

# الأكاديمية العربية الدولية



الأكاديمية العربية الدولية  
Arab International Academy

---

## الأكاديمية العربية الدولية المقررات الجامعية

---

# كتاب عمليات تصنیع (2)

تألیف

أساميہ محمد المرضي سليمان

استاذ مساعد ، كلية الهندسة ، جامعة وادي النيل

الطبعة الأولى يناير 1993م

الطبعة الثانية المنقحة يناير 2016م

بسم الله الرحمن الرحيم

## شكر وعرفان

الشكر والعرفان لله والتبريات والصلوات على رسوله وخدمه محمد وعلى آله وصحبه وجميع من تبعه إلى يوم القيمة.

لذكرى كُلّ من أمري الغالية خضرة درار طه، وأبي العزيز محمد المرضي سليمان، وخالتى الحبيبة زعفران درار طه الذين تعلمت منهم القيمة العظيمة للعمل واحترام الوقت وترتيبه وتدبره. إلى زوجتي الأولى نوال عباس عبد المجيد وبناتي الثلاث رؤى، روان وآية تقديرًا لحبهم وصبرهم ومثابرتهم في توفير الراحة والسكون خاصَّةً عندما تتعدَّد وتتشابك الأمور.

إلى زوجتي الثانية لمياء عبد الله علي فزاري التي مَثَّلَ حبها وتضرعها إلى الله الزخم الذي دفعني للمسير في طريق البحث والمعرفة الشائك.

يَوْدُ الكاتب أن ينقدم بالشكر أجزله لكل من ساهم بجهده وفكره ووقته في إخراج هذا الكتاب بالصورة المطلوبة ويخص بذلك الزملاء الأساتذة بقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة وادي النيل، وأيضاً الأخوة الأساتذة بقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة البحر الأحمر.

الشكر والتقدير والعرفان للبروفيسور محمود يس عثمان الذي ساهم بقدر كبير في مراجعة وإعادة مراجعة محتويات الكتاب.

أهدي هذا الكتاب بصفة أساسية لطلاب دبلوم وبكالوريوس الهندسة في جميع التخصصات خاصة طلاب قسم الهندسة الميكانيكية . حيث يستعرض هذا الكتاب الكثير من التطبيقات في عمليات التصنيع وعلم المواد وخصائص المواد الهندسية.

أُعْبَرَ عن شكري وامتناني إلى المهندس أسامة محمود محمد علي بمركز دائنية لخدمات الحاسوب والطباعة بمدينة عطبرة الذي أنفق العديد من الساعات في طباعة، مراجعة وإعادة طباعة هذا الكتاب أكثر من مرة.

أخيراً، أرجو من الله سبحانه وتعالى أن يتقبل هذا العمل المتواضع والذي آمل أن يكون ذو فائدة للقارئ.

### مقدمة

إنَّ مؤلف هذا الكتاب وإيمانًا منه بالدور العظيم والمُقدَّر الذي يقوم به الأستاذ الجامعي في إثراء حركة التأليف والترجمة للمراجع والكتب الهندسية القيمة يأمل أن يفي هذا الكتاب بمتطلبات برامج البكالوريوس ، الدبلوم العالي والدبلوم العام لطلاب الهندسة الميكانيكية وهندسة الإنتاج أو التصنیع لما له من أهمية كبيرة في تغطية جزء من مقررات عمليات التصنیع وعلم المواد وخواص المواد الهندسية.

يتفق هذا الكتاب لغوياً مع القاموس الهندي الموحد السوداني ويعُدُّ مرجعاً في مجاله حيث يمكن أن يستفيد منه الطالب والمهندس والباحث . معظم مادة هذا الكتاب مقتبسة من محاضرات ومحاضرات مؤلفة في تدريسه لهذا المقرر لفترة تزيد قليلاً عن عشرون عاماً .

يهدف هذا الكتاب لتعريف طالب الهندسة ببعض عمليات تشكيل وتشغيل المعادن ذات الطابع الكلاسيكي (i.e. التقليدي) أو الحديث.

يشتمل هذا الكتاب على خمس فصول . حيث يستعرض الفصل الأول أهمية المعادن في الصناعة ، الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمعادن ، بعض الاختبارات الهامة التي تُجرى على المواد الهندسية مثل اختبار الشد ، اختبار مقاومة الصدمات واختبار الصلادة بالإضافة إلى طرق تحضير وتجهيز المعادن لعمليات التشكيل أو التشغيل اللدن . أما الفصل الثاني فيؤكد على أهمية عملية توليد الرائش من حيث أنواع الرائش ، الظروف المؤاتية لحدوثه ، تأثير الحرارة على الحد القاطع لأدوات وعدد القطع بالإضافة لبعض عمليات التشكيل بدون توليد رائش .

يناقش الفصل الثالث طرق وأساليب التشغيل الحديثة من حيث مبدأ تشغيلها ، مميزاتها ومحدداتها . أما الفصل الرابع فيتحدث بشيء من التفصيل عن اختبارات الشد والانضغاط من وجهة نظر شكل مقطع العينة ، كيفية

ربطها أو تثبيتها على ماكينة الاختبار ، تأثير معدل التحميل على العينة ، تفاوت الاستطالة مع الطول الاسمي ومساحة المقطع العرضي ، الانفعال الزائد والتحميل التكراري .

يهم الفصل الخامس بالتأكل لما له من أهمية وأثر كبير في عمليات الإنتاج والتصنيع ، حيث يؤدي التأكل إلى انهيار المنشآت الفلزية بفعل تفاعಲها مع الجو المحيط . يستعرض هذا الفصل المحددات الاقتصادية والاجتماعية للتأكل ، صور التأكل من حيث طبيعة الوسط الأكل ، ميكانيكية عملية التأكل ومظهر الفلز المتآكل . أيضاً يتناول هذا الفصل نوعي التأكل من حيث كونه تآكلًا موضعياً أو تآكلًا متجانساً وأسباب حدوثه ومحدداته وكيفية الحد منه .

يأمل الكاتب أن يتحقق هذا الكتاب الهدف الذي كتب من أجله ألا وهو تبسيط الفهم والاستيعاب لهذه المادة وهضمها بسهولة حتى تصبح معيناً للطالب والمهندس والباحث وكل قارئ لهذا الكتاب . في الختام أسأل الله التوفيق والسداد .

والله الموفق

### المؤلف

أُساميَة محمد المرضي سليمان

Osama Mohammed Elmardi Suleiman

يناير 2016 م

## المحتويات

الصفحة	الموضوع
i	شكر وعرفان
ii	مقدمة
iv	المحتويات
<b>الفصل الأول : خواص المواد الهندسية</b>	
1	1.1 مدخل
1	1.2 أهمية المعادن في الصناعة
2	1.3 الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمعادن
6	1.4 اختبارات المواد الهندسية
11	1.5 طرق تحضير وتجهيز المعادن
<b>الفصل الثاني : عملية توليد الرائش</b>	
24	2.1 مدخل
25	2.2 أنواع الرائش
27	2.3 تأثير الحرارة على الحد القاطع
28	2.4 عمليات بدون توليد رائش
<b>الفصل الثالث : طرق وأساليب التشغيل الحديثة</b>	
32	3.1 مدخل
32	3.2 التشغيل بالتفريغ الكهربائي
34	3.3 التشغيل بالموجات فوق الصوتية
36	3.4 التشغيل الكيميائي
<b>الفصل الرابع : اختبار المواد وأساليب المختبرية</b>	
39	4.1 اختبارات الشد
40	4.2 ماكينات الاختبار

40	4.3 تأثير معدل التحميل
40	4.4 تفاوت الاستطالة مع الطول الاسمي ومساحة المقطع العرضي
41	4.5 الانفعال الزائد والتحميل التكراري
43	4.6 إجهاد الصمود
43	4.7 اختبارات الانضغاط
44	4.8 الانهيار في المعادن القصبة

### الفصل الخامس : التآكل

48	5.1 تعريف التآكل
48	5.2 المحددات الاقتصادية للتآكل
49	5.3 المحددات الاجتماعية للتآكل
50	5.4 صور التآكل
50	5.5 أنواع التآكل
57	5.6 مسائل في عمليات التصنيع

### الكتب والمراجع

## الفصل الأول

### خواص المواد الهندسية

### Properties of Engineering Materials

#### 1.1 مدخل (Introduction)

من الخطأ الاعتقاد بأن السبب الرئيسي في ارتفاع أسعار بعض المعادن مثل الذهب والبلاتين والألماس في الأسواق العالمية هو ندرتها في الطبيعة فقط بل أن هناك الكثير من العوامل الأخرى التي قد تكون وراء مثل هذا الارتفاع في الأسعار كصعوبة الاستخلاص وارتفاع كلفة التقنية المستخدمة.

( 1/ complexity of extraction 2/ higher cost of technology used )

تجدر الإشارة هنا إنَّ أبحاث الفضاء التي تجري في عصرنا ربما يتمحض عنها وجود مصادر أخرى للمواد الهندسية غير الأرض . هذا بالإضافة للمواد المركبة المستخدمة في كثير من الصناعات الفضائية والطائرات والطائرات من دون طيار (unmanned drones) وسيارات السباق وغيرها .

#### 1.2 أهمية المعادن في الصناعة (Importance of Metals in Industry)

كما ذُكر سابقاً فإنَّ المواد الهندسية تشكل الحجر الأساسي (i.e. حجر الزاوية) (corner stone) في التقدم الذي شهدته البشرية مؤخراً .

وقد لعبت المعادن الحديدية منها وغير الحديدية (ferrous and non- ferrous metals) دوراً رئيسياً في مثل هذا التقدم وبالرغم من اننا قد لا نلتقط أو لا نفكِّر كثيراً بالمعادن فإنها موجودة فعلاً حولنا في معظم الآلات والمعدات والأدوات التي نستعملها في حياتنا اليومية ، فالسيارات والقطارات والسفن والطائرات والماكينات

الانتاجية المختلفة ومحركات السيارات والآلات الزراعية والأدوات المنزلية وأدوات الورش ما هي إلا أمثلة على الدور الذي تلعبه المعادن في حياتنا .

### 1.3 الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمعادن :

#### ( Physical and Mechanical Properties of Metals)

##### أولاً : الخواص الفيزيائية (Physical Properties)

تمتاز المعادن بلمعانها وعدم شفافيتها وتحتاج المعدن عن المواد اللامعدنية في كثير من النقاط أهمها ما يلي :

1. الكثافة (Density) : المعادن عالية الكثافة مقارنة بالمواد اللامعدنية .  $\rho = \frac{m}{V}$

2. التوصيل الحراري والكهربى (Thermal and Electrical Conductivity)

المعادن مثل الفضة، النحاس والألمونيوم جيدة التوصيل للحرارة والكهرباء بعكس المواد غير المعدنية مثل الألخاب، الفلين، المطاط وغيرها .

3. الحرارة النوعية (Specific Heat Capacity) :

المعادن حرارتها النوعية أقل من المواد اللامعدنية. حيث توضح المعادلة التالية العلاقة بين الحرارة النوعية والتغير في درجة الحرارة:

$Q = m^o C_p dT$  . حيث  $Q$  هي كمية الحرارة،  $m^o$  هو معدل سريان الكتلة،  $C_p$  الحرارة النوعية و  $dT$  التغير في درجة الحرارة .

#### 4. الانعكاس الضوئي (Light Reflection) :

معظم المعادن تعكس الأشعة الضوئية لذا فإن لونها الطبيعي أبيض أو أقرب ما يكون إلى البياض ويشد عن ذلك النحاس والذهب بينما كثير من المواد الالامعنية لا تعكس الضوء.

#### 5. نفاذ الأشعة السينية (X-Ray Penetration) :

المعادن صعبة الاختراق بواسطة الأشعة السينية بينما أغلب المواد الالامعنية تسمح بنفاذ الأشعة السينية.

#### 6. القابلية للمغناطيسة (Magnetizability) :

أكثريه المعادن قابلة للمغناطيسة بعكس أغلب المواد الالامعنية.

#### 7. الميوعة (Fluidity) :

وهي قابلية المعادن على السائلة والانسياب عند درجات الحرارة العالية . تمتاز أغلب المعادن بأنها ذات درجة انسياب عالية عند درجات الحرارة العالية ، وبمتاز الزئبق بأنه مائع عند درجة حرارة الغرفة. يستفاد من هذه الخاصية في تكنولوجيا أو تقنية السباكة .

#### 8. الانصهار الموضعي (Local Fusibility) :

وهي قابلية المعادن على الانصهار عند نقاط محددة إذا سُلّطت على هذه النقاط حرارة عالية ويُستفاد من هذه الخاصية في عمليات اللحام المختلفة .

#### ثانياً : الخواص الميكانيكية (Mechanical Properties) :

يُقصد بهذه الخواص سلوك المعادن عند تعرضها للأنواع المختلفة من الاحمال والاجهادات مثل الشد ، الانضغاط ، الانحناء ، الالتواء . وأهم هذه الخواص هي :

## 1. المطاطية أو المطيلية (Ductility) :

وترمز إلى قدرة المعدن على تقبل التغيير في شكله تحت تأثير قوى الشد (tension) ، الانضغاط (compression)، الانحناء (bending)، الالتواء (torsion) والسحب (drawing) بدون حدوث الكسر (compression) كما يحدث في عمليات سحب الأسلاك وسحب المواسير (wire and tube drawing).

## 2. الطروقية (Malleability) :

وترمز إلى قدرة المادة على قبول التغيير في شكلها تحت تأثير الانضغاط (compression) بدون حدوث الكسر ويعـدـ المـعدـنـ لـيـنـ (i.e. لـدـنـ) إـذـاـ كـانـ مـنـ الـمـمـكـنـ تـشـكـيلـهـ دـوـنـ كـسـرـ بـعـدـ عـمـلـيـاتـ الـحـدـادـةـ (forging) أو الدرفلة (rolling).

## 3. العـسـوـ أوـ المـتـانـةـ (Toughness or Strength) :

وترمز إلى قابلية المادة على مقاومة الانهيار تحت تأثير القوى الخارجية .

## 4. قابلية الانشطار أو الانقسام (Divisibility) :

وهي قابلية المعدن على نزع اجزاء منه عن طريق قوى القص تحت الاحمال العالية كما هو الحال في عمليات إزالة الرأـشـ المـخـتـلـفـةـ (الـخـرـاطـةـ ،ـ التـفـرـيزـ ،ـ الـكـشـطـ ،ـ الـجـلـخـ ،ـ التـعـيمـ أوـ الصـنـفـرـةـ) .

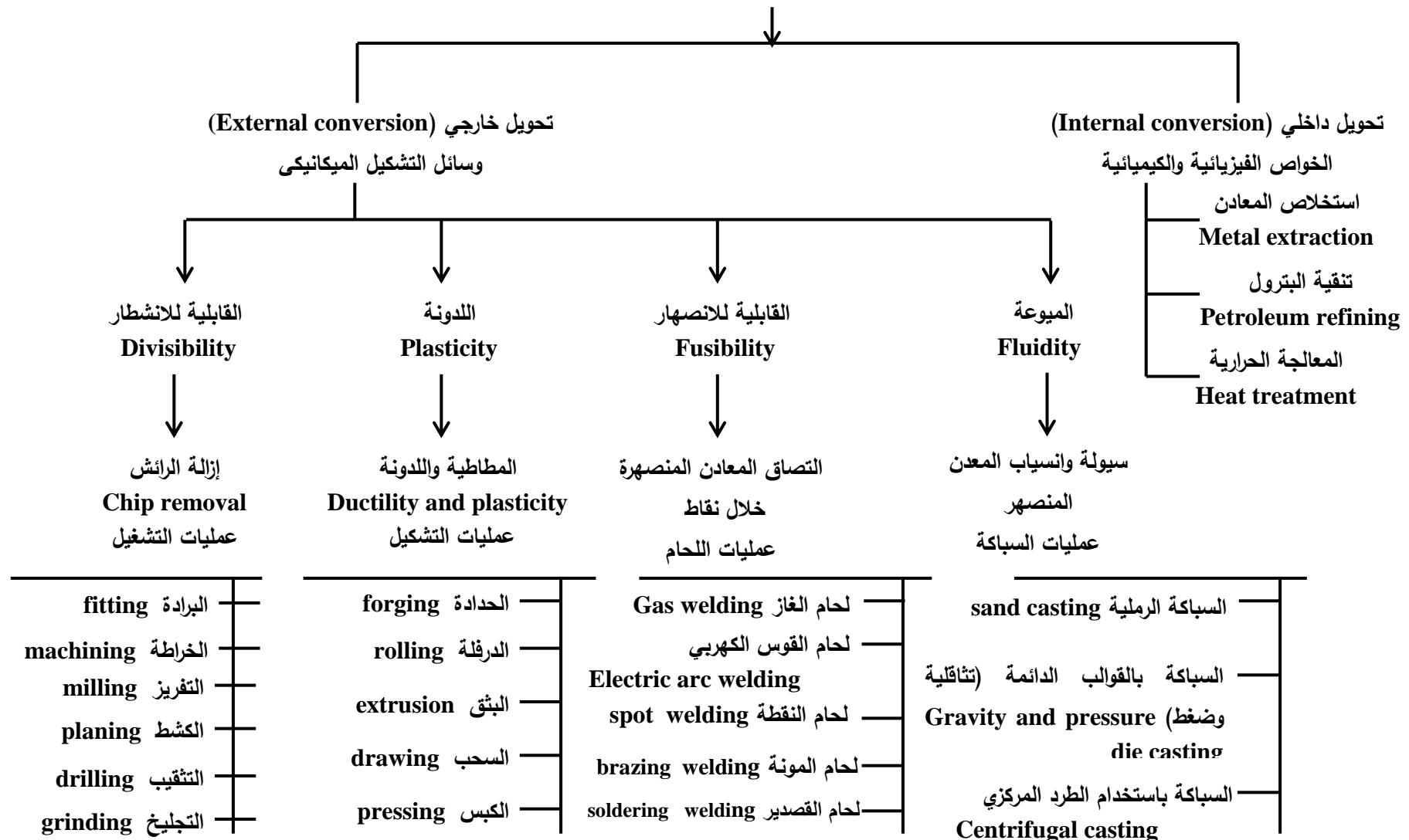
## 5. الصـلـادـةـ (Hardness) :

وهي مقاومة المعدن للخدش أو لاختراق الأجسام الأخرى فيه .

(Hardness: is the ability of a material to withstand scratching or indentation) الشـكـلـ (1.1)ـ أـدـنـاهـ يـوـضـحـ طـرـقـ التـصـنـيـعـ المـخـتـلـفـةـ (i.e. تـشـكـيلـ وـتـشـغـيلـ الـمـعـادـنـ)ـ وـاـرـتـبـاطـهـ بـخـواـصـ الـمـوـادـ الـهـنـدـسـيـةـ .

## طرق التصنيع (تشكيل او تشغيل المعادن إلى الشكل المطلوب)

### (Metal forming and machining)



شكل (1.1) طرق التصنيع المختلفة وارتباطها بخواص المواد

#### 1.4 اختبارات المواد الهندسية (Engineering Materials Testing)

لتحديد قيم عدديّة تُعبّر عن الخواص الميكانيكية الأساسية تُجرى اختبارات ميكانيكية على المواد المراد معرفة خواصها ... ومن أهم هذه الاختبارات اختبار الشد (tension)، اختبار الانضغاط (compression)، اختبار اللي (torsion)، اختبار التصادم (impact) وختبار الصلادة (hardness). سوف لا يتسع المجال هنا لشرح كل هذه الاختبارات بالتفصيل وسنكتفي بشرح مبسط لبعض الاختبارات فقط لإلقاء الضوء على طبيعتها وفائدتها.

##### 1.4.1 اختبار الشد (Tension Test)

يُجرى اختبار الشد لتحديد خواص المتنانة والليونة والمرونة للمعادن ويعتبر اختباراً سكونياً من حيث طريقة التحميل وعلاقة الحمل بالزمن .

تجهز لهذا الغرض عينات نمطية ذات شكل وأبعاد قياسية . وتوضع العينات بين فكي ماكينة الشد التي تؤثر عليها بقوى شد متزايدة وتقياس باستمرار الشد الكميّات الآتية:

i. طول العينة .

ii. مساحة مقطع العينة .

iii. مقدار قوة الشد .

وتروسّم علاقّة بين قوّة الشد  $F$  مقاسة بالنيوتن والتغيير في الطول (الاستطالة) مقدراً بالمليمترات على النحو المبين في الشكل (1.2) ويمكن استنتاج خصائص متعددة من هذا الاختبار أهمها ما يلي :

1. معايير المرونة للإجهادات المباشرة (معايير يونق) :

(Modulus of Elasticity or Young Modulus)

يتم تحديد معايير المرونة للإجهادات المباشرة (i.e. شد أو انضغاط) حسب قانون هوك الذي يقول أن الانفعال يتتناسب طردياً مع الاجهاد المسبّب له حتى حد التنااسب .

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\text{الاجهاد}}{\text{الانفعال}} = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ N/mm}^2$$

حيث يعرف الاجهاد (stress) بأنه خارج قسمة الحمل على مساحة مقطع العينة ، أي أن :

$$\sigma = \frac{\text{الحمل}}{\text{مساحة المقطع العرضي}} = \frac{F}{A} \text{ N/mm}^2$$

كذلك يعرف الانفعال (strain) بأنه خارج القسمة للزيادة في الطول (i.e. الاستطالة) بالنسبة للطول الأصلي ، وهو عبارة عن كمية لا بعديه .

$$\epsilon = \frac{\text{الزيادة في الطول}}{\text{الطول الأصلي}} = \frac{\Delta L}{L} \text{ mm/mm}$$

## 2. اجهاد الخضوع (Yield Stress)

هو الاجهاد الذي يبدأ عنده الانفعال او التشوه المستدام للمادة ، ويعطى بالمعادلة :

$$\sigma_y = \frac{\text{الحمل عند نقطة الخضوع}}{\text{مساحة المقطع العرضي}} = \frac{F_y}{A} \text{ N/mm}^2$$

## 3. الاجهاد الأقصى (Ultimate Stress)

هو أقصى قيمة للإجهاد يمكن أن تتحمله المادة قبل فشلها ، ويعطى بالمعادلة :

$$\sigma_u = \frac{\text{الحمل الأقصى}}{\text{مساحة المقطع العرضي}} = \frac{F_u}{A} \text{ N/mm}^2$$

## 4. معامل المرونة أو الرجوعية (Resilience)

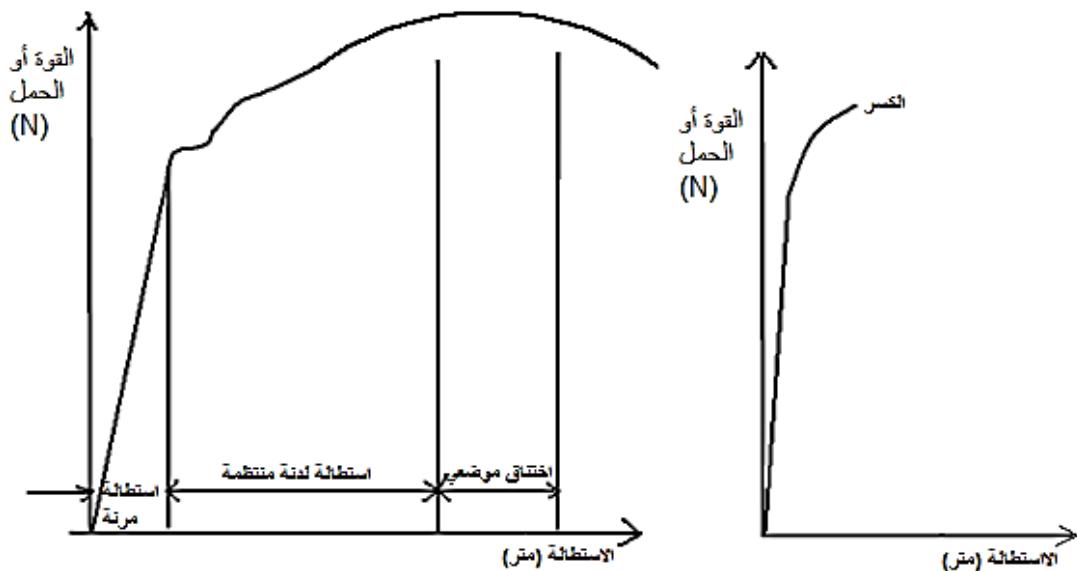
يساوي مقدار الطاقة المخزونة في وحدة الحجوم الناتجة من انفعال المعدن حتى حد المرونة .

$$\text{معامل المرونة أو الرجوعية} = \frac{\text{مربع اجهاد الخضوع}}{\text{ضعف معاير المرونة}} = \frac{(\sigma_y)^2}{2E}$$

أي هو المساحة تحت منحنى الاجهاد والانفعال حتى حد المرونة . وبالتالي يمكن التعبير عن معامل المرونة

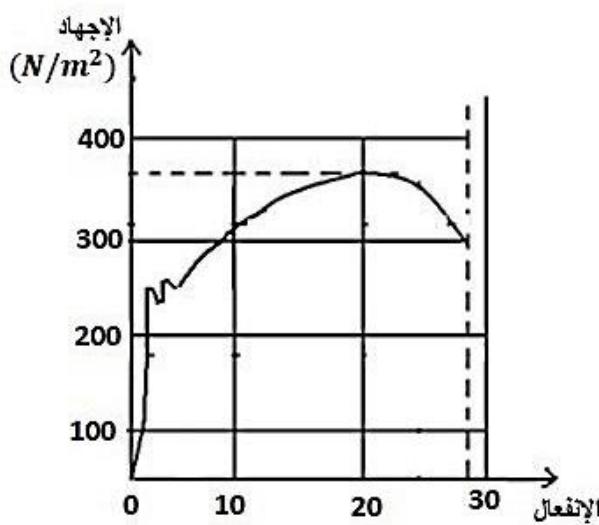
بالمعادلة :

$$\text{معامل المرونة} = \frac{1}{2} \sigma \epsilon$$

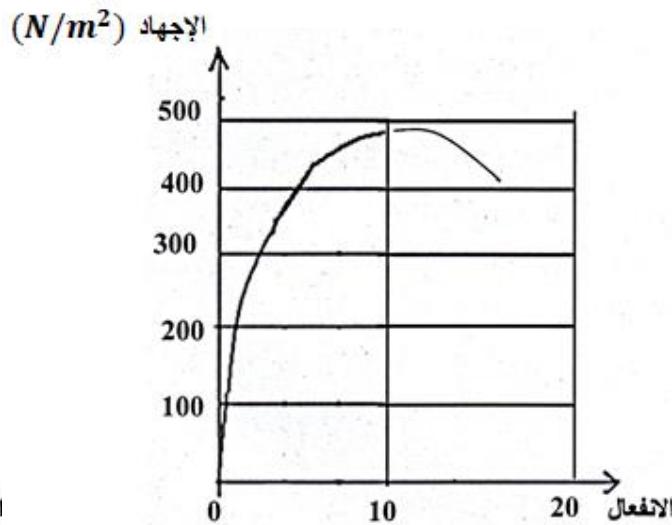


صلب طري (ب)

صلب ناشف (أ)



(د)



(ج)

شكل (1.2) الاجهاد ضد الانفعال لمادة مطيلية وأخرى قصبة

## 5. معامل المثانة :

ويساوي الشغل المبذول في وحدة الحجم من المعدن اللازم حتى نقطة كسر المعدن تحت الحمل الساكن . أي يساوي المساحة الكلية تحت منحنى الاجهاد والانفعال .

## 1.4.2 اختبار مقاومة الصدمات (Impact Test) :

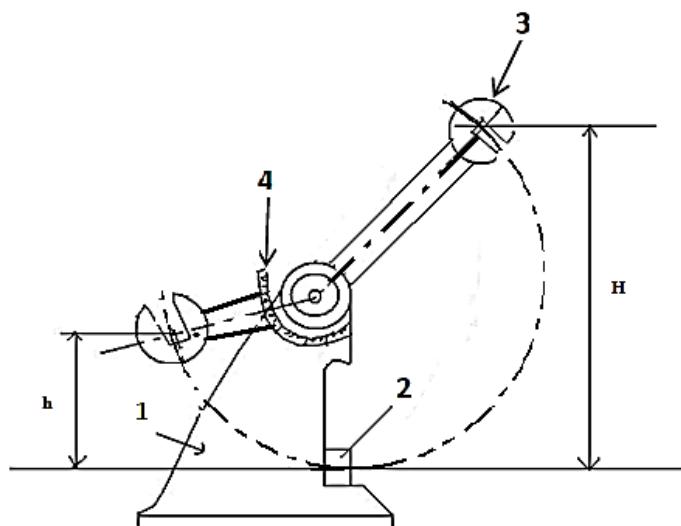
يعتبر هذا الاختبار من الاختبارات الهامة لمعرفة سلوك المعادن تحت تأثير الاحمال الديناميكية السريعة (الصدمات) ويتحدد نتيجة لهذا الاختبار خصائص المعدن الديناميكية وأهمها مدى تحمله للصدمات التي يتعرض لها أثناء استخدامه ويجري هذا الاختبار على عينات ذات شكل خاص تحتوى على (حز) (recess) في منتصف أحد جوانبها وتوضع العينة بين فكي الجهاز الموضح أدناه في الشكل (1.3) ويرفع الحمل إلى ارتفاع معين (H) ويترك ليسقط على العينة ليترفع بعد ذلك إلى ارتفاع آخر (h) ويكون الفرق في طاقة الوضع بين الارتفاعين معياراً لمقاومة المعدن للصدمات فإذا كان وزن كتلة البندول (w) فإنَّ :

مقاومة المعدن للصدمات ( $\alpha_k$ ) :

$$\alpha_k = \frac{w(H - h)}{A} \quad \text{kg/cm}^2$$

حيث  $A$  = مساحة مقطع العينة عند الحز بالسنتيمتر المربع .

وتختلف مقاومة المعدن للصدمات باختلاف قصافته (Brittleness) ولذلك فإنَّ قيمة هذه المقاومة للمواد الهشة (الحديد الذهبي) منخفضة جداً ( $0.1 - 0.2 \text{ kg/cm}^2$ ) بينما تتراوح قيمتها للصلب بين 2 و  $12 \text{ kg/cm}^2$  .



شكل (1.3) جهاز اختبار الصدمات (Charpy impact test)

1/ الجسم 2/ العينة 3/ الدقاق 4/ التدريج

## 1.4.3 اختبار الصلادة (Hardness Test)

## 1. اختبار صلادة برينيل (Brinell Hardness Test)

ويتم فيه ضغط كرة صلدة جداً بقوة في سطح المعدن المراد اختباره وتحسب الصلادة بمعامل برينيل الذي يعتمد على مقدار الحمل المستخدم في الضغط ومساحة الاثر الذي تتركه الكرة في المعدن على النحو التالي:

$$\text{رقم صلادة برينيل (Brinell hardness number)} = \frac{2W}{\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

حيث  $W$  ، هو الحمل المستخدم بال kg .

$D$  ، هو قطر الكرة المستخدمة بال mm .

$d$  ، هو قطر اثر الكرة في المعدن بال mm .

## 2. اختبار صلادة روکویل (Rockwell Hardness Test)

و فيه يُضغط مخروط من الماس زاوية قمته 120 درجة في المعدن المراد اختباره وتحسب الصلادة عن طريق العمق الذي يخترقه المخروط من المعدن تحت تأثير حمل يتوقف على مدى صلادة المعدن المختبر ، ويمكن بصفة عامة تقسيم هذا الحمل والطريقة المتبعة في الاختبار إلى الأقسام الآتية :

نوع الاختبار	الحمل الأولي	الحمل الكلي	شكل أداة الاختبار
RHA	10 kg	60 kg	مخروط زاويته 120 درجة
RHB	10 kg	100 kg	كرة قطرها 2.5mm
RHC	10 kg	150 kg	مخروط زاويته 120 درجة

## 1.4.4 اختبار صلادة فيكرز (Vickers Hardness Test)

و تستخدم هذه الطريقة خصوصاً لاختبار صلادة الطبقة السطحية الرقيقة من المعدن والناتجة عن بعض المعالجات الحرارية الخاصة . كما يمكن استخدامها لاختبار صلادة المواد الشديدة الصلادة والأجزاء ذات المقاطع الصغيرة . تُعين الصلادة عن طريق ضغط هرم رباعي من الماس زاوية قمته 136 درجة في المادة

المراد اختبارها بواسطة أحمال تتراوح بين ( 5 و 140kg ) ثم تفاص مساحة الأثر الناتج بواسطة المجهر

وتحسب الصلادة بالمعادلة الآتية :

$$H_v = \frac{\text{الحمل (W)}}{\text{مساحة الأثر}} , \text{ رقم صلادة فيكرز}$$

ويجب ملاحظة أن يبقى الضغط على العينة المراد اختبارها مدة من الزمن لا تقل عن 15 ثانية .

### 1.5 طرق تحضير وتجهيز المعادن (Metals Preparation Methods) :

#### 1.5.1 تحضير الحديد الصلب :

المعادن الحديدية (ferrous metals) هي سبائك الحديد مع الكربون وعناصر أخرى مثل السيليكون والمنجنيز والفوسفات والكربيرت وغيرها .

ويمكن تقسيم المعادن الحديدية بصفة عامة إلى نوعين رئيسيين هما الصلب أو الفولاذ (steel) والزهر- (cast) iron . والصلب هو سبائك الحديد التي تحتوى على أقل من 2% كربون بينما الزهر هو السبائك التي تحتوى على نسبة أعلى من ذلك (2-6%) .

#### 1.5.2 خام الحديد (Iron Ore) :

يعتبر عنصر الحديد من أكثر العناصر انتشاراً في الكرة الأرضية إذ يحتل المركز الرابع بعد الاوكسجين والسيليكون والألمونيوم وتحتوى الكرة الأرضية على 4.2% من وزنها حديد . ويوجد الحديد داخل القشرة الأرضية متحداً مع عناصر أخرى على شكل أكسيد أو كربونات أو كبريتات مختلط بها مواد أخرى تسمى المواد العاطلة في الخام . ويستخرج الخام من باطن الأرض بواسطة الصناعات التعدينية (mining industries) بطرق الانتاج المعدني (metallurgical processes) .

ومن أمثلة الخامات الحديدية الموجودة في الطبيعة الهيماتايت (hematite) والماجنتايت (magnetite) ومن أمثلة المواد العاطلة في الخام السيليكا (الرمل) والألومينا (أحدى مكونات الطين) والجير (أكسيد الكالسيوم) .

#### 1.5.3 تسلسل عمليات إنتاج الحديد والصلب :

إذا تأملنا أي منتج مصنوع من المعادن الحديدية مثل محرك السيارة المسبوك من الزهر أو هيكلها المصنوع من ألواح الفولاذ (i.e. الصلب) وتحرينا طريقة انتاجه والخطوات التي مرّ بها منذ أن كان خاماً في باطن الأرض إلى أن صار بالصورة الموجودة عليها لوجدنا أنه مرّ بسلسلة طويلة ومعقدة ومتراوحة من العمليات لها تسلسل ثابت ويحدث نتيجة لذلك تغير في شكل وخصائص المعدن حتى يلائم متطلبات الاستخدام النهائي.

وعموماً يمكن تقسيم الصور المختلفة التي تنتج بها المعادن الحديدية بعد استخلاص المعدن من خاماته إلى مواد نصف مصنعة ومنتجات نهائية .

### I. المواد نصف المصنعة : (Semi-Finished Products)

وهي أكثر المواد المعدنية انتشاراً ويقصد بالمواد نصف المصنعة المواد التي أجري عليها بعض العمليات التصنيعية ولا تزال تنتظر اجراء عمليات تصنيعية تالية لتعديل خواصها وشكلها ويمكن تقسيم المواد نصف المصنعة المأخوذة من صناعة الحديد إلى :

#### 1. المعدن الخام (Raw Metal)

وهو المعدن الناتج من عملية الاستخلاص الميتالورجية الأولية من الخام المعدني الأصلي . والتركيب الكيميائي للمعدن الخام لا يزال يحتاج إلى تعديل بواسطة عمليات تالية للحصول على التركيب المطلوب ويدخل المعدن الخام في العمليات التالية على صورتين هما :

##### A. معدن منصهر (Molten Metal) :

ينقل مباشرة بدون تخزين من عملية الاستخلاص إلى عملية التحويل والتعديل ومثال ذلك الزهر الخام الذي يحول إلى صلب .

##### B. تماسيح المعدن الخام (Pigs) :

وهي ثقب من المعدن في قوالب معدنية تسمى التماسيح وبهذه الصورة يمكن تخزينها لمدة طويلة .

#### 2. معدن مجهز (Prepared Metal)

بعد إعادة صهر المعدن الخام وضبط تركيبه الكيميائي يكون المعدن جاهزاً للصب على الصورة المطلوبة

ومثال ذلك الزهر الخام الناتج من الفرن العالي يُعاد صهره في فرن الدست (Cupola furnace) ويُصب في قوالب السباكة أو يُحوَّل إلى صلب ويُصب على شكل كتل التشكيل.

### 3. المسبوكات (Castings) :

هي الأشكال التي تنتج عن صب المعدن المنصهر في قوالب الرمل أو القوالب المعدنية التي بها تجويف له نفس شكل الجزء المراد إنتاجه ويُبَرَّد المعدن بعد ذلك في هذا التجويف ويُجَمَّد على الشكل المطلوب.

### 4. كتل التشكيل (Forming Lugs) :

تصب المعادن التي سوف تشكل بعد ذلك بطرق التشكيل اللدن (plastic forming) أو بالطرق على شكل كتل تشكيل يتراوح وزنها بين 100 kg وواحد طن. (hammering)

### 5. كتل التشكيل النصف مدلفنة أو مدرفلة (Semi-Rolled Lugs) :

جميع كتل التشكيل تجرى عليها دلفنة أو درفلة أولية (initial rolling) لتبديل التركيب البلوري للمعدن المصبوب لأنه غير متجانس ولا يلائم عمليات التشكيل التي يتعرض لها فيما بعد.

### 6. بلاطة التشكيل :

لدلفنة المعدن على شكل ألواح تدلفن كتلة التشكيل مبدئياً على شكل ذو مقطع مستطيل يُسمى البلاطة.

### 7. كتلة مربعة (Square Block) :

إذا كان المنتج النهائي من عمليات التشكيل سيكون على هيئة قضبان مربعة المقطع فإن الشكل الذي تُحول إليه كتلة التشكيل النصف مدلفنة يكون له مقطع مربع حاد الأركان أو مستدير الأركان لا تزيد مساحته عن 160

$\cdot \text{cm}^2$

### 8. القضبان (Rods) :

هي منتجات ناتجة من عمليات الدلفنة (extrusion) أو السحب (drawing) أو البثق (rolling) و تكون على شكل أطوال كبيرة و مقطع صغير مستدير أو مربع أو سداسي .

### 9. المطروقات (Forgings)

وهي المنتجات الناتجة عن عمليات الطرق بتوجيه ضربات متتالية على المعدن وهو في الحالة اللينة أو اللينة.

### 10. القطاعات الانشائية (Structural Sections)

وهي من أهم المنتجات الحديدية النصف مصنعة وهي ذات أطوال كبيرة و ذات مقاطع مختلفة على هيئة حرف T أو I أو زاوية (angle) في شكل حرف L أو مجوف (channel) في شكل حرف U و تنتج عادة بالدلفنة و تستخدم في الأعمال الانشائية .

### 11. السلك (Wire)

وهو ناتج عن عمليات السحب (drawing) من القضبان وأطوالها كبيرة جداً و مقطعها صغير i.e. ( حوالي 2mm و مستدير .

### 12. الألواح (Sheet Metals)

وهي منتجات مدلقة ذات مساحات كبيرة و ذات سمك متباين يتراوح بين 2mm فما فوق . وكل المنتجات السابق ذكرها تستخدم كمادة اولية لصناعات أخرى . فمثلاً يستخدم السلك لصناعة المسامير (bolts) أو لصناعة الباريات (springs) كما تستخدم الألواح في عمل هيكل السيارات والثلاجات ومنتجات المكابس (press work) و تستخدم الكتل المرععة كمادة اولية في عمليات الحدادة والبثق . والقضبان المستديرة والسداسية المقطع تستخدم كمادة أولية في عمليات القطع (metal cutting) المختلفة في الخراطة مثلاً لانتاج القلاووظات (i.e. اللوالب) والصواميل والمسامير وغيرها .

## II. المنتجات النهائية : (Finished Products)

وهي عبارة عن المعادن التي تكون قد مرّت على جميع مراحل التشكيل والتشغيل حتى أصبحت جاهزة للاستخدام بمفردها أو بتجمعها مع منتجات أخرى لتكوين أجزاء الماكينات . مثلاً يوجد عدد كبير من المنتجات النهائية التي نقابلها في حياتنا اليومية مثل ألواح الفولاذ الطري التي تستخدم في هيكل السيارات ومبردات المياه ومبردات الهواء وغيرها .

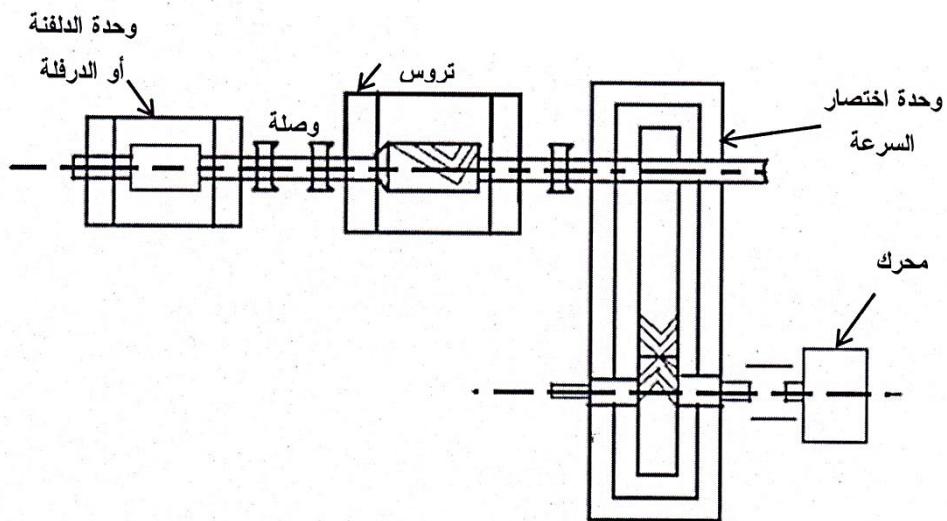
#### 1.5.4 التشكيل اللدن للمعادن (Plastic Forming of Metals)

##### 1. دلفنة أو درفلة المعادن (Metal Rolling)

عملية الدلفنة أو الدرفلة هي عملية تشكيل للمعدن وتنتمي بعصره بين جزئين اسطوانيين يسميان دولفينين يدوران عكس بعضهما ، ويتم في هذه العملية تقليل سمك المعدن مع زيادة طوله وعرضه . ويمكن أن تتم هذه العملية على الساخن أو على البارد وينتج عن عملية الدلفنة العديد من المنتجات نصف المصنعة كألواح الصلب الحديدية المستخدمة في الإنشاءات المعدنية كالعتبات أو العارضات ذات الأشكال المختلفة (beams) والزوايا (angles) والحديد المبروم المستخدم في الانشاءات الخرسانية (i.e. السيخ) .

##### 2. ماكينات الدلفنة أو الدرفلة (Rolling Machines)

يبين الشكل (1.4) أدناه رسمياً تخطيطاً لмаكينة الدلفنة أو الدرفلة التي تُدار بمحرك كهربائي يُقلل سرعته صندوق تروس مخفض للسرعات (gear box) وتصل السرعة الدورانية بعد ذلك إلى وحدة الدلفين عن طريق وصلة خاصة لنقل الحركة . وت تكون وحدة الدلفنة من دولفينين على الأقل مركبَان في جسم الماكينة على كراسٍ خاصٍ تسمح لهم بالدوران كما يمكن ضبط وضعهما حسب سمك المعدن المطلوب . وتصنع الدلفين من الحديد الذهبي أو من الصلب السبائك (alloy steel) ويُقسَّ سطحها الخارجي لكي يستطيع مقاومة التآكل الناتج من الاحتكاك أثناء عملية الدلفنة .



شكل (1.4) رسم مبسط لـماكينة الدلفنة أو الدرفلة

## 3. حساب زاوية التلامس : (Calculation of Angle of Contact)

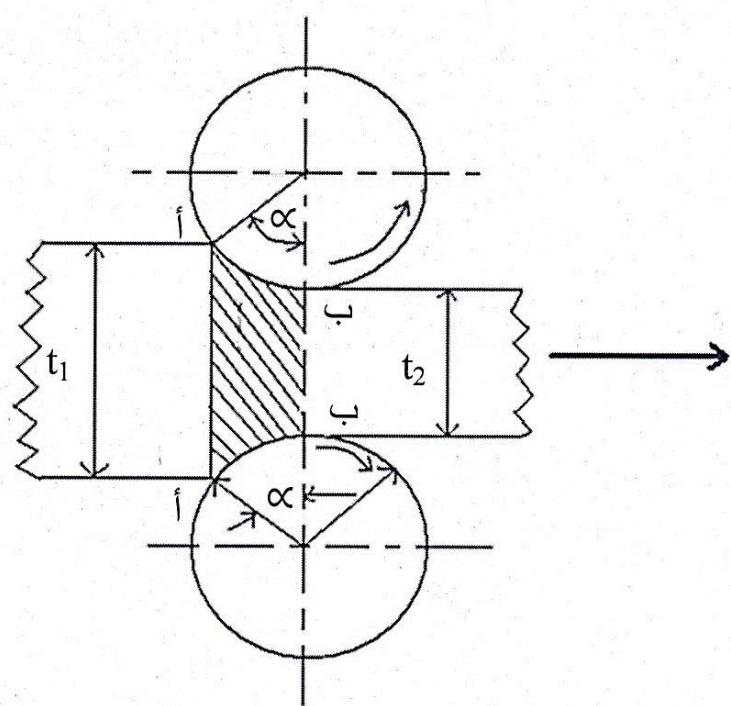
يوضح الشكل (1.5) التالي منطقة التغير في الشكل اثناء عملية الدلفنة وفيها يظهر قوس التلامس على سطحي الدولفينين وتسمى الزاوية المركزية ( $\alpha$ ) المناظرة لكل قوس بزاوية التلامس (angle of contact) ويمكن حساب قيمة زاوية التلامس هذه من العلاقة الآتية :

$$\cos \alpha = 1 - \left\{ \frac{t_1 - t_2}{d} \right\}$$

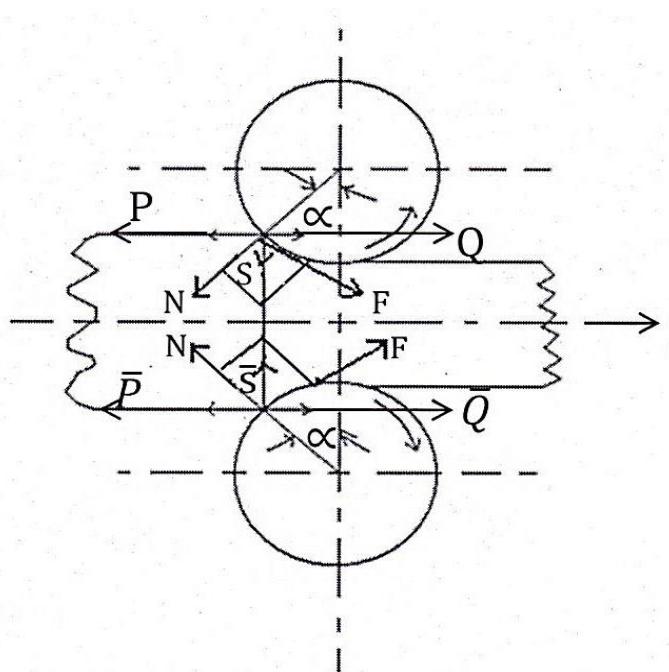
$$\therefore \alpha = \cos^{-1} \left\{ 1 - \left\{ \frac{t_1 - t_2}{d} \right\} \right\}$$

حيث :

 $d$  = قطر كل من الدولفينين أو الدرفليين. $t_1$  = سمك المعدن قبل الدلفنة أو الدرفلة. $t_2$  = سمك المعدن بعد الدلفنة أو الدرفلة.



شكل (1.5) هندسة عملية الدلفنة أو الدرفلة



شكل (1.6) القوى المؤثرة أثناء عملية الدلفنة

#### 4. شرط أداء عملية الدلفنة أو الدرفلة :

يتم امداد المعدن بين الدولفينين بواسطة الاحتكاك الذي ينشأ بين سطحي الدولفينين والمعدن المراد دلفنته .

عند بداية قوس التلامس أ يضغط الدولفينين على المعدن كل بقوة قيمتها ( $N$ ) وينتج عن ذلك قوة احتكاك بين

المعدن وكل من الدولفينين قيمتها ( $F$ ) وبتحليل القوتين  $N$  و  $F$  كما مبين في الشكل نجد أن :

أ. القوتين  $S$  و  $\bar{S}$  تقومان بعصر المعدن .

ب. القوتين  $\bar{Q}$  و  $Q$  تقومان بسحب المعدن إلى الأمام بين الدولفينين .

ج. القوتين  $\bar{P}$  و  $P$  تقومان بمقاومة عملية السحب .

حيث  $N$  = قوة ضغط الدرفيل على المعدن .

$F$  = قوة الاحتكاك بين المعدن والدرفيل .

$S$  = قوة عصر المعدن .

$Q$  = قوة سحب المعدن إلى الأمام بين الدرفليين .

من تحليل القوى ينتج الآتي :

$$S = N \cos\alpha + F \sin\alpha \quad (1)$$

$$Q = F \cos\alpha \quad (2)$$

$$P = N \sin\alpha \quad (3)$$

ولكي تتم عملية الدلفنة أو الدرفلة يجب ان تتغلب قوة السحب  $Q$  على قوة المقاومة  $P$  أي أن يكون :

$$\left. \begin{array}{l} 2Q > 2P \\ Q > P \end{array} \right\} \quad (4)$$

وبالتعويض عن قيم كل من  $Q$  ،  $P$  من المعادلتين (2) و (3) في المعادلة (4) عاليه نحصل على :

$$F \cos\alpha > N \sin\alpha \quad (5)$$

ولكن القيمة الحرجة للفوة  $F$  عند وشك منع الحركة ( وشك انزلاق المعدن بين الدولفينين أي دوران الدولفينين

دون سحب المعدن ) يمكن ان تعطى بالمعادلة الآتية :

$$F = \mu N \quad (6)$$

حيث  $\mu$  هو معامل الاحتراك بين الدلفينين والمعدن المراد دلفنته وتتوقف قيمته على نوع كل من مادة الدلفين والمعدن المراد دلفنته وعلى درجة خشونة سطح كل منهما وكذلك على درجة حرارة كل منهما وسرعة الدلفنة ، ويرتبط معامل الاحتراك ( $\mu$ ) بزاوية الاحتراك ( $\phi$ ) بالعلاقة التالية :

$$\mu = \tan \phi \quad (7)$$

ومن المعادلات (5) ، (6) ، (7) يمكن استنتاج شرط أداء عملية الدلفنة على النحو الآتي :

$$\begin{aligned} F \cos \alpha &> N \sin \alpha \\ \mu N \cos \alpha &> N \sin \alpha \\ \tan \phi N \cos \alpha &> N \sin \alpha \\ \therefore \tan \phi &> \tan \alpha \end{aligned} \quad (8)$$

أي أنه لكي تحدث عملية الدلفنة أو الدرفلة يجب أن تكون زاوية التلامس  $\alpha$  أصغر من زاوية الاحتراك ( $\phi$ ) . (angle of friction)

تتراوح قيمة زاوية التلامس (angle of contact) بين  $24^\circ$  و  $30^\circ$  في عمليات دلفنة كتل الخام ، وبين  $15^\circ$  و  $20^\circ$  في عمليات دلفنة الشرائط والألواح المعدنية على الساخن وبين درجتين وعشرين درجات في عمليات دلفنة الألواح على البارد.

## 5. انواع ماكينات الدلفنة : (Types of Rolling Machines)

يمكن تقسيم ماكينات الدلفنة من ناحية نوعية المنتج الذي تتجه إلى الانواع الآتية :

### 1. ماكينات الخصر الأولى : (Primary Reduction Mills)

وتشمل ماكينات انتاج الكتل النصف مدلفة والكتل المربعة والألواح السميكة.

### 2. ماكينات دلفنة المقاطع الانشائية : (Structural Sections Mills)

التي تقوم بتحويل الكتل النصف مدلفة والمربعة إلى مقاطع انشائية مختلفة كالعتبات (beams) ، القصبان (rods) والزوايا (angles) .

## 3. مكينات الدلفنة النهائية (Finishing Mills)

ويشمل هذا النوع مكينات دلفنة الألواح الرقيقة والشراط (sheets). كما تقسم مكينات الدلفنة من ناحية عدد

الدلفين المستخدمة إلى :

## i. مكينات دلفنة ثنائية (Two High Rolls)

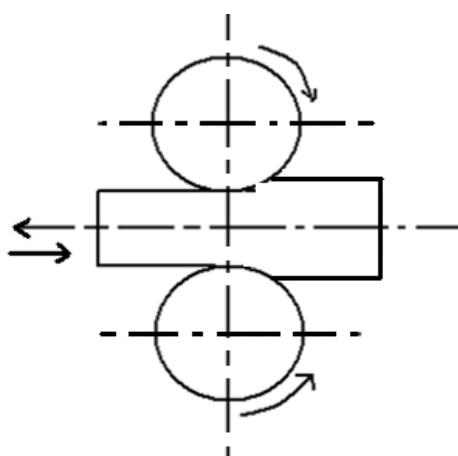
وتتكون من دولفينين يدوران في اتجاهين متضادين وتخترق المعدن عند مروره بين الدولفينين في اتجاه التغذية

الذي يحدده اتجاه الدوران .

## ii. مكينات دلفنة ثنائية عاكسة (Reversing Rolls)

وفيها يمكن عكس اتجاه دوران الدولفينين وبذلك يمكن تغذية كتلة المعدن من كلا الاتجاهين ومن ناحية التركيب

فهي مماثلة للشكل (1.7) أدناه :



شكل (1.7) مكينة دلفنة ثنائية

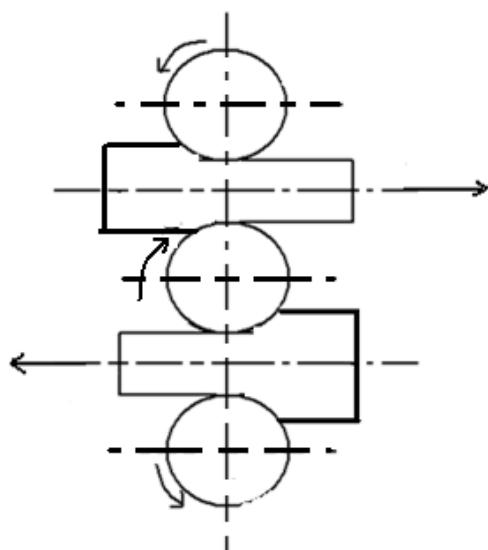
## iii. مكينات دلفنة ثلاثية (Three High Rolls)

وفي هذا النوع ترتكب ثلاثة دلفين في جسم الماكينة وبذلك يمكن تغذية المعدن من خلال الدولفينين الأعلى

والأوسط في أحد الاتجاهات ثم يعاد تغذية المعدن من خلال الدولفينين الأوسط والسفلي في الاتجاه المضاد

وبذلك يمكن الاستغناء عن ضرورة عكس حركة الدوران كما في النوع السابق . الشكل (1.8) أدناه يوضح

مكينة دلفنة ثلاثية .

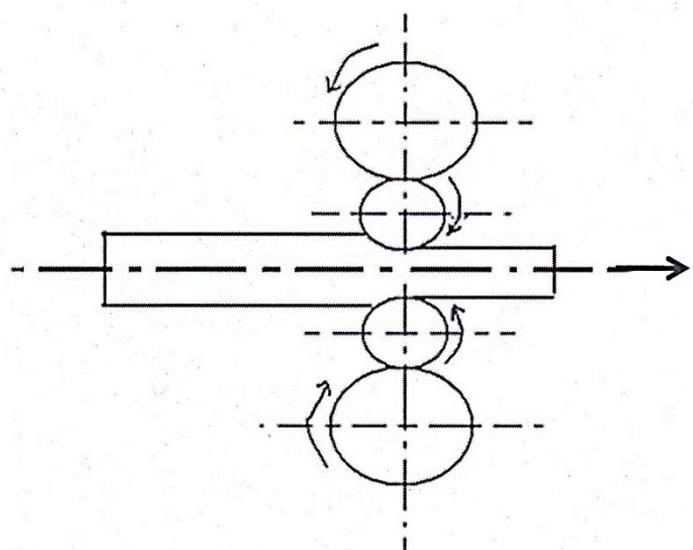


شكل (1.8) ماكينة دلفنة ثلاثية

## iv. ماكينات دلفنة رباعية (Four High Rolls)

تتكون الماكينات في هذا النوع من دولفيني تشكيل صغيري القطر ( forming rolls ) يسندهما دولفيني إسناد كبيري القطر ( supporting rolls ) .

والغرض من هذه العملية هو استخدام الدولفينين الصغارين للحصول على نسبة اختصار كبيرة في سماكة المعدن مع الاحتفاظ بقدرة تحمل عالية للقوى بمساعدة الدلافين الكبيرة . الشكل (1.9) أدناه يوضح ماكينة دلفنة رباعية .



شكل (1.9) ماكينة دلفنة رباعية

## v. ماكينات الدلفنة متعددة الدلافين (Multi High Rolls)

ويستخدم هذا النوع بكثرة في عمليات الدلفنة وتتراوح أقطار دلفين التشكيل المستخدمة بين 10mm و 30mm ، وترتّب الدلفين الساندة حول دولفيني التشكيل مما يؤدي إلى زيادة قوة الماكينات على دلفنة المقاطع الصغيرة بمقاسات دقيقة وكذلك زيادة قدرة تحملها لقوى الضغط الكبيرة الناتجة عن زيادة معدلات الاختصار.

#### vi. ماكينات الدلفنة الشاملة : (Universal Rolling Mills)

وتكون من دولفينين أفقين وأخرين رئيسيين وتستخدم معاً في إنتاج المقاطع الانشائية الكبيرة الحجم بعمق يصل إلى 1000mm

#### 6. عمليات الدلفنة على البارد : (Cold Rolling Processes)

تتميز عمليات الدلفنة على البارد بالخصائص الآتية :

1. دقة عالية في إنتاج المقاطع الصغيرة .

2. جودة عالية في تشطيب الأسطح المدلنة .

3. صلابة عالية للمعدن المدلن .

وتحتاج عملية الدلفنة على البارد إلى قوة أكبر للتشكيل نتيجة لارتفاع مقاومة المعدن للتشكيل لذلك تستخدم لهذا الغرض ماكينات الدلفنة متعددة الدلفين حيث تدخل المادة الأولية على هيئة الواح أو شرائط مدلنة على الساخن بعد إزالة الصدأ من عليها بغسلها في احماض مخففة .

ويلاحظ أنه ينتج من عملية الدلفنة على البارد ومثلها كافة عمليات التشكيل على البارد اجهادات داخلية (internal stresses) في المنتجات مما يتربّع عنه زيادة هشاشة المعدن وكذلك زيادة صلادته ، ولذا يجب معالجة المنتجات المدلنة على البارد حرارياً (i.e. باستخدام المعالجات الحرارية المناسبة ) لازالة الخواص غير المرغوب فيها .

#### 7. عمليات الدلفنة على الساخن : (Hot Rolling Processes)

تم عملية الدلفنة على الساخن بواسطة تسخين المعدن إلى درجة حرارة عالية بعد تنظيفه وإزالة أي شوائب من على سطحه . بعد التأكد من وصول المعدن إلى درجة الحرارة المطلوبة تزال أيضاً طبقة الصدأ المتكونة نتيجة التسخين ثم تُجرى عملية الدلفنة على الساخن التي تتميز بقلة مقاومة المعدن للدلفنة على عكس عملية الدلفنة على البارد .

## الفصل الثاني

### عملية توليد الرأيش

#### Chip Generation

##### 2.1 مدخل (Introduction)

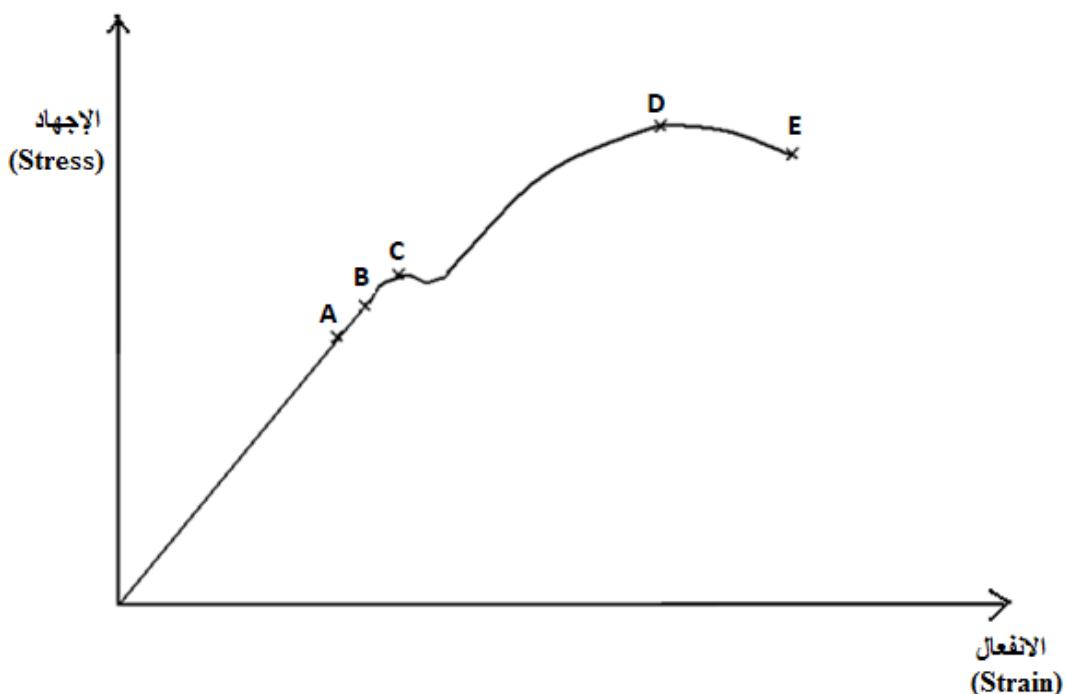
عملية توليد الرأيش من العمليات الفيزيائية والميكانيكية المعقدة لأنها تشمل على كل من التشوه المرن (elastic deformation) والتشوه اللدن المستدام (permanent plastic deformation) للمعدن المراد تشغيله على ماكينات الانتاج المختلفة (i.e. مثل المخرطة ، الفريزة ، المكشطة ، المدقاب ، الجلخ وغيرها) وعادة ما يصاحب هذه العملية احتكاك شديد بين عدة القطع والمعدن المراد تشغيله ينتج عنها توليد حرارة عالية والتلف للرأيش وانكماسه وتصدُّد سطح الشغالة وبلíي الحد القاطع .

الشكل (2.1) أدناه يوضح منحنى الاجهاد - الانفعال للفولاذ الطری (mild steel) والذي يتكون من النقاط

التالية :

- i. النقطة A تمثل حد التناسب (Limit of Proportionality) حيث يتناسب الانفعال مع الاجهاد المسبب له حتى هذا الحد فيما يُعرف بقانون هوك (Hook's law) .
- ii. النقطة B تمثل حد المرونة (Elastic Limit) وهو الحد الذي يمكن ان ترجع فيه المادة إلى حالتها الأولى بعد زوال القوة المؤثرة .
- iii. النقطة C وهي النقطة التي يبدأ عندها التشوه اللدن (i.e. المستديم) وتسمى بنقطة الخضوع (Yield Point) ولها قيمتان عليا ودنيا حيث يزيد فيها الانفعال بثبات الاجهاد ثم يستمر الانفعال في الزيادة بنقصان واضح في الاجهاد .
- iv. النقطة D وتمثل الحد الأقصى للتشوه اللدن حيث يصل الاجهاد عندها إلى أقصى قيمة له وتسمى بنقطة الاجهاد الأقصى (Maximum or Ultimate Stress Point)

- v. النقطة E وتمثل الاجهاد الذي ينكسر عنده المعدن وتسماى بنقطة الكسر (Fracture Point) والتي يزيد عندها الانفعال بانخفاض واضح في الاجهاد .



شكل (2.1) منحنى الاجهاد ضد الانفعال للفولاذ الطري

في الانفعال اللدن تتحرك بعض طبقات المعدن في اتجاه مستويات الانزلاق (slip planes) التي تتطبق اساساً مع أقصى اجهاد قص ، ويتم هذا الانزلاق بين جزيئات الحبيبات البلورية وبين الحبيبات نفسها ونتيجة لذلك يتغير شكل الحبيبات وحجمها ووضعها النسبي ويصاحب الانفعال اللدن درجة حرارة شديدة وتغير في خواص المعدن واهماها زيادة صلادته .

## 2.2 أنواع الرائش :

هناك أربعة أنواع رئيسية للرائش هي :

### 2.2.1 الرائش غير المتصل :

يتكون هذا الرائش نتيجة لتشغيل معادن قاسية ذات مطبلية منخفضة بسرعة منخفضة . وهو عبارة عن قطع صغيرة عندما يتم إزالة احداها تضغط عدة القطع طبقة المعدن التالية لإزالتها وهكذا .

## 2.2.2 الرائش المتصل (Continuous Chips) :

ينتج هذا النوع من الرائش نتيجة لتشغيل الصلب (أو الفولاذ الطري) عند سرعات قطع عالية (أكبر من  $60\text{m/min}$ ) حيث تتطلب زاوية قص كبيرة.

الظروف المؤاتية لحدوث هذا النوع من الرائش :

1. معدن طري .

2. سماك رائش صغير .

3. سرعات قطع عالية .

4. زاوية جرف كبيرة .

5. احتكاك قليل بين عدة القطع والرائش نتيجة لـ :

i. سطح عدة القطع لامع وناعم .

ii. معدن عدة القطع ذو معامل احتكاك منخفض .

iii. استخدام التزييت .

6. تحقيق درجة حرارة قطع مناسبة .

## 2.2.3 الرائش غير المتجانس: (Inhomogeneous Chips or Heterogeneous Chips)

يتكون هذا الرائش نتيجة لتشغيل الصلب بسرعة قطع متوسطة حيث يكون وجه الرائش الملامس لوجه العدة ناعماً في حين يحتوى الوجه الآخر للرائش عقداً تدل على مراكز فصل أجزاء الرائش عن المعدن الأصلي بزاوية  $\emptyset$ .

الظروف المؤاتية لتكوين الرائش غير المتجانس هي :

1. حدوث ارتفاع في درجة الحرارة نتيجة احتكاك شديد بين عدة القطع والرائش.

2. يتأثر المعدن المقطوع في نقطة خضوعه تأثراً ملحوظاً بارتفاع درجة الحرارة.

## 2.2.4 الرائش المتكسر (المفتّت) (Fractured Chips) :

يتكون هذا الرائش نتيجة لتشغيل المعادن ذات اللدونة المنخفضة مثل الحديد الزهر القاسي والبرونز القاسي .

وهو عبارة عن قطع متكسرة ومفتتة و مختلفة في الشكل عن بعضها البعض . وفي تشكيل الرائش المتكسر تكون

الشقوق (cracks) فجأة على طول مستوى القص الذي تفصل عنده جزيئات الرائش .

## 2.3 تأثير الحرارة على الحد القاطع :

يتعرض الحد القاطع لقلم الخراطة للإجهادات المترتبة على قوى القطع كما يتعرض القلم باستمرار عملية القطع

للنأكل نتيجة للحرارة العالية المتولدة من الاحتكاك . هذه الحرارة تنتقل من عدة القطع حيث تقلل من صلادتها

وتجعلها أقل قدرة على مقاومة البلى وتأثير مباشرة على عمر عدة القطع . فالبنية المارتنزية ( Martensitic )

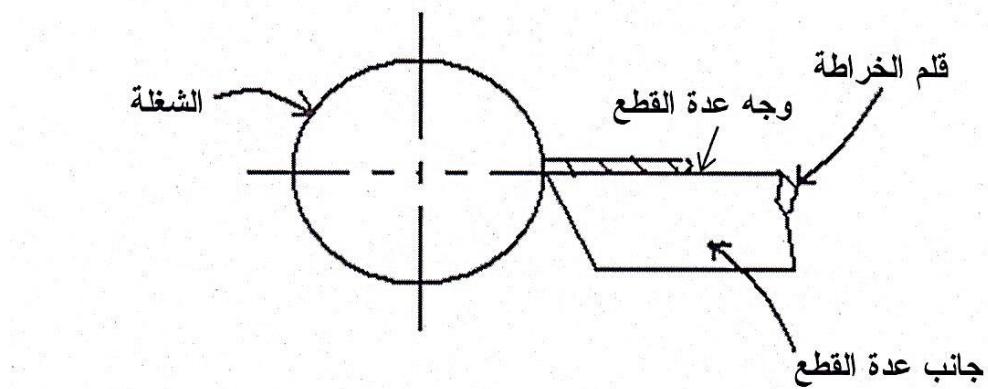
(Structure) والتي تحصل عليها من المعالجة الحرارية تتحلل عند درجة حرارة مقدارها 600 درجة مئوية مما

فوق إلى بنية أخرى أقل مقاومة للبلى والاحتكاك .

عند قطع المعادن توجد أقصى درجة حرارة في منطقة الرائش المجاورة لعدة القطع وتقل تدريجياً كلما ابتعدنا

عنها . وتزيد درجة الحرارة على سطح عدة القطع (Tool face) عن جوانبها بما أن وجه عدة القطع تنتقل إليه

درجة الحرارة نتيجة لاحتكاك والتشوه اللدن معًا بينما يتعرض جانب عدة القطع لاحتكاك فقط .



يمكن تقليل الحرارة الناشئة عن الاحتكاك باستخدام نظام تبريد مناسب يُرش من خلاله مائع التبريد على الشغالة

والقلم لامتصاص بعض الحرارة من العدة عن طريق التبخر . كما تقييد الزيوت الموجودة في مائع

التبريد في تزليق العدة مما يقلل من الاحتكاك بينها وبين الشغالة .

## 2.4 عمليات بدون توليد رائش :

### 2.4.1 عمليات تشكيل بالاسطمبات (Press Work) :

المقصود بالتشكيل بالاسطمبات هو كبس المادة المراد تشكيلها بين جزئي الضبعة (السنبلة والاسطمبة) (punch and die) . تعتبر هذه الطريقة أكثر طرق التشكيل استخداماً وخصوصاً في حالة انتاج اعداد كبيرة من المنتجات . هنالك نوعان من عمليات التشكيل بالاسطمبات :

#### النوع الأول :

يعتمد على تشكيل المادة بواسطة قصها حسب الشكل المطلوب مثل عملية التخريم (Piercing) والتفريج (Blanking) . يلاحظ في هذا النوع من التشكيل أن القوة المستخدمة تكون مساوية أو أكبر من القوة اللازمة لقص المعدن.

#### النوع الثاني :

يعتمد على تشكيل المادة بواسطة ثبيتها أو سحبها ولا يحدث قص للمعدن مثل عمليات الثبي (Bending) والسحب العميق (Deep Drawing) . يلاحظ أن القوة في هذا النوع تكون مساوية لقوة التشكيل اللازمة و تكون أقل كثيراً من قوة قص الماده.

سيتم فيما يلي شرح النوعين المذكورين عاليه بالتفصيل :

#### 1. عمليات قص :

##### التفريج أو التخريم :

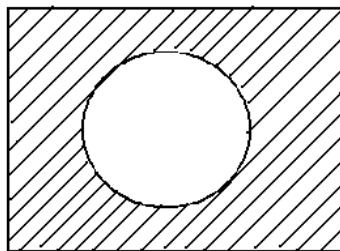
توضع المادة المراد تشكيلها بين الاسطمبة والسنبلة ويتحرك السنبلة إلى أسفل بالقوة اللازمة لقص المادة (i.e.) قطعها).

تعتبر العملية عملية تفريغ إذا كان المنتج هو الجزء المقطوع من المعدن ( له نفس شكل السنبلة) وفي هذه

الحالة تكون أبعاد السنبل أقل من الأبعاد المطلوبة للمنتج بقيمة سماح للتمدد الخاص بالمعدن المستخدم بعد عملية القص .

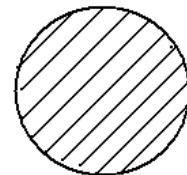
وتعتبر العملية عملية تحرير إذا كان المنتج هو الجزء المتبقى من المعدن بعد كبسه وفي هذه الحالة تكون أبعاد السنبل أكبر من الأبعاد المطلوبة للفراغ المتكون بقيمة سماح للتمدد الخاص بالمعدن المستخدم .

الشكل (2.2) أدناه يبين منتج عملية التفريغ والشكل (2.3) يوضح منتج عملية التحرير بينما يوضح الرسم في الشكل (2.4) الأداة المستخدمة في عمليتي التفريغ والتحرير .



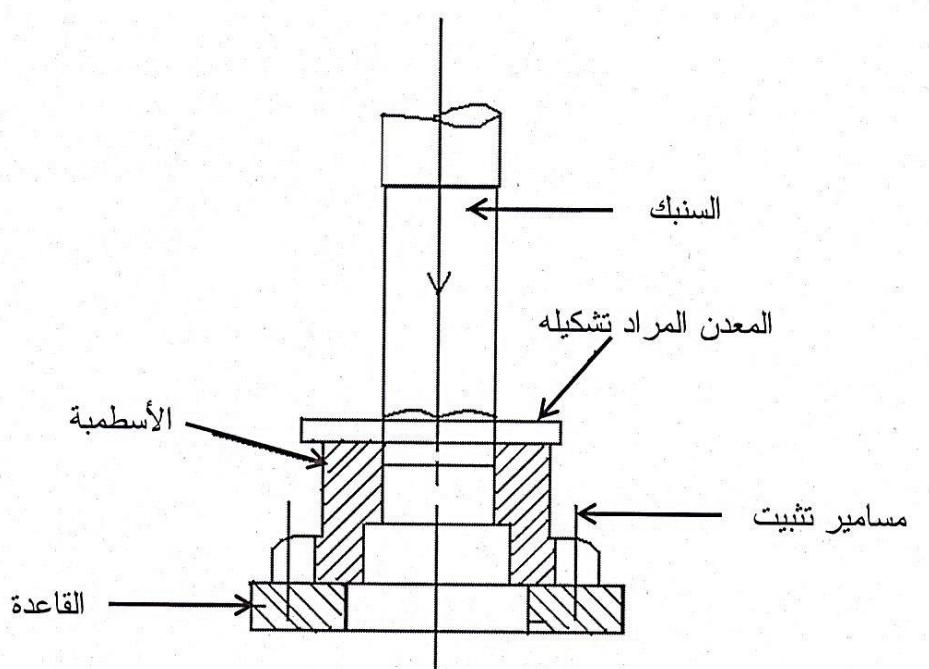
عملية التحرير

شكل (2.3) منتج عملية التحرير



عملية التفريغ

شكل (2.2) منتج عملية التفريغ



شكل (2.4) الأداة المستخدمة في التفريغ أو التحرير

### 2. عمليات تشكيل :

#### i. الثنبي :

في هذه العملية يتم ثني المعدن وذلك بضغطه بين الأسطنبة والسنبل بالقوة اللازمة لعملية تشكيله . هناك نوعان من عمليات الثنبي وهي ثني مفرد وثنبي مزدوج .

#### ii. السحب العميق:

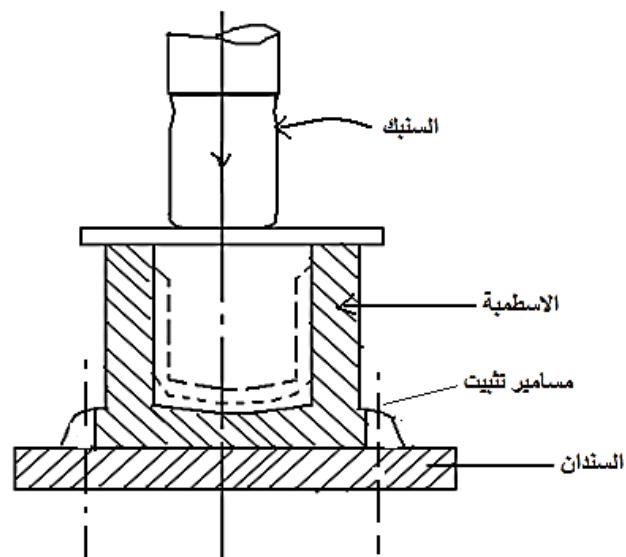
هي عملية تغيير قطعة من الألواح المعدنية فتتغير شكلها من قطعة مسطحة إلى قطعة ذات شكل مقعر حسب العمق المطلوب . تقوم آلية سحب مكونة من سنبل واسطنبة بكبس المعدن وسحبه بين سطحيها ، ويلاحظ أن سبك المادة يقل أثناء سحبها من السبك الأصلي . تستخدم هذه الطريقة لتشكيل المعادن ذات اللدونة العالية وإلا تمزق أثناء السحب. الشكل (2.5) أدناه يوضح الآلية المستخدمة في السحب العميق.

#### iii. التشكيل بالسك والختم:

عملية السك عبارة عن تشكيل الكتل والأفراص المعدنية الصغيرة نسبياً بكبسها بين مكبسين يحتوي سطحهما على الهيئة أو الشكل المراد اعطاؤه لوجهي الكتلة أو القرص المعدني .

يُصمم قالب الذي يتكون من المكبسين بشكل لا يسمح بانسياط المعدن إلى الخارج. تستعمل هذه الطريقة بصورة خاصة لتشكيل قطع النقود المعدنية والميداليات وأجزاء الآلات الكاتبة وما شابه .

أما عملية الختم فتستعمل عادة كمرحلة نهائية لإعطاء شكل نهائي لقطعة سبق وأن شُكلت بطرق التشكيل الأخرى . ليس الغرض من التشكيل بالختم إحداث تغيير كبير في شكل أو هيئة القطعة بل تقتصر فقط على احداث تغييرات طفيفة في الشكل وضبط دقيق لأبعاد ومقاسات القطعة المشكلة .



شكل (2.5) آلية السحب العميق

### الفصل الثالث

#### طرق وأساليب التشغيل الحديثة

#### Modern Machining Methods

##### 3.1 مدخل (Introduction) :

إن الزيادة الحديثة في استعمال المعادن الصلدة والمعادن التي تقاوم ارتفاع درجة الحرارة في المجال الهندسي قد زاد التفكير باستحداث طرق جديدة ومبتكرة لخراطة وتشكيل هذه المعادن .

من الطرق الحديثة المستخدمة في تشغيل وتشكيل هذه المعادن :

##### 3.2 التشغيل بالتفريغ الكهربائي (Electrical Discharge Machining) :

معنى التشغيل الكهربائي هو استعمال التيار الكهربائي أو التفريغ الكهربائي في خراطة هذه المعادن. وعند استعمال التيار الكهربائي يمكن تفادي تغيير الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية كما هو الحال في طرق التشغيل التقليدية (i.e. الخراطة التشكيلية ، خراطة الكرنكات ، تفريز السلندرات ، تتعيم السلندرات ، تفريز التروس وغيرها) .

##### 3.2.1 مميزات استخدام طريقة التشغيل الكهربائي :

1. يمكن استخدام معادن طرية كأداة قطع لخراطة اصل المعادن .
2. مُعدّل إزالة المعادن ليس له علاقة بصلادة المعادن .
3. يمكن تشكيل المعادن الطرية بسهولة لتعطي الأشكال المعقدة .

##### 3.2.2 محددات استخدام طريقة التشغيل الكهربائي :

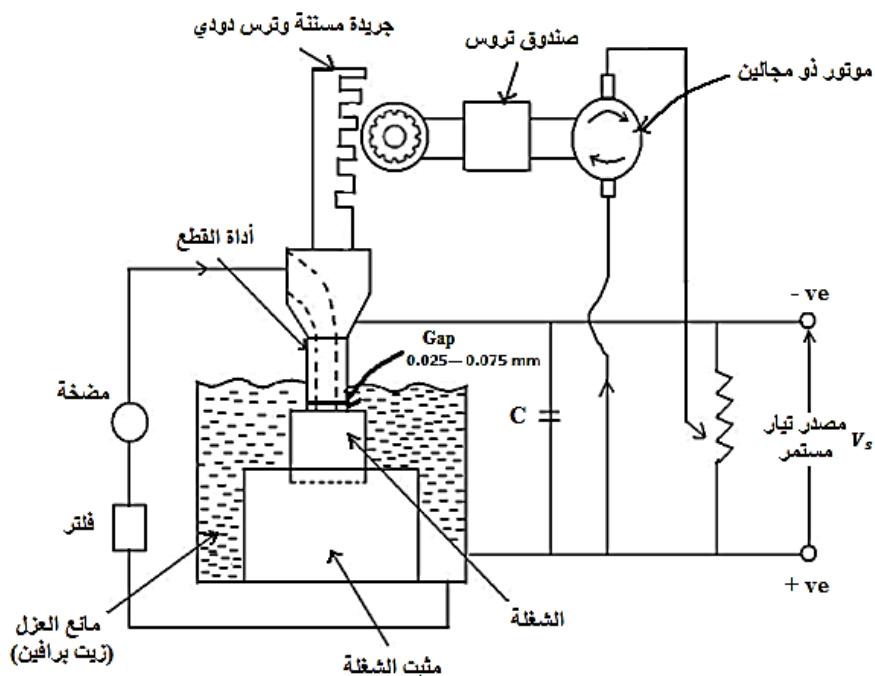
ومن عيوبه أو محدداته أن معادن الشغالة المراد تشغيلها ومعادن أداة القطع يجب أن يكونا جيداً التوصيل للتيار الكهربائي .

يعتمد التشغيل بالتفريغ الكهربائي (الهدم بالشرارة) على الهدم الناتج من الشرارة الكهربائية بين القطبين المستعملين لانتاج هذه الشرارة . أحد هذين القطبين هو أداة القطع وتمثل الشغالة القطب الآخر.

للحظ انه عندما يكون القطبان من نفس المعدن فإن أكثر الهدم (التآكل) يحدث على القطب الموجب . لذلك i.e. توصل الشغالة دائمًا مع القطب الموجب وأداة القطع مع القطب السالب لنجعل على أعلى معدل هدم (إزالة) من الشغالة ويتبع ذلك تآكل أقل على معدن أداة القطع. تولد الشرارة من التفريغ الكهربائي عبر الفتحة الموجودة بين القطبين المغمورين في مائع العزل والذي يكون غالباً إما زيت برافين او زيت محوّلات . وتتراوح الفتحة بين القطبين فيما بين  $0.025\text{mm}$  و  $0.075\text{mm}$  ويجب أن تبقى ثابتة أثناء عملية التشغيل ، ويمكن التحكم فيها بواسطة موتور ذو مجالين. الشكل (3.1) أدناه يوضح ماكينة تفريغ كهربائي بجميع مكوناتها وأجزائها .

عندما توصل المعدن بمصدر تيار كهربائي مستمر (DC) يبدأ المكثف (C) في الشحن وتبدأ فولتيته  $V$  في الازدياد تجاه مصدر التيار  $V$  . خلال هذه الفترة الزمنية تعمل الفتحة الموجودة بين أداة القطع والشغالة عمل الدائرة المفتوحة حيث لا تسمح بمرور التيار الكهربائي بين القطبين لأنها مليئة بمائع العزل. أثناء هذه الفترة تزداد شحنة المكثف حتى تصل شحنته إلى فولتية وصل الفجوة  $V_g$  بين أداة القطع والشغالة ، عندها يتأنّى مائع العزل ليوصل التيار الكهربائي بين القطبين وتحدث الشرارة ويُفرّغ المكثف كل شحنته وتكون الشرارة ثابتة حتى يصل جهد المكثف إلى الصفر . عند انتهاء الشرارة يرجع مائع العزل إلى حالته الطبيعية (i.e. عازل) ثم يبدأ شحن المكثف من جديد وتتكرر الدورة من جديد .

بهذه الطريقة يمكن الحصول على شرارة متكررة حيث تكون الفترة الزمنية بين كل شرارة و أخرى هي  $100\mu\text{s}$  وكل واحدة من هذه الشرارات تولد درجة حرارة في المنطقة المحيطة بها تقدر بحوالي  $12,000^\circ\text{C}$  وهي كافية لإزالة أو إذابة المعدن الذي تقع عليه .



شكل (3.1) أجزاء ومكونات ماكينة التفريغ الكهربائي

### 3.3 التشغيل بالموارد فوق الصوتية : (Ultrasonic Machining)

تستعمل هذه الطريقة في عمل التقويب الدائرية وغير الدائرية في المعادن الهشة والصلدة . وقد وجدت مكانة كبيرة في تشكيل هذه المعادن الهشة والوصلات الغير جيدة كالزجاج والسيراميك والاحجار الكريمة والكريبيات كما تم استعمالها في التيتانيوم والتنجستن وقوالب وعدد الصلب أو الفولاذ .

تعتمد طريقة التشغيل على استعمال أداة قطع تهتز اهتزازات بذبذبة فوق صوتية على وجه الشغالة أثناء عملية التشغيل حيث لا يمكن أن تحدّد ما إذا كانت أداة القطع متحركة أو مهترأة إلا عند لمسها ، ففي هذه الحالة فقط يمكن الشعور بالحركة الاهتزازية لأداة القطع . عندما تتحرك أداة القطع حركتها الترددية فوق سطح الشغالة يتم تغذية الملاط الحاد ( i.e. غالباً يتكون من أكسيد الألミニوم أو كربيد البورون مضافاً إليهما كربيد السيليكون مع زيت البرافين ) بين أداة القطع والشغالة حيث يتم إزالة المعدن بطرق جزيئات الملاط الحاد على الشغالة والتي تؤدي إلى عمل حفر صغيرة على سطح الشغالة . يتم تغذية أداة القطع بصورة بطيئة تقدر بحوالي  $0.01 \text{ m/s}$  .

الشكل (3.2) أداة يوضح ماكينة تشغيل بالموارد فوق الصوتية .

تصنع أداة القطع عادة من المعادن الصلدة المتينة ولا تستعمل المعادن الهشة لأن طرق الحبيبات يؤدى إلى

تقشر سطح أداة القطع .

### 3.3.1 شكل أداة القطع :

يعتمد شكل أداة القطع على الآتي :

1. شكل المنتج المطلوب .

2. دقة سطح المنتج .

3. ملمس سطح المنتج .

### 3.3.2 معدل إزالة المعدن ودرجة نعومة السطح :

ويعتمد معدل إزالة المعدن ودرجة النعومة على الآتي :

1. سعة ذبذبة أداة القطع .

2. قوة الصدم بين الحبيبات الحاكمة والشغالة .

3. نوع معدن أداة القطع والشغالة .

4. حجم الحبيبات الحاكمة .

5. نوع الحبيبات الحاكمة .

6. كمية الحبيبات الحاكمة في الملاط .

### 3.3.3 مميزات التشغيل بالموجات فوق الصوتية :

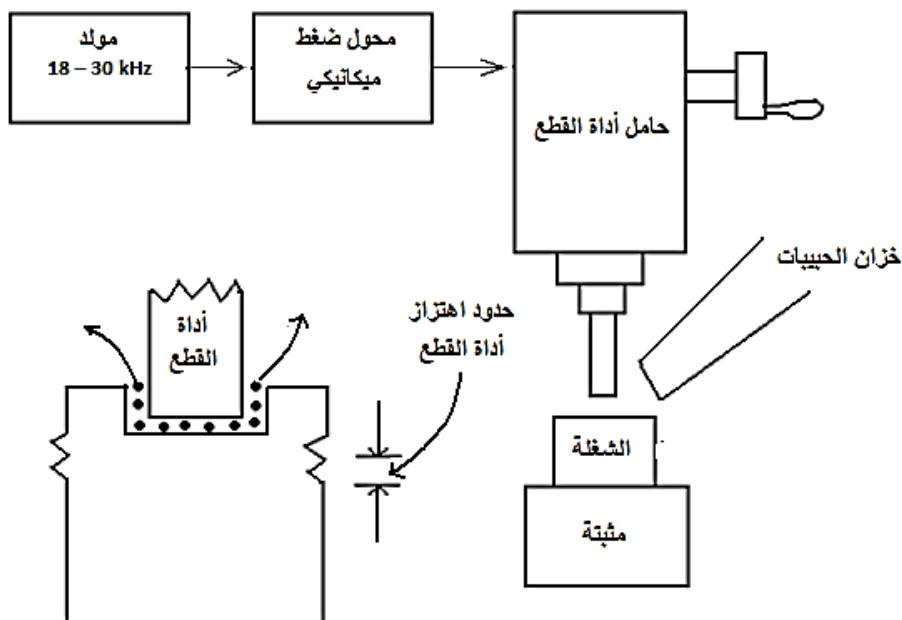
من مميزات هذه الطريقة :

1. خلو الشغالة من الاجهادات الحرارية .

2. انخفاض تكاليف أداة القطع .

3. يمكن استخدام عمال شبه مهرة لإنتاج أشغال دقيقة .

4. عمل ثقب دائرية وغير دائرية على معادن صلدة .



شكل (3.2) ماكينة التشغيل بالموجات فوق الصوتية

#### 3.4 التشغيل الكيميائي (Chemical Machining) :

يعتمد التشغيل الكيميائي كلياً على القدرة المذيبة للمحلول الذي تغمر فيه الشغالت . يمكن بهذه الطريقة إزالة المعدن من الأسطح في مختلف المستويات في وقت واحد .

لقد تم تطوير هذه التقنية في مصانع الطائرات لتخفيض المساحات الكبيرة للأجزاء المصنعة من سبائك الألمنيوم ولكن الآن انتشر استخدامها في مختلف الصناعات .

يتوقف حجم الأجزاء التي يمكن معالجتها بهذه الطريقة على ابعاد الخزان الذي تغمر فيه وسلسل العمليات المستعملة في عملية القطع (i.e. لمعادن الألمنيوم والماغنسيوم والتيتانيوم وسبائكها ) .

##### 3.4.1 خطوات التشغيل الكيميائي :

1. تخمير الأجزاء .
2. الحفر أو النحت .

### 1. تخمير الأجزاء :

#### خطوات التخمير :

- i. إزالة الحواف الحادة من الشغالة لأنها تؤدي إلى ضعف طبقة الغطاء .
- ii. تُنظف الأجزاء جيداً وتزال منها الدهون والشحوم بغمراها في بخار بعض المنظفات الكيميائية الأخرى .  
كما يجب إزالة الدخوش من على السطح حتى لا تظهر على الأسطح النهائية .
- iii. تُغسل الأجزاء في ماء نظيف .  
تُعطى الشغالة بطبقة غطاء عازلة يمكن أن تكون من البلاستيك .
- v. عندما تجف طبقة الغطاء يتم تعليم المساحات المطلوب حفرها .  
يقتلع الحجاب من المساحات المعلمة بواسطة سكينة .
- vi. الشكل (3.3) أدناه يوضح مخططاً كثرياً لسلسل عملية التخمير .

### 2. الحفر أو النحت الكيميائي :

أثناء عملية الحفر تعلق الشغالة في خزان المحلول بخلوص يُقدّر بحوالي 150mm من قاع الخزان وبنفس المقدار في جميع الاتجاهات .

يجب أن تصنع الخزانات من مواد لا تتأثر بالحافر الكيميائي . تتوقف الطريقة ونوع الحافر على نوع المعدن الذي تصنع منه الشغالة وهي باختصار كما يلي :

i. الألمنيوم وسبائكه :  
يُسْتَعْمَلُ الألمنيوم وسبائكه محلول الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم) بنسبة تركيز 10% مضافاً إليه 1% الألمنيوم في شكل قطع تذاب فيه .

يُقدّر هجوم هذا المحلول بحوالي 1mm عمق لكل ساعة . بعد الحفر تغسل الشغالة جيداً بماء نظيف لمدة 2 دقيقة . تكون درجة حرارة المحلول مساوية لـ 80 درجة مئوية .

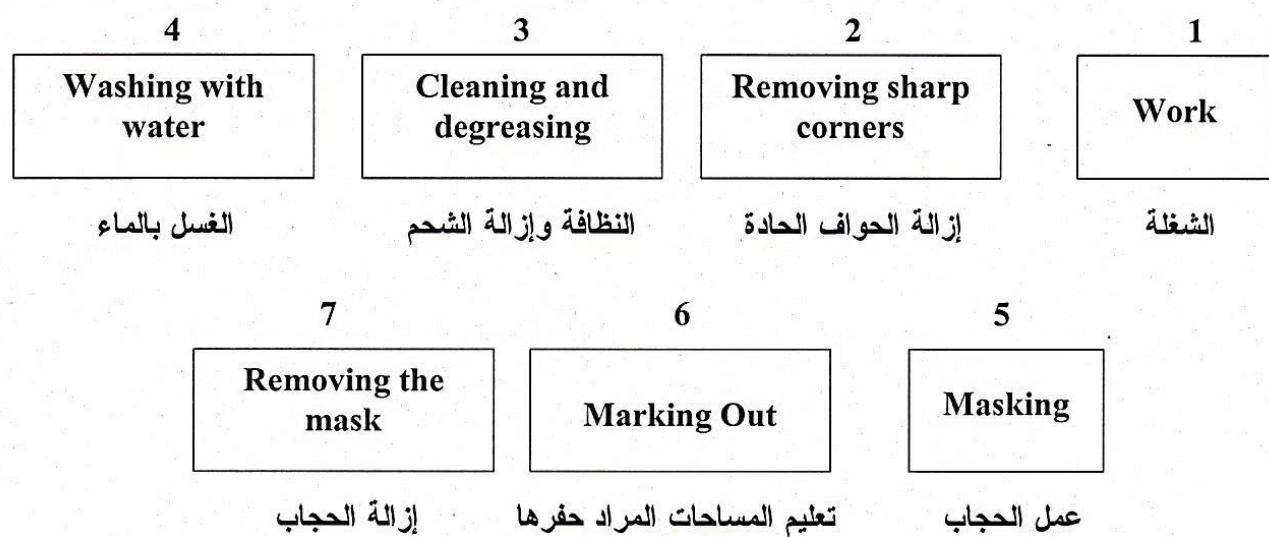
## ii. الماغنيسيوم وسبائكه:

يستخدم حامض النتريك بنسبة تركيز 8% عند درجة حرارة الغرفة مضافاً إليه عامل مبلل يساعد في عملية الحفر الكيميائي ويكون غطاءاً رغوياً يقلل من انطلاق الأبخرة والغازات . يكون معدل هجوم محلول 1.5m عمق في كل ساعة . بعد الحفر تغسل الشغالة جيداً بماء نظيف .

## iii. التيتانيوم وسبائكه:

يستخدم حامض الهيدروكلوريك بنسبة تركيز 0.8% - 25% يضاف إليه 20% تيتانيوم لمص الهيدروجين الذي يتولد أثناء عملية التشغيل .

يجب أن يكون هناك جهاز تحكم في الحرارة المتولدة أثناء عملية التشغيل كما يجب موازنة تركيز الحامض وكمية محلول في الخزان .



شكل (3.3) خطوات عملية التخمير

## الفصل الرابع

### اختبار المواد والأساليب المختبرية

#### Materials Testing and Experimental Methods

##### 4.1 اختبارات الشد (Tensile Tests)

سلوك المادة المطيلية (mild steel) مثل الفولاذ الطري (ductile material) عندما يتم تعريضها إلى اجهاد شد بسيط أوضحت أنه وحتى قيمة معينة للإجهاد فإن الانفعال يكون متناسباً مع الاجهاد المسبب له ، وعندما يتم إزالة الحمل خلال هذا المدى فسوف لا يكون هنالك انفعال مستدام (i.e. يتم اجهاد المادة في المدى المرن) إذا زيد الحمل فإن المادة ستخضع مُؤدياً انفعالاً لديناً عند قيمة الاجهاد الثابت . إذا تمت زيادة الحمل إضافياً فسيكون هنالك انفعالاً واضحاً (i.e. في الغالب لدن ) يمتد حتى قيمة الاجهاد الأقصى . عند هذه المرحلة تبدأ العينة بالتعلق أو التخصر في بعض المواقع على امتداد طولها (i.e. تقربياً في منتصف العينة) وينخفض الحمل حتى حدوث الكسر . تعرض معظم المواد الهندسية هذه الملامح بدرجات متفاوتة .

##### 4.1.1 جزء التشغيل للعينة (The Working Portion of the Specimen)

إما أن يكون مستديراً أو مستطيلاً في مقطعه العرضي ، وتم توسيعه عند كل طرف لطول مناسب للمساکات . يمكن قطع قلاووظ (لولب) في أطراف العينة لربطها في المساکات ، أو يمكن عمل كتفة للعينة يتم من خلالها نقل الحمل أو يمكن مسکها بمسکة اسفينية بأوجه داخلية مخشنة (wedge) . الأسلوب الأخير هو الأبسط والأرخص للاستخدام ودائماً ما يستخدم لعيّنات مسطحة ، ولكنّه يكون قاصراً على الفولاذ الناعم ومواد أخرى . يجب أن تكون المساکات متمركزة ذاتياً لكي يتم تسلیط الحمل محورياً وبيانظام على العينة (i.e. لمقطع عرضي دائري فإنّ لا تمرکزه بمقدار  $0.01d$  ( 1 % من القطر ) في الحمل تزيد الاجهاد الأقصى بمقدار 8% ) .

## 4.2 ماكينات الاختبار : (Testing Machines)

يمكن تصنيفها إلى قسمين : القسم الأول يتم فيه تسلیط الحمل يدوياً ، والآخر يتم فيه الاستفادة من الضغط الهيدروليكي ، حيث يعتمد الاختيار بصورة أكبر على السعة المطلوبة . في كلا الحالتين يتم قياس الحمل بأوزان موازنة خلال منظومة من الروافع . الأنواع الحديثة لماكينات الاختبار المشغلة هيدروليكيًا تكون ذاتية البيان ، حيث يتم تفعيل آلية الموازنة بمكبس يعمل في اسطوانة يتم امدادها بنفس ضغط وحدة الاختبار .

في المدى المرن (in the elastic range) يتم قياس الانفعال بجهاز قياس استطالة (extensometer) مثبت على الطول القياسي . وهو جهاز يقوم بتحري التغييرات الصغيرة جداً في الطول ، أيضاً يمكن استخدام مقياس انفعال (strain gauge) . أما بالنسبة للانفعالات اللينة فيتم قياسها بواسطة زوج من المقسمات ومسطرة مدرجة (pair of dividers and graduated rule) .

## 4.3 تأثير معدل التحميل : (Effect of Rate of Loading)

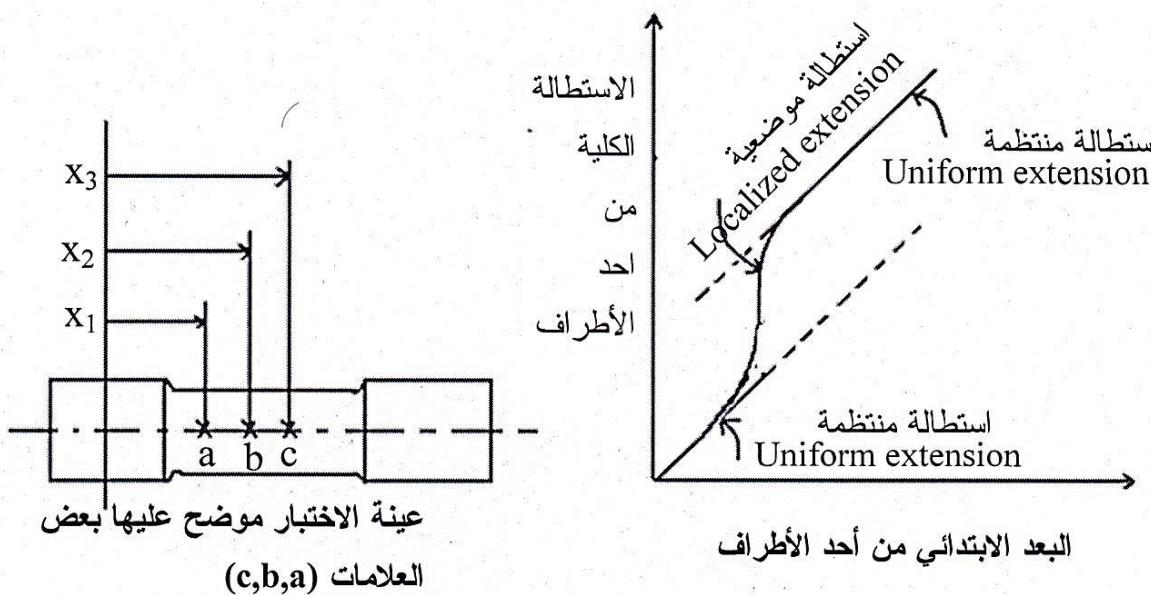
وُجِدَ أنه وباستثناء الفولاذ المصلد (hardened steel) كلما زادت سرعة الاختبار كلما تم الحصول على قيم أكبر لإنجهاج الخضوع والاجهاد الأقصى وبالتالي الاستطالة .

## 4.4 تفاوت الاستطالة مع الطول الاسمي ومساحة المقطع العرضي :

## (variation of elongation with gauge length and cross – sectional area )

إذا تم وضع علامات على العينة لعدد كبير من التقسيمات على امتداد طولها وتم اختبارها حتى الكسر ، فإن القطعتان يمكن وصلهما مع بعضهما البعض ويتم قياس بعد كل علامة من أحد الأطراف . بطرح الأبعاد المأخوذة ابتدائياً من تلك المأخوذة بعد الكسر نحصل على الاستطالة الكلية من أحد الأطراف . وعندما يتم رسم الاستطالة الكلية ضد البعد من ذلك الطرف فسنحصل على المخطط الموضح في الشكل (4.1) أدناه :

يتكون هذا المخطط من خطين مستقيمين متوازيين . الزيادة الفجائية للاستطالة تحدث في منطقة العنق عند الكسر . في هذه الحالة يقال أن هنالك استطالة موضعية عند العنق (منطقة الكسر) واستطالة منتظمة بطول المتبقي من العينة .



شكل (4.1) تفاوت الاستطالة مع الطول الأصلي للعينة

اجعل  $e$  هي الاستطالة على طول قياسي  $l$  ، باعتبار أنَّ الكسر يكون تقريرًا عند منتصف الطول الاسمي للعينة ، وبالتالي  $e = a + bl$  ثُمَّ عن شكل المخطط .

$$= \text{الانفعال المئوي} = 100e/l = 100a/l + 100b$$

وجد العالم Unwin أَنَّه ولمادة معطاة يكون المقدار الثابت  $a$  متناسِبًا مع الجذر التربيعي لمساحة المقطع العرضي الاسمي للعينة  $A$  ، وبكتابتها  $100a = C\sqrt{A}$  و  $100b = B$  ، وبالتالي يصبح القانون :

$$100\frac{e}{l} = \frac{C\sqrt{A}}{l} + B$$

يتم اعطاء القيم التالية للثوابت  $B$  و  $C$  للفولاذ الطري :  $C = 70$  و  $B = 20$  . لكي يتم تفادي أي خطأ في مقارنة أرقام الاستطالة فإنه يُنصح حسب توصية المؤسسة البريطانية للمعايير والقياسات S. 18. B. بأنَّ الطول

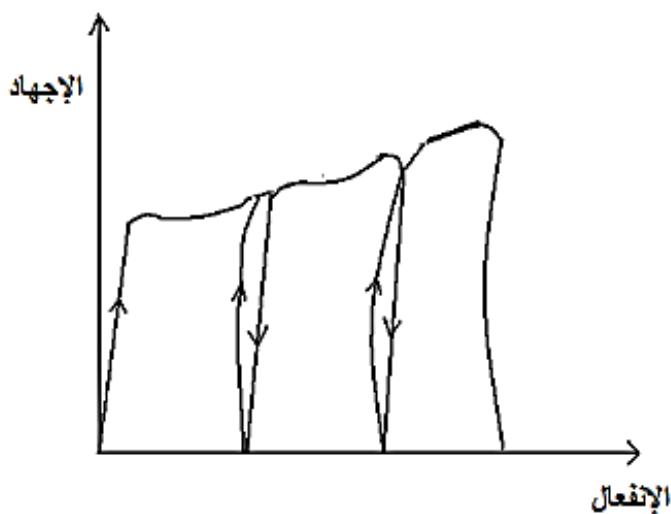
الاسمي يجب أن يكون مساوياً لـ  $(l = 4\sqrt{A})$

#### 4.5 الانفعال الزائد و التحميل التكراري : (Overstrain and Repeated Loading)

في اختبار الشد لعينة من الفولاذ الطري ، إذا ما تمَّ حمل الحمل إلى ما بعد نقطة الخضوع ومن بعد اعتاقه

تدرجياً ، سيكون هنالك تشوهاً مستداماً في العينة .

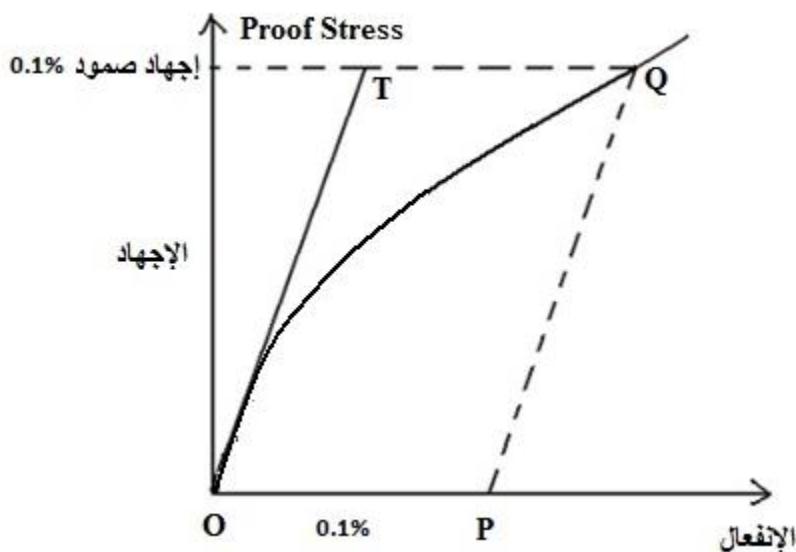
عند اعادة التحميل وجد أنه وبالمراقبة الدقيقة أنَّ الفولاذ يبدو وكأنَّه فقد مرونته ، (i.e) لا يطيع بعد الآن قانون هوك (Hooke's law). حقيقة أنَّ منحنيات الاعتقاد وإعادة التحميل تُشكّل حلقة هستيرية والتي تمثل الطاقة الضائعة في الاحتكاك الداخلي لجزيئات المادة . الشكل (4.2) أدناه يوضّح منحنى الاجهاد ضد الانفعال لمادة مطيلية معرضة لتحميل تكراري . سترتفع نقطة الخضوع كثيراً حتى تصل تقرباً إلى قيمة مساوية لقيمة الاجهاد عند نهاية اختبار الشد ، ويقال أنَّ المادة تم تصليدها بالشغل كما في عمليات السحب على البارد والدرفلة . التحميل التكراري سيرفع نقطة الخضوع إلى قيمة تقارب الاجهاد الاقصى. وإذا استمرت العينة حتى الكسر فإنها ستعرض نفس خصائص الفولاذ الصلد بانخفاض صغير في مساحة المقطع العرضي واستطالة منخفضة جداً . يمكن استرجاع المرونة بفترة راحة طويلة او بالغليان في الماء لدقائق معدودة. سيعيد التلدين الفولاذ إلى حالته الأصلية قبل الانفعال الزائد وبنفس نقطة الخضوع .



شكل (4.2) منحنى الاجهاد - الانفعال لمادة مطيلية مسلط عليها أحمال تكرارية

4.6 اجهاد الصمود : (Proof Stress)

العديد من المواد الهندسية ، من بينها سبائك الفولاذ وسبائك الألミニوم والماغنيسيوم الخفيفة لا تملك أي حد معين للتناسب أو نقطة للخضوع في اختبار الشد ، عليه فإن مخطط الاجهاد - الانفعال سيكون محنيناً تقريراً من نقطة الأصل. الشكل (4.3) أدناه يوضح منحنى الاجهاد ضد الانفعال لمادة قصبة .



شكل (4.3) منحنى الاجهاد - الانفعال لمادة قصبة

إذا تم رسم مماس (OT) على المنحنى عند الأصل ورسم خط PQ موازٍ لـ OT قاطعاً المنحنى عند Q ، بحيث أن  $OP = 0.1\%$  ، وبالتالي فإن الاجهاد عند Q يسمى بـ اجهاد صمود  $0.1\%$  . عليه ، فإن اجهاد الصمود هو الاجهاد الذي يتفاوت فيه الانفعال بـ  $0.1\%$  عن الطول الاسمي من خط التناسب OT .

#### 4.7 اختبارات الانضغاط : (Compression Tests)

عادة ما تكون عينات اختبارات الانضغاط للمعدن دائرية ، وللصبة الاسمونية مربعة المقطع . لمنع الفشل بالانبعاج (Buckling) يجب أن يكون الطول تقريباً مساوياً للعرض الأدنى (  $Length=minimum breadth$  ). لمادة مطيلية مثل الفولاذ الطري أو النحاس ينشأ هنالك تشوهاً عرضياً ونتيجة لتأثير تقييد الاحتكاك عند وجهي الحمل فإن المقطع العرضي سيصبح كبيراً عند المنتصف ويصبح شكل قطعة الاختبار مشابهاً لبرميل . أخيراً يحدث الفشل بالشقوق التي تظهر على الأنسجة الخارجية للمادة وتنتشر إلى الداخل .

عادة ما تفشل المواد القصبة مثل الحديد الزهر والأسمنت بالقص على مستويات مائلة بزاوية بين 50 و 70 درجة بالنسبة للمحور الطولي.

### أسئلة متابعة

1. لماذا تكون عينات الاختبار للانضغاط دائيرية المقطع في المعادن بينما تكون مربعة المقطع في الصبات الاسمنتية ؟

2. لماذا تفشل المواد القصبة بالقص على مستويات مائلة بزوايا بين 50 درجة و 70 درجة بالنسبة للمحور الطولي ؟

### 4.8 الانهيار في المعادن القصبة :

زاوية ميل الكسر للعينات القصبة أكبر من 45 درجة .

$\theta = 45 + \phi/2$  ، زاوية ميل الكسر .

حيث  $\phi$  عبارة عن زاوية الاحتكاك الداخلي للمعدن المختبر .

تكون زاوية الاحتكاك الداخلي  $\phi$  كبيرة كلما كبرت جزيئات المعدن المختبر .

زاوية ميل الكسر للإسمنت ،  $\theta = 70$  .

زاوية ميل الكسر للحديد الزهر  $\theta = 60$  .

زاوية ميل الكسر للنحاس الاصفر  $\theta = 50$  .

الحديد الزهر كمادة قصبة زاوية احتكاكه الداخلية كبيرة إذا ما قورنت بزاوية الاحتكاك الداخلي للنحاس الاصفر كمادة نصف مطبلية بما أن جزيئاته أدق من جزيئات الحديد الزهر .

عليه ، يمكن اثبات العلاقة  $\theta = 45 + \phi/2$  بالطريقة التحليلية التالية :

العينة المبيّنة في الشكل أدناه مساحة مقطعها  $A$  ، تم كسرها بتأثير حمل الانضغاط  $P$  الذي أحدث بها اجهاداً قيمته  $\sigma$  على مستوى زاوية مقدارها  $\theta$  مع خط المرجعية الأفقي . الزاوية  $\theta$  تمثل زاوية الاحتكاك الداخلي للمعدن المراد اختباره وهي رقم ثابت للمعدن الواحد .

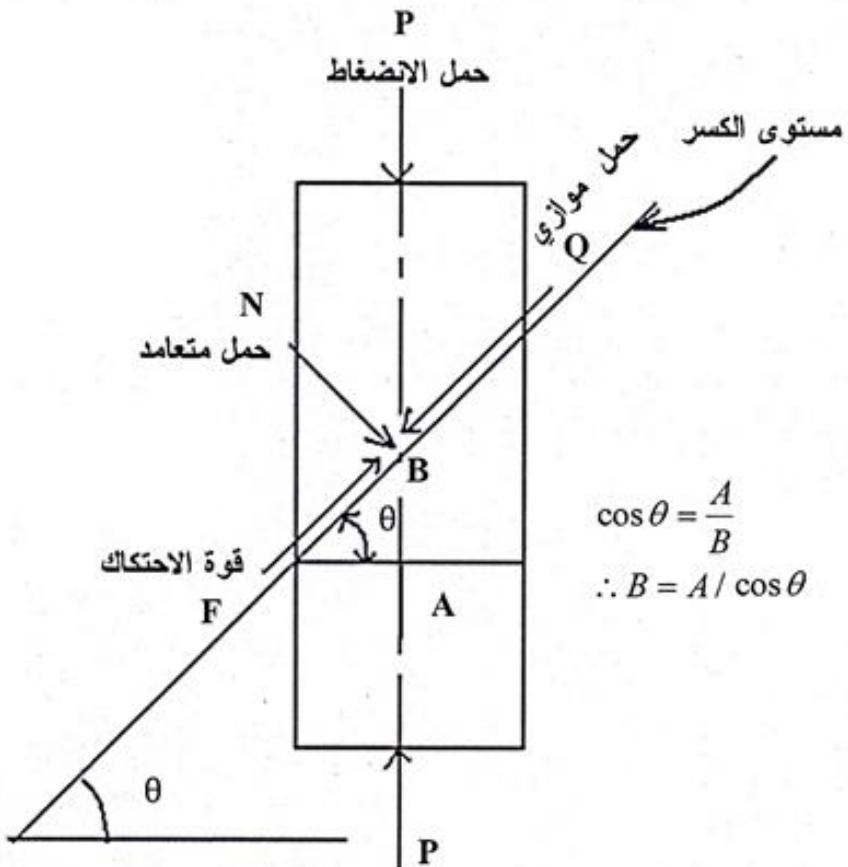
$$\sigma = P/A$$

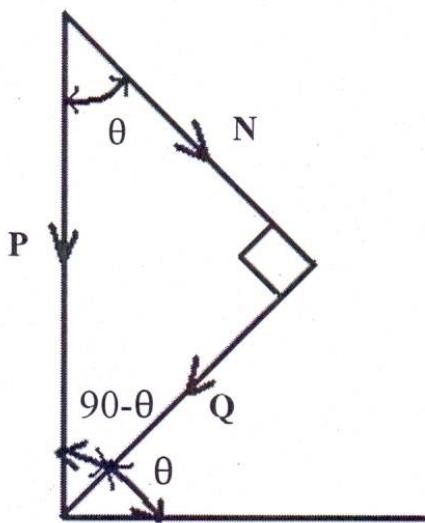
$$B = A / \cos \theta \quad (B)$$

مساحة مقطع العينة على مستوى الكسر  $(B)$  ، القوة  $P$  المسببة للكسر في الانضغاط لها مركبتين احدهما عمودية على مستوى الكسر  $(N)$  والأخرى موازية لمستوى الكسر  $(Q)$  وقيمة كل منها :

$$N = P \cos \theta$$

$$Q = P \sin \theta$$





$$\sigma_N = \frac{\text{الاجهاد المتعامد مع مستوى الكسر}}{\text{مساحة مستوى الكسر}} = \frac{N}{B}$$

$$\sigma_N = \frac{N}{B} = \frac{P \cos \theta}{A / \cos \theta} = \frac{P}{A} \cos^2 \theta = \sigma \cdot \cos^2 \theta$$

$$\tau_Q = \frac{\text{الحمل الموازي لمستوى الكسر}}{\text{مساحة مستوى الكسر}} = \frac{\text{اجهاد القص الموازي لمستوى الكسر}}{\text{مساحة مستوى الكسر}}$$

$$\tau_Q = \frac{Q}{B} = \frac{P \sin \theta}{A / \cos \theta} = \frac{P}{A} \sin \theta \cos \theta = \sigma \sin \theta \cos \theta$$

كما أنَّ الاجهاد المتعامد على مستوى الكسر يُسبِّب اجهاد احتكاك عكس اتجاه الحركة على مستوى الكسر أيضًا

$$\tan \phi = \frac{\text{القوة المماسية}}{\text{القوة المتعامدة}} = \frac{F}{N}$$

$$\text{قوة الاحتكاك} \quad F = N \tan \phi$$

$$\sigma_f = \frac{\text{قوة الاحتكاك}}{\text{مساحة مستوى الكسر}} = \frac{F}{B} = \frac{N \tan \phi}{A / \cos \theta} = \frac{P \cos^2 \cdot \tan \phi}{A}$$

$$= \frac{P \cos^2 \theta \tan \phi}{A} = \sigma \cos^2 \tan \phi$$

يتضح مما سبق أن الاجهادات المسببة للكسر على المستوى الذي يعمل زاوية  $\theta$  مع المستوى الأفقي ( $\sigma_r$ ) هي ناتج فرق تأثير الاجهاد الموازي لمستوى الكسر الناتج من القوة الرئيسية  $P$  وتأثير إجهاد الاحتكاك الناتج عن مقاومة تماسك جزيئات المعدن للإنزلاق فوق بعضها البعض ، أي أن :

$$\text{الاجهاد المسبب للكسر} = \text{اجهاد القص} - \text{اجهاد الاحتكاك}$$

$$\sigma_r = \tau_Q - \sigma_f = \sigma \sin \theta \cos \theta - \sigma \cos^2 \theta \tan \phi \quad (*)$$

يحدث الكسر عندما يكون الاجهاد المسبب للكسر ،  $\sigma_r$  عند قيمته القصوى. وبالتالي بمقابلة الاجهاد المسبب للكسر بالنسبة لزاوية ميل الكسر ومساواته بالصفر للحصول على أقصى قيمة لزاوية ميل الكسر  $\theta$  .

$$\frac{d\sigma_r}{d\theta} = 0$$

بتفاضل المعادلة (\*) يتم الحصول على :

$$\frac{d\sigma_r}{d\theta} = (\sigma \sin \theta \times -\sin \theta) + (\cos \theta \times \sigma \cos \theta) - \{(\sigma \cos^2 \theta \times zero) + \tan \phi \times 2\sigma \cos \theta \times -\sin \theta\} = 0$$

$$\frac{d\sigma_r}{d\theta} = -\sigma \sin^2 \theta + \sigma \cos^2 \theta + 2\sigma \sin \theta \cos \theta \tan \phi = 0$$

$$\therefore \sigma (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) = -2\sigma \sin \theta \cos \theta \tan \phi$$

$$\therefore \tan \phi = -\frac{(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)}{2 \sin \theta \cos \theta} = -\frac{\cos 2\theta}{\sin 2\theta} = -\cot 2\theta$$

$$\therefore \tan \phi = -\tan(90^\circ - 2\theta) = \tan(2\theta - 90^\circ)$$

$$\therefore \phi = 2\theta - 90^\circ$$

$$2\theta = 90^\circ + \phi$$

$$\therefore \theta = 45^\circ + \phi / 2 \quad \#$$

## الفصل الخامس

### التأكل Corrosion

#### 5.1 تعريف التأكل : (Definition of corrosion)

يعرف التأكل بأنه انهيار المنشآت الفلزية بفعل تفاعلها مع الجو المحيط. يتخذ التأكل عدة صور وهو كثيراً ما يؤدي إلى توقف خطوط الإنتاج في العمليات الصناعية وهذا يعتبر أحد محددات التأكل المباشر وغير المباشرة العديدة. هناك العديد من المحددات الاقتصادية لعملية التأكل التي يمكن إيجازها فيما يلي من نقاط:

#### 5.2 المحددات الاقتصادية للتأكل : (Economical limitations of corrosion)

1. ضرورة إحلال واستبدال الوحدات والمعدات المتآكلة بأخرى سليمة، وما يصاحب ذلك من فقد العديد من ساعات العمل والإنتاج، إضافة إلى تكاليف الإحلال والاستبدال من تكلفة لقطع الغيار وأجرة الفنيين.

#### 2. فرط التصميم: (Maximization of Design Materials)

ويقصد به استخدام مزيد من مواد الإنشاء والتشييد مما هو مطلوب لتحمل الأحمال والإجهادات الميكانيكية تحسباً من عملية التأكل وما يتبع ذلك من زيادة في كمية مواد الإنشاء والتشييد مما يؤدي إلى ارتفاع تكاليف الوحدات كما يتطلب ذلك إقامة أساسات خاصة كي تتحمل هذه الوحدات الثقيلة وهذه بدورها عالية التكاليف.

3. ضرورة تطبيق الصيانات الدورية الضرورية كالطلاء بالبوهيات وهذا يتطلب تكاليف مستمرة.

4. إيقاف الوحدات الصناعية بصفة دورية لإجراء الصيانات عليها (Shut – down maintenance).

5. تداخل نواتج عملية التأكل مع المنتج الرئيسي مما يؤدي إلى نقص في قيمة المنتج النهائي.

6. النقص في الكفاءة (deficiency)، فمثلاً يؤدي فرط التصميم وترامك نواتج عملية التأكل على الأسطح المخصصة لانتقال الحرارة إلى تناقص في معدل التبادل الحراري في المبادلات الحرارية.

7. فقد المنتجات القيمة من خزانتها نتيجة لتسربها خلال ثقب الخزانات المتآكلة.

8. تعرض الوحدات المجاورة للدمار نتيجة انهيار الوحدات المتآكلة.

9. الاحتياج إلى مزيد من الطاقة لضخ الموائع داخل الأنابيب نتيجة لزيادة مقاومة الاحتكاك بفعل الزيادة في درجة خشونة سطح الأنابيب الداخلي بفعل التآكل.

هناك بعض المحددات الاجتماعية التي قد تسببها عملية التآكل والتي يمكن حصرها فيما يلي :

### 5.3 المحددات الاجتماعية للتآكل (Social limitations of corrosion) :

1. ما يتعلق بالأمان والسلامة :

الانهيار المفاجئ للوحدات الصناعية والمنشآت بفعل التآكل قد يتسبب في إشعال النيران وحدوث الحرائق ووقوع الإنفجارات وإطلاق الأبخرة والمواد السامة مما قد يؤدي إلى وقوع العديد من الإصابات والوفيات، مثل لذلك انهيار المفاعلات النووية، الغلايات ذات الضغط العالي، تعبئة غاز الاستيلين، البيوتان، الأكسجين وغيرها .

2. ما يتعلق بالصحة :

تسرب المنتجات من الوحدات المتآكلة يؤدي إلى تلوث بيئه العمل والبيئة المجاورة ويعرض الصحة العامة للخطر، مثل التسرب الإشعاعي النووي (i.e. المفاعل النووي الروسي تشنونيل).

3. ما يتعلق بافتقار المصادر الطبيعية للمواد الخام والفلزات :

عملية إعادة بناء وتشييد وحدات جديدة بدلاً عن المتآكلة يستوجب استنفاد المصادر الطبيعية لهذه الفلزات كما يتطلب استهلاك كميات كبيرة من الوقود لتصنيع هذه الوحدات.

أخيراً فإن مظهر الوحدات المتآكلة لا يسر العين وبطبيعة الحال فإن كلاً من المحددات الاقتصادية والاجتماعية السابقة لها انعكاسات اقتصادية. ولعله من الواضح الآن أن هناك العديد من الأسباب التي تستوجب التصدي لعملية التآكل.

### 5.4 صور التآكل :

يحدث التآكل في صور وأشكال عديدة ومختلفة ونقسم هذه الصور كما يلي:

### 1. حسب طبيعة الوسط الآكل :

وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم التآكل إلى مبتل وجاف. وحسب التسمية فإنه يكون من الضروري تواجد سوائل أو رطوبة لكي يحدث التآكل من النوع الرطب أو المبتل بينما لا يستوجب التآكل الجاف ذلك وعادة يحدث التآكل الجاف عند درجات الحرارة المرتفعة أي بين الفلزات والغازات كما يحدث في بعض المداخن وعوادم المصانع والسيارات.

### 2. حسب ميكانيكية عملية التآكل :

أي حسب المסלك الذي تسلكه عملية التآكل وبهذا الخصوص ينقسم إلى تآكل كيميائي، وآخر كهروكيميائي.

### 3. حسب المظاهر للفلز المتآكل :

وفي هذه الحالة يتم تقسيم التآكل إلى تآكل متجانس يحدث عند السطح المتآكل كله، أي أن معدل التآكل يكون متساوياً عبر السطح الفلزي ككل، وتآكل موضعياً أو مركزاً وفي هذه الحالة يتركز في مساحات محددة.

## 5.5 أنواع التآكل : (Types of corrosion)

هناك أنواع عديدة للتأكل يمكن إبرازها فيما يلي:

### 1. التآكل المتجانس والتآكل الجلفاني (Homogeneous and Galvanic corrosion) :

التآكل المتجانس بمعدل متقارب عبر مساحات عريضة من السطح الفلزي يُعد من الصور الأكثر شيوعاً لعملية التآكل ويمكن أن يحدث هذا النوع من التآكل في الظروف الرطبة أو الجافة كما أنه يمكن أن يحدث بميكانيكية كيميائية أو كهروكيميائية وعادة يكون اختيار الجيد لمواد الإنشاء والتشييد والوقاية باللغطية من أهم الوسائل التي تطبق للسيطرة على هذا النوع من التآكل.

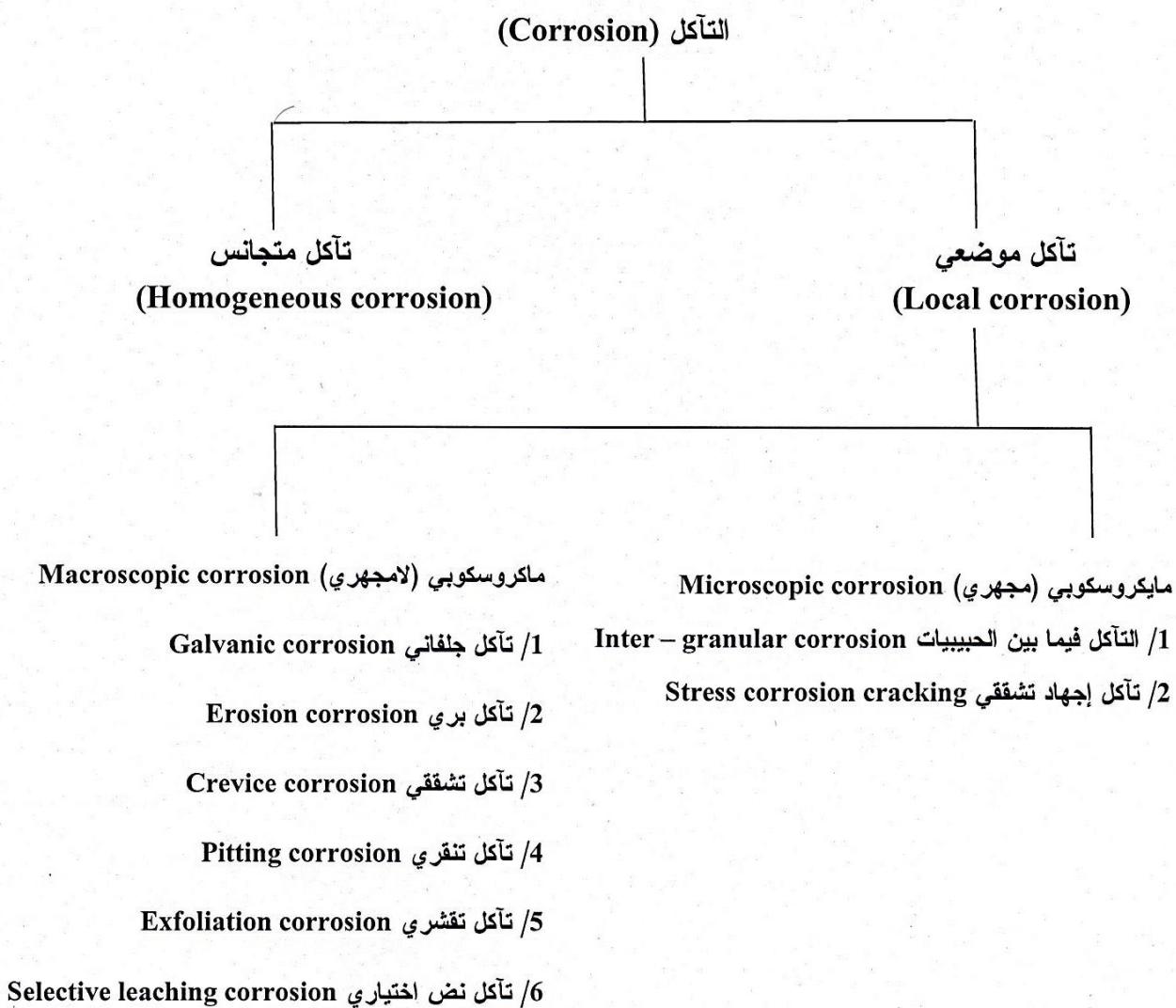
يعد التآكل المتاجس من أبسط صور التآكل من حيث إمكانية تحديد مقداره ومعدل حدوثه. وبناءً على ذلك فإن الانهيارات غير المتوقعة بسبب التآكل يمكن تلافيها بالفحص الدوري المنتظم للمنشآت الفلزية.

أما التآكل الجلفاني فإنه يحدث عندما يتواجد فلزان مختلفان من حيث النشاط الكهروكيميائي في حالة تلامس مع بعضهما البعض أو تم توصيلهما بموصّل كهربائي وتم تعریضهما لفعل سائل إلكتروليتي ما، فإنه و كنتيجة لذلك سوف تكتسب كل قطعة فلزية من هاتين القطعتين جهداً كهربياً خاصاً بها يتوقف من حيث المقدار على نوع هذه القطعة الفلزية وموقعها في الترتيب الذي يشار إليه بالسلسلة الكهروكيميائية، إضافة إلى كل من تركيز محلول الإلكتروني ودرجة الحرارة، وتأسياً على ما تقدم سوف ينشأ فرق في الجهد بين القطعتين الفلزيتين المختلفتين وسوف يعمل هذا الفرق في الجهد كقوة دافعة لمرور التيار الكهربائي خلال الوسط الإلكتروني أو وسط التآكل وتكون النتيجة الحتمية لمرور هذا التيار الكهربائي هو تآكل الفلز الأنشط والأسبق في السلسلة الكهروكيميائية، إذ يتصرف كأنه وتحدث عنده عملية أكسدة أو تحرر من الإلكترونات (e.e. أي ذوبان عن طريق التحول إلى أيونات) بينما يتصرف الفلز الآخر ككاثود. ويجب أن يكون معلوماً أنه كلما زاد الفرق في الجهد بين الفلزين كلما كانت الفرصة أكبر لحدوث التآكل الجلفاني وبمعدل أكبر، ومن أهم الملاحظات بخصوص التآكل الجلفاني أنه يتسبب في زيادة معدل تآكل أحد الفلزين ويعني ذلك أن الفلز الأنشط يتآكل بمعدل أكبر مما إذا ما غمر بمفرده في الوسط الأكل. أيضاً يجب الإشارة إلى أنه بينما يتآكل الفلز الأكثر نشاطاً بمعدل أعلى عندما يتواجد في حالة اشتراك في الازدواج مع الفلز الآخر، فإن الفلز الآخر يتآكل الآن بمعدل أقل بكثير عن معدل تآكله قبل الاشتراك في الازدواج الفلزي. وتكون النتيجة النهائية لهذا الازدواج هو تآكل الفلز الأنشط بمعدل أكبر وتآكل الفلز الأنبيل بمعدل أقل. وللمساحة النسبية للفلزين أهمية قصوى فعندما تكون مساحة الفلز الأكثر نبلاً كبيرة مقارنة بمساحة الفلز الأكثر نشاطاً فإن ذلك يُسرّع من عملية التآكل ويكون العكس صحيحاً كذلك. يمكن ملاحظة التآكل الجلفاني وذلك بحدوث زيادة واضحة في معدل التآكل بالقرب من الوصلات بين فلزين مختلفين. الشكل (5.1) أدناه يوضح الأنواع المختلفة للتآكل. يمكن تلافي مثل هذا النوع

من التآكل وذلك عن طريق عدم استخدام فلزين مختلفين في الإنشاءات الهندسية أو استخدام مادة عازلة فاصلة بينهما عندما تكون هنالك ضرورة **تحمّل** استخدام فلزين مختلفين في تثبيت المنشأة الفلزية الهندسية. كما يفضل أيضاً استخدام فلزين متقاربين في الجهد القياسي الكهربائي، بحيث يكون فرق الجهد المتولد بين الفلزين والذي يُمثّل القوة الدافعة أقل ما يمكن. هنالك طريقة أخرى للحد من التآكل الجلفاني وهي عدم استخدام مساحات كبيرة من الفلز الأكثر نبلًا في حالة تلامس مع مساحات محددة من الفلز الأكثر نشاطاً.

## 2. تآكل البري (Erosion corrosion) :

يحدث هذا النوع من التآكل عندما يتدهم الفلز بفعل عاملين إحداهما كيميائي والآخر ميكانيكي، ومثال لذلك عندما يتحرك الوسط الأكل بسرعة معينة على السطح الفلزى فإننا نجد أن معدل التآكل يتزايد ويرجع السبب في ذلك إلى أن نواتج عملية التآكل والتي يمكن أن تعمل كطبقة واقية إذا ما ترسّبت بصورة غير مسامية، سوف تزال هذه المرة نتيجة تحرك الوسط الأكل، ويتحذز تآكل البري صورة معينة ويكون له اتجاه محدد يرتبط باتجاه مسار الوسط الأكل الذي يتحرك على السطح الفلزى، ويستشرى تآكل البري في الظروف التي تتواجد بها سرعات عالية وسريان دوامي فكثيراً ما يلاحظ في المقلبات ورفاصات المضخات والأنابيب خصوصاً عند الانحناءات والأكواع. تتسّبب المعلقات المتحركة التي تحتوي على جسيمات صلبة في حدوث تآكل البري ويمكن تجنب هذا النوع من التآكل وذلك عن طريق التغيير في التصميم أو اختيار مواد الإنشاء والتشييد بحيث تكون ذات مقاومة عالية لعوامل البري. يعد كل من التآكل النفتى والتآكل التجوفي نوعين مختلفين من تآكل البري فيحدث التآكل نتيجة تكون واصطدام فقاعات البخار وتداعييها عند السطح الفلزى.



شكل (5.1) الأنواع المختلفة للتأكل

فالضغط المرتفع الناشئ من انفجار هذه الفقاعات عند السطح يؤدي إلى تشوّه سطح الفلز وإزالة الغشاء الواقي الذي عادة ما يتواجد على سطحه. أما التآكل التفتّي فإنه يحدث عندما ينざق فلز على فلز آخر وهو عادة ما يسبب انهياراً ميكانيكياً لأحد الفلزين أو كلاهما، غالباً ما ينجم الانزلاق نتيجة لعمليات الاهتزاز ويعتقد أن التآكل في هذه الحالة يلعب أحد الأدوار التالية:

الحرارة المتولدة نتيجة إحتكاك الفلزين تساعد على أكسدة سطحي الفلزين ونتيجة للاحتكاك فإن طبقة الأكسيد المكونة يتم كشطها باستمرار من على سطح الفلز أو أن الإزالة الميكانيكية المستمرة لطبقة الأكسيد الواقية أو

نواتج عملية التآكل تؤدي إلى التعرض المستمر لسطح جديد نشط من الفلز يساهم في عملية التآكل. ويمكن الحد من التآكل التفتتي وذلك باستخدام مواد إنشاء وتشييد أشد صلابة أو إجراء التعديل في التصميم للحد من عمليات الاحتكاك أو استخدام شحوم لتسهيل عملية الانزلاق أو زيادة درجة خشونة السطح إلى الحد الذي تصبح فيه عملية الانزلاق غير ممكنة.

### 3. تآكل الشقوق (Crevice corrosion) :

تتغير الظروف داخل الشقوق مع الزمن تغيراً بينماً عن تلك الموجودة في المناطق القريبة من تلك الشقوق للسطح المفتوحة. قد تولد ظروف أشد قسوة داخل الشقوق مما يتسبب في حدوث تآكل موضعي عنيف. عادة تتوارد الشقوق عند الأطواق الخاصة بموانع التسرب ووصلات التراكيب والصواميل والمسامير والبراشيم ...الخ. ويمكن لها أن تكون أيضاً عن طريق ترسب وترامك الأوساخ ونواتج عمليات التآكل والخدوش في طبقات الطلاء. ويعزى التآكل داخل الشقوق إلى واحد أو أكثر من الأسباب التالية:

i. التغير في درجة الحموضة داخل الشق.

ii. نقص الإمدادات بالأكسجين داخل هذه الشقوق.

iii. نقص كميات معوقات التآكل داخل الشقوق.

iv. تراكم نوعيات معينة من الأيونات داخل الشقوق.

ويماثل تآكل الشقوق باقي صور التآكل الموضعي من حيث أنه لا يحدث في كافة الظروف التي يحدث فيها تلاق بين فلز ووسط آكل، فهناك بعض المواد أكثر عرضة لهذا النوع من التآكل خصوصاً تلك التي تعتمد على تواجد الهواء في تكوين طبقة واقية من الأكسيد كالفلز غير القابل للصدأ (Stainless steel) والتيتانيوم (Titanium) ويمكن تحسين مقاومة هذه المواد لهذا النوع من التآكل وذلك عن طريق سكبها مع مواد أخرى كما يمكن تحسين المقاومة لتأكل الشقوق بالتصميم الجيد للحد من ميكانيكية تكون هذه الشقوق

وبالصيانة المستمرة بهدف جعل الأسطح دائمًا نظيفة والحد من إمكانية تراكم الأوساخ عليها.

#### 4. تآكل التقر (Pitting corrosion) :

النقرة هي عبارة عن شق تم تكوينه ذاتياً. يقصد بتأكل التقر هو تكوين نقر عميق على سطح غير متآكل ويمكن لهذه النقر أن تتخذ أشكالاً عدّة وقد يكون شكل النقرة هو السبب الأساسي المسؤول عن استمرار نموها وذلك لنفس الأسباب التي أشرنا إليها في حالة تآكل الشقوق ويمكن اعتبار النقرة كشق تم تكوينه ذاتياً.

للحد من تآكل التقر فإن السطح يجب أن يكون متجانساً ونظيفاً باستمرار فعلى سبيل المثال فإن السطح الفلزي النقي والمتجانس والمصقول جيداً يكون أكثر مقاومة لهذا النوع من التآكل عن ذلك السطح الذي يحتوي على بعض العيوب أو يكون خشناً وعادة ما تكون عملية تكون النقر عملية بطيئة (i.e. تتطلب عدة أشهر أو بعض سنين حتى يمكن رؤيتها) لكنها دائمًا ما تسبب الانهيارات الفلزية دون سابق إنذار، فالحجم الصغير للنقرة وكمية الفلز الصغيرة التي يجب إذابتها حتى تتكون يجعل من العسير اكتشاف مثل هذا النوع من التآكل في مراحله الأولى. بعد اختيار مواد الإنشاء والتشييد والتصميم الجيد بحيث تبقى الأسطح دائمًا نظيفة هي أفضل الوسائل وأكثرها أماناً لتجنب هذا النوع من التآكل.

#### 5. التفشر والنض الاختياري (Exfoliation and selective leaching corrosion) :

يقصد بالتأكل التقشري ذلك النوع من التآكل الذي يحدث فيما دون السطح فهو يبدأ عند السطح النظيف ولكنه ينتشر فيما دونه وهو يختلف عن التآكل التقرى في أن مهاجمة الوسط الآكل هذه المرة للفلز المتآكل تتخذ صورة إذابة للفلز فيلاحظ أن هنالك طبقات من المادة تمت إزالتها تماماً. يمكن ملاحظة هذا النوع من التآكل بتكون قشور على السطح كما أنه في بعض الأحيان تكون بثور على السطح وتكون نهاية المطاف للقطعة الفلزية أن تتخذ مظهر حزمة من البطاقات قد تم فقد العديد من بطاقاتها ويشتهر هذا النوع من التآكل في سبائك الألمنيوم ويمكن الحد منه بإجراء المعالجات الحرارية الالزمة أو سبكة مع فلزات أخرى.

أما النض الاختياري فيقصد به ذوبان أحد مكونات السبيكة مع بقاء الآخر والمثال الأكثر شهرة هو إزالة الزنك من سبائك النحاس مع الزنك ويترك التآكل السبيكة ذات تركيب بنائي مسامي وبخواص ميكانيكية ضعيفة وتكون المعالجة في هذه الحالة باستخدام سبائك لا تتعرض لهذا النوع من التآكل.

#### 6. التآكل في ما بين الحبيبات : (Inter – granular corrosion)

إذا ما أردنا تفهم هذا النوع من التآكل فإنه يتحتم علينا العودة إلى بعض أساسيات علم الفلزات. فعندما يتم قولبة فلز منصهر فإنه يبدأ في التجمد عند العديد من أنواع التبلور الموزعة توزيعاً عشوائياً داخل الفلز المنصهر، وكل نواة من هذه الأنوية تنمو في الاتجاهات المختلفة عن طريق انتظام ذرات الفلز في تناقض هندسي محدد يتحقق نوع التبلور الذي تخضع له ذرات الفلز ليكون ما يسمى بالحبيبات ويجب أن يكون معلوماً أن انتظام الذرات في كل حبة والمسافات بينها يكون ثابتاً في كافة الحبيبات، ولكن نتيجة لعشوائية توزيع أنواع التبلور فإن مستويات الذرات التي تقع في الجوار بين الحبيبات لا يمكنها أن تخضع لنظام أي من الحبيبات و كنتيجة لذلك فإنها تتخذ تناقضاً وسيطاً وتسمى هذه المنطقة بمنطقة حدود الحبيبات. فعلى سبيل المثال ما رسم خط طوله بوصة واحدة على سطح سبيكة ما، فإن هذا الخط قد يعبر عدداً مقداره ألف من حدود الحبيبات ويلاحظ أن حدود الحبيبات هذه تكون أنشط في التعامل مع الوسط الأكل من الحبيبات نفسها ويرجع السبب في ذلك إلى أنَّ ذرات الفلز في هذه المنطقة وهي تتخذ موقعاً وسيطاً بين حبتين مختلفتين لا تكون قد اتخذت موضع التوازن في ذرات الحبيبات ومن ثم فإنها تكون في مستوى طافي أعلى يجعلها أنشط، هذا بالإضافة إلى أنه و كنتيجة لضرورة بناء الحبيبات في ذرات نفس النوع فإن الشوائب تترافق عند حدود الحبيبات مما يهيئ الفرصة لتوارد ذرات لفلزات مختلفة عند حدود الحبيبات، الأمر الذي يهيئ الفرصة لحدوث تآكل جلاني على المستوى الذري. لا يمكن ملاحظة التآكل في ما بين حدود الحبيبات في مراحله الأولى وبالعين المجردة ولكن إذا ما تقدم فقد يؤدي إلى انخلاع الحبيبات نفسها تاركاً سطحاً خشناً مثل حبيبات السكر. أما ظاهرة حدود الحبيبات والتي تتسبب في التآكل بين الحبيبات فهي حساسة للحرارة ولذلك يمكن الحد منها بالمعالجة الحرارية.

## 7. تآكل الإجهاد التشققي (Stress corrosion cracking) :

يحدث هذا النوع من التآكل نتيجة للفعل المشترك لكل من الإجهاد الميكانيكي والوسط الآكل وهو يؤدي تحت ظروف معينة إلى تصدع وتشقق الفلز أو السبيكة وتتعرض معظم السبائك لهذا الخطر، ولكل سبيكة وسط آكل معين يتسبب في ظهور الشقوق في وجود إجهاد ميكانيكي، والإجهادات التي تسبب مثل هذه الشروخ أو الشقوق قد تكون مخزونة في الفلز أثناء تشكيله على البارد وأثناء عمليات اللحام أو السباكة أو المعالجات الحرارية أو نتيجة إجهاد مسلط خارجياً أثناء خدمة الفلز أو السبيكة، ويمكن للشقوق أن تسلك مساراً في ما بين الحبيبات أو عبر الحبيبات وهنالك اتجاه لتفرع وتشعب هذه الشقوق. من الطرق المستخدمة في الحد من هذا النوع من التآكل ما يلي: تحرير الإجهادات المخزونة داخل التركيب البنائي للفلز بالمعالجة الحرارية المناسبة، إزالة المادة الآكلة المسببة له من وسط التشغيل، استبدال السبيكة الفلزية بأخرى أكثر مقاومة لهذا النوع من التآكل. اختيار مواد الإنشاء والتشييد المناسبة سيما وأن هذه الأنواع من التآكل تميل للحدوث أكثر عندما تكون قيمة معدّل التآكل المتجانس منخفضة.

## 5.6 مسائل في عمليات التصنيع (Problems in Manufacturing Processes) :

1. لوحة مستطيلة المقطع من مادة مطبلية يتم درفلتها أو دلفنتها على البارد لتخفيض سماكتها من 5mm إلى 4.5 mm . إذا تم استخدام منظومة درافيل تشمل على درفيليـن بـقـطـر مـتسـاوـيـ مـقـدـارـه 5cm ، أـوـجـدـ قـيـمة زـاوـيـةـ التـلـامـسـ لـهـذـهـ الـحـالـةـ .

2. أرسم رسمـاً توضـيـحـياً لـدـرـفـيلـيـنـ بـقـطـرـ مـتسـاوـيـ (i.e.  $d_1=d_2=d$ ) يتم استخدامـهـماـ لـعـصـرـ لـوـحـ سـمـكـةـ الـابـدـائـيـ

$t_1$  وـسـمـكـةـ النـهـائـيـ  $t_2$  لـتـوـضـيـحـ الـقـوـيـ التـالـيـةـ :

i. قـوـةـ ضـغـطـ الدـرـفـيلـ عـلـىـ المـعـدـنـ (N).

ii. قـوـةـ الـاحـتكـاكـ بـيـنـ الـمـعـدـنـ وـالـدـرـفـيلـ (F).

iii. قـوـةـ عـصـرـ المـعـدـنـ (S).

iv. قوة سحب المعدن إلى الأمام بين الدرفلين (Q).

v. مقاومة عملية سحب المعدن (P)

3. برهن أنه لكي تحدث عملية الدرفلة أو الدرفلة يجب أن تكون زاوية الاحتكاك الداخلي لجزئيات المادة أكبر من زاوية التلامس ( $\alpha$ ). استعن بالرسومات التوضيحية ما أمكن ذلك .

4. فاضل بين عمليتي الدرفلة على البارد والدرفلة على الساخن من حيث مميزاتها ومحدداتها .

5. لماذا تفشل المواد القصبة بالقص على مستويات مائلة بزاوية أكبر من  $45^\circ$  فما فرق بالنسبة للمحور الطولي ؟

6. لماذا تكون عينات الاختبار للانضغاط دائيرية المقطع في المعادن بينما تكون مربعة المقطع في الصبات الاسمنتية ؟

7. إذا كانت زاوية ميل الكسر لعينة يتم اعطاؤها بالمعادلة التالية :

$$\theta = 45^\circ + \phi/2$$

حيث  $\theta$  = زاوية ميل الكسر

و  $\phi$  = زاوية لاحتكاك الداخلي لجزئيات المادة .

نـ. اوجد زاوية الاحتكاك الداخلي  $\phi$  للأسمنت ، الحديد الزهر ، النحاس الأصفر إذا كانت زاوية ميل

كسرها  $\theta$  هي  $70^\circ$  ،  $60^\circ$  و  $50^\circ$  على الترتيب.

نــ. اوجد أيضاً معامل الاحتكاك لكل من الأسمنت ، الحديد الزهر ، والنحاس الأصفر .

8. في اختبار الشد لعينة من الفولاذ الطري وضح تفاوت الاستطالة مع الطول الاسمي ومساحة المقطع العرضي للعينة . استعن بالرسم التوضيحي ما أمكن؟

9. ما هو التآكل؟ وما هي المحددات الاقتصادية لعملية التآكل؟

10. تحدث بإيجاز عن المحددات الاجتماعية التي قد تسببها عملية التآكل؟
11. تحدث باختصار عن التآكل المتجلانس والتآكل الجلفاني وكيف يتم تلافيه في الحالتين.

والله الموفق ::::::::::::::::::::

أسامي محمد المرضي سليمان

قسم الهندسة الميكانيكية  
كلية الهندسة والتكنولوجيا  
جامعة وادي النيل

## الكتب والمراجع

## الكتب والمراجع العربية :

1. جلال الحاج عبد، "التصنيع والأتمتة والتجميع في الهندسة الميكانيكية" ، [www.jalalalhajabed.com](http://www.jalalalhajabed.com)
2. عثمان محمد عثمان ، علي الصويعي البوزيدي ، محمد خليفة التلبي ، "مبادئ تقنيات المواد وعمليات التصنيع" ، منشورات مكتب البحث والاستشارات الهندسية" ، (2005)
3. سوسن صبيح عبد الله ، زهير حسن عبد الله ، "تحليل تتابع عمليات التصنيع للمنتجات الصناعية" ، The Iraqi Journal for Mechanical and Material Engineering
4. الأمين عبد الجليل محمود ، "كتاب أساسيات عمليات التصنيع" ، دار نشر جامعة الخرطوم ، (2009)
5. عبد الجليل يوسف العطا ، "مذكرة محاضرات عمليات التصنيع (1) و (2) و (3)" ، جامعة وادي النيل ، كلية الهندسة والتقنية ، (1990) .
6. أسامة محمد المرضي سليمان ، "مذكرة محاضرات عمليات التصنيع (1) و (2)" ، جامعة البحر الأحمر ، كلية الهندسة ، (2000) .
7. الأمين عبد الجليل محمود ، "عمليات تصنيع المواد (قطع المعادن)" ، مطبعة الجريوية ، الخرطوم ، (2009)
8. الأمين عبد الجليل محمود ، "علوم الاحتكاك والتأكل والتزيلق (ترابيولوجي)" ، مطبعة جامعة الخرطوم ، (2007)
9. الأمين عبد الجليل محمود ، "عمليات تشكيل المعادن" ، مطبعة جامعة الخرطوم ، مايو (2007)
10. محمد نصر الدين دمير ، "تكنولوجيا هندسة الإنتاج" ، دار الراتب الجامعية ، بيروت ، (1988)
11. براون ل. ج. (مؤلف) ، محمد حسن سويلم (مترجم) ، "نظريّة الصناعة" ، دار ماكروهيل للنشر ، المملكة المتحدة ، (1970)

**الكتب والمراجع الإنجليزية :**

1. Mikell P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing", John Wiley and Sons Inc., (2007).
2. Ismaila S. O., "Manufacturing Science and Technology", Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Agriculture, Abeokuta, (2012).
3. Schmidt R. S. and Kalpakjian S., "Manufacturing Engineering and Technology", 5<sup>th</sup> edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, (2006).
4. Sharma P. C. , "A textbook of Production Technology (Manufacturing Processes)" , 5<sup>th</sup> edition , S. Chand and Company Ltd , Ram Nagar , New Delhi , India , (2004).
5. Dieter G. E. , "Mechanical Metallurgy" , 3<sup>rd</sup> edition , McGraw Hill Publishing Company , New York .
6. Ibhadode A. O. A. , "Introduction to Manufacturing Technology" , Ambik Press , No. 4 , Otike Odibi Avenue , Isiohor via Ugbowo , Old Lagos Road , Benin City , Edo State , Nigeria , (1997) .
7. Ahmet Aran, "Manufacturing Properties of Engineering Materials", Lecture Notes, ITU, Department of Mechanical Engineering, (2007).
8. Alaa A. Ateia, "Manufacturing Processes II", Materials Engineering Department, University of Technology, (2009).
9. Rajender Singh, "Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology", New Age International (P) Limited Publishers, New Delhi, India, (2006).
10. Lee J. and et. al., "Modern Manufacturing", Mechanical Engineering Handbook, Boca Raton: CRC Press LLC, (1999).
11. Velayudham A., "Modern Manufacturing Processes", Journal of Design and Manufacturing Technologies, Vol. 1, No. 1, November (2007).
12. G. Boothroyd and W. A. Knight, "Fundamentals of Machining and Machine Tools", Taylor and Francis, (2006).

13. Mills B., and Redford A. H., "Machinability of Engineering Materials", Applied Science Publishers, London, (1983).
14. Berg R. T., "Fundamentals of Turning", Metal Cutting: by the editors of American Machinist, McGraw Hill, New York, (1979).
15. Trent E. M., "Metal Cutting", 2<sup>nd</sup> edition, Butterworth Company, London, (1984).
16. Kalpakjian, Serope, "Manufacturing Engineering and Technology", 2<sup>nd</sup> edition, Addison – Wesley Publishers Company, USA, (1992).
17. DeGarmo, Black, Kolser, "Materials and Processes in Manufacturing", 7<sup>th</sup> edition, Macmillan Publishers Company, N. Y. and London, (1988).
18. Schley J. A., "Introduction to Manufacturing Processes", 3<sup>rd</sup> edition, McGraw Hill, Inc., USA, (2000).

## نبذة عن المؤلف :

أسامي محمد المرضي سليمان ولد بمدينة عطبرة بالسودان في العام 1966م. حاز على دبلوم هندسة ميكانيكية من كلية الهندسة الميكانيكية - عطبرة في العام 1990م. تحصل أيضاً على درجة البكالوريوس في الهندسة الميكانيكية من جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا - الخرطوم في العام 1998م ، كما حاز على درجة الماجستير في تخصص ميكانيكا المواد من جامعة وادي النيل - عطبرة في العام 2003م . قام بالتدريس في العديد من الجامعات داخل السودان، بالإضافة لتأليفه لسبع كتب وخمس ورقات علمية منشورة في دور نشر ومجلات عالمية إلى جانب إشرافه على أكثر من مائتي بحث تخرج لكل من طلاب الماجستير ، الدبلوم العالي ، البكالوريوس ، والدبلوم العام . يشغل الآن وظيفة أستاذ مساعد بقسم الميكانيكا بكلية الهندسة والتكنولوجيا - جامعة وادي النيل. بالإضافة لعمله كمستشاري لبعض الورش الهندسية بالمنطقة الصناعية عطبرة. هذا بجانب عمله كمدير فني لمجموعة ورش الكمالى الهندسية لخراطة أعمدة المرافق واسطوانات السيارات.

