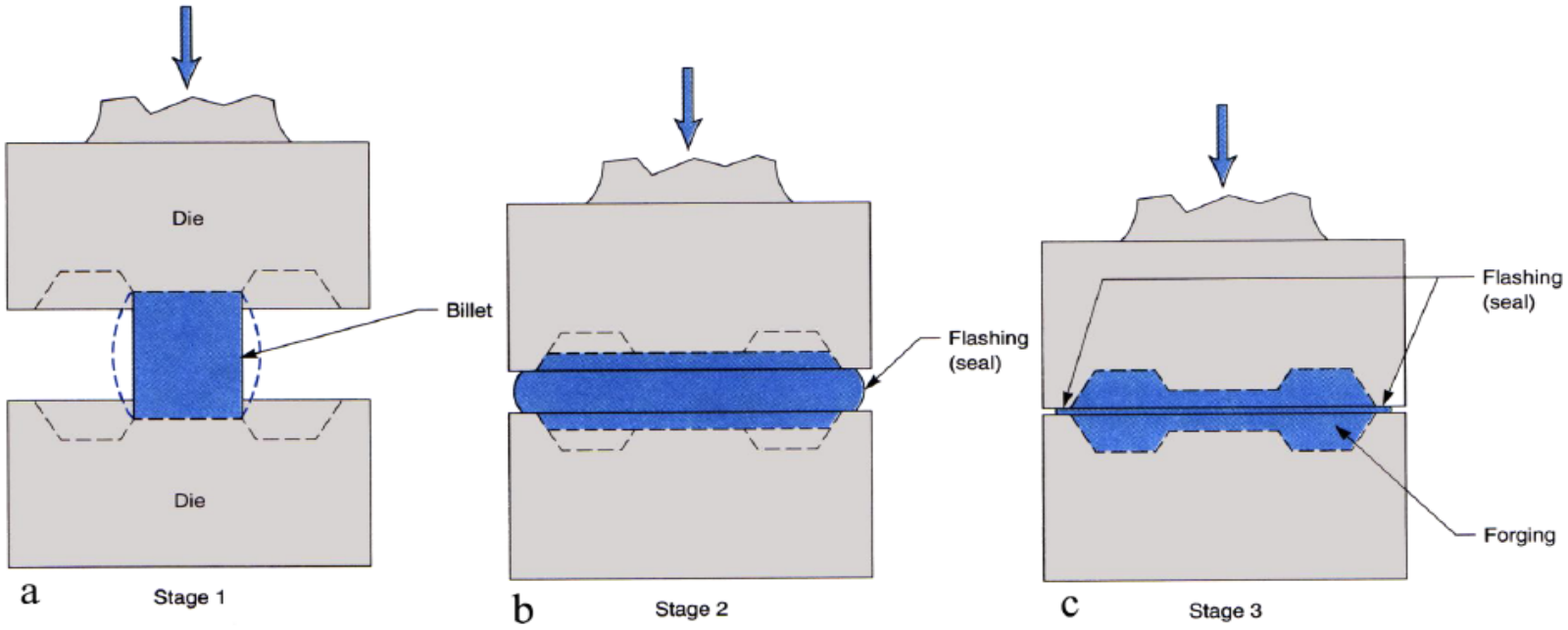


يشكل المعدن المشغل بين سطحين مستويين ويمكن للمعدن أن ينساب بينهما بإتجاه السطحين.

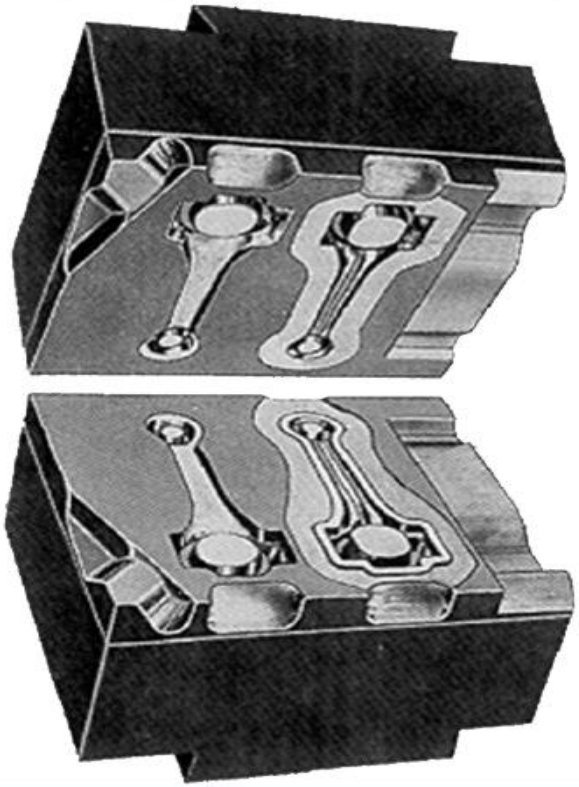
قالب الطبع

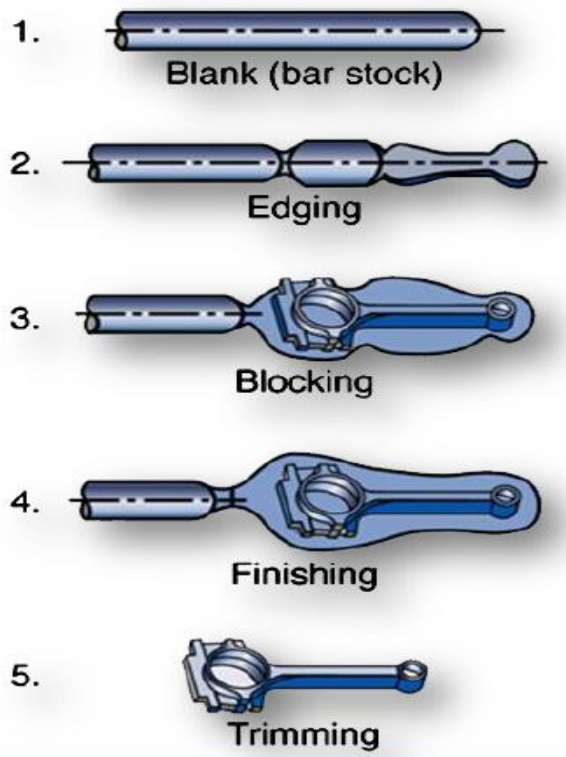
Impression-die Forging

- تستخدم حداد القوالب المغلقة في حالة الإنتاج الكمي.
- يتم التشكيل في هذه الطريقة بضغط المعدن الساخن داخل قوالب معدنية مجزءة لنصفين. يحوي نصفي القالب على تجويف يمثل شكل المراد الحصول عليه للمنتج.



- يمكن أن يحتوي القالب على عدد من التجاويف يكون فيها التجويف الأول بسيط الشكل ثم يتدرج درجة تعقيده وذلك لكي يتم تشكيل المعدن الساخن بشكل تسلسلي حتى نحصل في النهاية على الشكل المطلوب للقطعة المراد إنتاجها.

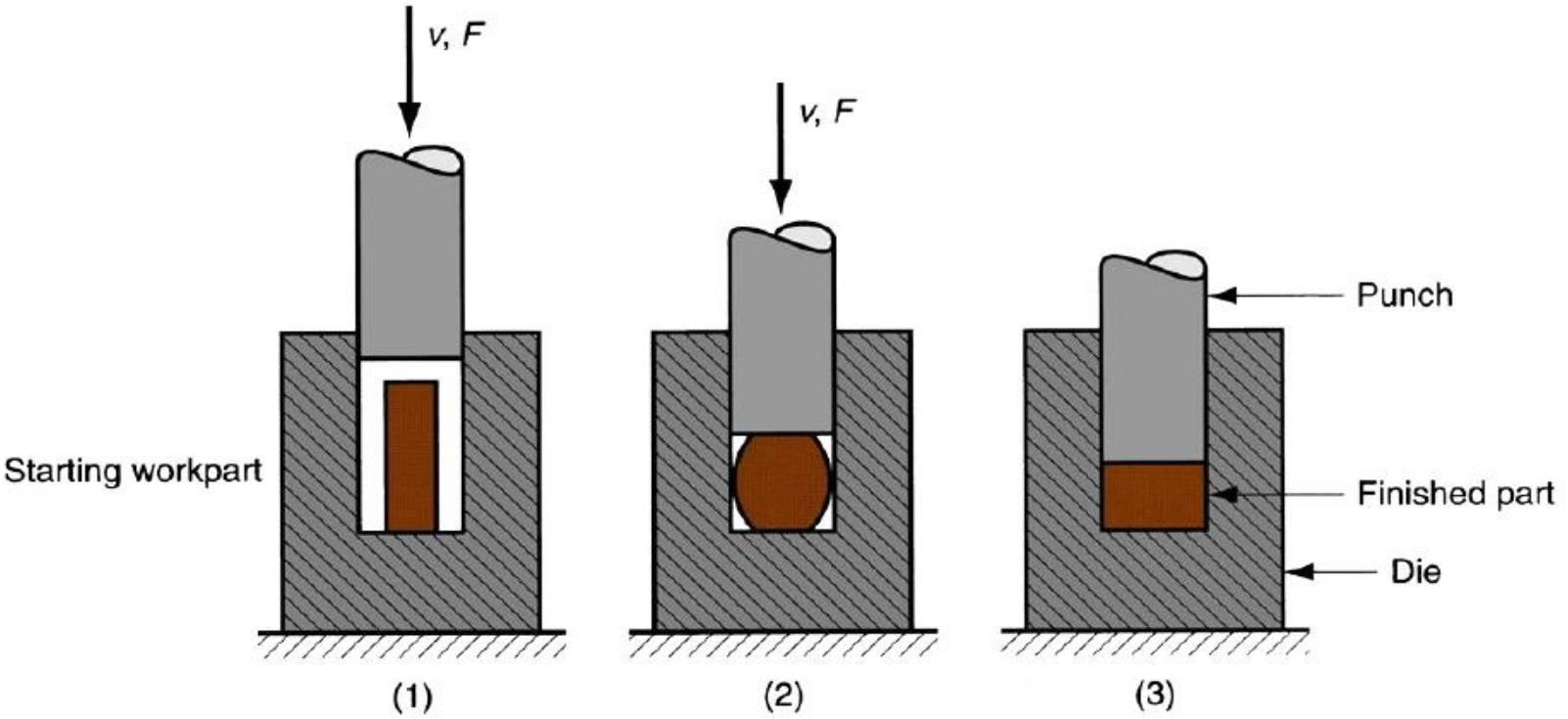




شكل يبين قالب حدادة مغلق بعدة تجاويف لإنتاج بشكل متسلسل ذراع توصيل لمحرك إحتراق داخلي.

قالب الحدادة الأحادي

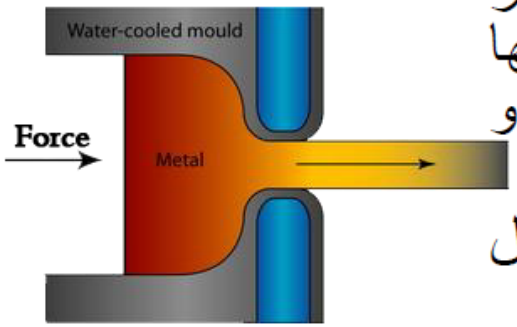
Flashless-die Forging



يكبس المعدن داخل قالب غير مجزء. وبالتالي لا يوجد زوائد في المنتج النهائي.

بثق المعادن

Extrusion of Metals

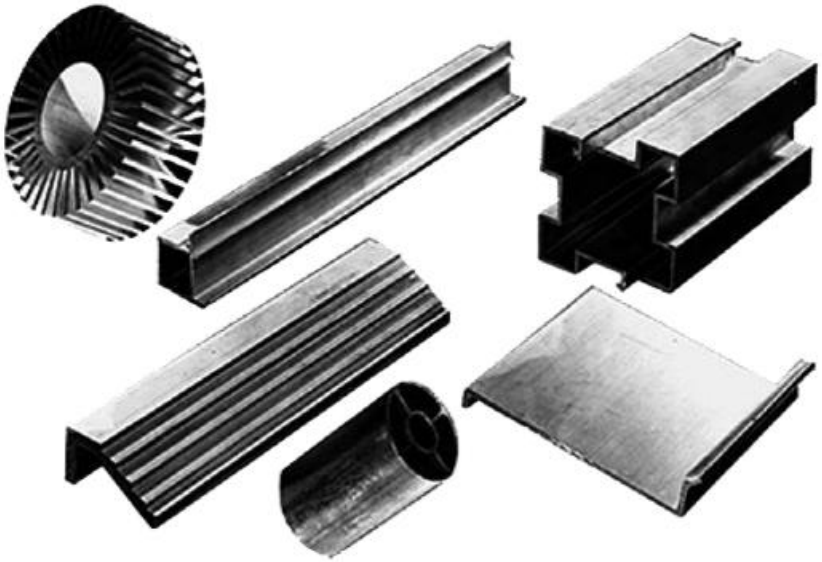


- البثق هو أحد عمليات التشكيل العجائني التي يتم فيها إجبار معدن في الحالة العجائنية اللدنة بالخروج من خلال فتحة لها شكل وأبعاد المنتج ألمطلوب حيث يتم البثق إما على البارد أو على الساخن.
- تستخدم عملية البثق لإنتاج مشغولات منتظمة المقطع بأطوال كبيرة وبمقاطع أكثر دقة وتعقيداً من تلك التي تنتج بالدرفلة.

مميزات عملية البثق:

- ✓ عملية سريعة ويمكن من خلال مرحلة واحدة أن نحصل على منتج بالشكل المرغوب، وهذا على عكس ما يحدث في عملية الدرفلة حيث يتطلب إنتاج مقطع معين إستخدام عدة مراحل.
- ✓ يمكن الحصول على نسبة أختصار (تقليل في المساحة العرضية) عالية.
- ✓ يمكن بثق المواد القصفة (ذات لدونة ضعيفة)التي لا يمكن تشكيلها بعمليات الدرفلة.

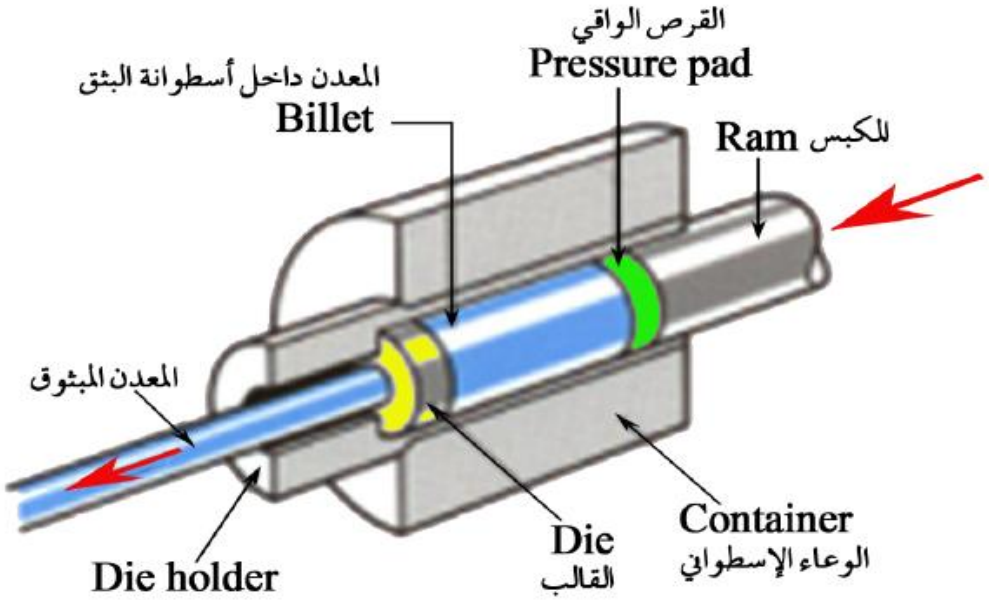
نماذج لعدد من المقاطع المنتجة بالبثق



منتجات من مادة الالومنيوم

منتجات من مادة الصلب

طريقة البثق



- تتكون آلة البثق من أسطوانة مغلقة تشكل الوعاء الذي يحتوي المعدن المسخن ومكبس متحرك بها. ويثبت قالب البثق في نهاية الأخرى للإسطوانة أو في النهاية التي بها المكبس. يوضع قرص واقي أمام المكبس لحمايته من التآكل نتيجة لإحتكاك المعدن به ولمنع إلتصاق المعدن بالمكبس.
- يقوم المكبس بالضغط على كتلة المعدن في حالتها اللدنة ليجبره على الإنسياب من فتحة القالب. وللحصول على مقاطع مختلفة يتم تغيير قالب التشكيل حيث يتغير شكل الفتحة التي يخرج منها المعدن.

تصنيف عمليات البثق

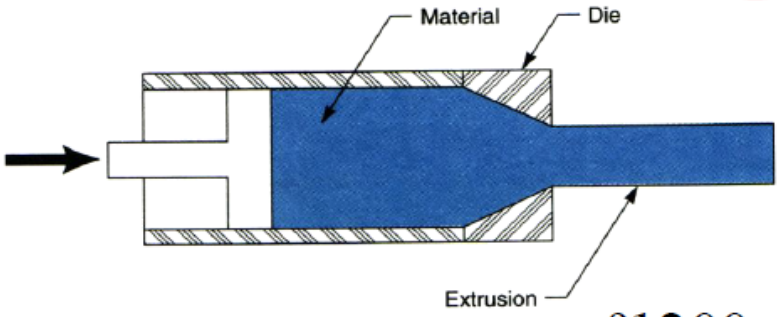
عمليات البثق على البارد

- البثق المباشر
- البثق غير المباشر (البثق العكسي)
- البثق التصادمي

عمليات البثق على الساخن

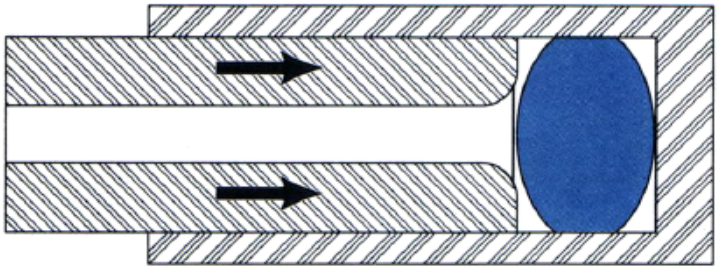
- البثق المباشر
- البثق غير المباشر (البثق العكسي)

a) البثق المباشر على الساخن:

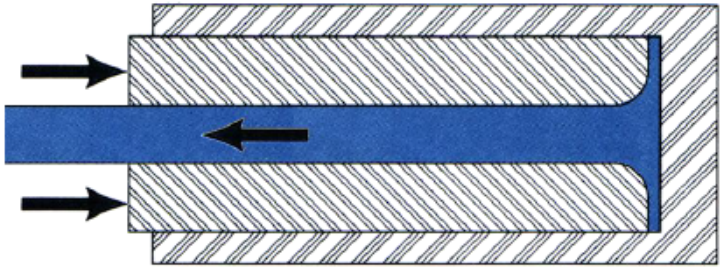


- يطلق على عملية البثق التي يخرج فيها المعدن من خلال فتحة القالب وفي نفس إتجاه حركة المكبس بعملية **بثق مباشر أو أمامي**.
  - تتراوح درجة حرارة بثق المعدن من 500°م إلى 1200°م.
  - يلاحظ إنه كلما أرتفعت درجة حرارة البثق تزداد قوة الإحتكاك بين المعدن والأسطح الداخلية لإسطوانة منظومة البثق.
  - للتقليل من الإحتكاك المصاحب لعمليات البثق تستخدم أنواع من المواد المزلقة، فعند درجات الحرارة المنخفضة نسبياً يستخدم مزيج من الزيت والكربون الطري (الجرافيت)، أما عندما تكون درجات الحرارة اللازمة للبثق عالية فيستخدم طبقة من مصهور الزجاج بين أسطح الإسطوانة والمعدن عند بثق الصلب حيث تصل درجة الحرارة إلى 1200°م.
  - يعمل مصهور الزجاج (إلى جانب وظيفته كمادة مزلقة وعازلة للحرارة) على حماية أسطح الأسطوانة والمكبس من تأثير أرتفاع درجات الحرارة المتكررة.

b) البثق غير المباشر على الساخن:



- في هذه العملية توضع كتلة المعدن المراد بثقه داخل الوعاء الإسطواني وتجهز فتحة القالب في نهاية المكبس. ويستخدم في هذه الحالة مكبس مجوف.



- فعند كبس المعدن عن طريق المكبس يندفع المعدن من خلال فتحة القالب الموجودة بالمكبس في إتجاه عكس حركة المكبس لهذا فهي تسمى بعملية **بثق غير مباشر أو الخلفي**.

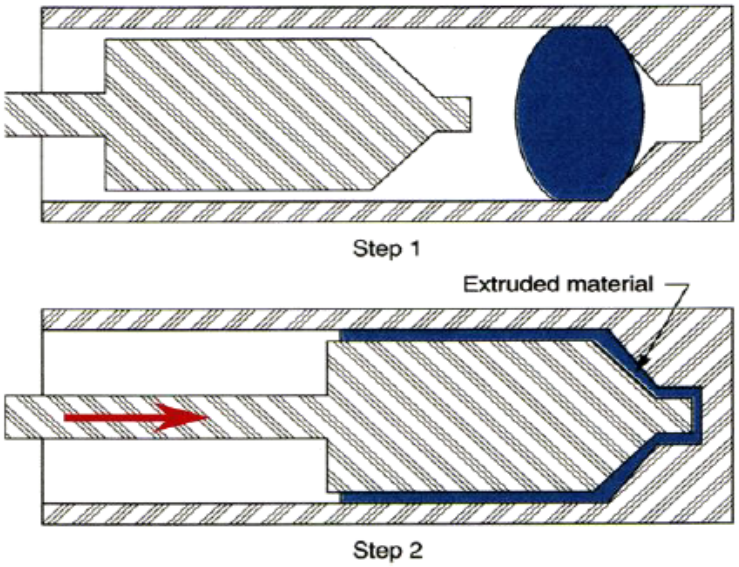
- يلجاء إلى البثق غير المباشر بهدف التغلب على الإحتكاك حيث إن كتلة المعدن تبقى ساكنة ولا تحدث حركة نسبية بينها وبين سطح الإسطوانة كما هو الحال في البثق المباشر.
- يكمن العيب الأساسي في البثق غير المباشر في صعوبة مناولة المعدن المبثوق حيث يخرج في إتجاه معاكس لحركة المكبس ومن داخله.

c) البثق المباشر على البارد:

- البثق المباشر على البارد مماثل للبثق المباشر على الساخن إلا أن نسبة البثق أقل في حالة البثق على البارد وتتطلب ضغوطاً أعلى.
- يستخدم البثق على البارد لإنتاج الأشكال البسيطة والتي تتطلب جودة سطحية عالية إلى جانب تحسين الخواص الميكانيكية للمعدن.
- تستخدم هذه التقنية في صناعة مقاطع الألومنيوم الإنشائية والتي تدخل في كثير من الصناعات مثل النوافذ والأبواب والأثاث.

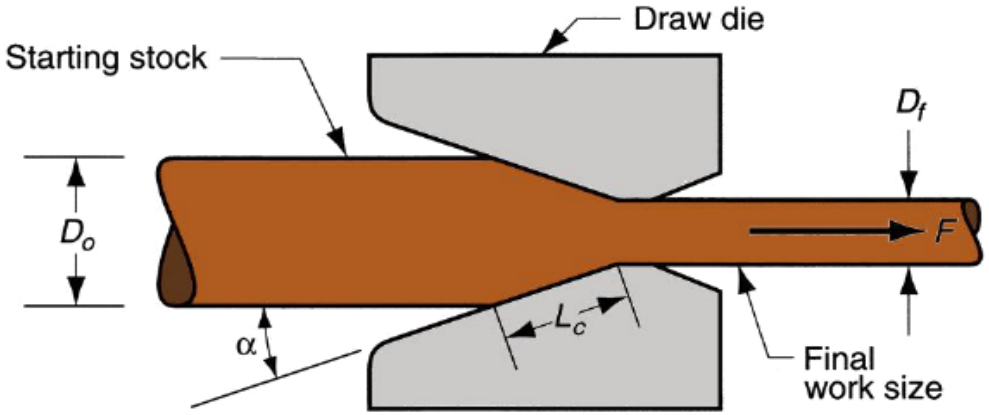
d) البثق التصادمي:

- يطلق على البثق غير المباشر على البارد أسم البثق التصادمي، وهو أكثر شيوعاً وخاصة مع المعادن اللينة مثل الألومنيوم وسبائكه.
  - آلية البثق التصادمي تنتج من فعل صدم كتلة معدنية لينة داخل حيز يسمح بهروب المعدن من خلال الفراغ بين القالب والمكبس الساقط بسرعة عالية.
  - تستخدم هذه التقنية في صناعة علب الألومنيوم المستعملة لتعبئة المشروبات الغازية.



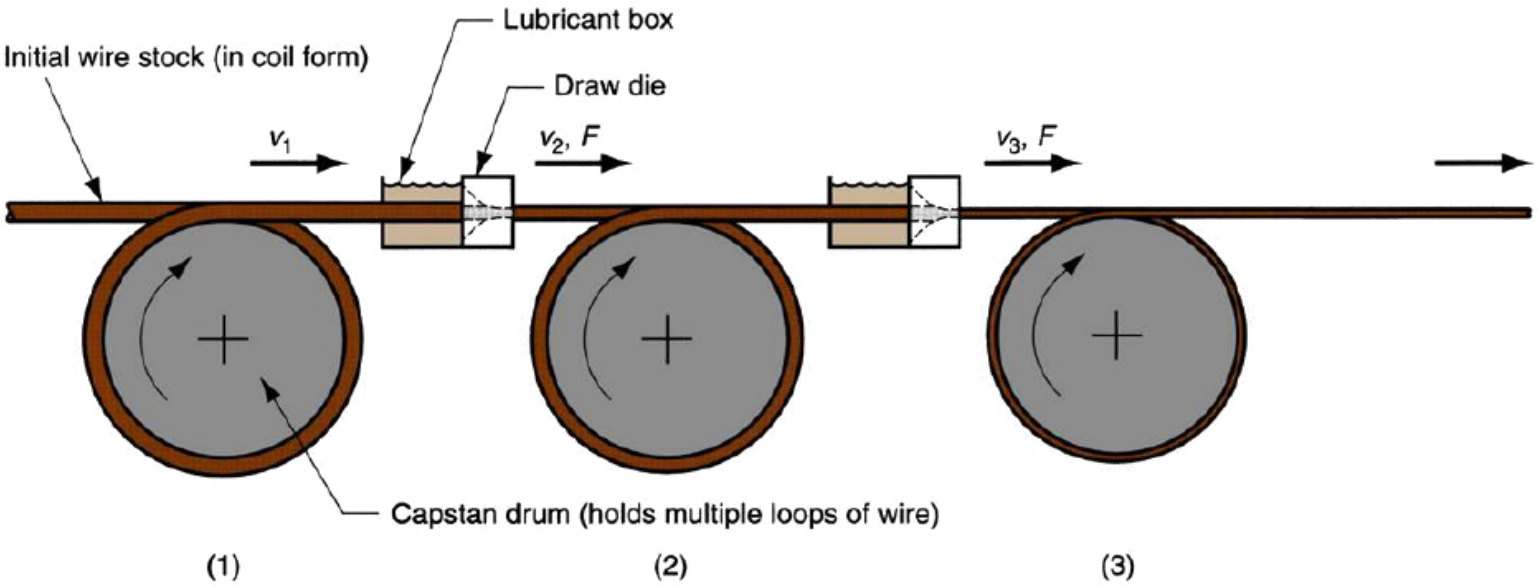
سحب الأسلاك
Wire Drawing

- هي عملية تشكيل على البارد تنجز بسحب المعدن بقوة من خلال فتحة قالب خاص حيث يتشكل المعدن ويأخذ شكل فتحة القالب ويحدث له تشوه لدن دائم.

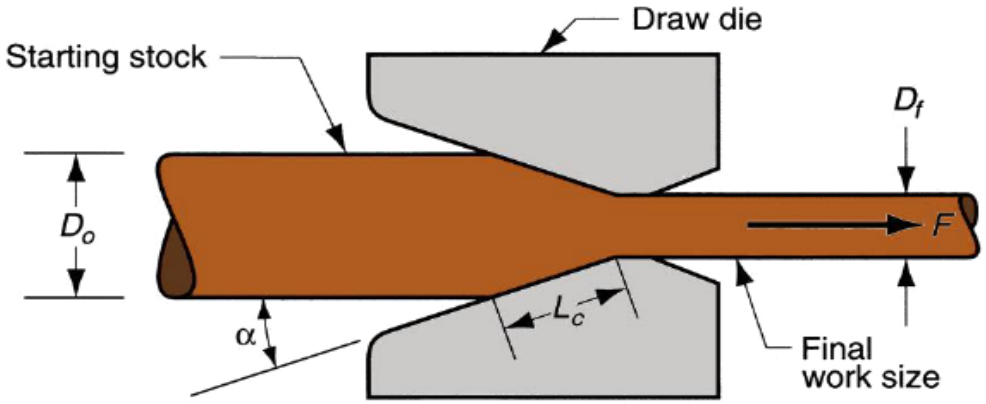


- لإتمام عملية السحب يجب ألا تحدث القوة F تشكيلاً لدناً في الطرف الأمامي من المعدن لأن ذلك سيؤدي إلى إنكسار المعدن وبالتالي توقف عملية السحب.
- ينتج عن عملية السحب هذه إجهادات شد في الطبقات السطحية للمعدن نتيجة لتأثير قوى الإحتكاك وإجهادات ضغط في الطبقات الداخلية نتيجة لما يحدث للمعدن من عصر أثناء مروره من خلال فتحة القالب.

- يتم إنتاج الأسلاك النحاسية المستخدمة في التوصيلات الكهربائية بمختلف الأقطار بواسطة هذة التقنية.
- يمكن إنتاج أسلاك بأقطار شعرية من أقطار كبيرة وذلك بتكرار عملية السحب خلال قوالب عديدة متتالية ترتب بطريقة يغذي فيها القطر الناتج من القالب الأول إلى القالب الثاني و هكذا حتى نصل إلى القطر المطلوب.



حساب القوة اللازمة لسحب الأسلاك



يمكن إستخدام العلاقة الرياضية التالية لتقدير القوة اللازمة لسحب سلك (F) من خلال قالب **بزاوية ميل α (تعطى بالدرجة ويجب أن تحول الى rad):**

$$F = \overline{Y}\,(A_0 - A_1)\left(1 + \frac{\mu}{\alpha}\right)$$

$$\alpha(rad) = \alpha(\deg) * \frac{\pi}{180}$$

$\overline{Y}$: متوسط الإجهاد في منطقة التشكيل.

μ : معامل الإحتكاك بين السلك و القالب.

A_1 & A_0: مساحة مقطع السلك قبل وبعد السحب.

مثـــــال:

أحسب القوة اللازمة لسحب سلك معدني قطره 50مم خلال قالب سحب زاوية ميله 18º إلى قطر 35مم إذا كان متوسط الإجهاد في منطقة التشكيل 430 نيوتن/مم^2 ومعامل الإحتكاك بين قالب التشكيل والسلك يساوي 0.3.

الحـــــل:

$$A_0 = \pi R_0^2 = 3.14 \times (25)^2 = 1962.5 \quad mm$$

$$A_1 = \pi R_1^2 = 3.14 \times (17.5)^2 = 961.625 \quad mm$$

$$\alpha(rad) = \alpha(\deg) * \frac{\pi}{180} = 18 * \frac{\pi}{180} = 0.314$$

بالتعويض في المعادلة:

$$F = \overline{Y}\,(A_0 - A_1)\left(1 + \frac{\mu}{\alpha}\right)$$

$$F = \left(430\ {}^{N}\!/_{mm^2}\right) \times (1962.5 - 961.625)_{mm} \times \left(1 + \frac{0.3}{0.314}\right)$$

$$F = 841563.75\ N \quad = 842\ KN$$