



جامعة دمشق

المعهد التقني للهندسة

الميكانيكية والكهربائية بدمشق

قسم الهندسة الصناعية

(طلاب السنة الثانية - الفصل الدراسي الثاني)

# تكنولوجيا القوالب المعدنية

مدرّس المقرر

د. باسم عمّار

ملاحظة مهمة إلى طلابنا الأعزاء

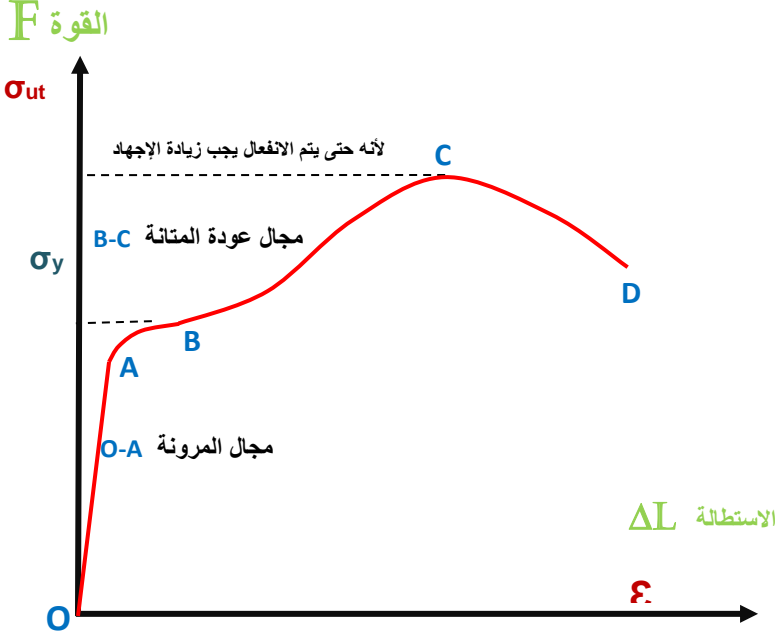
كل ما هو محاط بمستطيل أحمر في هذا الملف غير مطلوب في امتحان الفصل الثاني وصيف 2019-2020 مع تمنياتنا لكم بالسلامة والتوفيق

دمشق 2020

## أساسيات في علم المواد وتشكيل المعادن

### مخطط إجهاد انفعال المعادن:

لا تُعتبر المواد الصلبة بشكل عام مطلقة الصلابة بالكامل ففي حدود معينة هنالك تناسباً بين القوى المؤثرة (الخارجية) والانتقالات الحادثة نتيجة تأثير تلك القوى، وهذا ما عبّر عنه العالم هوك عام 1676 بقوله (كما تكون القوة يكون الانفعال).



تتعلق أكبر قوة يبقى فيها قانون هوك مطبقاً بأبعاد النموذج ونوع المادة فمثلاً: للفولاذ تكون القوة أكبر مقارنة مع النحاس و الألمنيوم والرصاص ( أقل بعدة مرات )

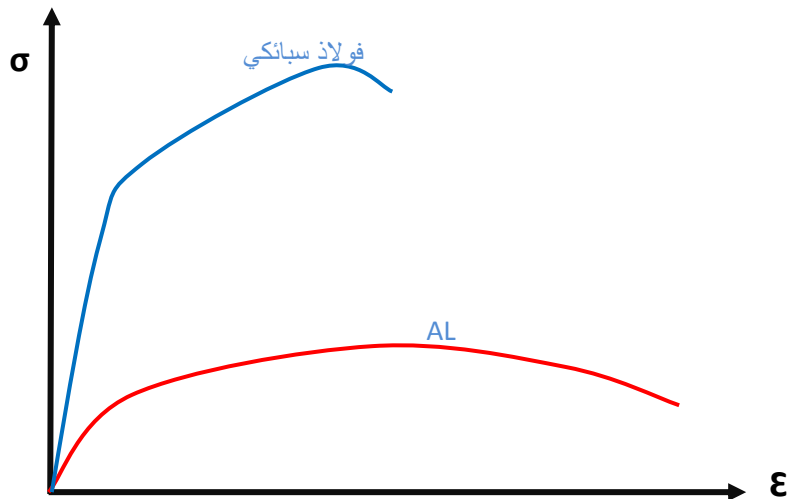
$$\delta\% = \frac{\Delta L}{L} \%$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ حيث : القوة } F \text{ و مساحة السطح } A$$

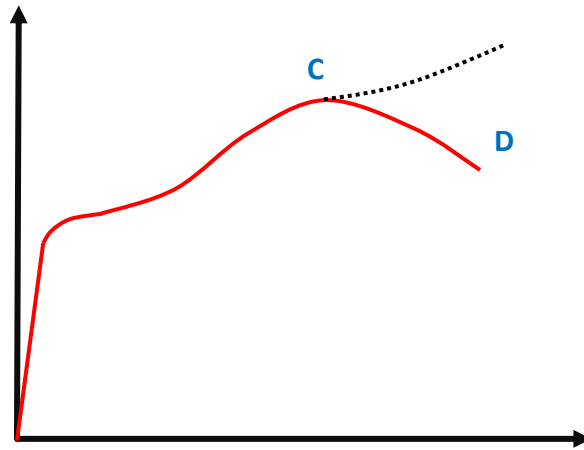
يدعى المجال OA : مجال المرونة Elastic Strain وفيه يتطبق قانون هوك :  $\sigma = E \cdot \epsilon$  وفي هذا المجال يتم زوال الانفعال بعد زوال الحمل. (وهو عملياً مستقيم مطابق تقريباً لمحور الإجهاد لكن تم تكبير مجال المرونة في الرسم فقط لإيضاح المخطط)

يدعى المجال AB : مجال الانسياب وفيه يكون أي زيادة بسيطة بالتحميل تسبب زيادة واضحة بالاستطالة (بالانفعال) ولا يظهر هذا المجال في مخطط المعادن عالية القساوة أو عالية اللدونة.



يُدعى المجال BC : مجال عودة المنة وفيه تكون زيادة الأحمال المسببة للاستطالة أقل بمئات المرات من زيادة الأحمال المسببة للاستطالة في المجال المرن. وفي هذا المجال يتحدد مكان التحطم وذلك بظهور علامة تدعى بالعنق ( التخصر ) أو ( مكان التحطم ) .

في النقطة C : تبلغ القوة حددها لأعظمي وبعدها تحدث استطالة للعينة ولكن بتناقص القوة المطبقة. ( علماً أن القوة على الآلة تزداد ) وتفسير ذلك هو نقصان المقطع في مكان التخصر وبالتالي القوة المطبقة على السطح الجديد نفسها لكن السطح الجديد أصبح أصغر وبالتالي الإجهاد يزداد وهذا ما يعلل انحناء الجزء CD عملياً نحو الأسفل رغم تصورنا بوجود انحنائه متزايداً (مع تزايد الإجهاد المطبق) نحو الأعلى.

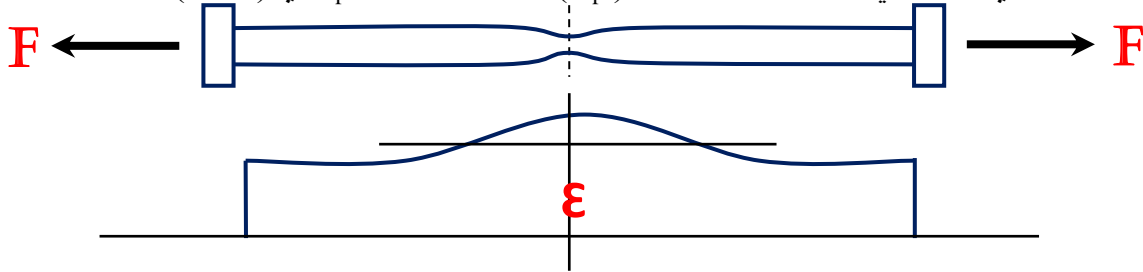


النقطة D : توافق نقطة التحطم وفصل العينة

الإجهاد  $\sigma_y$  : إجهاد الخضوع وفيه يبدأ المعدن بالانسياب و الانفعال انفعالاً لدناً وبعده لا يتم تطبيق قانون هوك . ويعرف بأنه : الإجهاد الموافق لزيادة الانفعال دون ازدياد واضح للحمولة.

الإجهاد  $\sigma_{ut}$  : الإجهاد المعبر عن المتانة ( أقصى قوة لا تسبب انهيار المعدن ) وفي حالة متانة الشد تكون  $\sigma_{ut}$  و للضغط تكون  $\sigma_{uc}$  .

إجهاد الخضوع  $\sigma_y$  في حال غياب مكان تحديده بيانياً (على المنحني) يتم تحديده على أساس أنه الإجهاد الذي يحدث في المعدن انفعالاً متبقياً (  $\epsilon_p$  ) مقداره  $\epsilon_p = 0.2\%$  أي (0.002)



وفيما يلي بعض الأمثلة على قيم  $\sigma_{uc}$  و  $\sigma_{ut}$  و  $\delta\%$  لبعض أهم المعادن .

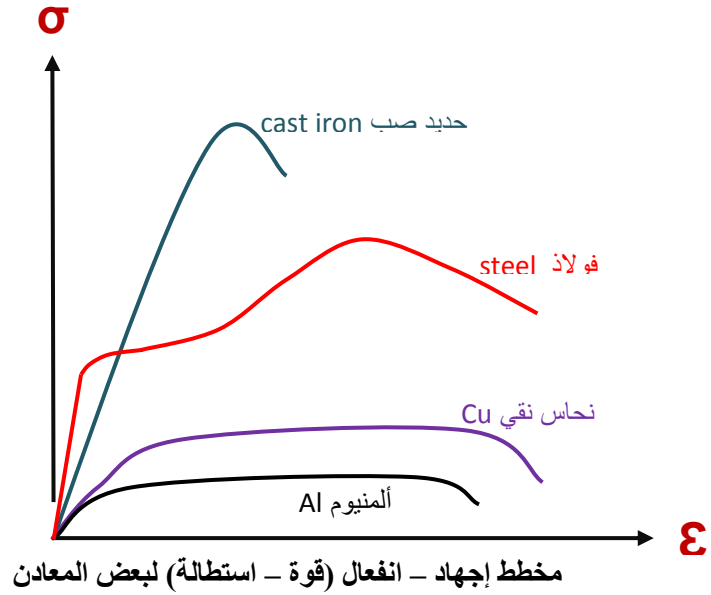
الملاحظات	$\delta$	$\sigma_{uc}$	$\sigma_{ut}$	المادة
معامل مرونة الفولاذ $E = 2 \times 10^6 \text{ Kgf/Cm}^2$	%	$\text{Kgf/Cm}^2$	$\text{Kgf/Cm}^2$	الواحدة
	42	—	3900	فولاذ منخفض الكربون
	—	4200	4200	فولاذ متوسط الكربون
	—	5280	5280	فولاذ مقسى
$E_{AL} = 0.7 \times 10^6 \text{ Kgf/Cm}^2$	35	—	915	ألومنيوم صب
	—	—	1400	ألومنيوم مدلفن
$E_{cu} = 1.1 \times 10^6 \text{ Kgf/Cm}^2$	—	—	2100/1400	نحاس صب
	—	—	5000/3500	نحاس قاسي (مستحب)
الشبة = النحاس الأصفر = سبيكة $\text{Cu+Zn}$	17	1400/1300	1800/2500	نحاس أصفر brass
البرونز = سبيكة $\text{Cu+Sn}$	7.5	—	1360	برونز Bronze
الدور ألومنيوم = سبيكة $\text{AL+Cu+Mg}$	13	—	5400	دور ألومنيوم
	1.5	1680	1270	فيبر
	—	280/175	—	خشب متوازي الألياف

**Table A4. Tensile strength and Fracture toughness**

Metals		Tensile strength (MPa)	Fracture toughness (MPa.m <sup>1/2</sup> )
<b>Ferrous metals</b>	Cast iron, ductile (nodular)	410 - 830	22 - 54
	Cast iron, gray	140 - 450	10 - 24
	High carbon steel	550 - 1,600	27 - 92
	Low alloy steel	550 - 1,800	14 - 200
	Low carbon steel	350 - 580	41 - 82
	Medium carbon steel	410 - 1,200	12 - 92
	Stainless steel	480 - 2,200	62 - 150
<b>Non-ferrous</b>	Aluminum alloys	58 - 550	22 - 35
	Copper alloys	100 - 550	30 - 90
	Lead alloys	12 - 20	5 - 15
	Magnesium alloys	190 - 480	12 - 18
	Nickel alloys	350 - 1,200	80 - 110

**TABLE 6-4 Shear Strength of Material**

	Lb/in-sq	MPa
Tin, rolled sheet	5,000	35
Zinc:		
Rolled sheet	18,000	125
Hard rolled	20,000	140
Copper	25,000	175
Brass, bronze	35,000	240
Aluminum:		
Soft	10,000	70
Half-hard	20,000–30,000	140–210
Full-hard	40,000	275
Steel:		
0.1% carbon, hot rolled	35,000	240
0.1% carbon, cold rolled	45,000	310
0.2% carbon, hot rolled	45,000	310
0.2% carbon, cold rolled	55,000	380
0.3% carbon, hot rolled	55,000	380
0.3% carbon, cold rolled	65,000	450
High-carbon steel	75,000–85,000	520–600
Stainless steel	70,000–100,000	500–700



### اللدونة - الهشاشة - القساوة :

#### Hardness - Brittleness - Plastic

**اللدونة:** تدعى صفة المادة وقابليتها لتحمل انفعالات كبيرة متبقية دون تحطمها باللدونة. وتعتبر الاستطالة النسبية المئوية  $\delta\%$  مقياساً لللدونة حيث أن:  $\delta\% = \Delta L/L \times 100\%$  فكلما زادت الاستطالة النسبية  $\delta$  اعتبرت المادة أكثر لدونة.

يعتبر الرصاص معدناً عالي اللدونة.

النحاس المحمي - والألمنيوم - والفولاذ قليل الكربون تعتبر مواد لدنة.

البرونز - والدور ألومنيوم .. مواد أقل لدونة.

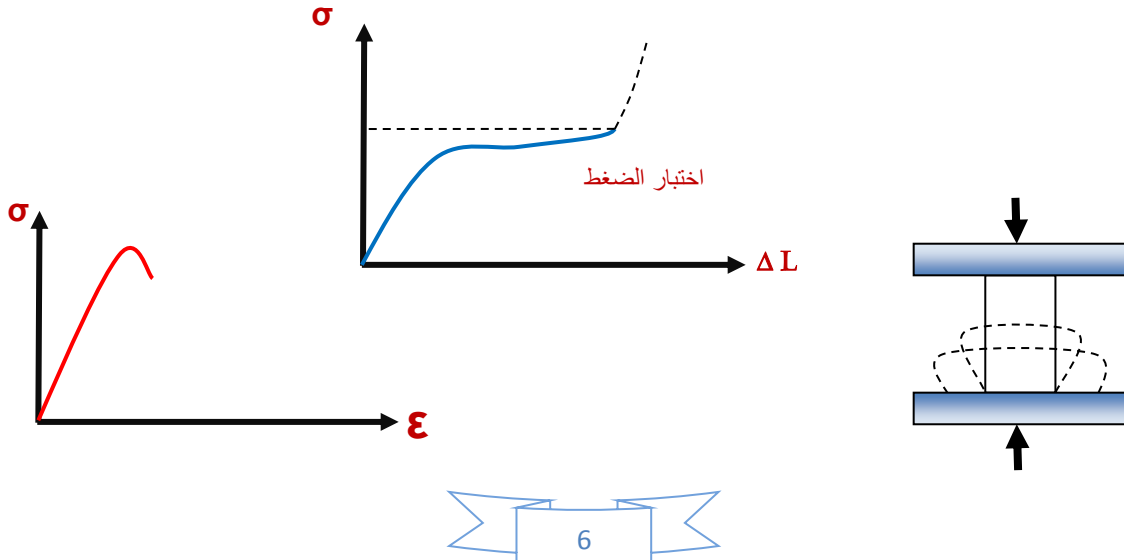
الفولاذ عالي الكربون و الفولاذ المطعم بـ Ni, Cr معادن ذات لدونة منخفضة جداً

الصفة المعاكسة لللدونة هي الهشاشة.

**الهشاشة:** وهي قابلية المادة للتحطم دون تشكّل انفعالات لدنة متبقية. وهذه المواد تمتلك استطالة

نسبية لا تزيد عن 2-5% ومن هذه المواد: الحديد الصلب - الفولاذ عالي الكربون - الزجاج - الغرانيت - السيراميك.

مخطط الشد للمواد الهشة لا يحتوي على مجال الانسياب ولا عودة المتانة وكذلك الأمر فإن الاختبار على الضغط لا يسبب انحناءً للمنحني في المجال CD للأسفل بل للأعلى، والسبب في ذلك يعود إلى زيادة المقطع العرضي مع تزايد التحميل على عكس منحني الشد (ينقص المقطع في مكان التخصّر) وبالتالي يكون نهاية المنحني شديد الانحناء للأعلى.

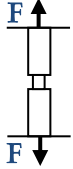


**القساوة:** هي مقاومة المعدن لتغلغل أجسام أخرى فيه ويُعبّر عنها بعدة وحدات

( HB - HV - HRC - HRB ) وتُعبّر القساوة عن مقاومة المادة للاحتكاك وللتآكل أو الخدش.

### الفرق بين التحطّم الهشّ والتحطّم اللدن:

إن تقسيم المواد بين لدنة وهشة هو تقسيم اصطلاحي، فهناك بعض العوامل تجعل المادة اللدنة تتسلق سلوك المادة الهشة عند التحطم والعكس. مثال:



1. المواد اللدنة عندما يتم شدها مع وجود مجرى فإن التحطم سيكون هشاً نتيجةً لصعوبة تشكل الانفعالات اللدنة في مكان التضييق.

2. يؤثر زمن التحميل على سلوك التحطم ففي التحميل السريع تظهر صفات الهشاشة. بسبب صعوبة ظهور الانفعالات اللدنة في زمن قليل.

أما بالتحميل البطيء فتظهر صفات اللدونة (حتى الزجاج الهش).  
3. زيادة درجة الحرارة، تعطي تحطماً لئناً ونقصان درجة الحرارة تحطماً هشاً.

وفي الكثير من الأحيان يصعب تحديد قيمة اللدونة والمتانة باختبار الشد ولذلك يتم الاستعاضة عنها عملياً باختبار القساوة حيث أن القساوة تعيد صفات المتانة.

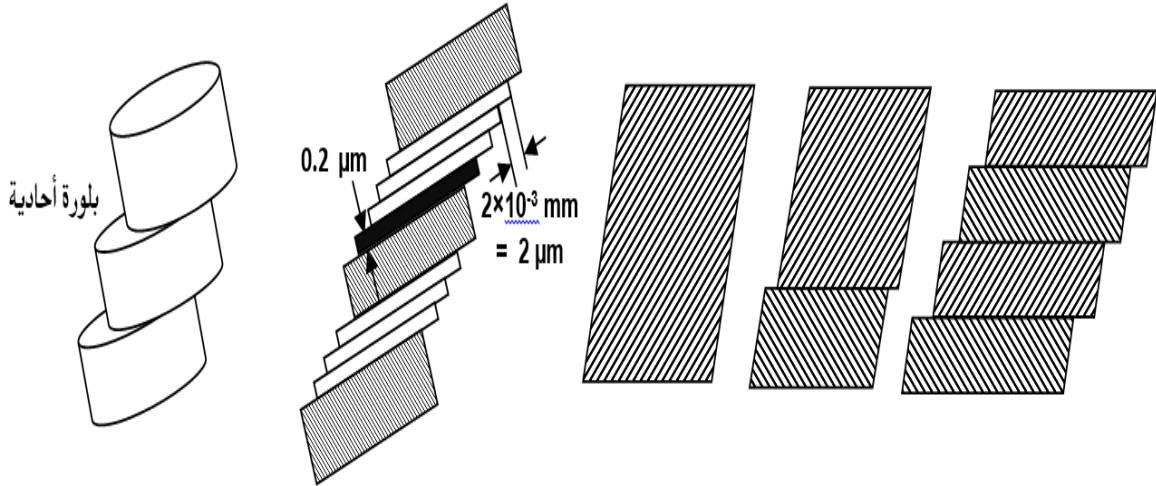
## التشكيل اللدن لجسم متعدد البلورات :

(حبيبة Crystal = Craine بلورة)

عند تأثير مجال من القوى في بلورة أحادية تنشأ ظروف تكون فيها (تصل فيها) الإجهادات المماسية في أحد السطوح (سطوح الانزلاق) ذات قيمة كافية لإزاحة الذرات في المستويات والاتجاهات المتناظرة بمسافات تزيد عن المسافات الذرية (بين الذرات) ومن التجارب تبين أن الانزلاق يبدأ بإزاحة شديدة للذرات في أحد المستويات بمقدار يعادل بالتقريب 1000 مسافة ذرية ( $10^{-3} \text{mm} = 1 \mu\text{m}$ ) وبعد ذلك يتوقف الانزلاق على هذا المستوي ولكنه يظهر في سطح آخر يبعد عن السطح الأول بمقدار 100 مسافة ذرية ( $10^{-4} \text{mm} = 0.1 \mu\text{m}$ )

حيث تبدأ حركة الذرات في مستوي الانزلاق عندما يصل الإجهاد المماسي في هذا المستوى وفي اتجاه الانزلاق إلى قيمة حرجة تدعى بإجهاد الانزلاق الحرج (Critical slip stress) وقيمتها تتبع لنوع المعدن والحالة البلورية (عدد وتوضع وحالة البلورات) ولحالة الإجهاد.

كما أثبتت التجارب اعتمادا على نظرية الانخلاعات (Dislocation Theory) أن كثافة الانخلاعات في حجم البلورة تزداد أثناء عملية الانزلاق وتؤدي بذلك إلى حدوث ظاهرة التصلد الانفعالي



## التصلد الانفعالي Strain Hardening

مقدمة:

تحدث بالتشكيل اللدن تغيرات في بنيتها (تغير شكل الحبيبات)، تؤدي إلى تغير خواصها الميكانيكية وغيرها من الخواص (الكهربائية – الحرارية – المغناطيسية ...).

فيزيادة كمية الانفعال الدائم في ظروف التشكيل على البارد تزداد صلادة (قساوة) "Hardness" المعدن والتي تدل على زيادة مقاومة التشكيل.

يزداد كل من حد الخضوع  $\sigma_y$  وحد المتانة (الصلابة)  $\sigma_{ut}$  ومن جهة أخرى تقل العوامل المميزة للدونة كالاستطالة النسبية  $\delta\%$  والتخصر  $\Psi = \Delta A/A$  وتقل المتانة الصدمية (Impact toughness).



كما تحدث تغيرات في الخواص الفيزيائية مثل: زيادة المقاومة الكهربائية وزيادة النفاذية المغناطيسية وتتنخفض الموصلية الحرارية... كل هذه التغيرات في خواص المعدن أثناء التشكيل اللدن تسمى (بالتصلد الانفعالي) أي أن ظاهرة التصلد الانفعالي هي ظاهرة مرافقة لعملية تشكيل المعدن وتحدث بشكل حتمي ولحظي مع بدء التشكيل (الانفعال) وتحدث تغيرات في الخصائص الميكانيكية للمعدن تتمثل في زيادة كل من المتانة والقساوة وانخفاض اللدونة وبالتالي انخفاض قابلية التشكيل.

### خصائص ظاهرة التصلد الانفعالي:

1. ظاهرة التصلد الانفعالي تحدث في المعادن دقيقة الحبيبات بصورة أوضح من المعادن كبيرة الحبيبات وفي السبائك والخلائط المعدنية أكثر حدة من المعادن النقية. وبالتالي يمكن الاستفادة من ظاهرة التصلد الانفعالي (وخصوصاً في المعالجات الحرارية) وذلك بغية التحكم في خصائص المعدن. مثلاً: يمكن التشكيل على البارد للفولاذ المقاوم للصدأ وذلك بطريقة السحب أو الدرفلة زيادة حد المتانة مرتين أو أكثر.
2. التصلد الانفعالي: يفسر ظاهرة عدم إمكانية سحب معدن الرصاص (التشكيل بالسحب) حيث أن سرعة إزالة التصلد الانفعالي عند درجة حرارة الغرفة كبيرة جداً وقريبة من سرعة حدوث التصلد الانفعالي. وبالتالي لا يمكن جعل بداية مسحوب الرصاص ذو صفات كافية لجعله مناسباً لسحب الرصاص وبالتالي يبقى بداية المسحوب ينقطع نتيجة نقص المقطع بدون متانة معوضة من التصلد الانفعالي.
3. من إيجابيات التصلد الانفعالي هو ضرورة حدوثه لإنجاح عملية السحب العميق في التشكيل على البارد. ففي اللحظات الأولى للسحب يحدث بعض الانخفاض في سماكة جدران المسحوبة في منطقة حافة السالبة فإذا لم يحدث التصلد الانفعالي لانخفضت المتانة في هذا المكان مما سيؤدي إلى استمرار انقطاع الصفيح خلال عملية السحب (أو ظهور تشققات كبيرة).
4. من مساوئ التصلد الانفعالي هو زيادة مقاومة المعدن للتشكيل بشكل واضح مما يؤدي إلى زيادة القدرة اللازمة لعملية التشكيل وبنفس الوقت تنخفض خواص اللدونة ويزداد احتمال تكون شقوق أو عيوب أخرى في عملية التشكيل.

ففي الفولاذ الطري (قليل الكربون غير المقسى) تنخفض الاستطالة النسبية من (30 - 35%) إلى (5 - 6%) أي بمقدار 6 أضعاف وذلك بالتشكيل على البارد.

### الاستعادة Recovery:

بسبب التشكيل اللدن على البارد يحدث تشوه في الشبكة البلورية للمعدن مما يسبب حالة عدم استقرار ديناميكي حراري للذرات في الشبكة فتسعى الذرات إلى إعادة توزيع نفسها بحيث تقترب من حالة التوازن (بحيث تكون القدرة الحرة أصغر)، لذلك فإن المعدن المشكل على البارد بعد فترة زمنية من تشكيله سيستعيد بعض خواصه، فتقل نوعاً ما الصلادة والمتانة وتحسن اللدونة (الاستطالة) وهذا لا يرافقه تغيراً في أبعاد المعدن أو في البنية الداخلية الميكروية لكنه يتخلص من بعض الإجهادات الداخلية وهذه الظاهرة تدعى (بالاستعادة).

والاستعادة تحدث ببطء شديد عند درجة حرارة الغرفة باستثناء بعض المعادن ذات درجات الانصهار المنخفضة مثل (الرصاص، القصدير) حيث تتم الاستعادة بسرعة فائقة عند درجة

حرارة الغرفة، وبزيادة درجات الحرارة يقل زمن الاستعادة. وتعادل درجة حرارة الاستعادة في المعادن النقية ما يقارب ربع أو ثلث درجة حرارة الانصهار.

$$T_{rec} = (0.25 - 0.3) T_m$$

### إعادة التبلور Recrystallization

بزيادة تشكيل المعدن المتشكل على البارد لدرجات حرارة أعلى من  $T_{rec}$  تحدث عملية تدعى بإعادة التبلور، وخلال هذه العملية تنشأ وتتمو حبيبات جديدة غير منفعلة (نتيجة لانتقال الذرات بين البلورات) وذلك على حساب الحبيبات المنفعلة مما يسبب انخفاضاً في المتانة وزيادة في الاستطالة النسبية.

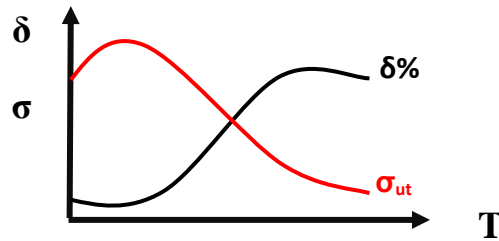
تنمو الحبيبات الجديدة من مراكز نوى جديدة (Cell) تتشكل غالباً على حدود الحبيبات المتفتتة عن البلورات، وتنتهي عملية إعادة التبلور بزوال الحبيبات المتشكلة وظهور حبيبات جديدة منتظمة ذات حجوم تعتمد على درجة التشكيل السابقة وعلى درجة حرارة إعادة التبلور.

لذلك يمكن في التشكيل على الساخن أن تحدث ظاهرتي التصلد الانفعالي وإعادة التبلور بأن واحد.

عموماً وبالتجربة تبين أن درجة حرارة إعادة التبلور هي (للمعادن النقية)  $T_{recry} = 0.4 T_m$

وإن وجود الشوائب يزيد من  $T_{recry}$

يبين الشكل التالي تأثير  $T_{recry}$  على بعض الخواص الميكانيكية



تُعلل رداءة الخواص الميكانيكية في درجات الحرارة العالية التلدين إلى نمو الحبيبات. كما أن لزمن التسخين تأثير في حجم الحبيبات، فبزيادة زمن التسخين في درجة  $T_{recry}$  يزيد من حجم الحبيبات.

وبالتالي فإن حجم الحبيبات يعتمد على (درجة التشكيل - درجة حرارة إعادة التبلور - زمن إبقاء المعدن في الدرجة المسخن إليها)

## أهم الملاحظات الواجب مراعاتها في عمليات التشكيل:

- 1) نسبة التشكيل  $H-h/h$  وهي العامل المحدد لحجم الحبيبات بعد عملية إعادة التبلور. حيث أن ارتفاع العينة قبل التشكيل و  $H$  ارتفاعها بعد التشكيل. فمع زيادة نسبة التشكيل تقل درجة الحرارة اللازمة لإعادة التبلور.
- 2) زيادة زمن التسخين يؤثر سلباً على نمو الحبيبات مثلما تؤثر زيادة درجة الحرارة.

## مفهوم التشكيل على الساخن من وجهة نظر التصد الانفعالي

التشكيل على الساخن هو شكل من أشكال التشكيل اللدن، تحدث خلاله عمليتان بأن واحد هما التصد الانفعال إعادة التبلور. أي أن التشكيل على الساخن يتم بدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور. في حين أن التشكيل على البارد يتم بدرجة حرارة أقل من درجة حرارة إعادة التبلور.

وهذا ما يُعَلَّل كون تشكيل القصدير أو الرصاص عند درجة حرارة الغرفة ينتمي إلى التشكيل على الساخن (من وجهة نظر التصد الانفعالي) في حين أن سحب (تشكيل) التنغستن ( $W$ ) عند درجة حرارة ( $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) هو تشكيل على البارد وذلك لكون درجة حرارة إعادة التبلور للرصاص والزنك بحدود ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) بينما درجة حرارة إعادة التبلور للتنغستن ( $1210\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

ونظراً لكون التشكيل اللدن للمعادن يحدث بسرعات وبنسب تشكيل مختلفة وأن عملية إعادة التبلور تطول بعض الوقت تبعاً لدرجة الحرارة، فقد تم تقسيم عمليات التشكيل إلى:

- 1- تشكيل مكتمل على الساخن
- 2- تشكيل مكتمل على البارد
- 3- تشكيل غير مكتمل على الساخن
- 4- تشكيل غير مكتمل على البارد.

## A. التشكيل المكتمل على الساخن:

ويجري بدرجات حرارة وبسرعة تشكيل بحيث أنه يمكن أثناء التشكيل أو بعده تتم عملية إعادة التبلور في كامل المعدن (الدرفلة - الحدادة - البثق)

## B. التشكيل غير المكتمل على الساخن:

وفيها لا تحدث إعادة التبلور في جميع أنحاء الجسم بعد تشكيل ونحصل بنيوياً على:

- 1- بنية ذات حبيبات منتظمة حدثت فيها إعادة التبلور كاملة.
- 2- بنية ذات حبيبات متطاولة باتجاه التشكيل لم تحدث فيها إعادة تبلور.

إن وجود نوعين من البنية بأن واحد يسبب انفعالات غير منتظمة ونقصاناً في قابلية التشكيل وزيادة احتمالية التمزق في عمليات التشكيل اللاحقة وبالتالي ستتشكل في المعدن إجهادات داخلية متبقية قد تسبب انهيار المعدن.

والتشكيل غير مكتمل يتم في درجات حرارة قريبة من إعادة التبلور لذلك ينصح بتفادي هذا النوع من التشكيل ولا تستخدم هذه العملية إلا للسبائك التي تحدث فيها إعادة تبلور ببطء شديد (سبائك الألمنيوم والمغنيزيوم)

### C. التشكيل غير المكتمل على البارد:

وتحدث في درجات حرارة لا تحدث فيها إعادة تبلور لكن كافية للاستعادة وبالتالي الحبيبات بعد التشكيل ستكون متطاولة باتجاه التشكيل، ولكن لكون درجات الحرارة في هذا النوع تكون أعلى من درجة الاستعادة بقليل فسيتم تخفيض وإراحة للإجهادات المتبقية نوعاً ما.

### D. التشكيل المكتمل على البارد:

وفي هذه العملية لا يحدث لا إعادة تبلور ولا حتى استعادة (يحدث في درجة حرارة أقل من درجة حرارة الاستعادة  $T_{rec}$ )، وبالتالي سيعكس بنين المعدن كل التغيرات التي حدثت أثناء التشكيل.

عملياً إن عمليات التشكيل على الساخن منتشرة أكثر من التشكيل على البارد وذلك للأسباب التالية:

#### **مميزات التشكيل على الساخن:**

- 1- قلة القدرة المستهلكة وذلك بسبب نقصان مقاومة التشكيل.
- 2- حدوث تجزؤ (تفتت) الحبيبات تحت تأثير التشكيل (تبعاً لدرجة الحرارة والتشكيل) وللحصول على معدن دقيق الحبيبات (خواص أعلى) يجب اختيار درجة حرارة التشكيل بحيث لا يحدث نمو للحبيبات وأن تتم عملية الإنهاء بالتشكيل على البارد.

#### **عيوب التشكيل على الساخن (مقارنة بالبارد):**

- 1- التشكيل على الساخن عادة يستخدم للسماكات والأبعاد الكبيرة.
- 2- تشكّل الأكاسيد على سطح المعدن وبالتالي عيوب جديدة قلة الدقة نوعاً ما
- 3- بسبب ظاهرة إعادة التبلور لن يتم الحصول على منتجات عالية المتانة والقساوة (صلادة) مقارنة بالمنتجات المشكلة على البارد.
- 4- يتسم المعدن المشكّل على الساخن بعدم تجانس الخواص (سواءً على امتداد المقطع العرضي أو على امتداد الطول المشكّل) وذلك بسبب صعوبة بلوغ الدقة في التحكم بدرجة حرارة كافة نقاط المعدن مما يسبب اختلافاً في حجم الحبيبات.

لذلك عموماً: يستخدم التشكيل على الساخن للمنتجات كبيرة الأبعاد. أما التشكيل على البارد فيستخدم أساساً في المراحل النهائية لتشكيل المعدن وذلك عندما تكون دقة الأبعاد مطلوبة وجودة سطح عالية وخواص ميكانيكية (متانة عالية)

## العوامل المؤثرة على قابلية التشكيل (مقاومة التشكيل)

### (1) تأثير التركيب الكيميائي على قابلية التشكيل:

إن قابلية المعادن النقية للتشكيل أكبر من سبائكها سواء أكانت ساخنة أم باردة ويمكن تفسير ذلك بأن ذرات المعدن في مستويات الانزلاق عند التشكيل لا تمنعها ولا تعيقها ذرات العناصر الغريبة الموجودة فيه سواء على شكل شوائب أو على شكل معادن مضافة عمداً.

وبالتالي فإن قابلية التشكيل للسبائك أقل من قابلية التشكيل للمعادن النقية وبصورة عامة فإن السبائك المعدنية تتفاوت في تركيباتها الكيميائية وبالتالي فإنها تتفاوت في قابليتها للتشكيل، حيث أن العناصر المضافة تؤثر على قابلية التشكيل فمثلاً :

تتحسن قابلية التشكيل بإضافة الألمنيوم (Al) أو المنغنيز (Mn) في الفولاذ مما يسبب إزالة الأكاسيد والكبريت (الكبريت و الأوكسجين يتحد معها) ومنها ما يتحد مع النتروجين (N) وهذه العناصر هي الفاناديوم (V) والتيتانيوم (Ti) وبالتالي تتحسن قابلية التشكيل وذلك لكون الأكاسيد والنتريدات الموجودة في المعدن تسيء لعملية التشكيل فوجود الشوائب في الفولاذ يزيد مقاومة التشكيل، وأيضاً تزداد مقاومة التشكيل للفولاذ بزيادة نسبة الكربون.

### (2) تأثير البنية البلورية على قابلية التشكيل:

المعادن والسبائك المعدنية ذات التركيب الكيميائي (البنية) المتجانس تكون قابلية التشكيل أكثر من غير المتجانسة، علماً أن المعادن النقية جميعها ذات تركيب كيميائي متجانس. وتبين التجارب أن مقاومة التشكيل للفولاذ ذو البنية الفريتية أقل من مقاومة التشكيل لباقي أنواع الفولاذ.

وأن مقاومة التشكيل للفولاذ الأوستنيتي المحتوي على كربيد الحديد تكون أكبر أي أن وجود الكربيدات يزيد من مقاومة التشكيل.

### (3) تأثير حجم البلورة على قابلية التشكيل:

البلورات الصغيرة تكون أكثر ملائمة للتشكيل مقارنة بالبلورات الكبيرة وذلك عائد لكون خصائص المعدن ذو البنية البلورية الناعمة أفضل من الخشنة. ففي البنية الناعمة عند التشكيل تزداد المتانة في حين لا تتناقص الاستطالة كثيراً مقارنة بالبنية الخشنة. وحسب التجارب تبين أن حجم البلورة المناسب هو (7) حسب [ASTM] ، أما الشكل المناسب للبلورة هو الكروية .

ملاحظة: تبين التجارب أن قابلية التشكيل للفولاذ تتحسن مع نقصان نسبة الكربون ولكن صناعياً هذا غير مناسب اقتصادياً بأن يستخدم الفولاذ المنخفض الكربون بنسب متدنية جداً. لذلك أثبتت التجارب أن أفضل قابلية لتشكيل الفولاذ تقع ضمن المجال  $C\% (0.04-0.08)$

ولكن إذا تم التشكيل في درجات حرارة تقارب  $(723\text{ C}^\circ)$  فقد يتشكل السمنتيت الثالثي على حدود البلورات وهذا السمنتيت يسيء لعملية السحب لأنه قاسي وهش لذا فإنه سيتفتت أثناء سحبه (أي تقلل من الاستطالة وبالتالي تقل قابلية التشكيل) ويمكن تقادي تبلور السمنتيت الثالثي عملياً بالتبريد السريع للفولاذ تحت الخط  $723\text{ C}^\circ$  (وبالتالي يتشكل لكن غير مجمع أو متصل)

ملاحظة: حجم الحبيبات حسب المواصفات السوفيتية تحددها العلاقة  $f = 500 \times 2^{8-n}$  حيث  $f$  : مساحة الحبيبة بالمكرون مربع

و n : رقم الحبيبات حسب المواصفات القياسية : (1,2,3,4,5,6,7,8): n وتعتبر الحبيبات من رقم (1) حتى (4) كبيرة ومن (5) حتى (8) صغيرة

#### (4) تأثير المواصفات الميكانيكية على قابلية التشكيل:

من نتائج اختبار الشد للمعادن يتم الحصول على أربع محددات أساسية ونتائج للاختبار تعتبر خصائص ميكانيكية مهمة وهي:

- حد متانة المعدن:  $\sigma_{ut}$  [ Kgf/cm<sup>2</sup> ] Tensile Strength
- حد الانسياب (الخصوع):  $\sigma_y$  [ Kgf/cm<sup>2</sup> ] Yield Limit
- الاستطالة النسبية:  $\delta\%$  [ % ] Elongation
- التخصر النسبي (النقصان بالمقطع النسبي):  $\Psi\%$  [ % ] Reducation

والمهم ذكره هو أن قابلية التشكيل لا يمكن الحكم عليها من خلال أحد هذه البارامترات فقط ولكن من الضروري أن تكون متانة الشد مختلفة عن حد الانسياب و أن تكون الاستطالة النسبية عالية.

وعموماً يُستحسن في عمليات التشكيل أن تحقق النسبة التالية:  $\left[ 0.6 < \frac{\sigma_y}{\sigma_{ut}} < 0.8 \right]$  إضافة وجود قيم عالية للاستطالة النسبية

#### (5) تأثير سرعة التشكيل على قابلية التشكيل:

و المقصود هنا في سرعة التشكيل (v) بسرعة الآلة أي سرعة أداة التشكيل فمثلاً: (سرعة المطرقة الآلية : بحدود  $V=5-7$  [m/s] سرعة المكابس الهيدروليكية :  $V=0.5$  [m/s] وهنا يجب التمييز بين التشكيل على البارد والتشكيل على الساخن :

- ففي التشكيل على البارد: لا تؤثر سرعة التشكيل كثيراً في مقاومة التشكيل. فمثلاً تبين أن: قوة السحب لسلك فولاذي وسلك نحاسي عند سرعات سحب : من  $[1 \text{ mm/s}]$  وحتى  $[400 \text{ mm/s}]$  لم تتغير كثيراً . أي أن مقاومة التشكيل لم تتغير أما المعادن ذات درجة حرارة إعادة التبلور المنخفضة كالرصاص ( $20C^{\circ}$ ) فإن مقاومة التشكيل تزداد مع زيادة سرعة التشكيل
- أما عند التشكيل على الساخن: فيجب الأخذ بعين الاعتبار درجة الحرارة إعادة التبلور التي ستزيل التصلد الانفعالي حيث تبين بأن مقاومة التشكيل تزداد بزيادة سرعة التشكيل ونقصان درجة الحرارة. وبالتالي فإن مقاومة التشكيل عند التشكيل الديناميكي أكبر بكثير من مقاومة التشكيل عند التشكيل الاستاتيكي (البطيء).

#### (6) تأثير درجة الحرارة على مقاومة التشكيل:

لدرجة الحرارة تأثير مهم على مقاومة التشكيل حيث تنخفض مقاومة التشكيل بارتفاع درجات الحرارة فوق درجة حرارة إعادة التبلور , فالفولاذ تتحسن قابليته للتشكيل بارتفاع درجة حرارته حيث أنه بالتسخين تزداد قابلية التشكيل نتيجة انخفاض المتانة ولكن على حساب زيادة الاستطالة النسبية , أما بالنسبة للفونت: ( الحديد الصلب ) فهو هش في درجات الحرارة العادية ولا يمكن تشكيله , وبزيادة درجة حرارته بالتسخين فإن حدي المرونة والمتانة يتناقصان ولكن الاستطالة والتخصر لا يتغيران تقريباً حتى لو سخناه لدرجة حرارة قريبة من الانصهار. ولكن يجب مراعاة التسخين ضمن حدود بحيث لا تحدث ظواهر تسيء للمعدن مثل:

التمادي والإفراط بالتسخين يجب ألا يصل لدرجة يحدث فيها احتراق (أي يحدث ذوبان للمنطقة الحدودية بين الحبيبات) حيث سيصبح المعدن غير قابل للتشكيل نهائياً يجب تجنب التسخين المفرط أو الإبقاء الطويل في درجة حرارة عالية حيث يحدث نمو للحبيبات مما يسيء للخصائص الميكانيكية ولقابلية التشكيل أيضاً

(7) تأثير العيوب السطحية على مقاومة التشكيل: تزداد مقاومة التشكيل بزيادة العيوب السطحية (تشققات، حروز، تثلّجات، أكاسيد)

(8) تأثير الاحتكاك على مقاومة التشكيل: بزيادة الاحتكاك (معامل الاحتكاك الكبير) تزداد مقاومة التشكيل.

## عمليات التشكيل على البارد Cold forming

يجري التشكيل على البارد في درجة حرارة الغرفة أو في درجة حرارة قريبة منها. وبصورة عامة فإنه بالإمكان تشكيل المعادن على البارد في درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة، حيث إن الحد الفاصل بين التشكيل على البارد والتشكيل على الساخن هو في درجة حرارة إعادة التبلور التي تكون ولمعظم المعادن أعلى من درجة حرارة الغرفة، يتميز التشكيل على البارد بعدد من الميزات التي تؤهله للتنافس مع بقية عمليات التشكيل، وهذه الميزات هي:

- 1- يسبب التشكيل على البارد ارتفاعاً في الخواص الميكانيكية مثل الصلادة ومقاومة الشد وانخفاضاً 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 فإن التشكيل على البارد يستخدم كمرحلة نهائية لتشكيل المنتجات المشكلة على الساخن.

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

- 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 أقل منه في التشكيل على الساخن تحت نفس الجهد.
- 4- زوال مطيلية المنتجات بعد تشكيلها على البارد.

إن العمليات التي تتطلب شد أو سحب المعدن خلال القالب تكون دائماً عمليات تشكيل على البارد. أنواع التشكيل على البارد:

### 1- الدرفلة على البارد Cold rolling

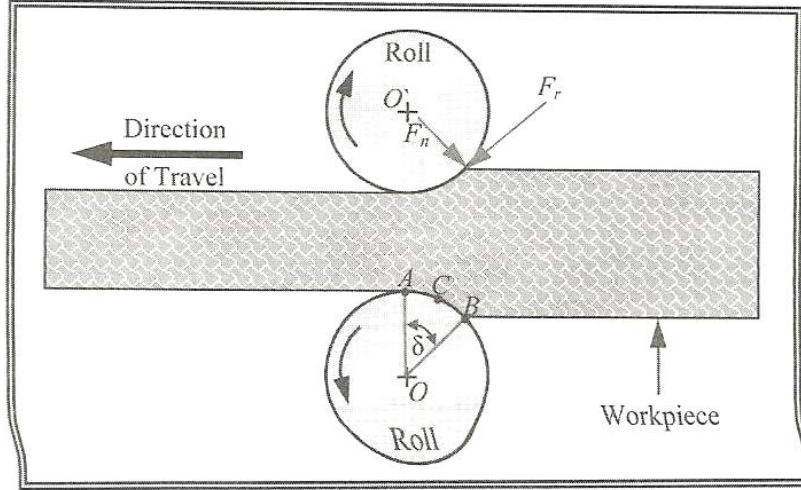
الدرفلة هي عملية تشكيل المعدن بين درافيل دوارة عن طريق ضغطه بينها من أجل الحصول على الشكل والحجم المطلوبين، تتضمن عملية التشكيل هذه نقصان في سمك المعدن المشكل مع زيادة في طوله وعرضه.

تستخدم الدرفلة للحصول على الألواح، القضبان، البكرات، الأنابيب، والأشرطة المعدنية وغيرها من المنتجات والأشكال. ومن المعادن التي من الممكن درفلتها على البارد هي النحاس، أما الفولاذ فيتم درفلته على الساخن.

تؤدي الدرفلة على البارد المهام الآتية:

- 1- ضبط الأبعاد والمقاسات إلى حد بعيد.
- 2- تحسين المظهر الخارجي وإزالة الطبقات المتأكسدة.
- 3- تحسين بعض الخواص الميكانيكية كالقساوة ومقاومة الشد.





### عملية الدرفلة

هنالك خواص مهمة يجب توفرها في المعادن التي يتم درفلتها وأهم هذه الخواص هي قابلية المعدن للانسياب نتيجة الضغط المسلط عليه وبدون أن ينكسر كذلك يجب أن تكون له قوة تحمل كبيرة حتى لا يتمزق أو يتشوه تحت الضغط.

ويمكن حساب مقدار زاوية الاتصال ( $\delta$ ) بين الدرفيل والمعدن المشكل من المعادلة التالية:

$$\sin \delta = 1 - \frac{h_o - h_f}{D}$$

حيث إن:

$h_o$  = سمك المشغولة قبل الدرفلة (mm).

$h_f$  = سمك المشغولة بعد الدرفلة (mm).

$D$  = قطر الدرفيل (mm).

إن مقدار الدرفلة (الانضغاط في المعدن) يزداد بزيادة قطر الدرفيل ونتيجة لهذه العملية يزداد عرض وطول المشغولة ويقل سمكها. تسمى نسبة طول المشغولة بعد الدرفلة إلى طول المشغولة قبل الدرفلة بمعامل الاستطالة ( $K$ ) والذي يمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$K = \frac{I}{L} = \frac{F}{f}$$

حيث:

$I$  = طول المشغولة بعد الدرفلة (mm).

$L$  = طول المشغولة قبل الدرفلة (mm).

$F$  = مساحة مقطع المشغولة قبل الدرفلة ( $\text{mm}^2$ ).

$f$  = مساحة مقطع المشغولة بعد الدرفلة ( $\text{mm}_2$ ).

## 2- عمليات السحب على البارد Cold drawing

تتم هذه العمليات على البارد وتتضمن تشكيل القضبان المعدنية كبيرة القطر نسبياً إلى الأسلاك وكذلك تشكيل الصفائح المعدنية إلى أوعية بواسطة السحب العميق. وتعتبر المطيلية العالية نسبياً من أهم خواص المواد المعدنية التي تؤهلها لعمليات التشكيل بالسحب على البارد. يسمى السحب على البارد في بعض الأحيان بضبط الأبعاد نظراً لدقته العالية بالأبعاد وجودة السطح المنتج بعد السحب.

هنالك عدد من الميزات التي تنفرد بها عملية السحب على البارد وهي:

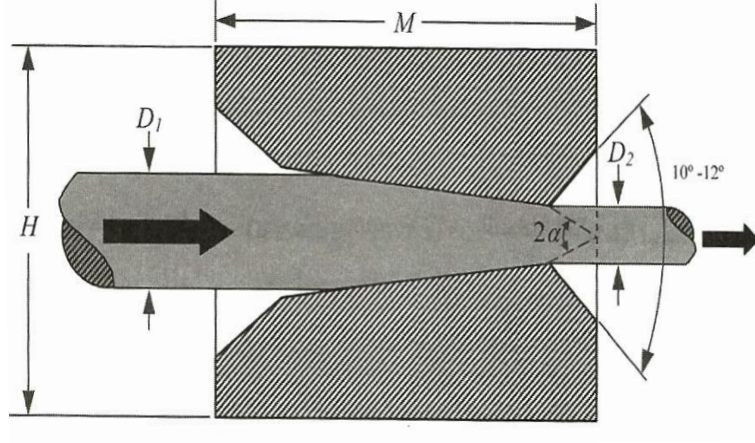
- 1- إمكانية الحصول على منتجات ذات دقة عالية في أبعاد المقطع العرضي وسطح ذو جودة عالية.
- 2- يمكن استخدام السحب لتشكيل الأعمدة المجوفة وغير المجوفة والتي لا يمكن تشكيلها بالطرق الأخرى.
- 3- يحقق المزج بين عملية التشكيل على البارد والمعالجة الحرارية إكساب المعدن خواص ميكانيكية عالية.
- 4- عدم فقدان أجزاء من المعدن على هيئة رايش مثلما يحدث في عمليات القطع.
- 5- يعتبر السحب على البارد عملية إنتاجية وأقل صعوبة في التنفيذ من باقي الطرق.

**تصنف عمليات السحب على البارد إلى نوعين أساسيين هما:**

### A. سحب الأسلاك Wire Drawing

تصنع الأسلاك بالسحب على البارد من قضبان مصنوعة بواسطة الدرفلة على الساخن، وذلك بإمرار هذه القضبان من فتحات قوالب خاصة تعمل على تخفيض قطرها وزيادة طولها على عدة مراحل إلى أن تتحول إلى أسلاك بالأقطار المطلوبة. وقبل عملية السحب من الضروري تنظيف القضبان من طبقات الاوكسيد السطحية بمعاملتها ببعض الحوامض وتستعمل عادة بعض مواد التزييت لتسهيل عملية السحب نظراً لزيادة الصلادة عند السحب على البارد بسبب ازدياد مقاومة المعدن للتشكيل. وعند تعذر الاستمرار في التشكيل تجري العملية على مرحلتين:

- 1- السحب إلى أدنى قطر ممكن.
  - 2- التسخين أو التخمير لغرض تلدين القطعة ومن ثم الاستمرار في السحب وقد يتكرر تسخين المعدن عدة مرات إلى أن يتم الحصول على القطر المطلوب. القوالب المستعملة تصنع عادة من مواد معدنية تمتاز بقساوتها ومقاومتها العالية وأكثرها استعمالاً هو كربيد التنغستين وقد تُستعمل أيضاً قوالب من الألماس لبعض الأغراض الخاصة.
- تُستعمل هذه العملية بشكل واسع لسحب الأسلاك من النحاس والألمنيوم والفولاذ.



عملية سحب الأسلاك

ويمكن حساب إجهاد السحب من المعادلة التالية:

$$\sigma_d = Y \left[ 1 + \frac{\tan \alpha}{\mu} \right] \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^{\mu \cot \alpha} \right]$$

حيث:

$\sigma_d$  = إجهاد شدّ عملية السحب ( $N/mm^2$ ).

$Y$  = إجهاد الخضوع للمعدن المسحوب ( $N/mm^2$ ).

$\alpha$  = زاوية نصف القالب.

$\mu$  = معامل الاحتكاك.

$A_2$  = مساحة المقطع بعد السحب ( $mm^2$ ).

$A_1$  = مساحة المقطع قبل السحب ( $mm^2$ ).

ويتم حساب زاوية نصف القالب من المعادلة التالية:

$$\sin \alpha = \frac{D_1 - D_2}{2(0.9)D_2}$$

حيث:

$D_1$  = القطر قبل السحب (mm).

$D_2$  = القطر بعد السحب (mm).

كذلك يمكن حساب قوة السحب من المعادلة التالية:

$$F = A_2 \times \sigma_d$$

## B. السحب العميق Deep Drawing

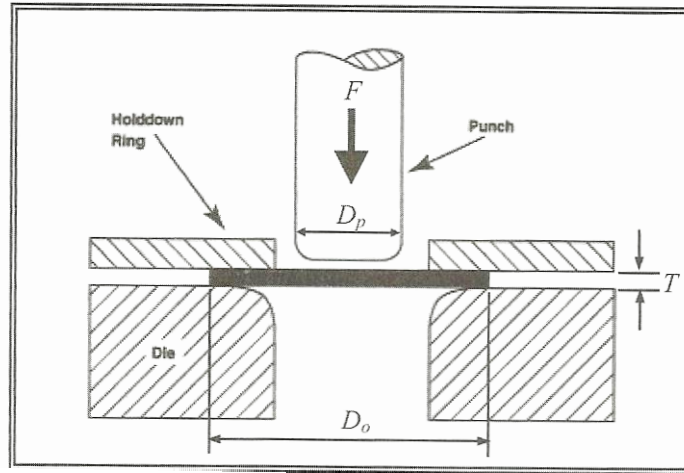
وهي عبارة عن تشكيل لوح معدني بسماكة معينة بواسطة مكبس دائري المقطع (غالباً) يضغط على اللوح ويكبسه داخل قالب دائري المقطع أيضاً والشكل الناتج يكون عبارة عن وعاء بسماك يساوي الفرق بين قطر المكبس والقطر الداخلي للقالب.

وللقيام بعملية السحب العميق بنجاح وإنتاج منتجات خالية من العيوب لا بد من توفر العوامل التالية:

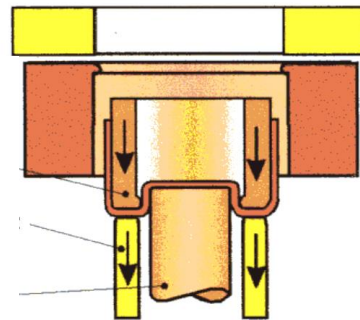
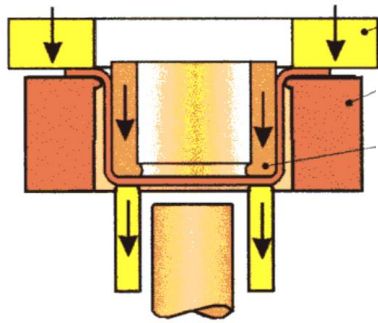
- 1- لدونة ومقاومة شد المعادن المراد سحبها يجب أن تكون عالية.
- 2- المكبس والقالب المستعمل يجب أن يمتازا بسطوح ذات نعومة عالية وإنهاء سطحي جيد.
- 3- استعمال مواد لتزييت القالب والمكبس يسهل عملية التشكيل ويقلل من القوى الضرورية للتشكيل.

وبالإمكان إنتاج أوعية ذات أعماق كبيرة وذلك بإجراء العملية على عدة مراحل كما في عملية سحب الأسلاك فيجري أولاً التشكيل إلى عمق معين على البارد ثم يسخن الوعاء الناتج فتزداد ليونته ويتقبل مقداراً إضافياً من التشكيل ليجري سحبه مرة أخرى، وقد تتكرر عملية السحب والتسخين عدة مرات إلى حين تحقيق العمق المطلوب.

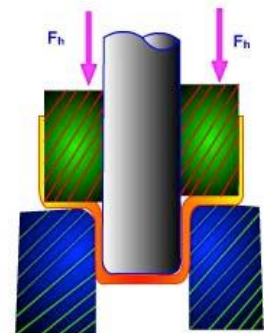
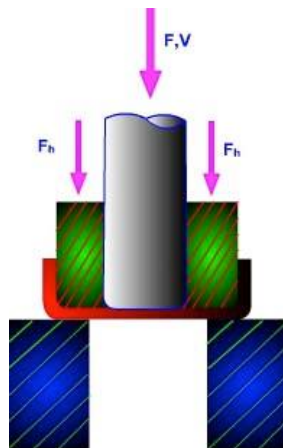
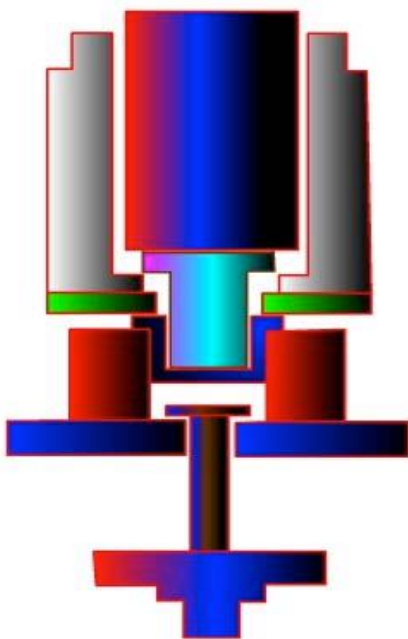
تُستخدم عملية السحب العميق بشكل واسع في إنتاج أوعية الطهي وهياكل السيارات وهياكل الثلجات واسطوانات الغاز السائل وأحواض الغسل المنزلية.



عملية السحب العميق



عملية السحب العميق في حالة السحب العكسي (الخلفي)



## Deep drawing ratio

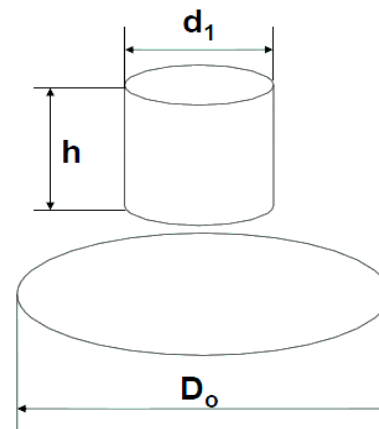
- Limiting Drawing Ratio (LDR) –  
 $\beta = D_o/d_n$
- where  $D_o$  is the diameter of the first (largest) blank and  $d_n$  is the smallest cup diameter that can be successfully drawn
- Drawing Ratio in general:  
 $\beta_i = d_i/d_{i+1}$
- First drawing  $\beta_1 = 2,2 \dots 1,8$   
redrawing  $\beta_i = 1,4 \dots 1,1$   
(copper, aluminium, mild steel)

## Calculation of blank diameter

- In case of cup-like components the blank is circular
- Area of blank equal to the area of cup:

$$\frac{D_o^2 \pi}{4} = \frac{d_1^2 \pi}{4} + d_1 \pi h$$

$$D_o = \sqrt{d_1^2 + 4d_1 h}$$



## Calculation of drawing force

Drawing force:  $F_{d,max} = n \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot UTS$

Example:

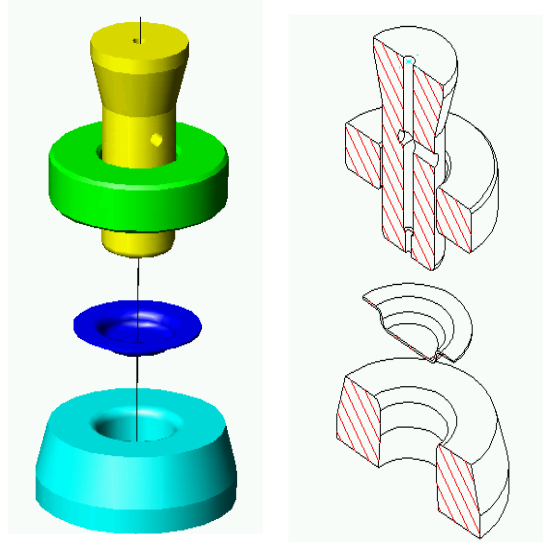
Cup diameter:  $d = 45,7 \text{ mm}$

Sheet thickness:  $t = 0,5 \text{ mm}$

Ultimate Tensile Strength:  $UTS = 320 \text{ MPa}$

Drawing coefficient:  $n = 0,7 \dots 0,95$

$$F_{d,max} = 0,9 \cdot \pi \cdot 45,7 \cdot 0,5 \cdot 320 = 20\ 674 \text{ N}$$



### الاعتبارات الفنية في قوالب السحب العميق:

- 1- الخلوص بين موجبة القالب Punch ذو القطر  $(D_p)$  والقالب Die ذو القطر  $(D_o)$  يتراوح بين  $(7 \sim 14 \% t)$  حيث  $t$ : سماكة الصفيح.
- 2- تجري عملية السحب المتعدد وفق سلسلة من المراحل يزداد في كل مرحلة منها مقدار السحب. أي أن عملية تخفيض قطر وأبعاد المسحوبة يتم وفق عدة مراحل لكل مرحلة عامل تخفيض خاص يرمز له بـ  $m$  وأول نسبة تخفيض لقطر الصفيحة الابتدائي (للغفل) تكون عادة  $m_1 = 0,6$ . ثم  $m_1 = 0,8$  ثم  $m_1 = 0,8$  ثم  $m_1 = 0,8$  ... مع مراعاة نوع المعدن المسحوب حيث تتعلق نسبة التخفيض بنوع المعدن المسحوب وفق الجداول الفنية الخاصة بعملية السحب.
- 3- يتم تحديد قطر (أبعاد) الصفيحة الأولية من خلال قوانين تفريد السطوح والمبينة في الجدول أدناه.



4- تُحسب قيمة قوة السحب من العلاقة التالية:

$$F_{d \max} = n \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot \sigma_{ut}$$

$n$ : عامل السحب ويتعلق بنوع المعدن.  $t$ : سماكة الصفيح.

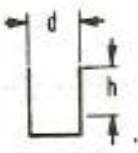
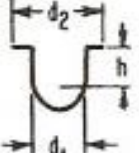
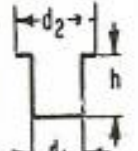
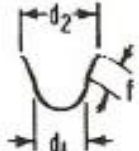
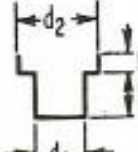
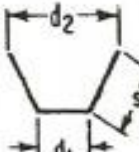

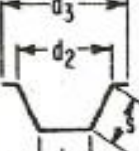

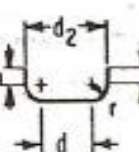
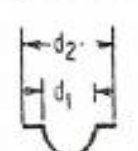
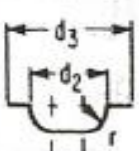
$d$ : القطر الداخلي للمعدن المسحوب.  $\sigma_{ut}$ : متانة معدن الصفيح على الشد (إجهاد الشد)  
5- تزيد قيمة نصف قطر تقوس حافة القالب  $R_d$  عن سماكة الصفيح من خمس إلى عشرة

أمثال أي:  $R_d = 5 \sim 10 t$

6- يجب تطبيق قوة لمسك حواف الصفيح أثناء عملية السحب لمنع حدوث تشققات على الحواف، وقوة ماسك الصفيح يجب أن تتراوح بين  $(0.5 \sim 1 \sigma_{ut})$  في حين يتوجب سحب الصفيح بدون ماسك في حال تحققت العلاقة الآتية:

$$D_o - D_p < 5 t$$

جدول معادلات حساب قطر المعدن الخام في عمليات السحب العميق

 $\sqrt{d^2 + 4dh}$	 $\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1h}$
 $\sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$	 $1.414 \sqrt{d_1^2 + f(d_1 + d_2)}$
 $\sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$	 $\sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2)}$
 $\sqrt{d_1^2 + 4d_1h + 2f(d_1 + d_2)}$	 $\sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$
 $1.414d$	 $\sqrt{d_2^2 + 2.28rd_1 - 0.56r^2 + 4d_2h}$
 $\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$	 $\sqrt{d_3^2 + 2.28rd_2 - 0.56r^2}$

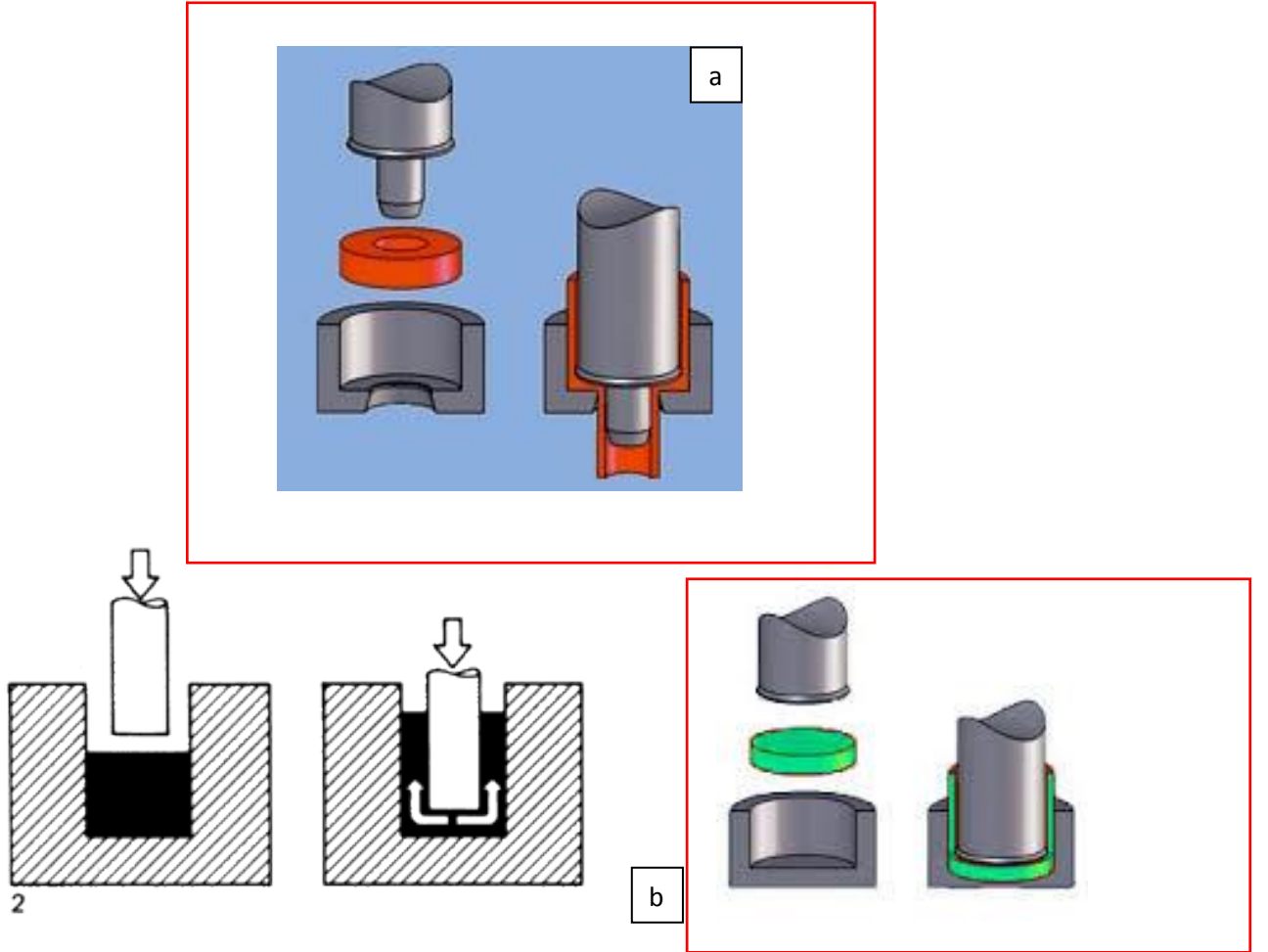


### 3- البثق على البارد (البثق الصدمي) Cold Impact Extrusion

تتلخص عملية البثق الصدمي لتشكيل كتلة معدنية على شكل قرص موضوع داخل قالب قليل العمق بواسطة مكبس يتم إسقاطه على القرص بقوة كبيرة نسبياً. ينساب معدن القرص محيطاً بالمكبس ومنتخداً شكله بصدمة (ضربة) واحدة. وتُستعمل هذه الطريقة لتشكيل المعادن اللينة كالرصاص والألمنيوم والقصدير والنحاس. كما وتُستخدم هذه الطريقة لتشكيل بعض المعادن على الساخن كالزنك الذي يتم بثقه صدمياً بعد التسخين إلى حوالي (140-180°C)

تُستعمل هذه الطريقة بشكل واسع لإنتاج الأنابيب أو العُلب رقيقة الجدران نسبياً وبأطوال تصل إلى حوالي 300mm وأقطار تتراوح بين (10-120)mm ومن منتجات البثق الصدمي عُلب معاجين الأسنان وبعض عُلب العقاقير الطبية حيثُ تمتاز عملية البثق الصدمي بالكفاءة والإنتاجية العالية.

يعرض الشكل (a) قالباً لصناعة الأنابيب المفتوحة النهايتين. أما الشكل (b) فيعرض قالباً لصناعة العُلب أو الأنابيب المغلقة من إحدى نهايتها.

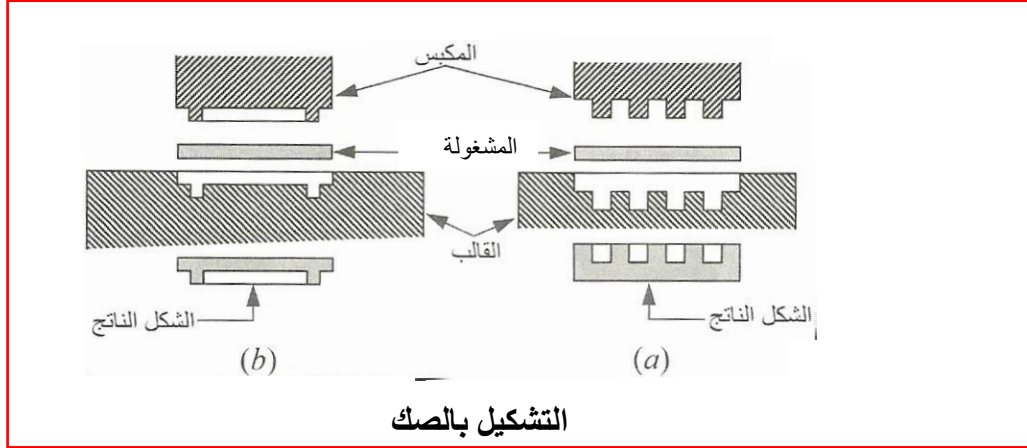


البثق الصدمي (الأنبوبي)

#### 4- التشكيل بالصك والختم Coining and Embossing

عملية الصك هي عملية تشكيل للكتل أو الأقراص المعدنية الصغيرة نسبياً بين مكسبين يحتوي سطحهما على الهيئة أو الشكل المراد إعطاؤه لوجهي الكتلة أو القرص المعدني.

يجب أن يضمن تصميم القالب عدم السماح بانسياب المعدن إلى الخارج تحت تأثير الضغط. وتستعمل هذه الطريقة بصورة خاصة لتشكيل قطع النقود المعدنية والميداليات وأجزاء الآلات الكاتبة وغيرها.



أما عملية الختم فتستعمل عادةً كمرحلة نهائية لإعطاء الشكل النهائي لقطعة سبق وأن سُكَّلت بالصك. وليس الغرض من التشكيل بالختم إحداث تغيير كبير في شكل أو هيئة القطعة بل إنها تقتصر على إحداث تغييرات طفيفة في الشكل وضبط دقيق لأبعاد ومقاسات القطعة المشكَّلة فيمكن اعتبار أن عملية الختم هي عملية إنهاء لعملية الصك.

#### بعض عمليات التشكيل الخاصة:

هنالك بعض العمليات الخاصة لتشكيل المعادن إن هذه العمليات والتي تمتاز عادة بتكاليفها الباهظة وحاجتها إلى أجهزة معقدة أحياناً تستخدم عادة لتشكيل المواد المعدنية التي لا يمكن تشكيلها بالأساليب الأنفة الذكر أو على الأقل يصعب تشكيلها بتلك الأساليب. ومن ناحية أخرى فإن هنالك منتجات ذات مواصفات خاصة قد لا يمكن الحصول عليها عند تشكيلها بالطرق الاعتيادية فتنتج عادة بطرق خاصة أهمها التلييد (تشكيل المعادن من مساحيقها).

#### تشكيل مساحيق المعادن Powder Metallurgy

لقد استعملت هذه الطريقة لتشكيل المعادن والسبائك التي لا يمكن تشكيلها بعمليات التشكيل الميكانيكي أو عمليات التشغيل كالتنغستين والموليبدنيوم وسبائكهما وخاصة كربيد التنغستين وكربيد الموليبدنيوم ذوو القساوة الكبيرة ودرجات الانصهار المرتفعة. ثم اتسع استعمالها إلى أن أصبح يشمل عدداً كبيراً من المعادن والسبائك الواسعة الانتشار كالألومنيوم والنحاس والفولاذ.

تتلخص عملية تشكيل مساحيق المعادن بثلاثة عمليات أساسية هي:

- 1- تحضير مساحيق المعادن ومزجها.
  - 2- كبس المساحيق بواسطة مكابس في قوالب تعطي للمسحوق الشكل أو الهيئة المطلوبة.
  - 3- تلييد المنتجات المكبوسة وذلك بتسخينها إلى درجات حرارة عالية نسبياً.
- 1- **المزج (mixing):** يمتلك مزج المساحيق المعدنية أهمية كبيرة من حيث تجانس المنتج النهائي. ولغرض التحكم في مسامية المنتج وجعلها بالمقدار المناسب تضاف المساحيق السبائكية والمواد المزيتة والمواد المتطايرة إلى المسحوق الأساسي أثناء عملية الخلط والمزج.
  - 2- **الكبس (compacting):** ويتم فيها تعريض المساحيق إلى ضغط عالي بوجود درجة الحرارة ويسمى الناتج بالقالب الأخضر ويمكن أن يتم الكبس على البارد أو على الساخن. تكون عملية الكبس ذات أهمية كبيرة لكونها تحدد كثافة وتجانس المنتج النهائي. إن القدرة على الحصول على كثافة ضغط مناسبة تكون محددة غالباً بقابلية التصنيع بطريقة ميتالورجيا المساحيق.
  - إن الغرض من عملية الكبس هو جمع حبيبات المسحوق المعدني داخل الشكل المطلوب وحسب الأبعاد المرغوب بها آخذين بالحسبان التغيرات التي تحصل في العملية اللاحقة للكبس وهي التلييد.
  - 3- **التلييد (sintering):** يعرض القالب لدرجات حرارة أقل من درجة الانصهار للمعدن الصلب وبدون ضغط. إن الغرض من عملية التلييد هو الحصول على الخواص المرغوب بها للمنتج النهائي. وأهم منتجات هذه الطريقة: المحامل الذاتية التزبييت وأسلاك المصابيح الكهربائية ورؤوس أقلام القطع.

**تمتاز عملية تشكيل مساحيق المعادن عن غيرها من عمليات التشكيل بما يلي:**

- 1- إن منتجات هذه العملية لا تحتاج إلى عمليات إضافية للتشكيل أو التشغيل حيث يمكن استعمالها مباشرة.
- 2- خطوات إنتاج المنتجات سهلة وذات كفاءة إنتاجية عالية.
- 3- تتوفر إمكانية إنتاج منتجات لا يمكن تشكيلها أو تكون صعبة التشكيل بالطرق الاعتيادية للتشكيل والتشغيل.
- 4- توفر إمكانية كبيرة لتغيير التركيب الكيميائي للمنتجات عن طريق التحكم في مزيج المساحيق للحصول على الخواص المطلوبة.

**أهم عيوب هذه الطريقة هي:**

- 1- صعوبة إنتاج المنتجات ذات الأشكال المعقدة.
- 2- معظم منتجات هذه الطريقة تكون ذات مقاومة ومثانة أقل من منتجات عمليات التشكيل الأخرى.
- 3- ارتفاع تكاليف صناعة القوالب والمكابس المستعملة في العملية.

## تشكيل المعادن بالبتق The Extrusion

### البتق:

عملية من عمليات التشكيل اللدن للمعادن عالية ومنخفضة اللدونة وتتم بإجبار المعدن على الخروج من وعاء خاص (الحاوية Container) عبر فتحة أو عدة فتحات موجودة على القالب (Die) وذلك تحت تأثير قوة ضغط المكبس باتجاه فجوة القالب.

### مجالات استخدام البتق:

- تستخدم للتشكيل اللدن للمعادن على البارد والساخن.
- تستخدم للتشكيل اللدن للمعادن عالية اللدونة ومنخفضة اللدونة .
- تستخدم لتشكيل المعادن بالحالة الصلبة أو حالة المساحيق أو حالة المواد غير المعدنية مثل ( المواد البلاستيكي )

### مميزات تقنية التشكيل بالبتق:

- إمكانية إجراء التشكيل اللدن بقيم عالية لمعامل زيادة الطول.
- إمكانية الحصول على أي مقطع عرضي لا يمكن الحصول عليه بالتقنيات الأخرى.
- استثمار نفس الآلة لعدة منتجات ومقاطع عرضية وذلك فقط باستبدال القالب.
- منتجات تقنية البتق ذات قيم عالية الجودة الأسطح ودقة الأبعاد.

### عيوب تقنية البتق:

- ارتفاع استهلاك المعدن اللازم لإنتاج وحدة المنتج بسبب فواقد البتق المهدورة.
- في بعض الحالات يظهر بشكل واضح عدم تجانس في الخواص الميكانيكية على امتداد طول المنتج ومقطعه العرضي.
- الارتفاع النسبي لثمن أدوات التشكيل.

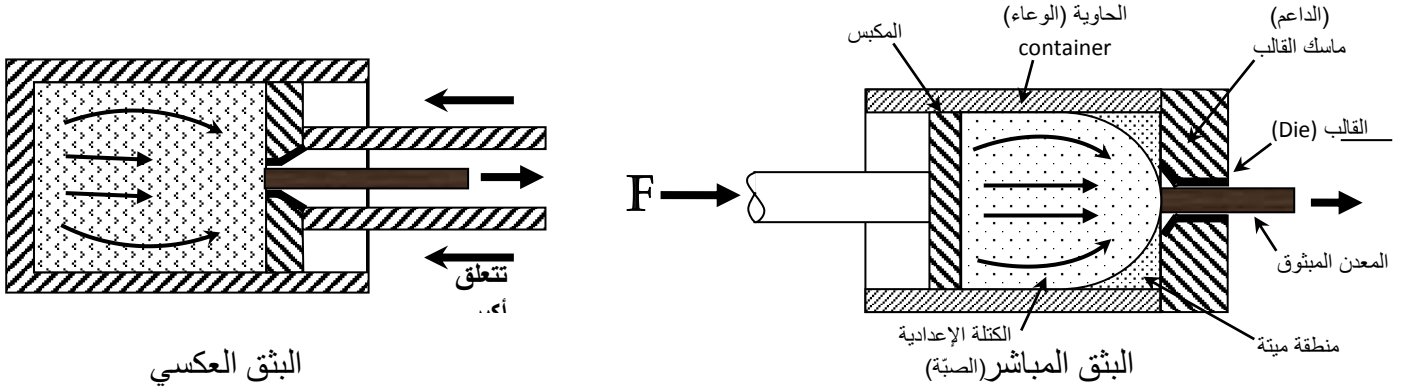
### طرق تشكيل المعادن بالبتق:

- (1) البتق المباشر Direct extrusion
- (2) البتق العكسي: Inverted extrusion

يعتمد هذا التصنيف على وجود أو عدم وجود حركة انتقالية بين المعدن المراد بثقه وجدران الوعاء ( container ) باستثناء المناطق الميتة (حول قالب البتق).

ففي البتق المباشر يتحرك الجسم الجاري تشكيلة على سطح الوعاء (السطح الداخلي)

أما في البتق العكسي فإن حركة الجسم الجاري تشكيلة تنعدم على جدار الوعاء.



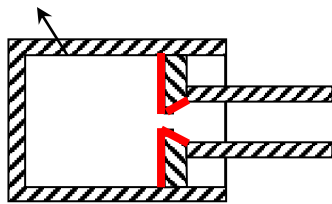
إن سريان المعدن أثناء عملية التشكيل يتصف بعدم الانتظام و ذلك عائدٌ للآتي :

- مقدار معامل زيادة الطول (معامل الاستطالة).
- درجة الحرارة.
- سرعة التشكيل .
- ظروف الاحتكاك التلامسي.
- خصائص المادة المراد بثقها.

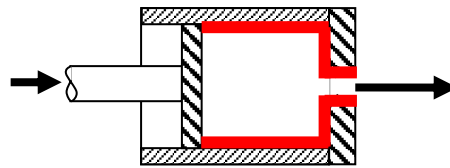
ففي عملية التشكيل بالبثق المباشر تكون قوى الاحتكاك أكبر من قوى الاحتكاك المطلوب التغلب عليها في البثق العكسي.

فقوى الاحتكاك بالبثق المباشر تكون على طول جدران الوعاء الجاري للكتلة الإعدادية وعلى سطح القالب وعلى سطح فتحة الخروج. أما البثق العكسي فقوى الاحتكاك هي فقط على سطح القالب و سطح فتحة الخروج.

(احتكاك على سطح الوعاء الحاوي)  
غير موجود بالبثق العكسي



قوى الاحتكاك ( البثق العكسي )



قوى الاحتكاك ( البثق المباشر )

وبالتالي فإن الطاقة اللازمة لعملية التشكيل العكسي أقل مقارنة بالبثق المباشر . أي أن قوة البثق في البثق المباشر أكبر من قوى البثق العكسي (قوة البثق المباشر تزيد تقريباً 1.5 حتى 2 مرة من قوة البثق العكسي) ورغم ذلك فإن الطريقة الأكثر شيوعاً هي البثق المباشر

### القوة اللازمة لعملية البثق:

يعتمد قوى التشكيل بالبثق على خواص المعدن المراد تشكيله - درجات الحرارة - أبعاد الكتلة الأولية - نسبة وسرعة التشكيل - الشكل الهندسي - مقدار الاحتكاك التلامسي ..... ولذلك حتى الآن لم يتم إيجاد العلاقة النهائية لتحديد قيمة قوة البثق لكن عموماً يمكن تعيينها بوحدة الـ (Kg) حسب العلاقة التالية :

$$F = w_1 \sigma_y \left[ \frac{2L}{D} + \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{w_1}{w_2} + \frac{4\ell_f}{d} \right]$$

حيث :  $w_1$  : مساحة مقطع الكتلة الإعدادية [mm<sup>2</sup>]

$w_2$  : مساحة مقطع المنتج [mm<sup>2</sup>]

$\sigma_y$  : اجهاد خضوع المعدن عند درجة حرارة التشكيل [Kg/mm<sup>2</sup>]

$L$  : طول الكتلة الإعدادية في لحظة بدء خروج المعدن المبتوق [mm]

$D$  : قطر الكتلة الإعدادية [mm]

$d$  : قطر الجزء الاسطواني لفتحة الاسطمية ( القالب ) [mm]

$\alpha$  : زاوية رأس مخروط الاسطمية [rad]

$\ell$  : طول الجزء الاسطواني لفتحة الاسطمية [mm]

$f$  : معامل الاحتكاك  $\approx 0.1$

### أدوات ومعدات التشكيل بالبثق :

نادراً ما تستخدم المكابس الميكانيكية في عمليات البثق. في حين تستخدم المكابس الهيدروليكية (الأفقية الشاقولية) والتي تقدر فيها قوة البثق بالقيم التالية : \* 3500 \* 2500 \* 1500 \* 100 P=25000 ton  $\Rightarrow$  5000 [ton] أكثر المكابس انتشاراً .

وتتصف المكابس الهيدروليكية : ببساطة التصميم - والقدرة على إعطاء قوى بثق كبيرة - والحماية ضد زيادة الحمل - والتحكم بسرعة حركة المكبس الضاغط.

### أدوات تشكيل بالبثق :

أدوات التشكيل بالبثق هي : [ الوعاء (الحاوية) - القالب - قرص المكبس - ساند القالب ]. وهذه الأدوات تعمل في ظروف صعبة من الضغط ودرجة الحرارة. حيث تصل درجات الحرارة في عمليات البثق إلى :

للمعادن غير الحديدية : [500—900 C°] Al=450--500

Cu=600—1100

وللفولاذ وسبائك النيكل والتيتانيوم .... [1000 – 1250 C°]

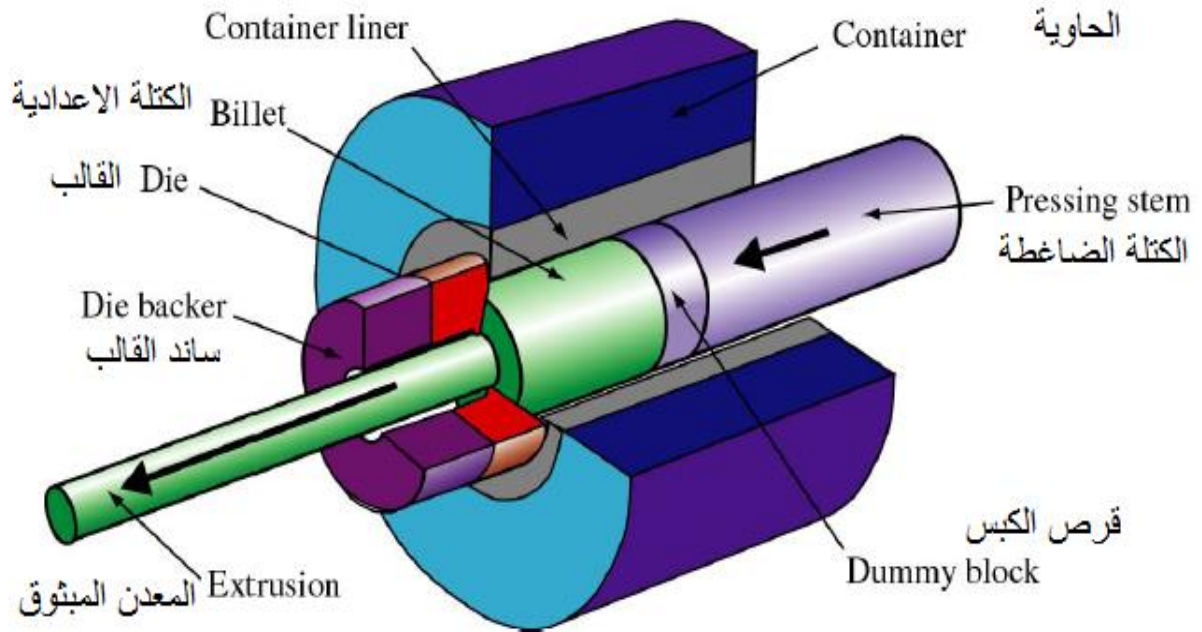
كما وأن بعض أدوات التشكيل تعاني اجهادات عالية فمثلاً تصل الاجهادات في مكبس البثق وفي الحاوية إلى :  $150 \text{ [Kg/mm}^2\text{]}$

تصنع أدوات التشكيل من الفولاذ السبائكي عموماً (سلاسل فولاذ العدة الحار سلاسل H)

(مثل :  $H_{11}, H_{13}, H_{21}$ ) وتُستعمل أحياناً لقم ذات مواصفات عالية من المتانة وتحمل درجات الحرارة المرتفعة مثل : البويديت أو الميكروليت أو الترموكورندوم .

يجب أن يضمن القالب : الحصول على أبعاد سليمة للمنتج وجودة سطح عالية , فهي تعمل في شروط صعبة من الضغط ودرجة الحرارة وصعوبة التشحيم والتبريد عموماً .

يمكن أن تكون القوالب إما أحادية الفتحة أو متعددة الفتحات . وتعدد الفتحات يعتمد على نوع المنتج و إنتاجية المكبس ويمكن أن تصل الفتحات إلى (30) فتحة أو أكثر عند إنتاج القضبان المستديرة .



### تكنولوجيا التشكيل بالبثق:

تستخدم تقنية البثق للمعادن قليلة وعالية اللدونة فهي تلائم كل من : النحاس الأصفر , البرونز , سبائك الألمنيوم , سبائك النيكل , الزنك وغيرها ..... بالإضافة إلى إنتاج المواسير والقضبان المصنوعة من الفولاذ الكربوني - والفولاذ الإنشائي - والفولاذ المقاوم للصدأ ..... كما ويتم تشكيل التيتانيوم وسبائكه بالبثق وكذلك لإنتاج قضبان اليورانيوم والزركونيوم

وعند إعداد العمليات التكنولوجية يجب اختيار أبعاد المقطع العرضي للصبّة (الكتلة الإعدادية) انطلاقاً من الحد الأدنى المسموح به لقيمة معامل زيادة الطول الذي يكفل أفضل خصائص ميكانيكية وانتظام هذه الخصائص على طول المقطع العرضي المعتمد على طول المنتج .

فعند إعداد المنتجات التي لا تتعرض لاحقاً إلى نسب تشكيل كبيرة فيجب اختيار أبعاد الصبّة بحيث لا يقل المعامل عن ( $\mu > 10$ )



أما للمنتجات التي ستتشكل بعد البثق بالدرفة أو السحب أو الطرق... فإن ( $\mu > 5$ ) فمن المعروف أن قيم ( $\mu$ ) يمكن أن يصل للنحاس  $\mu = 280$  وللنحاس الأصفر  $\mu = 700$  وللألومنيوم  $\mu = 1000$  ولما كان زيادة أبعاد (طول) الكتلة الإحصائية يسبب زيادة في قوة البثق فإنه تم اعتماد الطول الأمثل للصبّة: هو ضعف أو ثلاثة أضعاف قطر الصبّة عند البثق للمقاطع المصمتة.

وطولها يساوي مرة ونصف أو مرتين من القطر عند إنتاج المقاطع المجوفة.

يجب التمييز بين مفهومين: سرعة التشكيل بالبثق ( $v_{ex}$ ) وهي سرعة حركة المكبس و سرعة السريان ( $v_f$ ) سرعة خروج المنتج المبتوق، حيث تجمعهما العلاقة التالية:

$$v_f = \mu \cdot v_{ex}$$

إن استخدام التشحيم يقلل كثيراً من قوى البثق كما ويلعب الشحم دور الطبقة العازلة حرارياً وبذلك تبطئ من تبريد الطبقات السطحية للصبّة وبالتالي تقليل عدم انتظام التشكيل على امتداد مقطع وطول الصبّة وتقليل ظهور التشققات السطحية على المنتج

(ما يدعى بالفرشاة). كما يقلل التشحيم من التصاق المعدن المبتوق بأداة التشكيل أو الاحتكاك معها مسبباً الاهتراء وبالتالي جودة سطح أعلى. وغالباً يستخدم الشحم ذو التركيب التالي: المادة الأساسية غرافيت لدن فضي ناعم الحبيبات، وزيت الآلات (المكنات)، القفونة (لإعطاء قوام الشحم المطلوب). مثلاً: قد تكون قيمة معامل الاحتكاك  $f = 0.1$  والتي تدخل في قانون حساب  $F$  بأن تضرب بالحد  $\left(\frac{4l}{d}\right)$

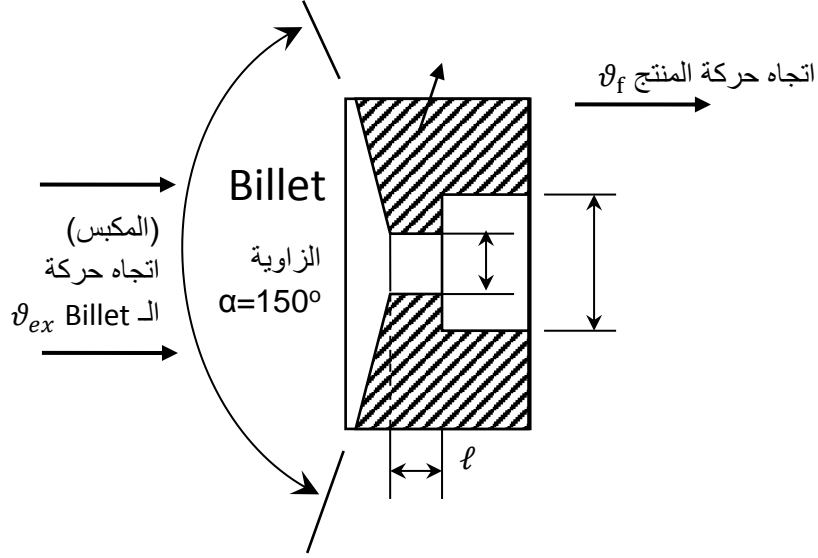
إن طريقة تسخين الصبّة هي الطريقة الأكثر اقتصادية وهي:

التسخين باللهب (ضمن فرن التسخين بالآلة) إلا أن هذه الطريقة تنتج كميات كبيرة من الأكاسيد والعيوب، ولتفادي هذه الظاهرة يمكن تقليل قطر المكبس بحيث تبقى قشرة من الصبّة بدون إقحام وهذه القشرة هي الحاوية على الأكاسيد وبالتالي تضاف هذه القشرة إلى كميات المعدن المهودور وهذه القشرة تدعى (بالقميص) أي يكون قطر المكبس أقل بحدود  $3\text{--}2\text{ mm}$  من قطر الوعاء.

ويمكن استخدام البثق مع ترك قميص عند بثق المعادن ذات اللزوجة المنخفضة والمعادن ذات القابلية المنخفضة للالتصاق بأداة التشكيل حيث:

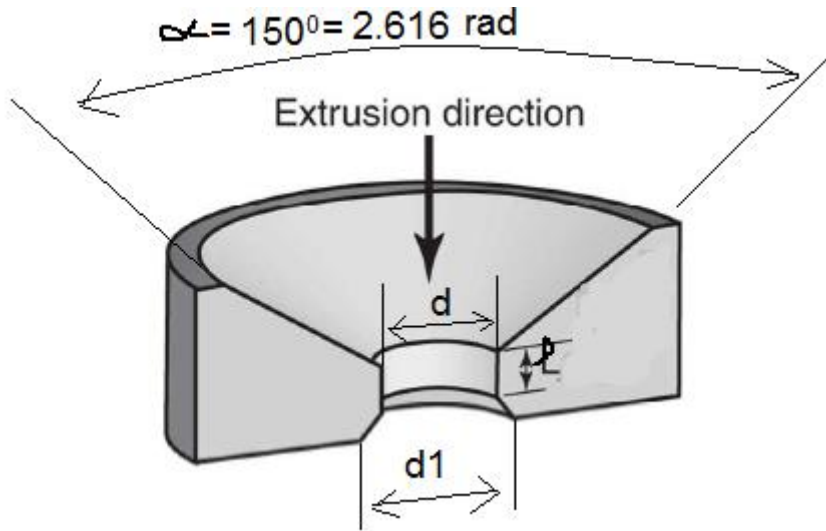
يجب تشكيل القميص عند بثق النحاس. أما الألومنيوم وسبائكه فإنه يميل إلى الالتصاق والالتحام بأداة التشكيل عند ترك قميص وبالتالي يتم بثق الألومنيوم دون قميص. ولكن عموماً يتم استخدام البثق مع ترك قميص لبثق النحاس الأصفر والبرونز وغير ذلك، وعموماً فإن الكمية المتبقية من الـ Billet دون بثق (الجزء المهودور) هو بحدود تقارب الـ (10% → 15%) تقريباً من الكتلة الإحصائية الأولية (Billet).





مقطع عرضي لقالب (اسطوانية) بثق

(تقليدي) لمنتج اسطواني مصمت



بارامترات قالب بثق بسيط :

- (1) زاوية رأس الخروط للقالب  $\alpha$  [rad] وتعادل  $\alpha = 150^\circ = 2.616$  [rad]
- (2) قطر فتحة القالب  $d$  : وهو أصغر قطر في القالب والذي يساوي قطر المنتج النهائي
- (3) عرض حزام المعايرة : ( حزام المعايرة وهو: الطول الفعال لفتحة القالب  $l$  )
- (4) القطر الخارجي للقالب  $d_1$  وهو القطر الخلفي للقالب والذي يكون عادة أكبر من القطر الفعال  $d$  لتسهيل خروج المنتج من القالب وباحتكاك أقل
- (5) عدد الفتحات في القالب

$\alpha \sim 150^\circ$  : للقضبان الكبيرة - 10 mm] → 15[mm]ℓ~

للقضبان الصغيرة : 4 [ mm ] → 5 [ mm ] ℓ ~

5 → 150 Kg/mm<sup>2</sup> ≡ 500 Kg/cm<sup>2</sup> → 15 [ ton/cm<sup>2</sup> ] σ<sub>y</sub>~

معلومات عملية :

سباكة الألمنيوم 6063

Die / تصنع القوالب من الفولاذ السبائكي (فولاذ العدة) للعمل الجار : H<sub>13</sub>

Ring Die / تصنع حلقة القالب من الفولاذ السبائكي (فولاذ العدة) للعمل الجار : H<sub>13</sub>

Backer / مسند القالب يصنع من الفولاذ السبائكي (فولاذ العدة) : H<sub>11</sub>

فولاذ القالب H<sub>13</sub> : تتم تقسيته حتى 1050c° ثم تغطيه بالزيت ثم ارجاعه مرتين او ثلاث مرات للحصول على قساوة كاملة بحدود (48~50 HRC) ثم تتم نترده سطح القالب (تطعيم السطح بالأزوت) في فرن المعالجة إما بطريق النترده بالبلازما (لمدة 16 ساعة)

أو بطريقة النترده بغاز الأمونيا "النشادر" (لمدة حوالي 30 ساعة) و ذلك للحصول على سطوح قاسية [ 68HRC]

فولاذ H<sub>11</sub> : يقسى و يرجع و لكن تتم نترده لأنه مخصص فقط لسند و دعم القالب دون ملامسته للألمنيوم أو المعدن المراد بثقه

-----

و يكون عملياً وزن ال Billet بحدود 100[Kg] أو يتم تسخينه حتى 450c° بحيث لا يتجاوز تسخين الكتلة الإعدادية Billet قيمة درجة حرارة الارجاع (580→900)

تبعاً للـ Billet والمنتج يمكن اعطاء منتجات بطول 100[m] ← فما فوق

عمر القالب وسطياً : 25 [ton] ← 100[ton] اي عمر القالب تقريباً 400←2000 عملية بثق

## عمليات تشكيل الصفائح

### Press Working Operations

تعتبر طرائق تشكيل الصفائح من أهم طرائق الانتاج مقارنة بغيرها من طرق الإنتاج لما تتمتع به من قلة التكاليف وارتفاع مردود الانتاج وبدقة جيدة أو فائقة ويتم تشكيل الصفائح على المكابس Presses وذلك باستخدام أدوات التشكيل أو القوالب Dies

عمليات تشكيل الصفائح تقسم الى زمرتين أساسيتين:

A عمليات القص: Cutting B عمليات تغير الشكل: Forming

#### A عمليات القص Cutting:

وفيها تحدث الانفعالات في مكان القص وتستمر حتى يحدث انفصال جزئيات المعدن عن بعضها البعض. و يمكن أن تتم هذه العملية وفق منحنى مغلق وتدعى عندها بالـ Blanking أو حسب منحنى غير مغلق وتدعى Shearing و لعمليات القص عدة تسميات تتبع لنوع العملية (شكل القص) , أهم هذه التسميات : التنقيب Piercing , تشذيب الزوايا والنهايات Trimming

#### B عمليات تغير الشكل Forming:

و فيها تحدث انفعالات دائمة يحدث خلالها تغير في شكل المعدن أي تحدث انتقالات جزئية لجزئيات المعدن من مكان لأخر بدون حدوث قص للمعدن و من أهم عمليات تغيير الشكل:

Bending الثني Drawing السحب

Curling التجمد upsetting الضغط

ويمكن أن تحدث عدة عمليات تشكيل في قالب مركب (قص ثني أو قص سحب أو ...) أو تتم هذه العمليات في قوالب تتابعية (مرحلة مرحلة)

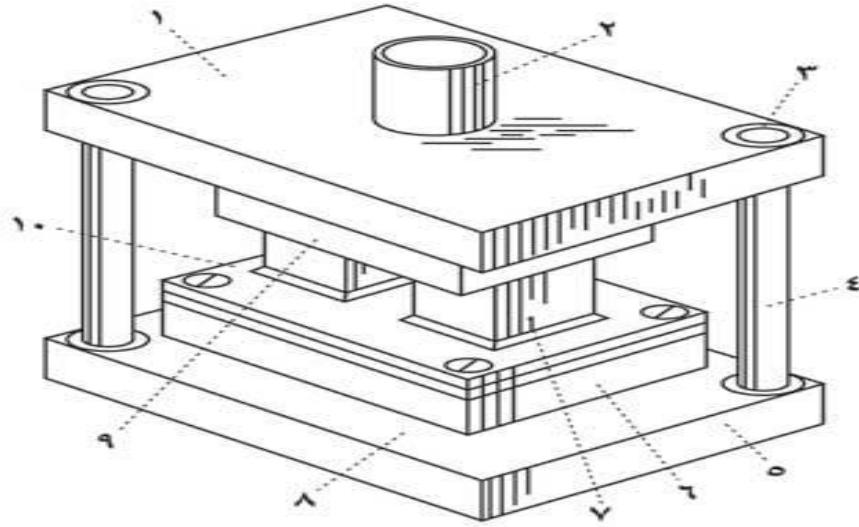
يمكن استخدام تقنيات التشكيل للتعامل مع كافة أنواع الصفائح المعدنية (وخلائط المعادن)

فولاذ , ألنيوم , نحاس , المغنيزيوم ..... بالإضافة الى لبعض المواد غير المعدنية مثل الورق , الكرتون , المطاط , الجلود ...)

#### عمليات القص Shearing operations:

وهي عملية قطع جزء من المعدن أو الصفيح بواسطة حدي أداة القص اللذين يضغطان من جهتي الصفيح (غالباً أحدهما ثابت و الآخر متحرك) و يمكن أيضاً إجراء القص من خلال سكينتين متحركتين على شكل قرص دوار.

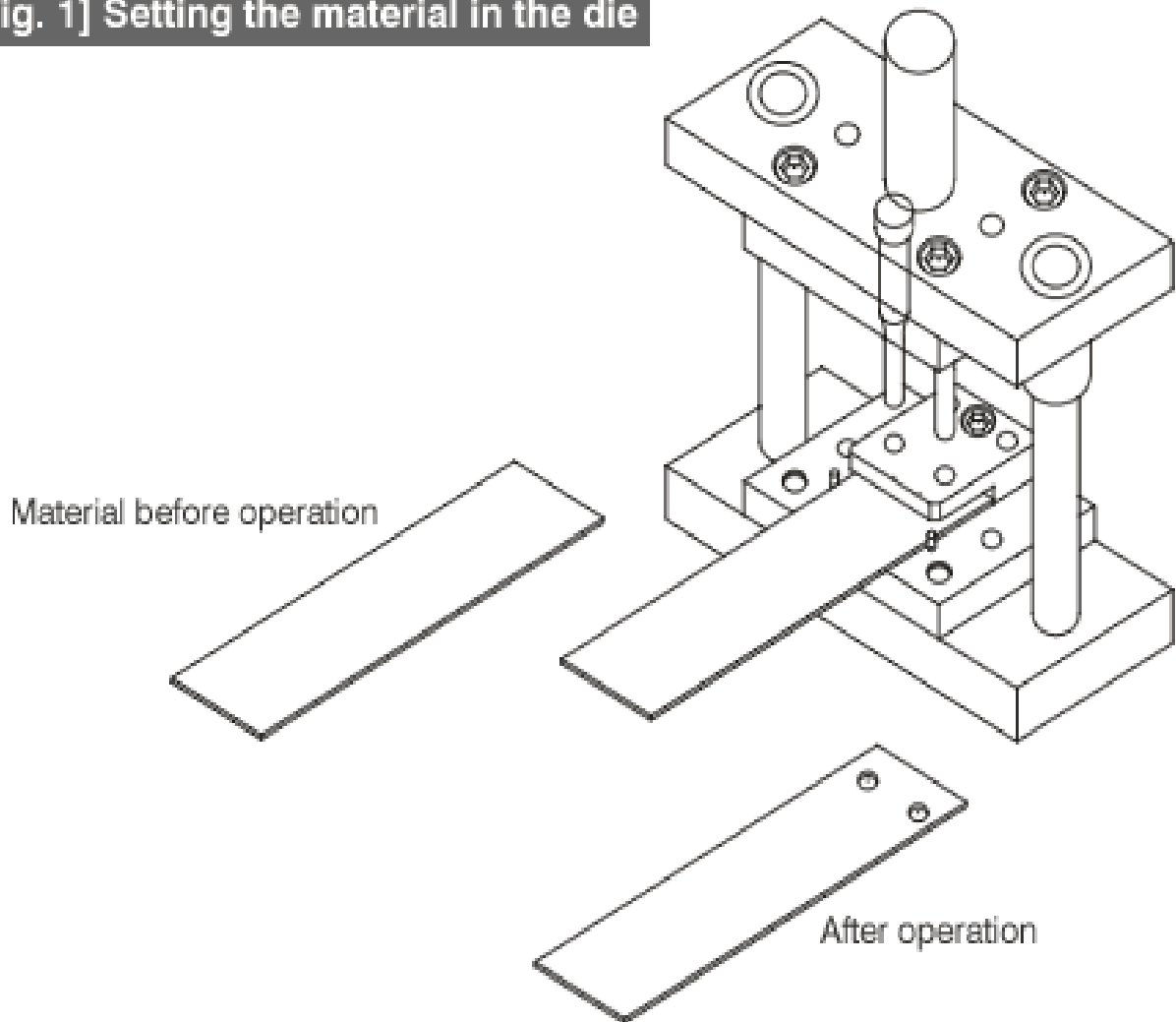
و قالب القص البسيط يتكون من الاجزاء الرئيسية التالية :



٢ - ساق الربط	١ - الصفيحة العلوية
٤ - الأعمدة الدليلة	٣ - جلب الأعمدة الدليلة
٦ - السالبة	٥ - الصفيحة السفلية
٨ - دليل السريدة	٧ - الموجبة (السنبك)
١٠ - النازع	٩ - حلقة ربط موجبة

Upper Shoe (Upper Plate)	1 الصفيحة العلوية
Lower Shoe (Lower Plate)	2 الصفيحة السفلية
Shank	3 ساق الربط
Guide Post bushing	4 جلب الأعمدة الدليلية
Guide bushing	5 الأعمدة الدليلية
Die	6 السالبة (القالب)
Punch	7 الموجبة (السنبك)
Positiores	8 دليل السريدة
Punch Retainer	9 حلقة ربط موجبة
Stripper	10 النازع

**[Fig. 1] Setting the material in the die**



## عملية القص في قالب القص (مراحل التشكيل) :

يمكن تقسيم عملية القص في قالب القص الى ثلاث مراحل أساسية:

### (1) المرحلة الأولى :

مع استمرار حركة الاداة الموجبة (Punch) نحو الأسفل (نحو الاداة السالبة) يكون الإجهاد المتشكل أقل من حد المرونة لمعدن الصفيح ولا يصل الى حد الخضوع  $\sigma_y$  و عمق دخول الموجبة بالمعدن يعتمد على نوع المعدن و لكن يتراوح بين ( 5÷8% ) من سماكة الصفيح (s) يقع الصفيح المقصوص تحت تأثير قوى تؤثر في السطح بين محيط أداتي القص مما يولد مزدوجات قوى في المستويات العمودية على سطح القص (الاسطواني مثلاً)

### (2) المرحلة الثانية :

مع ازدياد دخول الموجبة بالصفيح باتجاه السالبة يزداد الاجهاد المتشكل بالصفيح بحيث يفوق حد الخضوع للمعدن  $\sigma_y$  (مما يسبب انفعالات و تشوهات دائمة ) و عمق دخول الموجبة بالمعدن يتراوح ( 10 → 15 % S ) من سماكة الصفيح S

### (3) المرحلة الثالثة :

و هي مرحلة الانفصال (الانهيار) Failure و فيها تكون الاجهادات الداخلية أكبر من حد مقاومة (متانة) القص المسموح به للمعدن  $\tau > [\tau]$

و بهذه المرحلة تتشكل على طول حرف أداة القص شقوق تمتد باتجاه عمق الصفيح بالداخل من الجهتين المتقابلتين للصفيح حتى يتم فصل و قطع الصفيح .

يتراوح عمق الدخول بين ( 10 → 60% S ) و أن سرعة تشكل الشقوق و سرعة نموها وامتدادها تعتمد على نوع المعدن و على الخلوص  $ms = \frac{v}{2}$  بين أداتي القص (هذه الشقوق تحدد جودة القص) , المعدن القاسي الهش ينفصل فوراً , أما المعدن الطري تتكون في التشققات بشكل واضح قبل الانفصال.

الخلوص الصحيح ← يسبب التقاء الشقوق من جهتي الصفيح

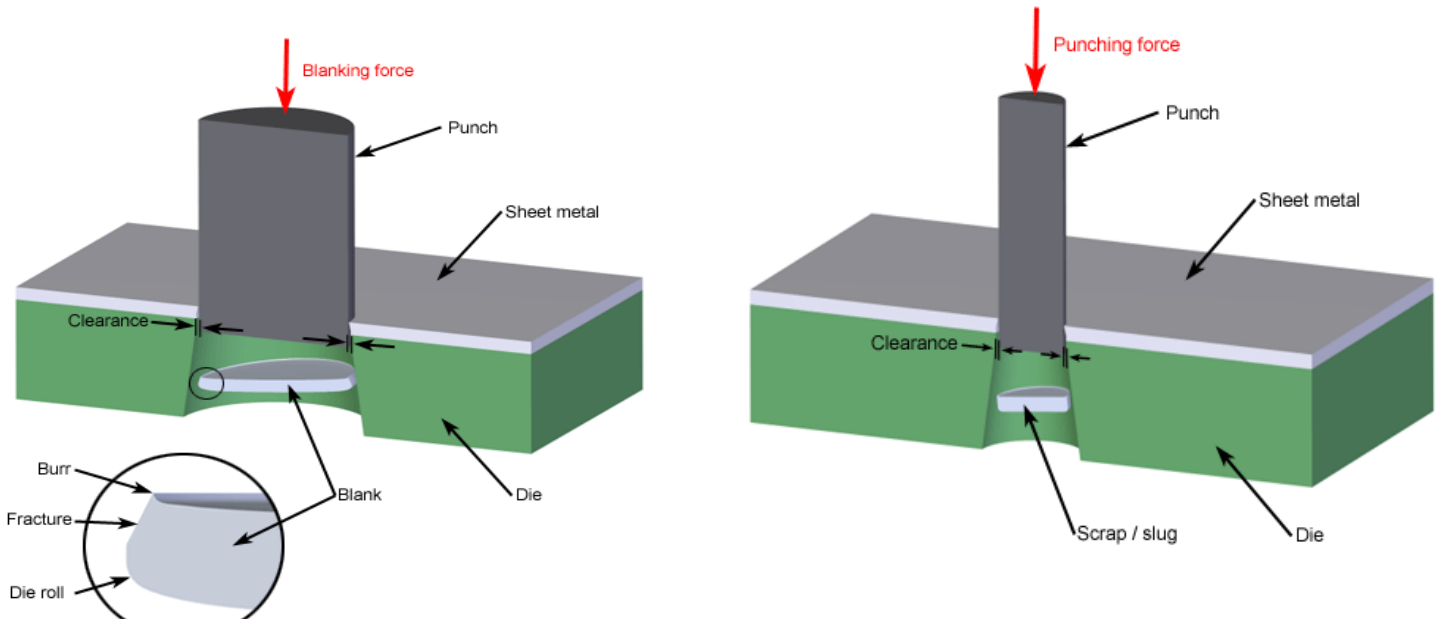
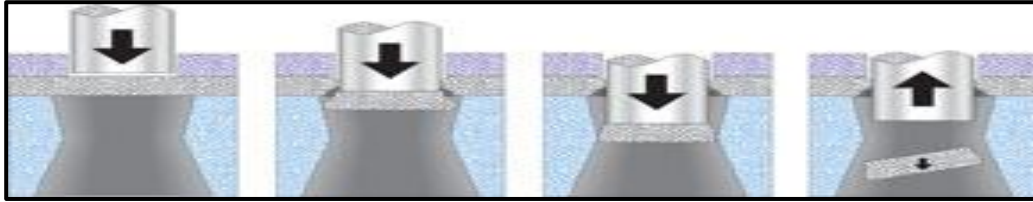
الخلوص الخاطئ ← يسبب سطح قص غير مستو أو غير منتظم

## العوامل المؤثرة على مقاومة القص [k] "مقاومة التشكيل" :

مقاومة القص (مقاومة التشكيل) هي ممانعة المعدن المراد تشكيله لعملية القص وتحسب مقاومة القص عادة من خلال قيمة قوة القص ( $F_s$ ) و سماكة المعدن (الصفح).

يمكن تلخيص تأثير بارامترات التشكيل على مقاومة القص كما يلي :

- (1) خواص المعدن: زيادة المتانة  $\sigma_{ut}$  و نقصان الاستطالة و التخصر  $\rightarrow$  زيادة  $K$
- (2) الاحتكاك  $\mu$ : زيادة الاحتكاك (القص بدون تشحيم)  $\rightarrow$  زيادة  $K$
- (3) سماكة المعدن  $s$ : زيادة  $s \rightarrow$  تتناقص  $K$  (لأن السماكات الكبيرة تمتلك مطاوعة أكبر وقساوة سطحية أقل من السماكات القليلة)
- (4) شكل محيط القص: بزيادة أبعاد (محيط) الشكل المقصوص  $\rightarrow$  نقصان  $K$
- (5) الخلوص  $v$ : الخلوص الأمثل  $\rightarrow$  نقصان مقاومة القص  $K$
- (6) شكل و تصميم أداة القص السالبة Die: تقل  $K$  اذا كانت بداية فتحة Die مخروطية الشكل وليست اسطوانية
- (7) سرعة عملية القص: تزداد  $K$  بزيادة عدد أشواط القص بالدقيقة
- (8) حالة حدود أدوات القص: تزداد  $K_s$  إذا كانت حدود أدوات القص مهترئة بقيم أكبر بكثير من  $K_s$  لأدوات القص ذات الحدود المجلوخة و الجديدة



حساب قوة القص  $F_s$  و قوة المكبس اللازمة للقص  $F_p$ :

قوة القص  $F_s$  يجب أن لا تقل عن قيمة مقاومة القص  $K_s$  أي:

$$F_s \geq K_s \rightarrow K_s = 0.8 \sigma_{ut} \rightarrow F_s = 0.8 \sigma_{ut} \cdot A$$

$A =$  سطح القص و يساوي جداء سماكة الصفيح  $S$  بمحيط القص  $L$  ( $A=L.S$ )

أما قوة المكبس الضرورية لعملية القص فتتعلق بمقاومة القص وبسماكة الصفيح وبمعامل تتراوح قيمة بين (1) والـ (1.3)

$$F_p = (1-1.3) \times 0.8 \times \sigma_{ut} \times A$$

معامل القص تتراوح بين (1,1.3) و ذلك تابع لعدم انتظام سماكة المعدن المقصوص واهتراء الحد القاطع للقالب وحالة الاجهادات. وللأمان الكامل تؤخذ القيمة (1.3)

والشكل التالي يبين العلاقة بين قوة القص  $F_s$  وشوط المكبس (دخول الموجبة بالمعدن) لحظة ظهور التشققات.

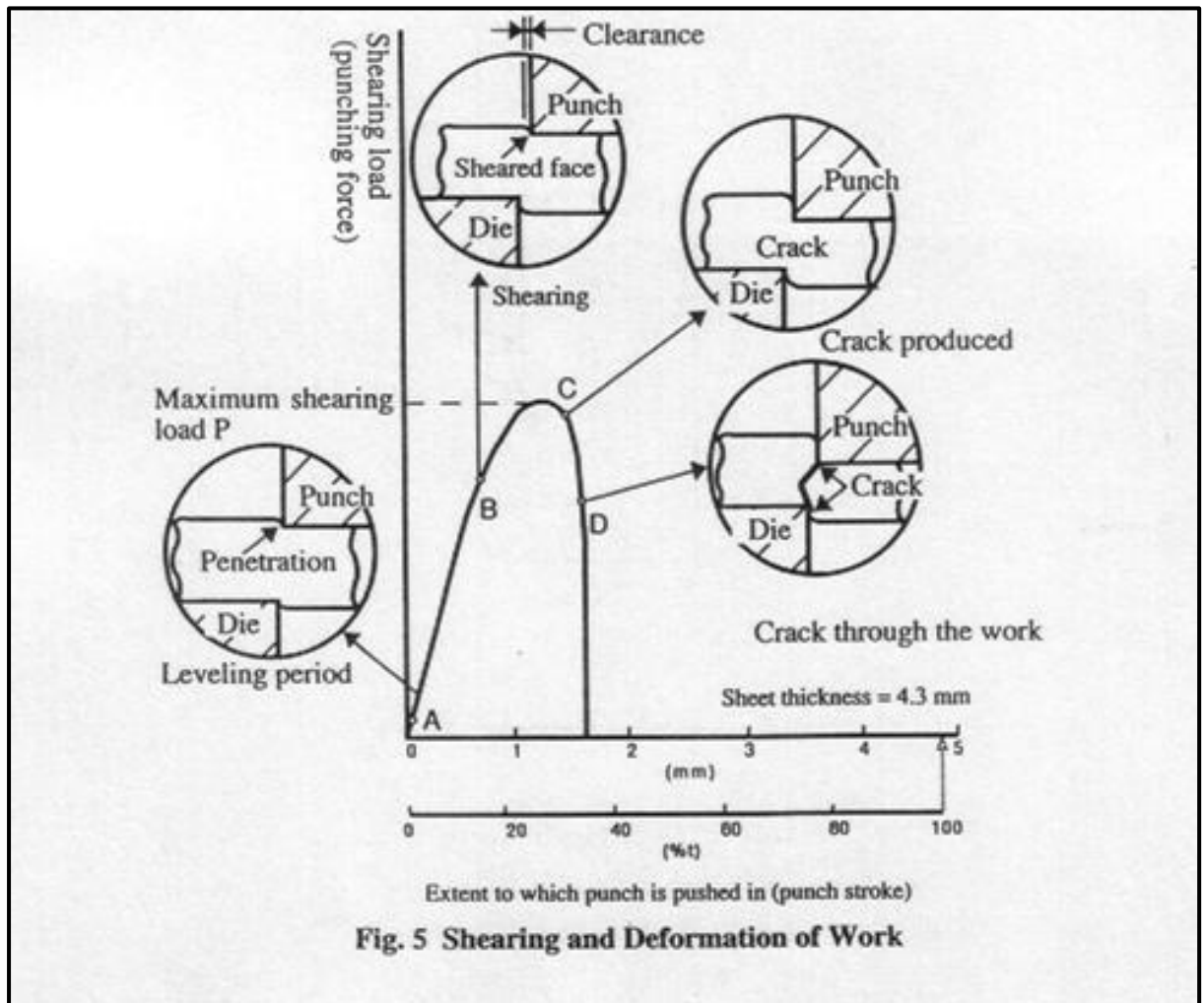


Fig. 5 Shearing and Deformation of Work



## تصميم الحد القاطع (لأداة القص) من أجل تقليل قوى القص :

عندما يراد قص صفائح ذات السماكات الكبيرة أو ذات المحيط الكبير فإن أداة القص يتم تصميمها بحيث لا تكون ذات مقطع مستوي بل حدود مائلة (مشطوفة)

و عندما تكون القوالب تتابعية ← تستعمل سنابك (Punchs) متدرجة الأطوال , و بالتالي فإن عملية القص للشكل المغلق لا تتم بأن واحد على طول محيط القص تكون أبعاد الشطف  $h$  تبعاً لسماكة الصفيح  $S$  كما يلي:

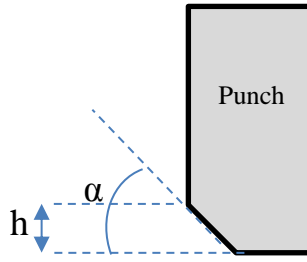
$$S \leq 3\text{mm} \rightarrow h \leq 2S \quad \text{أو} \quad \alpha \leq 5^\circ$$

$$S = [3 \rightarrow 10\text{mm}] \rightarrow h = S \quad \text{أو} \quad 8^\circ \leq \alpha$$

و نتيجة شطف أداة القص فإن قوى القص تقل بمعدل كبير يصل حتى 60% (توفير قوة المكبس) وتجري عملية الشطف على الموجبة أو على السالبة كما يلي:

(1) حالة شطف الموجبة عندما تكون القطعة المقصوفة نفاية (تنقيب Piercing)

(2) حالة شطف السالبة تتم عندما تكون القطعة المقصوفة منتجاً (قرص Blanking)



## خلوص القص Clearance

خلوص القص ( $v$ ) هو الفرق بين بعدي الأداة الموجبة Punch والسالبة Die أي يساوي مجموع الفراغين  $ms$  على جهتي الأداة  $V = 2 ms$

لمقدار الخلوص تأثير كبير على عمر الحد القاطع للأداة و على جودة سطح الصفيح المقصوص، و يعتمد الخلوص على نوع المعدن و على سماكة الصفيح , حيث تزداد قوى القص و بالتالي عمل القص عندما يكون الخلوص قليلاً عن الحد المناسب

\* يمكن القول أن أفضل خلوص هو ذلك الخلوص الذي يعطي أجود سطح قص بأقل قوة قص.

تبيّن بالتجربة أن قيمة القص عادة تتراوح بالنسبة لسماكة الصفيح  $S$  من  $(S \rightarrow 20\%)$  إلى  $(3 \rightarrow V)$

يتم اختيار الخلوص الأصغري للمعادن ذات الطراوة الأكبر وللصفائح ذات السماكات الأكبر ويمكن زيادة الخلوص بزيادة صلابة (قساوة) المعدن, و بما أن مقدار الخلوص يتغير خلال أشواط القص بسبب الاهتراء فإن أدوات القص الجديدة تجهز بأقل خلوص ممكن

ولحساب الأبعاد الأساسية للأداة الموجبة والسالبة (مع الخلوص) فيجب بدايةً تحديد نوع المنتج أي هل هو قرص مقطوع (Blank) أم هو ثقب (Hole) ويجب تحديد مقدار التفاوت المسموح به للأداة وتحديد درجة الدقة (IT).

يمكن التلخيص بما يلي:

(1) تُحدّد السالبة أبعاد القطع المقصوفة كمنتج Blank

(2) تُحدّد الموجبة (Punch) أبعاد القطع المقصوفة كثقب Hole

المنتج ليس قرص (من نوع Blank): و فيه يكون القرص المثقوب هو النفاية والقطعة المطلوبة Blank وبناءً عليها يتم تحديد أبعاد الأداة السالبة (القطر) أما الموجبة فيتم تصميمها بناءً على السالبة.

**Blanking clearance for different materials**  
(as a % with respect to plate thickness)

Material	Precision blanking	Ordinary blanking
Soft steel	2~5	6~10
Hard steel	4~8	9~15
Silicon steel	4~6	7~12
Stainless steel	3~6	7~12
Copper	1~3	4~7
Brass	1~4	5~10
Phosphor bronze	2~5	6~10
German silver	2~5	6~10
Aluminum (soft)	1~3	4~8
Aluminum (hard)	2~5	6~10

1. For ordinary blanking, a larger clearance value is used as the plate thickness increases.

## الأنظمة العالمية لتصنيف الفولاذ:

لقد فرض التعدد الهائل لتركيبات سبائك الفولاذ على الدول الصناعية الكبرى , ضرورة وجود معايير (codes) لتصنيف الفولاذ وتسميته ومعرفة تركيبه الكيميائي وخصائصه ومعالجاته الحرارية العامة وأهم تطبيقاته . وهناك العديد من المراجع العالمية لتصنيف الفولاذ وأشهرها :

مفتاح الفولاذ (Key To Steel) , وأطلس الفولاذ الاسترالي (Atlas Steel Australan) .

ولكل دولة صناعية تصنيفها وفقاً للنظام والكود الخاص بها :

أمريكا : *AISI / SAE / ASTM*

فرنسا : *AFNOR*

ألمانيا : *DIN*

بريطانيا : *B.S*

إسبانيا : *UNE*

السويد : *SS*

إيطاليا : *UNI*

اليابان : *JIS*

روسيا : *GOST*

ويُعدّ التصنيف الأمريكي للفولاذ الأوسع انتشاراً في العالم , وفقاً للكودات الرئيسة التالية:

*AISI* (American Institute of Steel and Iron)

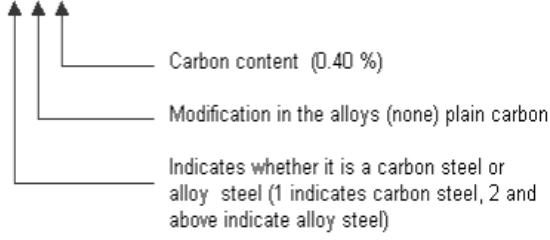
*SAE* (Society of Automotive Engineers)

*ASTM* (American Society for Testing Materials)

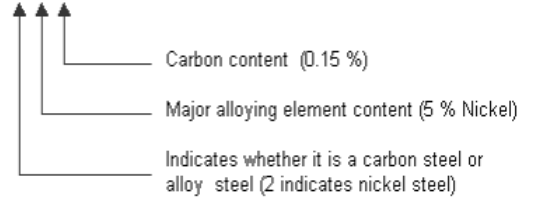
والمعهد الأمريكي للفولاذ والحديد (*AISI*) , معهد متخصص في صناعة الحديد والفولاذ ومواصفاتها القياسية . ويضم هذا المعهد في عضويته المهندسين والباحثين العاملين في هذا المجال , حيث يقوم هذا المعهد بتنظيم الأنشطة العلمية المتعلقة بالحديد والفولاذ من خلال عقد الدورات التعليمية والمؤتمرات العلمية وتقديم المنح لتطوير هذه الصناعة علاوةً عن تسهيل تأليف الكتب والمقالات ونشرها في هذا المجال . ومن أهم نشاطات هذه الجمعية تسمية سبائك الفولاذ , والتي سهّلت كثيراً التعرف على تركيب الفولاذ وخصائصه . وساعدت بدورها مهندسي التصميم والتنفيذ على اختيار السبيكة المناسبة لتطبيق معين .

وتعتمد تسمية الفولاذ في النظامين (*AISI / SAE*) على أربعة أرقام رئيسة (XXXX) , حيث يشير الرقم الأول من اليسار إلى صنف الفولاذ , كما هو موضح في الجدول (I-1) ويشير الرقم الثاني إلى تركيز العنصر المميّز للفولاذ والمحدّد بالرقم الأول , أما الرقمين الثالث والرابع فيشيران إلى محتوى الخليطة من الكربون كنسبة مئوية [2] . والمثال التالي يبين آلية التصنيف لفولاذ كربوني (*SAE 1040*) وآخر سبائكي (*SAE 2515*) :

**SAE 1040**



**SAE 2515**



### العنصر الأساسي في الفولاذ حسب AISI / SAE

SAE - AISI Number	Classification
1XXX	<i>Carbon steels</i> <i>Low carbon steels: 0 to 0.25 % C</i> <i>Medium carbon steels: 0.25 to 0.55 % C</i> <i>High carbon steels: Above 0.55 % Carbon</i>
2XXX	<i>Nickel steels</i> <i>5 % Nickel increases the tensile strength without reducing ductility.</i> <i>8 to 12 % Nickel increases the resistance to low temperature impact</i> <i>15 to 25 % Nickel (along with Al, Cu and Co) develop high magnetic properties. (Alnicometals)</i> <i>25 to 35 % Nickel create resistance to corrosion at elevated temperatures.</i>
3XXX	<i>Nickel-chromium steels</i> <i>These steels are tough and ductile and exhibit high wear resistance , hardenability and high resistance to corrosion.</i>
4XXX	<i>Molybdenum steels</i> <i>Molybdenum is a strong carbide former. It has a strong effect on hardenability and high temperature hardness. Molybdenum also increases the tensile strength of low carbon steels.</i>
5XXX	<i>Chromium steels</i> <i>Chromium is a ferrite strengthener in low carbon steels. It increases the core toughness and the wear resistnace of the case in carburized steels.</i>

### خصائص فولاذ العدة:

- ◀ فولاذ نقي من الشوائب .
- ◀ قابلية تقسية عالية .
- ◀ محتوى متوسط وعالي من الكربون .
- ◀ عناصر الخلط في بعض أنواعه تصل حتى 25% .
- ◀ مجال استخدام واسع نتيجة تعدد أنواعه ومواصفاته الخاصة .

## أنواع فولاذ العدة:

تم تصنيف فولاذ العدة السبائكي حسب النظام ( *AISI* ) في أربع مجموعات رئيسية [3] :

◀ فولاذ العدة المقاوم للصدم ( *Shock resistance tool steel* )

◀ فولاذ العدة للعمل البارد ( *Cold work tool steel* )

◀ فولاذ العدة للعمل الحار ( *Hot work tool steel* )

◀ فولاذ العدة للسرعات العالية ( *High speed tool steel* )

### فولاذ العدة المقاوم للصدم:

◀ ذو محتوى متوسط من الكربون .

◀ يعمل في درجات حرارة منخفضة .

◀ يمتلك أعلى قيم متانة بين كافة أنواع فولاذ العدة .

◀ ذو محتوى سبائكي أقل من 5% .

◀ العنصر السبائكي الرئيس فيه هو التنغستين (*W*) .

◀ يصنّف في فولاذ العدة وفقاً لسلاسل (*S*) .

◀ تطبيقاته : شفرات القصّ (*shear blades*) , المسامير (*pins*) , الأزاميل (*chisels*),

المطارق (*hammer*) , العدد اليدوية (*sample tools*) .

### فولاذ العدة للعمل البارد :

◀ ذو محتوى كربون عالي .

◀ يعمل في درجات حرارة منخفضة .

◀ مقاومته للإهتراء عالية (*Wear resistance*) .

◀ يصنّف وفقاً لأربعة سلاسل :

سلاسل *W* : فولاذ تقسية بالماء .

سلاسل *O* : فولاذ تقسية بالزيت .

سلاسل *A* : فولاذ تقسية بالهواء .

سلاسل *D* : فولاذ عالي الكربون (*1.5-2.25 %C*) , عالي الكروم (*~12 %Cr*) .

◀ تطبيقاته : قوالب : القص (*blanking*) , السحب (*draw*) , الثني (*bending*) , النقش (*stamping*) ...

### فولاذ العدة للعمل الحار:

- ◀ ذو محتوى متوسط من الكربون .
- ◀ يعمل في درجات حرارة عالية .
- ◀ يمتاز بمتانة عالية وقساوة حمراء في درجات الحرارة العالية .
- ◀ عناصر الخلط الرئيسية فيه : (*Cr, W, Mo*) , ويصّف وفقاً لسلاسل (*H*) التالية :  
 . ( $H_{4X}, H_{5X} / Mo$ ) , ( $H_{2X}, H_{3X} / W$ ) , ( $H_{1X} / Cr$ )
- ◀ تطبيقاته : قوالب السباكة (*casting*) , قوالب البثق (*extrusion*) , قوالب الحدادة (*forging*) , قوالب القص الحارّ (*hot shear*) ...

### فولاذ العدة للسرعات العالية:

- ◀ ذو محتوى كربون عالي , ومجال القساوة ( $62-67 HRC$ ) .
- ◀ يحافظ على قيم القساوة نفسها حتى حدود درجة حرارة ( $450^{\circ}C$ ) .
- ◀ محتوى عناصر الخلط في بعض أنواعه تصل حتى (25 %).
- ◀ يصنّف وفقاً لسلسلتي (*T, M*) :  
السلسلة  $T_1 \dots T_{15}$  . التنغستين هو العنصر السبائكي الأساسي فيها.  
السلسلة  $M_1 \dots M_{52}$  . المولبدينيوم هو العنصر السبائكي الأساسي فيها.
- ◀ تطبيقاته : المثاقب (*drills*) , أدوات التفريز (*milling tools*) , نصلات المنشار (*saws*) , موسّعات الثقوب (*Reamers*) , و يعرض الجدول (1-2) الأنواع الرئيسية لفولاذ العدة.

## الأنواع الرئيسية لفولاذ العدة حسب التصنيف AISI

### AISI classification and nominal compositions of major tool steels

AISI	UNS No.	Identifying elements, %								
		C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co	Ni
<b>Water-hardening tool steels</b>										
W1	T72301	0.60-1.40(a)	...	...	...	...	...	...	...	...
W2	T72302	0.60-1.40(a)	...	...	...	0.25	...	...	...	...
W5	T72305	1.10	...	...	0.50	...	...	...	...	...
<b>Shock-resisting tool steels</b>										
S1	T41901	0.50	...	...	1.50	...	2.50	...	...	...
S2	T41902	0.50	...	1.00	...	...	...	0.50	...	...
S5	T41905	0.55	0.80	2.00	...	...	...	0.40	...	...
S6	T41906	0.45	1.40	2.25	1.50	...	...	0.40	...	...
S7	T41907	0.50	...	...	3.25	...	...	1.40	...	...
<b>Oil-hardening cold-work tool steels</b>										
O1	T31501	0.90	1.00	...	0.50	...	0.50	...	...	...
O2	T31502	0.90	1.60	...	...	...	...	...	...	...
O6(b)	T31506	1.45	0.80	1.00	...	...	...	0.25	...	...
O7	T31507	1.20	...	...	0.75	...	1.75	...	...	...
<b>Air-hardening, medium alloy cold-work tool steels</b>										
A2	T30102	1.00	...	...	5.00	...	...	1.00	...	...
A3	T30103	1.25	...	...	5.00	1.00	...	1.00	...	...
A4	T30104	1.00	2.00	...	1.00	...	...	1.00	...	...
A6	T30106	0.70	2.00	...	1.00	...	...	1.25	...	...
A7	T30107	2.25	...	...	5.25	4.75	1.00 (c)	1.00	...	...
A8	T30108	0.55	...	...	5.00	...	1.25	1.25	...	...
A9	T30109	0.50	...	...	5.00	1.00	...	1.40	...	1.50
A10(b)	T30110	1.35	1.80	1.25	...	...	...	1.50	...	1.80
<b>High-carbon, high-chromium cold-work steels</b>										
D2	T30402	1.50	...	...	12.00	1.00	...	1.00	...	...
D3	T30403	2.25	...	...	12.00	...	...	...	...	...
D4	T30404	2.25	...	...	12.00	...	...	1.00	...	...
D5	T30405	1.50	...	...	12.00	...	...	1.00	3.00	...
D7	T30407	2.35	...	...	12.00	4.00	...	1.00	...	...
<b>Low-alloy special-purpose tool steels</b>										
L2	T61202	0.5-1.10 (a)	...	...	1.00	0.20	...	...	...	...
L6	T61206	0.70	...	...	0.75	...	...	0.25 (c)	...	1.50
<b>Mold steels</b>										
P2	T51602	0.07	...	...	2.00	...	...	0.20	...	0.50
P3	T51603	0.10	...	...	0.60	...	...	...	...	1.25
P4	T51604	0.07	...	...	5.00	...	...	0.75	...	...
P5	T51605	0.10	...	...	2.25	...	...	...	...	...
P6	T51606	0.10	...	...	1.50	...	...	...	...	3.50
P20	T51620	0.35	...	...	1.70	...	...	0.40	...	...
P21	T51621	0.20	1.20 (Al)	...	...	...	...	...	...	4.00
<b>Chromium hot-work tool steels</b>										
H10	T20810	0.40	...	...	3.25	0.40	...	2.50	...	...
H11	T20811	0.35	...	...	5.00	0.40	...	1.50	...	...
H12	T20812	0.35	...	...	5.00	0.40	1.50	1.50	...	...
H13	T20813	0.35	...	...	5.00	1.00	...	1.50	...	...
H14	T20814	0.40	...	...	5.00	...	5.00	...	...	...
H19	T20819	0.40	...	...	4.25	2.00	4.25	...	4.25	...
<b>Tungsten hot-work tool steels</b>										
H21	T20821	0.35	...	...	3.50	...	9.00	...	...	...
H22	T20822	0.35	...	...	2.00	...	11.00	...	...	...
H23	T20823	0.30	...	...	12.00	...	12.00	...	...	...
H24	T20824	0.45	...	...	3.00	...	15.00	...	...	...

(continued)

(a) Available with different carbon contents. (b) Contains graphite. (c) Optional

### AISI classification and nominal compositions of major tool steels

AISI	UNS No.	Identifying elements, %								
		C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co	Ni
<b>Tungsten hot-work tool steels (continued)</b>										
H25	T20825	0.25	...	...	4.00	...	15.00	...	...	...
H26	T20826	0.50	...	...	4.00	1.00	18.00	...	...	...
<b>Molybdenum hot-work tool steels</b>										
H42	T20842	0.60	...	...	4.00	2.00	6.00	5.00	...	...
<b>Tungsten high-speed tool steels</b>										
T1	T12001	0.75(a)	...	...	4.00	1.00	18.00	...	...	...
T2	T12002	0.80	...	...	4.00	2.00	18.00	...	...	...
T4	T12004	0.75	...	...	4.00	1.00	18.00	...	5.00	...
T5	T12005	0.80	...	...	4.00	2.00	18.00	...	8.00	...
T6	T12006	0.80	...	...	4.50	1.50	20.00	...	12.00	...
T8	T12008	0.75	...	...	4.00	2.00	14.00	...	5.00	...
T15	T12015	1.50	...	...	4.00	5.00	12.00	...	5.00	...
<b>Molybdenum high-speed tool steels</b>										
M1	T11301	0.80(a)	...	...	4.00	1.00	1.50	8.00	...	...
M2	T11302	0.85-1.00(a)	...	...	4.00	2.00	6.00	5.00	...	...
M3, class 1	T11313	1.05	...	...	4.00	2.40	6.00	5.00	...	...
M3, class 2	T11323	1.20	...	...	4.00	3.00	6.00	5.00	...	...
M4	T11304	1.30	...	...	4.00	4.00	5.50	4.50	...	...
M6	T11306	0.80	...	...	4.00	2.00	4.00	5.00	12.00	...
M7	T11307	1.00	...	...	4.00	2.00	1.75	8.75	...	...
M10	T11310	0.85-1.00(a)	...	...	4.00	2.00	...	8.00	...	...
M30	T11330	0.8	...	...	4.00	1.25	2.00	8.00	5.00	...
M33	T11333	0.90	...	...	4.00	1.15	1.50	9.50	8.00	...
M34	T11334	0.90	...	...	4.00	2.00	2.00	8.00	8.00	...
M36	T11336	0.80	...	...	4.00	2.00	6.00	5.00	8.00	...
<b>Ultrahard high-speed tool steels</b>										
M41	T11341	1.10	...	...	4.25	2.00	6.75	3.75	5.00	...
M42	T11342	1.10	...	...	3.75	1.15	1.50	9.50	8.00	...
M43	T11343	1.20	...	...	3.75	1.60	2.75	8.00	8.25	...
M44	T11344	1.15	...	...	4.25	2.00	5.25	6.25	12.00	...
M46	T11346	1.25	...	...	4.00	3.20	2.00	8.25	8.25	...
M47	T11347	1.10	...	...	3.75	1.25	1.50	9.50	5.00	...

(a) Available with different carbon contents. (b) Contains graphite. (c) Optional

After: "Tool Steels" by G. Roberts, G. Krauss, and R. Kennedy, ASM International, 5<sup>th</sup> edition, pp8-9, 1998

### العناصر السبائكية في الفولاذ:

يمكن تصنيف العناصر السبائكية حسب قابلية تشكيل الكربيدات ودورها في ثبات نوع البنية, وذلك كما يلي:

◀ العناصر المشكّلة للكربيدات: (Cr-W-V-Mo-Ti-Mn).

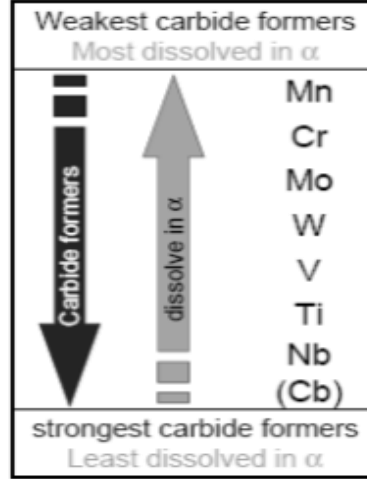
◀ العناصر التي تميل إلى تفكيك الكربيدات (Ni-Si-Co).

◀ العناصر الداعمة لاستقرار الأوستنيت (Co-Ni-Mn).



العناصر الداعمة لاستقرار الفريت (Cr-Mo-V-W-Ti-Si).

و يوضّح الشكل التالي تسلسل العناصر السبائكية وفقاً لقوة تشكيلها للكربيدات وشدة قابليتها للانحلال في الفريت.



- Chromium carbides• 66/68 HRC
- Molybdenum carbides• 72/77 HRC
- Tungsten carbides• 72/77 HRC
- Vanadium Carbides• 82/84 HRC

تسلسل العناصر حسب قابليتها لتشكيل الكربيدات و للانحلال في الفريت

### تأثير العناصر السبائكية :

إن الهدف الأساسي من إضافة عنصر خلط محدد هو إكساب الفولاذ خاصية ذلك العنصر , وبالتالي يمكن التحكم بالخصائص الميكانيكية للفولاذ وتحسينها من خلال نوع العناصر السبائكية المضافة وكميتها . وفيما يلي تأثير الكربون وبعض العناصر السبائكية الأساسية في الفولاذ:

### تأثير الكربون C:

يُعدُّ الكربون عنصر تقسية أساسي في الفولاذ, ويشكّل باتحاده مع الحديد , مركب السمنتيت الكيميائي  $Fe_3C$  (كربيد الحديد) عالي القساوة . وبتزايد محتوى الكربون في الفولاذ, تزداد كل من القساوة ومتانة الشد (*Tensile strength and Hardness*) مع انخفاض متانة الصدم *Impact strength*, وانخفاض الاستطالة النسبية. وبتزايد محتوى الكربون فوق (0.85%) فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض المتانة في حين تبقى القساوة ثابتة تقريباً.

## تأثير المنجنيز Mn:

تعزز إضافة المنجنيز القساوة للمارتنيسيت المُرجَع وذلك من خلال إعاقة اندماج (اتحاد) الكربيدات وبالتالي تُعيق نمو الحبيبات في شبكة الفريت , ويوجد المنجنيز في جميع أنواع الفولاذ التجاري ويسهم بشكل واضح في زيادة المتانة والقساوة كما أنه يزيد معدل التبريد الحرج . وبالتالي زيادة قابلية الفولاذ للتقسية , إضافة إلى زيادة مقاومة الكشط (*abrasion*) بشكل ملحوظ ويُدعى الفولاذ بمحتوى منجنيز أكبر من (0.8%) , بالفولاذ المنجنيزي (*Manganeiz* *alloyed steel*) وهذا الأخير حساس إلى حدّ ما للتسخين الزائد الذي يؤدي إلى تخشّن الحبيبات . ويساعد وجود المنجنيز في الفولاذ أيضاً في الحصول على نعومة سطح أفضل لكونه يندمج مع الكبريت (*sulphur*) وبذلك تقلل تشكل السولفيدات (*sulphide*) والتي تُعدّ المسؤولة عن الحساسية للتشققات الحارّة (الكسر الساخن).

## تأثير السيليكون Si:

يتميز السيليكون بكونه عنصراً مثبّثاً للفريت , وبما أن الـ (*Si*) لا يستطيع الاتحاد مع الكربون فهو عنصر غير مشكّل للكربيدات . ووجد أن الـ (*Si*) له الأثر الأكبر في تخشين ( $Fe_3C$ ) وذلك عند درجة حرارة إرجاع ( $300^{\circ}C$ ) مقارنة بباقي درجات الإرجاع , ويكون أثره واضحاً في الفولاذ المطعم بـ ( $0.8\%Si$ ) والمُرجَع بدرجة حرارة ( $650^{\circ}C$ ) على تنعيم الكربيدات كما ويساعد على تفتّت صفائح الفريت أكثر وذلك مقارنة بالفولاذ المطعم بـ ( $0.9\%Si$ ) . ويحسّن السيلكون قساوة الفولاذ ولكنه يقلّل من اللدونة (*ductility*) ومتانة الشد (*tensile strength*).

## تأثير النيكل Ni:

لا يملك النيكل تأثيراً ملحوظاً على قابلية التقسية للفولاذ , فهو عنصر غير مُشكّل للكربيدات (في حين أنه يقوم أحياناً بتفكيك الكربيدات) . ويُعدّ النيكل من أهم الخلائط المفيدة في زيادة المتانة والمقاومة (*strength , toughness*) للفولاذ , كما و يحسّن مقاومة التآكل (*corrosion*) ويزيد مقاومة التآكل , و يكون تأثيره في الخصائص الميكانيكية للفولاذ واضحاً حتى عندما يوجد بكميات قليلة , و تجعل الإضافات الكبيرة للنيكل بنية الفولاذ أوستنيتية مستقرة في درجة حرارة الغرفة , وذلك كونه يخفّض درجة حرارة اليوتكتويد (*eutectoid*) للفولاذ .

## تأثير الكروم Cr:

يُعد الكروم العنصر الأكثر أهمية في الفولاذ , ويشكل سلسلة كربيدات بالاعتماد على المعالجة الحرارية وكمية الكروم الموجودة , ويوجد الكروم في أغلب الفولاذ الإنشائي وفولاذ العدة , حيث يحسّن من خواص الطّرق للفولاذ و يرفع الكروم درجة حرارة الأستنتة . ويزيد من مقاومة التآكل في الفولاذ بشكل ملحوظ . ويستخدم الكروم بشكل أساس لزيادة قابلية التقسية للفولاذ كما أنه يزيد كلاً من متانة الشد (*tensile strength*) ومقاومة الكشط (*abrasion*) , ولا يجذب الفولاذ الكرومي إلى الحقل المغناطيسي .

## تأثير الموليبدينيوم Mo:

يُظهر الموليبدينيوم تأثيراً فعالاً في قابلية التقسية بالوحدة المضافة أكثر من أي عنصر خلط آخر باستثناء المنغنيز . وكنتيجة لذلك فإنه يزيد من عمق التقسية وذلك بتقليل معدل التبريد الحرج. وإن الموليبدينيوم بالدمج مع عناصر أخرى يزيد المتانة (*toughness*) ومقاومة الزحف (*creep strength*) بالإضافة إلى المقاومة الحارة للفولاذ (*hot strength*) ويقلل وجود الموليبدينيوم من قابلية الفولاذ لهشاشية الإرجاع. وفي فولاذ العدة فإن الموليبدينيوم مثل التنغستين يُستخدم بشكلٍ أساس في سلسلة فولاذ سريع القطع من مجموعة فولاذ العمل على الحار.

و الموليبدينيوم عنصر قوي لمشكل للكربيد وبقساوة عالية أكثر من كربيد الحديد عندما تُرجع الخلائط في درجات حرارة عالية , والكربيدات المسؤولة عن التقسية الثانوية لكل من التنغستين و الموليبدينيوم هي كربيدات على شكل مواشير سداسية (*hexagonal*) متماثلة ( $Mo_2C - W_2C$ ).

## تأثير التنغستين W:

يشكل التنغستين كربيدات معقدة, لذلك فإن الفولاذ المخلوط بالتنغستين يتميز من خلال القساوة الحمراء العالية (*hot hardness*) ومقاومة الكشط والمقاومة الحارة (*hot strength*) , كما يبطئ التنغستين تحول الأوستنيت إلى مارتنيت ويعيق أيضاً نمو الحبيبات لذلك فإن فولاذ خلائط التنغستين غير حساس للتسخين الزائد . إن إضافة التنغستين في فولاذ نيكول كروم الأوستنيتي تؤدي إلى زيادة حد الخضوع (*yield point*)، ويستخدم الفولاذ المخلوط بالتنغستين من أجل فولاذ العدة عالي السرعة وفولاذ العمل على الحار والفولاذ المغناطيسي والفولاذ المقاوم للصدم.

## تأثير الفناديوم V:

يُعدّ الفناديوم من العناصر المثبتة للفريت , حيث يُغلق منطقة  $\gamma$  بالكامل عند نسبة وزنية لا تزيد على ( $1.1\% \text{ wt}$ ) . والفناديوم من أقوى العناصر المشكّلة للكربيدات (مقارنة بالكروم أو الموليبدينيوم) , وكربيداته ثابتة جداً حتى في درجات الحرارة العالية وتأثيره فعال في قساوة المارتنيت المرجع . ويتشكل كربيد الفناديوم ( $VC$ ) في الفولاذ الذي يحوي كميات قليلة نسبياً من الفناديوم في الفولاذ ( $0.1\% \text{ wt V}$ ). إن التأثير الكبير للفناديوم هو تشكيل الكربيد ( $VC$  أو  $V_4C_3$ ) بحيث يحل محل كربيد الحديد (السمنتيت) في درجات حرارة إرجاع عالية

يزيد الفناديوم من قيم متانة الشد (*tensile strength*) وقيم حد الخضوع (*yield point*) ويحسن النسبة بينهما , ويزيد من القساوة الحارة (*hot hardness*) وعندما يوجد بكميات كافية في فولاذ العدة فإنه يزيد من مقاومة الاهتراء (*wear*) للفولاذ.

تزداد قابلية التقسية لفولاذ متوسط الكربون بإضافة الفناديوم حتى نسبة ( $0.05 \text{ wt}\% V$ ) والفناديوم مفيد عند الحاجة إلى الأستنة بدرجات حرارة عالية . ويُستخدم بشكلٍ أساسي في فولاذ

العدّة من أجل قوالب العمل الحار والبارد ( *blanking Dies* ) ( *casting Dies* ) , وقوالب التشكيل ( *forging dies* ) , وفي فولاذ عالي السرعة .

☞ ( *Red Hardness* ) ( *hot-hardness* ) : خاصية مميزة للفولاذ المقاوم للتنعيم (مقاومة الإرجاع) نتيجةً لانخفاض القساوة في درجات الحرارة العالية.

☞ ( *Hot-shortness* ) : الكسر الساخن, وتعيّر عن الهشاشية في درجات الحرارة العالية, ويعتبر المسؤول عنها هو اتحاد الكبريت مع الحديد والذي يشكل بدوره سولفيداً ( *FeS* ) شديد الهشاشية سهل الإنصهار (ينصهر عند  $985^{\circ}C$ ), مما يسبب إنكسار الفولاذ عند تسخينه, ويُعد المنغنيز هو العنصر المضاد للكبريت حيث يتّحد معه مشكلاً مركب الـ *MnS* , مما يعيق تشكل السولفيد ( *FeS* ).