كتاب عمليات تشكيل وتشغيل المعادن

METAL FORMING AND MACHINING PROCESSES

تألـيف

دكتور مهندس أسامة محمد المرضي سليمان خيال

استاذ مشارك ، كلية الهندسة ، جامعة وادي النيل

عطبرة، السودان

Author

Dr. Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal

Associate Professor, Faculty of Engineering, Nile Valley University

ATBARA, SUDAN

مايو 2020م

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وعرفان

بحمد الله و توفيقه فقد اكملت كتاب تصميم العناصر في الهندسة الميكانيكية. لقد تم تأليف هذا الكتاب اثناء فترة الحجر الصحي الذي فرضته السلطات الصحية في جميع عموم دولة السودان بسبب الأنتشار الوبائي العالمي لفيروس كورونا المستجد(Pandemic Corona Virus) أو (COVID - 19). من خلال هذا المنبر المعرفي أسأل الله العلي القدير أن يديم علي البشرية جمعاء نعمة الصحة والعافية.

الشكر والعرفان لله والتبريكات والصلوات على رسوله وخادمه محمد وعلى آله وصحابته وجميع من تبعه وتَقَفِّى أثره إلى يوم القيامة.

لذكرى كُلِّ من أمي الغالية خضرة درار طه، وأبي العزيز محمد المرضي سليمان، وخالتي الحبيبة زعفران درار طه الذين تعلمت منهم القيمة العظيمة للعمل واحترام الوقت وترتيبه وتدبيره.

إلى زوجتي الأولى نوال عباس عبد المجيد وبناتي الثلاث رؤى، روان وآية تقديراً لحبهم وصبرهم ومثابرتهم في توفير الراحة والسكون خاصَّةً عندما تتعقد وتتشابك الأمور.

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

يَوَّدُ الكاتب أن يتقدم بالشكر أجذله 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 وخواص المواد الهندسية.

أُهدي هذا الكتاب لذكرى كُلٍّ من بروفيسور صابر محمد صالح وبروفيسور الفاضل آدم عبد الله وبروفيسور مشارك عبد الجليل يوسف العطا وبروفيسور مشارك محي الدين إدريس حربة وبروفيسور مشارك هاشم احمد علي الهاشمي وبروفيسور مشارك صلاح احمد علي، والاستاذة اشراقة صالح عبد الله صالح، والاستاذة انتصار عبده الذين ساهموا في تأسيس الصرح الشامخ كلية الهندسة الميكانيكية عطبرة، رحمهم الله جميعاً وأسكنهم فسيح جناته مع الصديقين والشهداء وحسن أولئك رفيقاً.

أُعبِّر عن شكري وامتناني إلى المهندس أسامة محمود محمد علي بمركز دانية 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 يتقبَّل هذا العمل المتواضع والذي آمل أن يكون ذو فائدة للقارئ.

مقدمة

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

يتفق هذا الكتاب لغوياً مع القاموس الهندسي الموّحد السوداني ويُعدُّ مرجعاً في مجاله حيث يمكن أن يستفيد منه الطالب والمهندس والباحث . معظم مادة هذا الكتاب مقتبسة من محاضرات ومذكرات 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 العيِّنة ، كيفية ربطها أو تثبيتها على ماكينة الاختبار ، تأثير معدَّل التحميل على العيِّنة ، تفاوت الاستطالة مع الطول الاسمي ومساحة المقطع العرضي ، الانفعال الزائد والتحميل التكراري .

يهتم الفصل الخامس بالتآكل لما له من أهمية وأثر كبير في عمليات الإنتاج والتصنيع ، حيث يؤدي التآكل إلى انهيار المنشآت الفلزية بفعل تفاعلها مع الجو المحيط . يستعرض هذا الفصل المحدِّدات الاقتصادية والاجتماعية للتآكل ، صور التآكل من حيث طبيعة الوسط الآكل ، ميكانيكية عملية التآكل ومظهر الفلز المتآكل . أيضاً يتناول هذا الفصل نوعي التآكل من حيث كونه تآكلاً موضعياً أو تآكلاً متجانساً وأسباب حدوثه ومحدداته وكيفية الحد منه .

يأمل الكاتب أن يحقِّق هذا الكتاب الهدف الذي كُتِبَ 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

المحتويات

الموضوع	الصفحة
شكر وعرفان	i
مقدمة	iii
المحتويات	v
الفصل الأول : خواص المواد الهندسية	
1.1 مدخل	1
1.2 أهمية المعادن في الصناعة	1
1.3 الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمعادن	2
1.4 اختبارات المواد الهندسية	6
1.5 طرق تحضير وتجهيز المعادن	13
الفصل الثاني : عملية توليد الرائش	
2.1 مدخل	28
2.2 أنواع الرائش	30
2.3 تأثير الحرارة على الحد القاطع	31
2.4 عمليات بدون توليد رائش	33
الفصل الثالث : طرق وأساليب التشغيل الحديثة	
3.1 مدخل	37
3.2 التشغيل بالتفريغ الكهربائي	37
3.3 التشغيل بالموجات فوق الصوتية	39
3.4 التشغيل الكيميائي	42
الفصل الرابع : اختبار المواد والأساليب المختبرية	

4.1 اختبارات الشد 45
4.2 ماكينات الاختبار 46
4.3 تأثير معدَّل التحميل 46
4.4 تفاوت الاستطالة مع الطول الاسمي ومساحة المقطع العرضي 46
4.5 الانفعال الزائد والتحميل التكراري 48
4.6 إجهاد الصمود 50
4.7 اختبارات الانضغاط 51
4.8 أسئلة متابعة 51
4.9 الانهيار في المعادن القصفة 51

الفصل الخامس : التآكل

5.1 تعريف التآكل 56
5.2 المحددات الاقتصادية للتآكل 56
5.3 المحددات الاجتماعية للتآكل 57
5.4 صور التآكل 58
5.5 أنواع التآكل 59
5.6 مسائل في عمليات التصنيع 67

الكتب والمراجع

الكتب والمراجع العربية 70
الكتب والمراجع الأنجليزية 71

نبذة عن المؤلف 74

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 الاخرى 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 إنّ أبحاث الفضاء التي تجرى في عصرنا ربما يتمخض عنها وجود مصادر أخرى للمواد الهندسية غير الارض . هذا بالإضافة للمواد المركبة المستخدمة في كثير من الصناعات الفضائية والطائرات من دون طيار (unmanned drones) وسيارات السباق وغيرها .

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

كما ذُكر سابقاً فإن 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 نلتفت أو لا نفكر كثيراً بالمعادن فإنها موجودة فعلاً حولنا في معظم الآلات والمعدات والأدوات التي نستعملها في حياتنا اليومية ، فالسيارات والقاطرات والسفن والطائرات والماكينات الانتاجية المختلفة ومحركات السيارات والآلات الزراعية والأدوات المنزلية وأدوات الورش ماهي 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 وتختلف المواد المعدنية عن المواد اللامعدنية في كثير من النقاط أهمها ما يلي :

1. **الكثافة (Density)** : المعادن عالية الكثافة مقارنة بالمواد اللامعدنية $\left\{\rho = \frac{m}{V}\right\}$.
2. **التوصيل الحراري والكهربي (Thermal and Electrical Conductivity) :**

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

3. **الحرارة النوعية (Specific Heat Capacity) :**

المعادن حرارتها النوعية اقلَّ 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 ويشذ عن ذلك النحاس والذهب بينما كثير من المواد اللامعدنية لا تعكس الضوء.

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

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

6. القابلية للمغنطة (Magnetizability):

أكثرية المعادن قابلة للمغنطة بعكس أغلب المواد اللامعدنية.

7. الميوعة (Fluidity) :

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

8. الانصهار الموضعي (Local Fusibility) :

وهي قابلية المعدن على الانصهار عند نقاط محددة إذا سُلطَّت 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 تقبُّل التغيير في شكله تحت تأثير قوى الشد (tension) ، الانضغاط (compression)، الانحناء (bending)، الالتواء (torsion) والسحب (drawing) بدون حدوث الكسر 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 ويُقال أنَّ المعدن ليِّن (i.e. لدن) إذا كان من الممكن تشكيله دون كسر بعمليات الحدادة (forging) أو الدرفلة (rolling) .

3. العسو أو المتانة (Toughness or Strength) :

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

4. قابلية الانشطار أو الانقسام (Divisibility) :

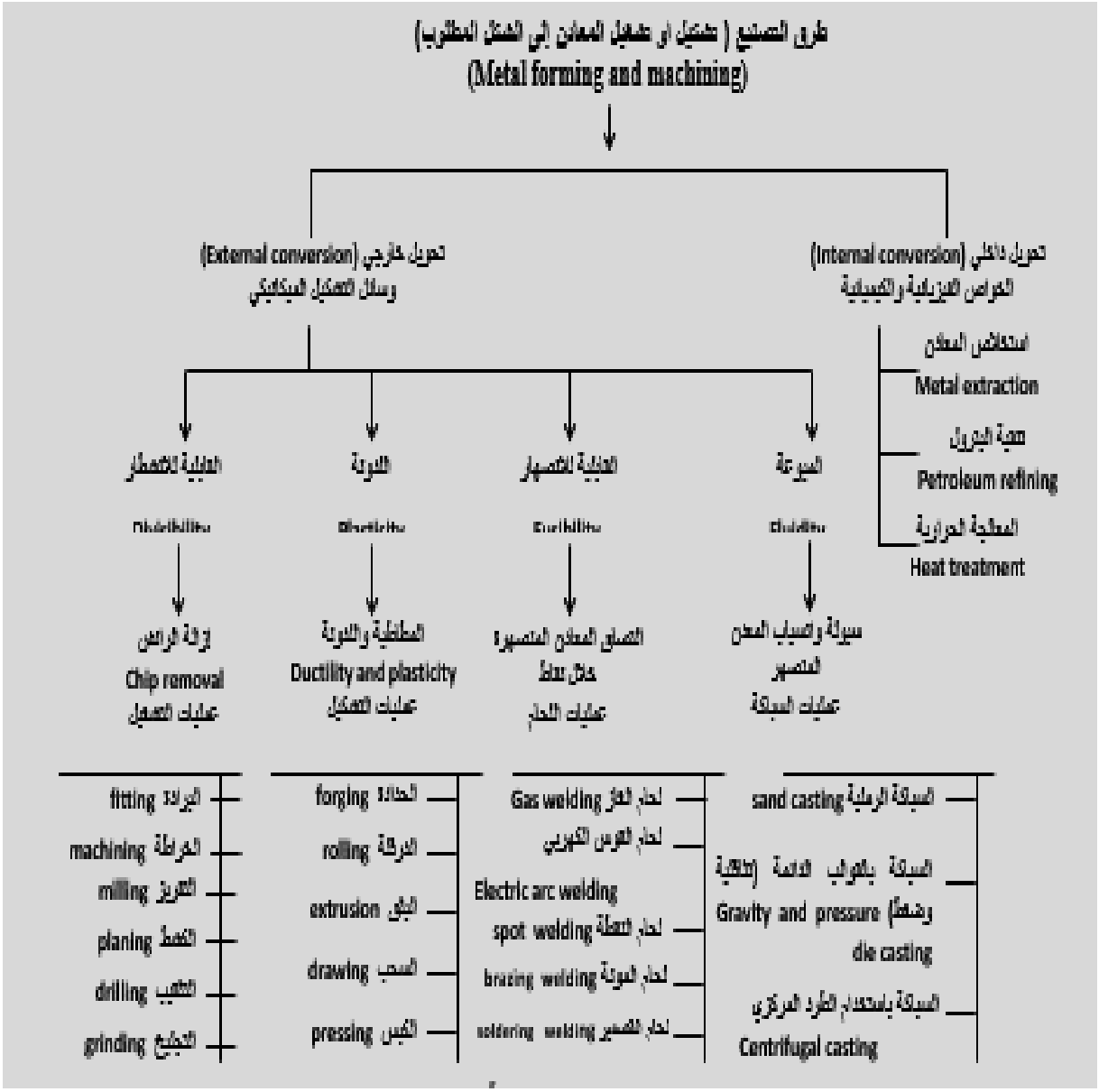
وهي قابلية المعدن على نزع اجزاء منه عن طريق قوى القص تحت الاحمال العالية كما هو الحال في عمليات إزالة الرائش المختلفة (الخراطة ، التفريز ، الكشط ، الجلخ ، التنعيم أوالصنفرة) .

5. الصلادة (Hardness) :

وهي مقاومة المعدن للخدش أو لاختراق الأجسام الأخرى فيه .

(Hardness: is the ability of a material to withstand scratching or identation)

الشكل (1.1) أدناه يوضح طرق التصنيع المختلفة (i.e. تشكيل وتشغيل المعادن) وارتباطها بخواص المواد الهندسية .



شكل (1.1) طرق التصنيع المختلفة وارتباطها بخواص المواد

1.4 اختبارات المواد الهندسية (Engineering Materials Testing) :

لتحديد قيَّم عددية تُعبِّر 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) واختبار الصلادة (hardness). سوف لا يتسع المجال هنا لشرح أسس كل هذه الاختبارات بالتفصيل وسنكتفي بشرح مبسَّط لبعض الاختبارات فقط لإلقاء الضوء على طبيعتها وفائدتها.

1.4.1 اختبار الشد (Tension Test) :

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

تُجهَّز لهذا الغرض عينَّات نمطية ذات شكل وأبعاد قياسية . وتوضع العينات بين فكي ماكينة الشد التي تؤثر عليها بقوى شد متزايدة وتقاس باستمرار الشد الكميات الآتية:

i. طول العينة .
ii. مساحة مقطع العينة .
iii. مقدار قوة الشد .

وترسم علاقة بين قوة الشد F مقاسة بالنيوتن والتغير في الطول (الاستطالة) مقدراً بالمليمترات على النحو المبين في الأشكال (1.2) و(1.3) ويمكن استنتاج خصائص متعددة من هذا الاختبار أهمها ما يلي :

1. معاير المرونة للإجهادات المباشرة (معاير يونق) :

(Modulus of Elasticity or Young Modulus)

يتم تحديد معاير المرونة للإجهادات المباشرة (i.e. شد أو انضغاط) حسب قانون هوك الذي يقول أن الانفعال يتناسب طردياً مع الاجهاد المسبَّب له حتى حد التناسب .

$$\text{معاير المرونة i.e. } E = \frac{\text{الاجهاد}}{\text{الانفعال}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad N/mm^2$$

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

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

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

$$\text{الانفعال ، } \varepsilon = \frac{\text{الزيادة في الطول}}{\text{الطول الأصلي}} = \frac{\Delta L}{L} \quad mm/mm$$

2. اجهاد الخضوع (Yield Stress) :

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

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

3. الاجهاد الأقصى (Ultimate Stress) :

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

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

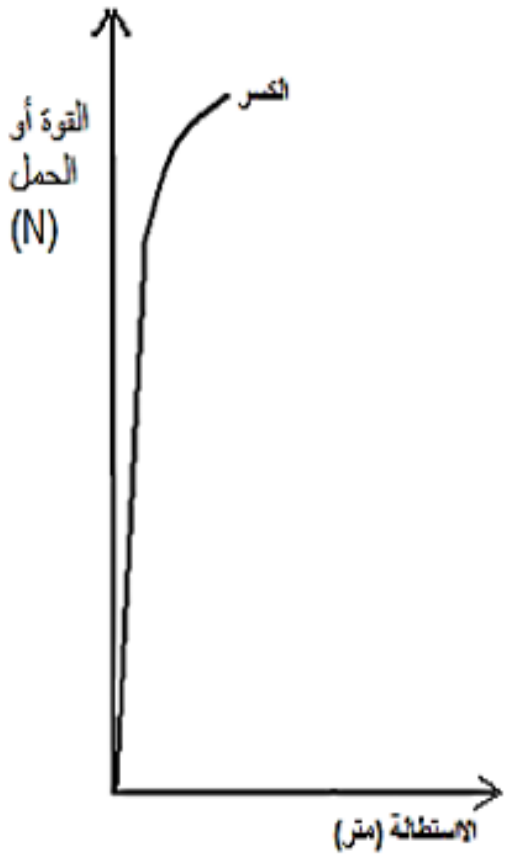
4. معامل المرونة أو الرجوعية (Resilience) :

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

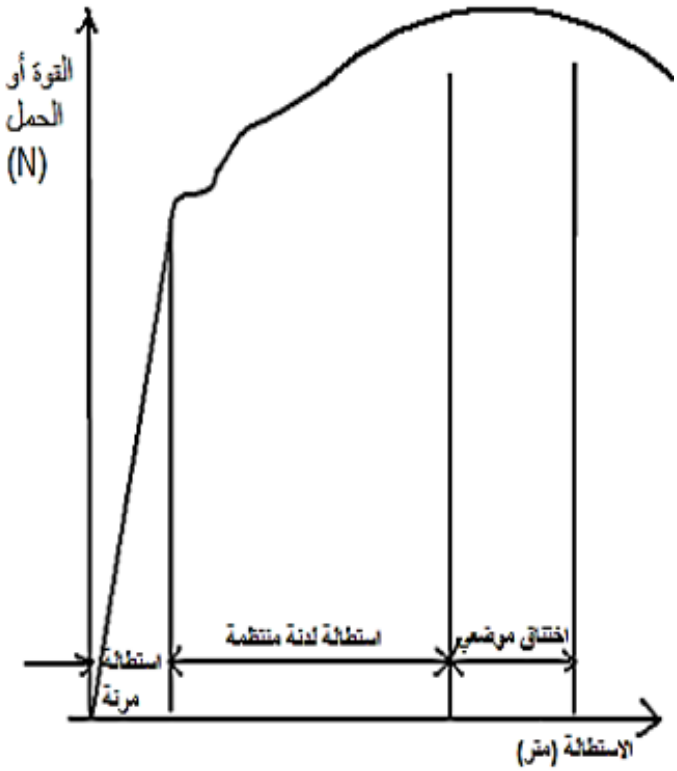
$$\text{معامل المرونة أو الرجوعية} = \frac{\text{مربع اجهاد الخضوع}}{\text{ضعف معاير المرونة}} = \frac{(\sigma_y)^2}{2E}$$

أي هو المساحة تحت منحنى الاجهاد والانفعال حتى حد المرونة . بالتالي يمكن التعبير عن معامل المرونة بالمعادلة :

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

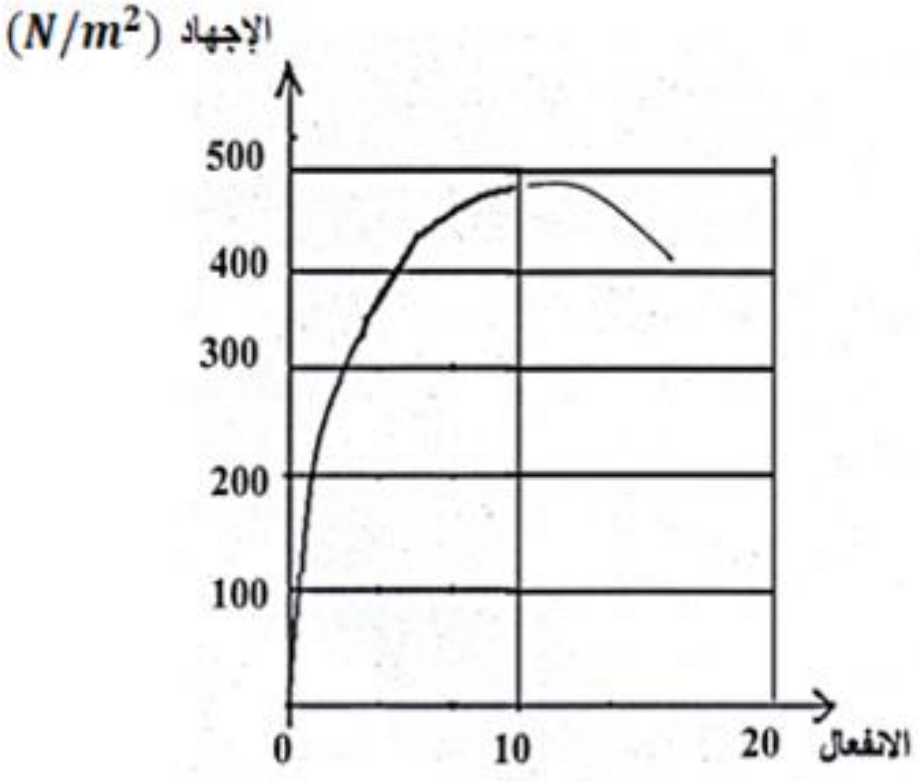


صلب ناشف (أ)

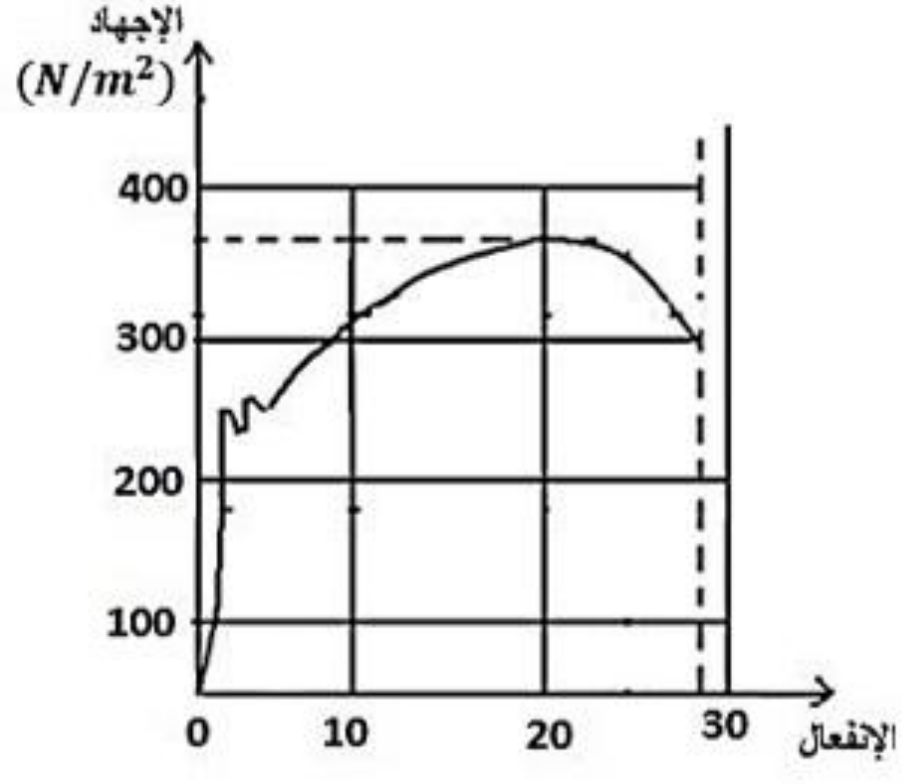


صلب طري (ب)

شكل (1.2) (أ و ب) الحمل ضد الاستطالة لمادة مطيلية وأخرى قصفة



(ج)



(د)

شكل (1.3) (ج و د) الاجهاد ضد الانفعال لمادة مطيلية وأخرى قصفة

5. معامل المتانة :

ويساوي الشغل المبذول في وحدة الحجوم 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 ويجرى هذا الاختبار على عينات ذات شكل خاص تحتوى على (حز) (recess) في منتصف أحد جوانبها وتوضع العينة بين فكي الجهاز الموضح أدناه في الشكل (1.4) ويرفع الحمل إلى ارتفاع معين (H) ويترك ليسقط على العينة ليترفع بعد

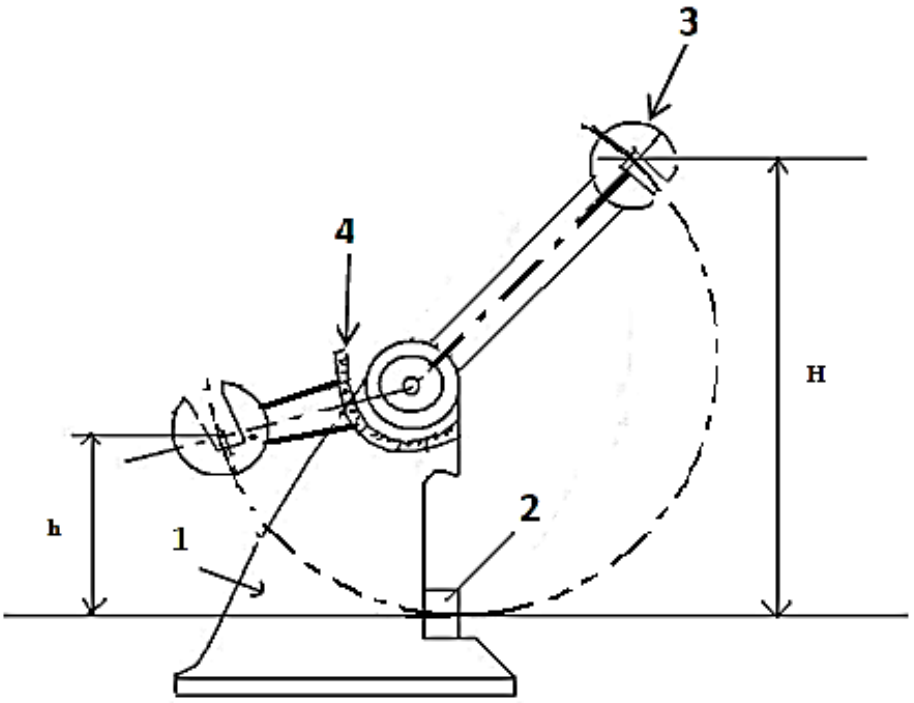
ذلك إلى ارتفاع آخر (h) ويكون الفرق في طاقة الوضع بين الارتفاعين معياراً لمقاومة المعدن للصدمات فإذا كان وزن كتلة البندول (w) فإنَّ :

مقاومة المعدن للصدمات (α_k) :

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

حيث A = مساحة مقطع العينة عند الحز بالسنتيمتر المربع .

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



شكل (1.4) 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 برينل 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 بالـ kg .

D ، هو قطر الكرة المستخدمة بالـ mm.

d ، هو قطر اثر الكرة في المعدن بالـ mm .

2. اختبار صلادة روكويل (Rockwell Hardness Test) :

وفيه 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 المتبعَّة في الاختبار إلى الأقسام الآتية :

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

مخروط زاويته 120درجة	150 kg	10 kg	RHC

1.4.4 اختبار صلادة فيكرز (Vickers Hardness Test) :

وتستخدم 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 . تُعيَّن الصلادة عن طريق ضغط هرم رباعي من الماس زاوية قمته 136 درجة في المادة المراد اختبارها بواسطة أحمال تتراوح بين (5 kg و 140kg) ثم تقاس مساحة الأثر الناتج بواسطة المجهر وتحسب الصلادة بالمعادلة الآتية :

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

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 والكبريت 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 تحتوي 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 وتحتوي الكرة الأرضية على 4.2% من وزنها حديد . ويوجد الحديد داخل القشرة الأرضية متحداً مع عناصر أخرى على شكل أكاسيد 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 (احدى مكونات الطين) والجير (أكسيد الكالسيوم) .

1.5.3 تسلسل عمليات انتاج الحديد والصلب :

إذا تأملنا أي منتج مصنوع من المعادن الحديدية مثل محرك السيارة المسبوك من الزهر او هيكلها المصنوع من ألواح الفولاذ (i.e. الصلب) وتحرينا طريقة انتاجه والخطوات التي مرَّ بها منذ أن كان خاماً في باطن الأرض إلى ان صار بالصورة الموجود عليها لوجدنا أنه مرَّ بسلسلة طويلة ومعقدة ومترابطة من العمليات لها تسلسل ثابت ويحدث نتيجة لذلك تغير في شكل وخواص 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 المصنَّعة (Semi-Finished Products):

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

1. المعدن الخام (Raw Metal) :

وهو المعدن الناتج من عملية الاستخلاص الميتالورجيه 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 :

أ. معدن منصهر (Molten Metal) :

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

ب. تماسيح المعدن الخام (Pigs) :

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

2. معدن مُجهَّز (Prepared Metal) :

بعد اعادة 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 انتاجه ويُبرَّد المعدن بعد ذلك في هذا التجويف ويُجمَّد على الشكل المطلوب .

4. كتل التشكيل (Forming Lugs) :

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

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

جميع كتل التشكيل تجرى عليها دلفنة أو درفلة أولية (initial rolling) لتغيير 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 يُسمَّى 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 او مستدير الأركان لا تزيد مساحته عن $160\ cm^2$.

8. القضبان (Rods) :

هي منتجات ناتجة من عمليات الدلفنة (rolling) أو البثق (extrusion) أو السحب (drawing) وتكون على شكل أطوال كبيرة ومقطع 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 اللدنة.

10. القطاعات الانشائية (Structural Sections) :

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

11. السلك (Wire) :

وهو ناتج عن عمليات السحب (drawing) من القضبان وأطوالها كبيرة جداً ومقطعها صغير (i.e. حوالي2mm) ومستدير .

12. الألواح (Sheet Metals) :

وهي منتجات مدلفنة ذات مساحات كبيرة وذات سمك متباين يتراوح بين 2mm فما فوق . وكل المنتجات السابق ذكرها تستخدم كمادة اولية لصناعات أخرى . فمثلاً يستخدم السلك لصناعة المسامير (bolts) أو لصناعة الياءات (springs) كما تستخدم الألواح في عمل هياكل السيارات والثلاجات ومنتجات المكابس (press work) وتستخدم الكتل المربعة 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 مرَّت على جميع مراحل التشكيل والتشغيل حتى اصبحت جاهزة للاستخدام بمفردها أو بتجميعها مع منتجات أخرى لتكوين أجزاء الماكينات . مثلاً يُوجد عدد كبير من المنتجات النهائية التي نقابلها في حياتنا اليومية مثل ألواح الفولاذ الطري التي تستخدم في هياكل السيارات ومبردات المياه ومبردات الهواء وغيرها .

1.5.4 التشكيل اللدن للمعادن (Plastic Forming of Metals) :

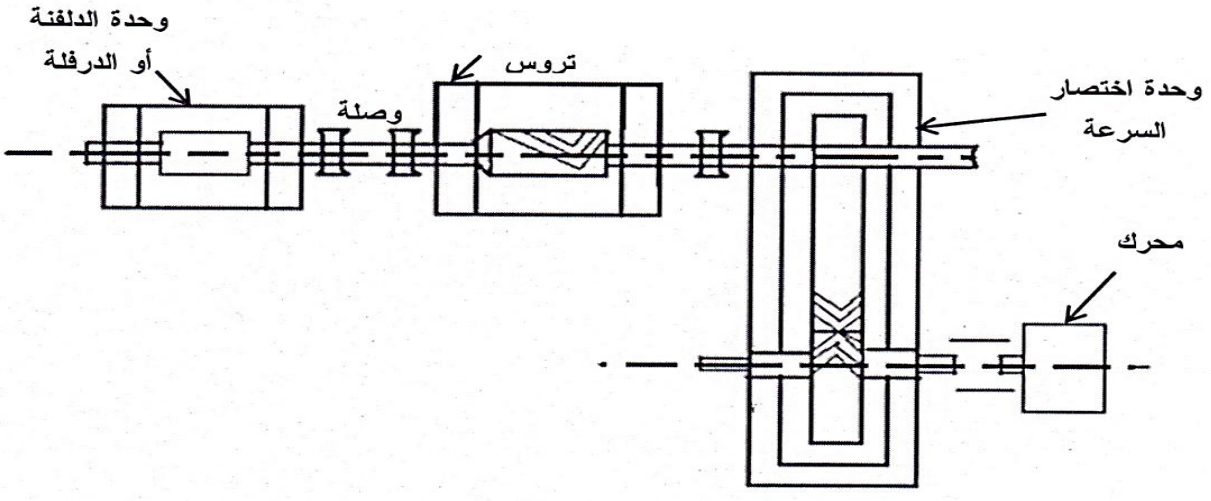
1. دلفنة أو درفلة المعادن (Metal Rolling) :

عملية الدلفنة أو الدرفلة هي عملية تشكيل للمعدن وتتم 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 المصنَّعة كألواح الصلب الحديدية المستخدمة في الإنشاءات المعدنية كالعتبات أو العارضات ذات الأشكال المختلفة (beams) والزوايا (angles) والحديد المبروم المستخدم في الانشاءات الخرصانية (.i.e السيخ) .

2. ماكينات الدلفنة او الدرفلة (Rolling Machines) :

يبين الشكل (1.5) أدناه رسماً تخطيطاً لماكينة الدلفنة أو الدرفلة التي تُدار بمحرك كهربي يُقلِّل سرعته صندوق تروس مخفض للسرعات (gear box) وتصل السرعة الدورانية بعد ذلك إلى وحدة الدلافين عن طريق وصلة خاصة لنقل الحركة . وتتكون وحدة الدلفنة من دولفينين على الأقلَّ مركبَّان في جسم الماكينة عل كراسي خاصة تسمح لهما بالدوران كما يمكن ضبط وضعهما حسب سمك المعدن المطلوب . وتصنع الدلافين من الحديد الزهر أو من الصلب السبائكي (alloy steel) ويُقسَّ سطحها الخارجي لكي يستطيع مقاومة التآكل الناتج من الاحتكاك أثناء عملية الدلفنة .



شكل (1.5) رسم مُبسَّط لماكينة الدلفنة او الدرفلة

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

يوضِّح الشكل (1.6) التالي منطقة التغيرُّ في الشكل اثناء عملية الدلفنة وفيها يظهر قوس التلامس على سطحي الدولفينين وتسمي الزاوية المركزية (∝) المناظرة لكل قوس بزاوية التلامس (angle of contact) ويمكن حساب قيمة زاوية التلامس هذه من العلاقة الآتية :

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

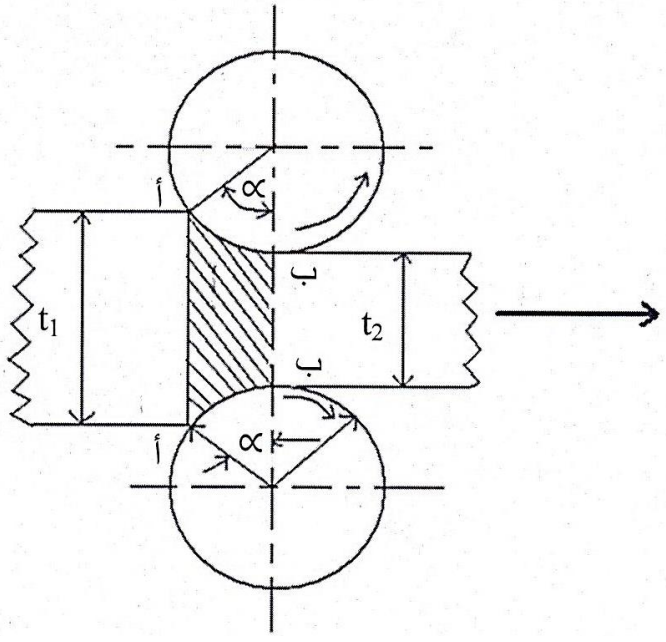
$$\therefore \alpha = \cos^{-1}\left\{1 - \left\{\frac{t_1 - t_2}{d}\right\}\right\}$$

حيث :

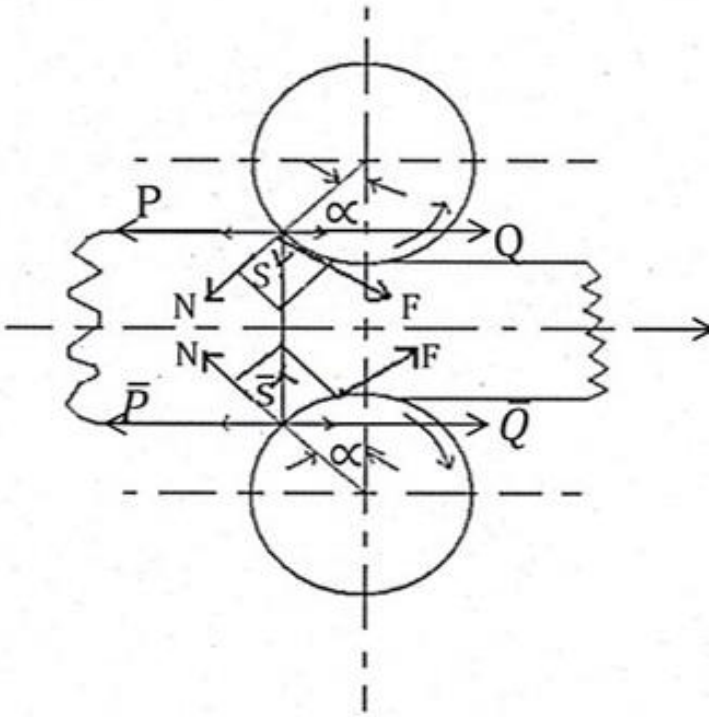
d = قطر كل من الدولفينين أو الدرفيلين.

t_1 = سمك المعدن قبل الدلفنة أو الدرفلة.

t_2 = سمك المعدن بعد الدلفنة أو الدرفلة.



شكل (1.6) هندسة عملية الدلفنة أو الدرفلة



شكل (1.7) القوى المؤثرة أثناء عملية الدلفنة

4. شرط أداء عملية الدلفنة او الدرفلة :

يتم امرار 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 (1.7) 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 الدرفيلين.

من تحليل القوى ينتج الآتي :

$S = N\cos\alpha + F\sin\alpha$ ، قوة عصر المعدن (1)

$Q = F\cos\alpha$ ، قوة سحب المعدن إلى الأمام (2)

$P = N\sin\alpha$ ، مقاومة عملية سحب المعدن (3)

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

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

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

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

ولكن القيمة الحرجة للقوة F عند وشك منع الحركة (وشك انزلاق المعدن بين الدولفينين أي دوران الدولفينين دون سحب المعدن) يمكن ان تعطي بالمعادلة الآتية :

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

حيث **μ** هو معامل الاحتكاك بين الدولفينين والمعدن المراد دلفنته وتتوقف قيمته على نوع كل من مادة الدلافين والمعدن المراد دلفنته وعلى درجة خشونة سطح كل منهما وكذلك على درجة حرارة كل منهما وسرعة الدلفنة ، ويرتبط معامل الاحتكاك (μ) بزاوية الاحتكاك ∅ بالعلاقة التالية :

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

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

$$F\cos\alpha > N\sin\alpha$$
$$\mu N\cos\alpha > N\sin\alpha$$
$$\tan\phi\, N\cos\alpha > N\sin\alpha$$
$$\therefore \tan\phi > \tan\alpha \qquad (8)$$

أي أنه لكي تحدث عملية الدلفنة أو الدرفلة يجب أن تكون زاوية التلامس ∝ أصغر من زاوية الاحتكاك (∅) (angle of friction).

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

5. انواع ما كينات الدلفنة (Types of Rolling Machines) :

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

1. ماكينات الخصر الأولي (Primary Reduction Mills):

وتشمل ماكينات انتاج الكتل النصف مدلفنة والكتل المربعة والألواح السميكة.

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

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

3. ماكينات الدلفنة النهائية (Finishing Mills):

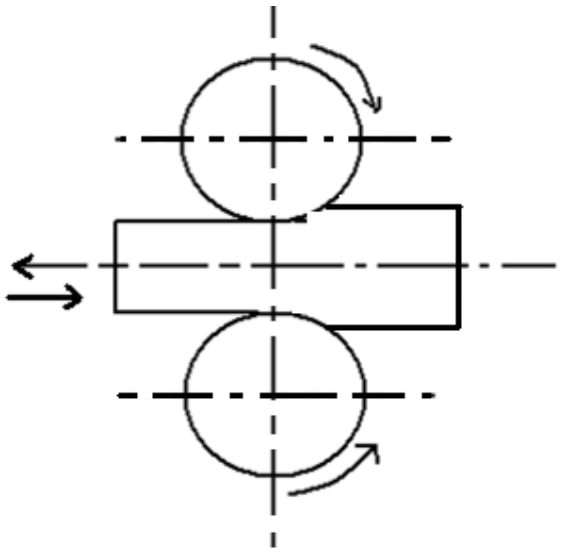
ويشمل هذا النوع ماكينات دلفنة الألواح الرقيقة والشرائط (sheets). كما تُقسَّم ماكينات الدلفنة من ناحية عدد الدلافين المستخدمة إلى :

i. ماكينات دلفنة ثنائية (Two High Rolls):

وتتكون من دولفينين يدوران في اتجاهين متضادين وتختصر المعدن عند مروره بين الدولفينين في اتجاه التغذية الذي يحدده اتجاه الدوران .

ii. ماكينات دلفنة ثنائية عاكسة (Reversing Rolls):

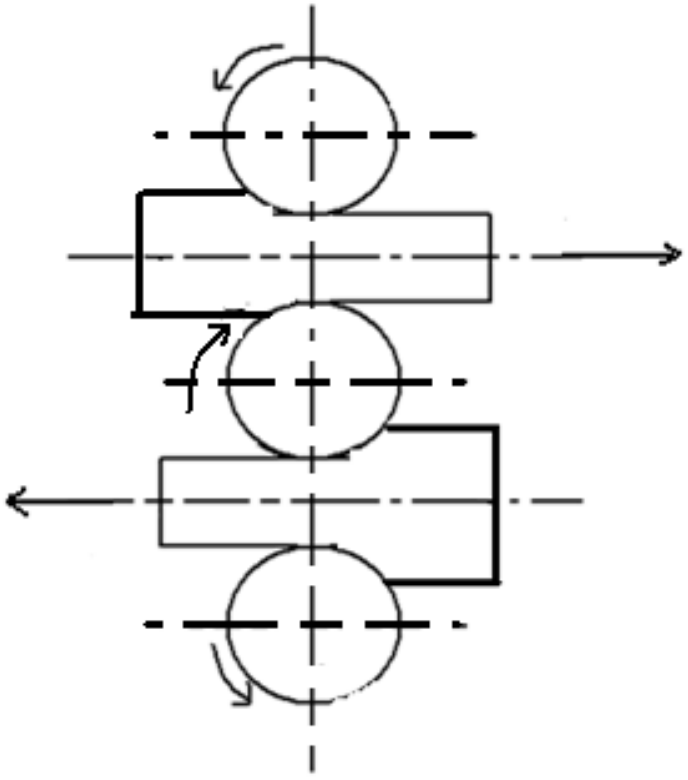
وفيها يمكن عكس اتجاه دوران الدولفينين وبذلك يمكن تغذية كتلة المعدن من كلا الاتجاهين ومن ناحية التركيب فهي مماثلة للشكل (1.8) أدناه :



شكل (1.8) ماكينة دلفنة ثنائية

iii. ماكينات دلفنة ثلاثية (Three High Rolls):

وفي هذا النوع تُركَّب ثلاثة دلافين في جسم الماكينة وبذلك يمكن تغذية المعدن من خلال الدولفينين الأعلى والأوسط في أحد الاتجاهات ثم يعاد تغذية المعدن من خلال الدولفينين الأوسط والسفلى في الاتجاه المضاد وبذلك يمكن الاستغناء عن ضرورة عكس حركة الدوران كما في النوع السابق . الشكل (1.9) أدناه يوضِّح ماكينة دلفنة ثلاثية .



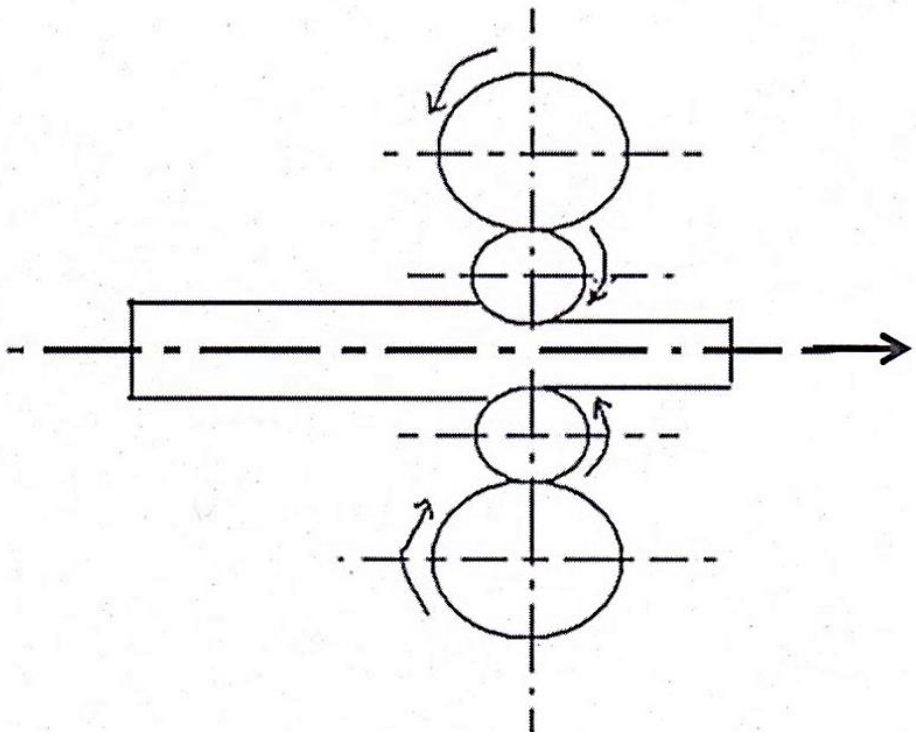
شكل (1.9) ماكينة دلفنة ثلاثية

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 الصغيرين للحصول على نسبة اختصار كبيرة في

سمك المعدن مع الاحتفاظ بقوة تحمل عالية للقوى بمساعدة الدلافين الكبيرة . الشكل (1.10) أدناه يوضح ماكينة دلفنة رباعية .



شكل (1.10) ماكينة دلفنة رباعية

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

ويستخدم هذا النوع بكثرة في عمليات الدلفنة وتتراوح أقطار دلافين التشكيل المستخدمة بين 10mm و 30mm ، وتُرتَّب الدلافين 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):

وتتكون من دولفينين أفقيين وآخرين رئيسيين وتستخدم معاً في انتاج 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 انتاج المقاطع الصغيرة .
2. جودة عالية في تشطيب الأسطح المدلفنة .
3. صلابة عالية للمعدن المدلفن .

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

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

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

تتم عملية الدلفنة على الساخن بواسطة تسخين المعدن إلى درجة حرارة عالية بعد تنظيفه وإزالة أيَّ شوائب من على سطحه . بعد التأكد من وصول المعدن إلى درجة الحرارة المطلوبة تزال ايضاً 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 الرائش

Chip Generation

2.1 مدخل (Introduction) :

عملية توليد الرائش من العمليات الفيزيائية والميكانيكية المعقدَّة لأنها تشتمل 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 والتفاف للرائش وانكماشه وتصلُّد سطح الشغلة وبلي الحد القاطع .

الشكل (2.1) ادناه يوضح منحنى الاجهاد – الانفعال للفولاذ الطري (mild steel) والذي يتكون من النقاط التالية :

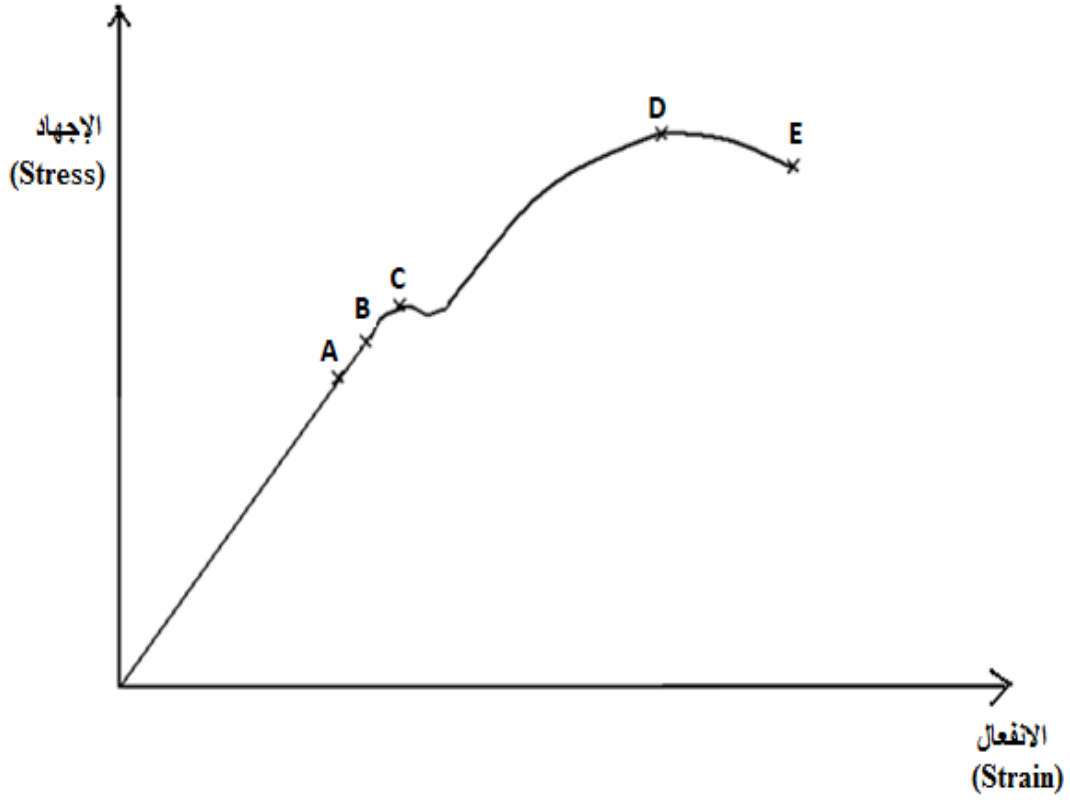
i. النقطة A تمثل حد التناسب (Limit of Proportionality) حيث يتناسب الانفعال مع الاجهاد المسبِّب له حتى هذا الحد فيما يعرف بقانون هوك (Hook's law) .

ii. النقطة B تمثِّل حد المرونة (Elastic Limit) وهو الحد الذي يمكن ان ترجع فيه المادة إلى حالتها الأولي 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 الاقصى (Maximum or Ultimate Stress Point).

v. النقطة E وتمثل الاجهاد الذي ينكسر عنده المعدن وتسمى 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 تنطبق اساساً مع أقصى اجهاد قص ، ويتم هذا الانزلاق بين جزئيات الحبيبات البلورية وبين

الحبيبات نفسها ونتيجة لذلك يتغير شكل الحبيبات وحجمها ووضعها النسبي ويُصاحب الانفعال اللدن درجة حرارة شديدة وتغير في خواص المعدن واهمها زيادة صلادته .

2.2 أنواع الرائش (Types of Chips) :

هنالك أربعة أنواع رئيسية للرائش هي :

2.2.1 الرائش غير المتصل (Discontinuous Chips) :

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

2.2.2 الرائش المتصِّل (Continuous Chips) :

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

الظروف المؤاتية لحدوث هذا النوع من الرائش :

1. معدن طري .
2. سمك 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 عُقدًاً تدل على مراكز فصل أجزاء الرائش عن المعدن الأصلي بزاوية Ø .

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 (المفتَّت) (Fractured Chips) :

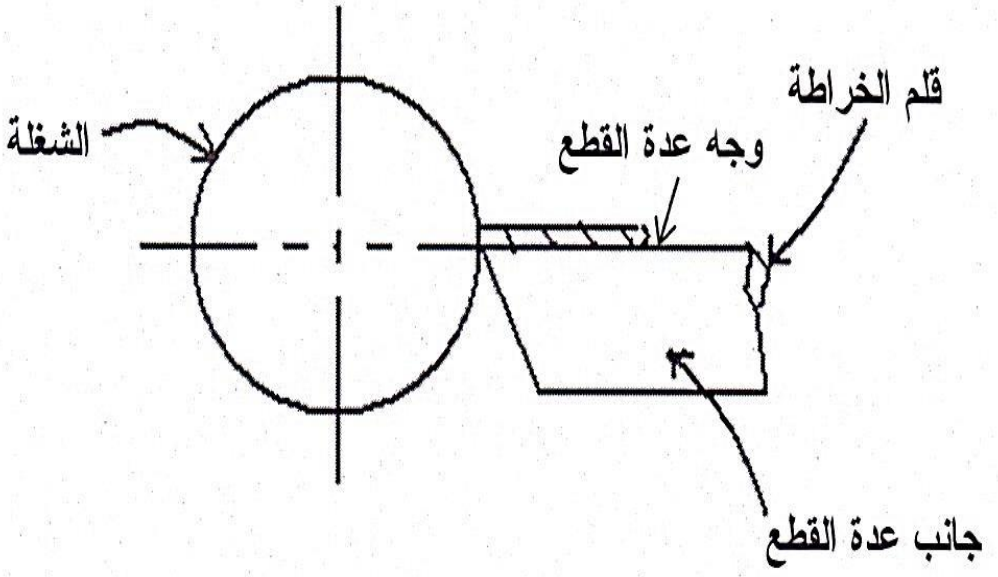
يتكون هذا الرائش نتيجة لتشغيل المعادن ذات اللدونة المنخفضة مثل الحديد الزهر القاسي والبرونز القاسي . وهو عبارة عن قطع متكسرة ومفتتة ومختلفة في الشكل عن بعضها البعض . وفي تشكيل الرائش المتكسر تتكون الشقوق (cracks) فجأة على طول مستوى القص الذي تنفصل عنده جزيئات الرائش .

2.3 تأثير الحرارة على الحد القاطع :

يتعرض الحد القاطع لقلم الخراطة للإجهادات المترتبة على قوى القطع كما يتعرض القلم باستمرار عملية القطع للتآكل نتيجة للحرارة العالية المتولدَّة من الاحتكاك. هذه الحرارة تنتقل من عدة القطع

حيث تُقلِّل من صلادتها وتجعلها أقلَّ قدرة على مقاومة البلى وتؤثر مباشرة على عمر عدة القطع . فالبنية المارتنزيتية (Martensitic Structure) والتي نحصل عليها من المعالجة الحرارية تتحلَّل عند درجة حرارة مقدارها 600 درجة مئوية فما 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 أنَّ وجه عدة القطع تنتقل إليه درجة الحرارة نتيجة للاحتكاك والتشوه اللدن معاً بينما يتعرض جانب عدة القطع للاحتكاك فقط. الشكل (2.2) أدناه يوضح تشغيل السطح الخارجي لشغلة.



شكل (2.2) تشغيل السطح الخارجي لشغلة

يمكن تقليل الحرارة الناشئة عن الاحتكاك باستخدام نظام تبريد مناسب يُرش من خلاله مائع التبريد المناسب على الشغلة والقلم لامتصاص بعض الحرارة من العدة عن طريق التبخر . كما تفيد الزيوت الموجودة في مائع التبريد في تزليق العدة مما يُقللِّ من الاحتكاك بينها وبين الشغلة .

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 (السنبك 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 عل تشكيل المادة بواسطة قصها حسب الشكل المطلوب مثل عملية التخريم (Piercing) والتفريغ (Blanking) . يُلاحظ في هذا النوع من التشكيل أنَّ القوة المستخدمة تكون مساوية أو أكبر من القوة اللازمة لقص المعدن.

النوع الثاني :

يعتمد على تشكيل المادة بواسطة ثنيها أو سحبها ولا يحدث قص للمعدن مثل عمليات الثني (Bending)، والسحب العميق (Deep Drawing). يُلاحظ أنّ القوة في هذا النوع تكون مساوية لقوة التشكيل اللازمة وتكون أقلَّ كثيراً من قوة قص المادة.

سيتم فيما يلي شرح النوعين المذكورين عاليه بالتفصيل :

1. عمليات قص :

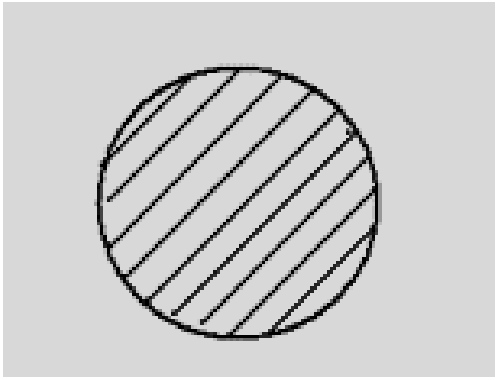
التفريغ أو التخريم :

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

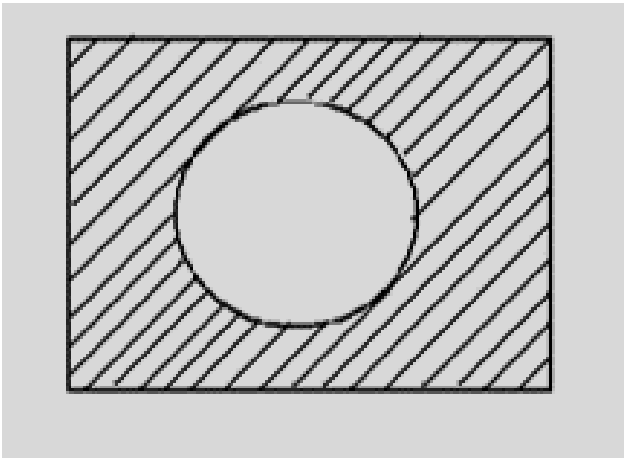
تعتبر العملية عملية تفريغ إذا كان المنتج هو الجزء المقطوع من المعدن (له نفس شكل السنبك) وفي هذه الحالة تكون أبعاد السنبك أقل من الأبعاد المطلوبة للمنتج بقيمة سماح للتمدد الخاص بالمعدن المستخدم بعد عملية القص .

وتعتبر العملية عملية تخريم إذا كان المنتج هو الجزء المتبقي من المعدن بعد كبسه وفي هذه الحالة تكون أبعاد السنبك أكبر من الابعاد المطلوبة للفراغ المتكوِّن بقيمة سماح للتمدد الخاص بالمعدن المستخدم .

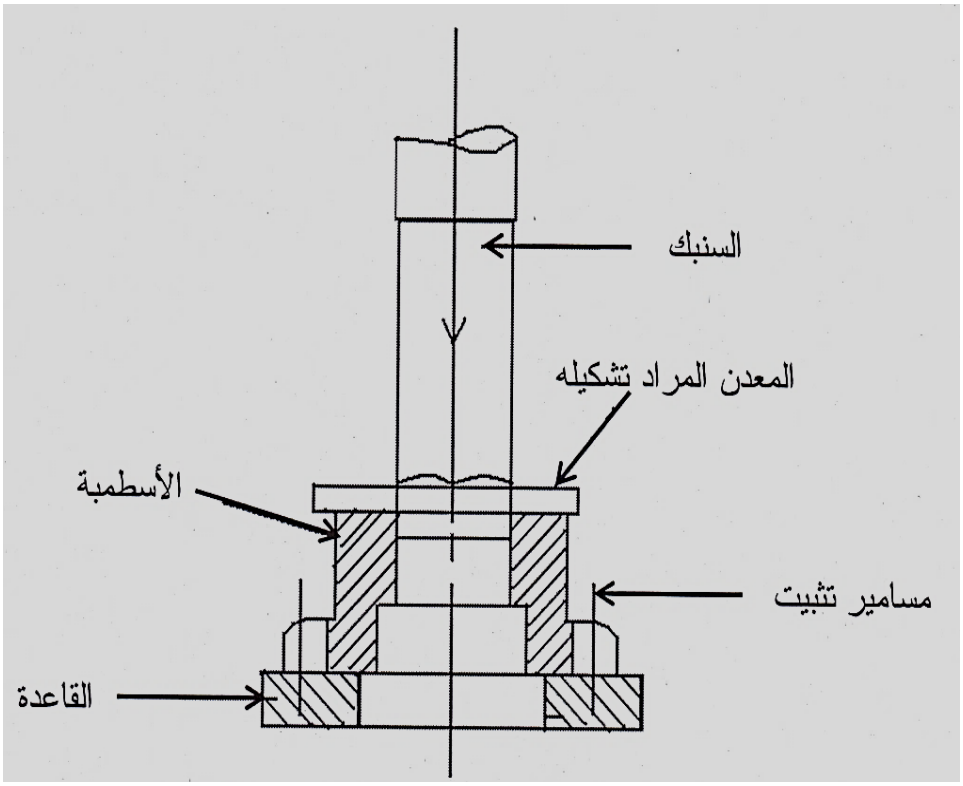
الشكل (2.3) أدناه يبين منتج عملية التفريغ والشكل (2.4) يوضح منتج عملية التخريم بينما يوضح الرسم في الشكل (2.5) الأداة المستخدمة في عمليتي التفريغ والتخريم .



شكل (2.3) منتج عملية التفريغ



شكل (2.4) منتج عملية التخريم



شكل (2.5) الأداة المستخدمة في التفريغ أو التخريم

2. عمليات تشكيل :

i. الثني :

في هذه العملية يتم ثني المعدن وذلك بضغطه بين الأسطمبة والسنبك بالقوة اللازمة لعملية تشكيله . هنالك نوعان من عمليات الثني وهي ثني مفرد وثني مزدوج .

ii. السحب العميق:

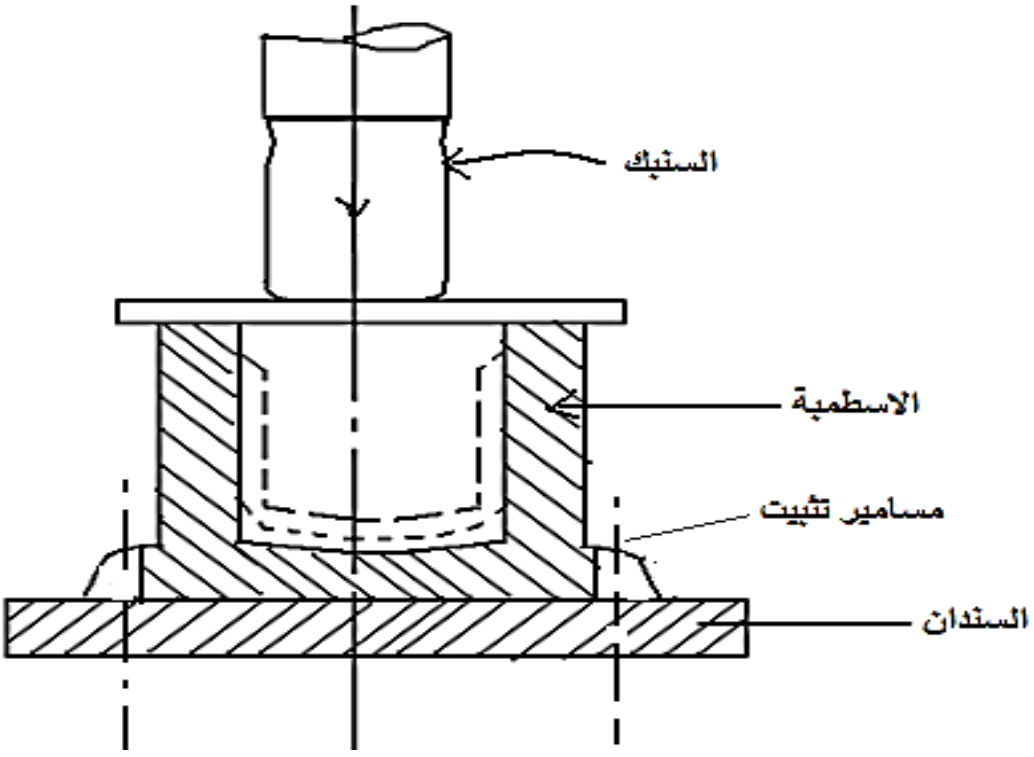
هي عملية تقعير قطعة من الألواح المعدنية فيتغير شكلها من قطعة مسطَّحة إلى قطعة ذات شكل مقعَّر حسب العمق المطلوب . تقوم آلية سحب مكونَّة من سنبك واسطمبة بكبس المعدن وسحبه بين سطحيها ، ويلاحظ أن سمك المادة يقل أثناء سحبها من السمك الأصلي . تستخدم هذه الطريقة لتشكيل المعادن ذات اللدونة العالية وإلاَّ تمزقَّت أثناء السحب. الشكل (2.5) أدناه يوضح الآلية المستخدمة في السحب العميق.

iii. التشكيل بالسك والختم:

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

يُصمَّم القالب الذي يتكون من المكبسين بشكل لا يسمح بانسياب 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 شُكلَّت 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 المشكلَّة .



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 ، تنعيم السلندرات ، تفريز التروس وغيرها) .

3.2.1 مميزات استخدام طريقة التشغيل الكهربائي : (Electrical Discharge Machining Advantages)

1. يمكن استخدام معادن طرية كأداة قطع لخراطة اصلد المعادن .
2. مُعدَّل إزالة المعدن ليست له علاقة بصلادة المعدن .
3. يمكن تشكيل المعادن الطرية بسهولة لتعطي الأشكال المعقدة .

3.2.2 محددات استخدام طريقة التشغيل الكهربائي : (Electrical Discharge Machining Limitations)

ومن عيوبه أو محدداته أن معدن الشغلة المراد تشغيلها ومعدن أداة القطع يجب ان يكونا جيّدا التوصيل للتيار الكهربي.

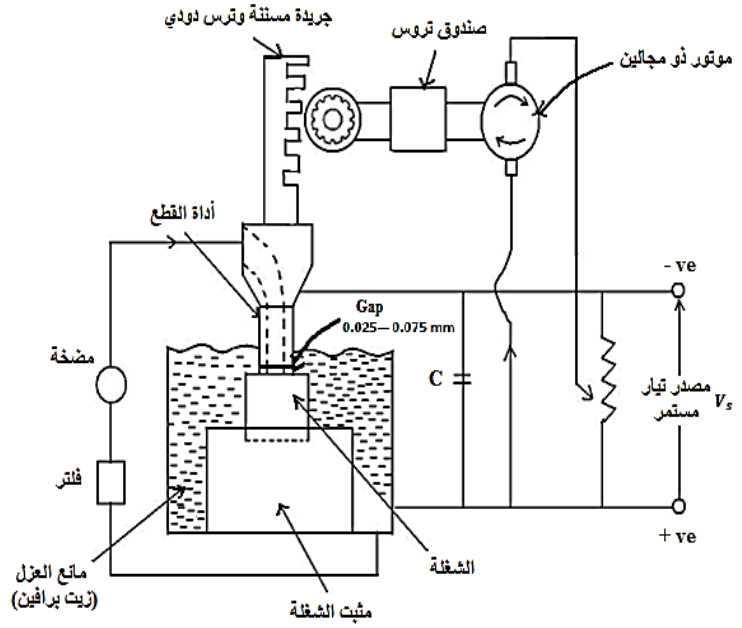
يعتمد التشغيل بالتفريغ الكهربي (الهدم بالشرارة) على الهدم الناتج من الشرارة الكهربائية بين القطبين المستعملين لانتاج هذه الشرارة . أحد هذين القطبين هو أداة القطع وتُمثِّل الشغلة القطب الآخر.

لوحظ انه عندما يكون القطبان من نفس المعدن فإن أكثر الهدم (التآكل) يحدث على القطب الموجب . لذلك تُوصَّل الشغلة دائماً مع القطب الموجب وأداة القطع مع القطب السالب لنحصل على أعلى معدل هدم (i.e. إزالة) من الشغلة ويتبع ذلك تآكل أقلَّ على معدن أداة القطع. تتولَّد الشرارة من التفريغ الكهربي عبر الفتحة الموجودة بين القطبين المغمورين في مائع العزل والذي يكون غالباً إما زيت برافين او زيت محوَّلات . وتتراوح الفتحة بين القطبين فيما بين 0.025mm و0.075mm ويجب أن تبقي ثابتة أثناء عملية التشغيل، ويمكن التحكم فيها بواسطة موتور ذو مجالين. الشكل (3.1) أدناه يوضح ماكينة تفريغ كهربائي بجميع مكوناتها وأجزائها .

عندما تُوصَّل المعادن بمصدر تيار كهربائي مستمر (DC) يبدأ المكثف (C) في الشحن وتبدأ فولتيته V_c في الازدياد تجاه فولتية مصدر التيار V_s . خلال هذه الفترة الزمنية تعمل الفتحة الموجودة بين أداة القطع والشغلة 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 والشغلة ، عندها يتأيَّن مائع العزل ليوصِّل التيار الكهربي بين القطبين وتحدث الشرارة ويُفرِّغ المكثف كل شحنته وتكون الشرارة ثابتة حتى يصل جهد المكثِّف

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 واخرى هي $100\mu s$ وكل واحدة من هذه الشرارات تُولّد درجة حرارة في المنطقة المحيطة بها تقدر بحوالي $12{,}000C^{\circ}$ وهي كافية لإزالة أو إذابة المعدن الذي تقع عليه .



شكل (3.1) أجزاء ومكونات ماكينة التفريغ الكهربائي

3.3 التشغيل بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Machining) :

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

تعتمد طريقة التشغيل على استعمال أداة قطع تهتز اهتزازات بذبذبة فوق صوتية على وجه الشغلة أثناء عملية التشغيل حيث لا يمكن أن تحدِّد ما إذا كانت أداة القطع متحركة او مهتزة إلا عند لمسها ، ففي هذه الحالة فقط يمكن الشعور بالحركة الاهتزازية لأداة القطع . عندما تتحرك أداة القطع حركتها الترددية فوق سطح الشغلة يتم تغذية الملاط الحاد (i.e. غالباً يتكون من أكسيد الألمونيوم أو كربيد البورون مضافاً إليهما كربيد السيليكون مع زيت البرافين) بين أداة القطع والشغلة حيث يتم إزالة المعدن بطرق جزيئات الملاط الحاد على الشغلة والتي تُؤدِّي إلى عمل حفر صغيرة على سطح الشغلة . يتم تغذية أداة القطع بصورة بطيئة تُقدر بحوالي 0.01m/s . الشكل (3.2) أدناه يُوضِّح ماكينة تشغيل بالموجات فوق الصوتية .

تصنع أداة القطع عادة من المعادن الصلدة المتينة ولا تستعمل المعادن الهشة لأن طرق الحبيبات يُؤدِّي 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 مُعدَّل إزالة المعدن ودرجة النعومة على الآتي :

1. سعة ذبذبة أداة القطع .

2. قوة الصدم بين الحبيبات الحاكَّة والشغلة .

3. نوع معدن أداة القطع والشغلة .

4. حجم الحبيبات الحاكَّة .

5. نوع الحبيبات الحاكَّة .

6. كمية الحبيبات الحاكَّة في الملاط .

3.3.3 مميزَّات التشغيل بالموجات فوق الصوتية :

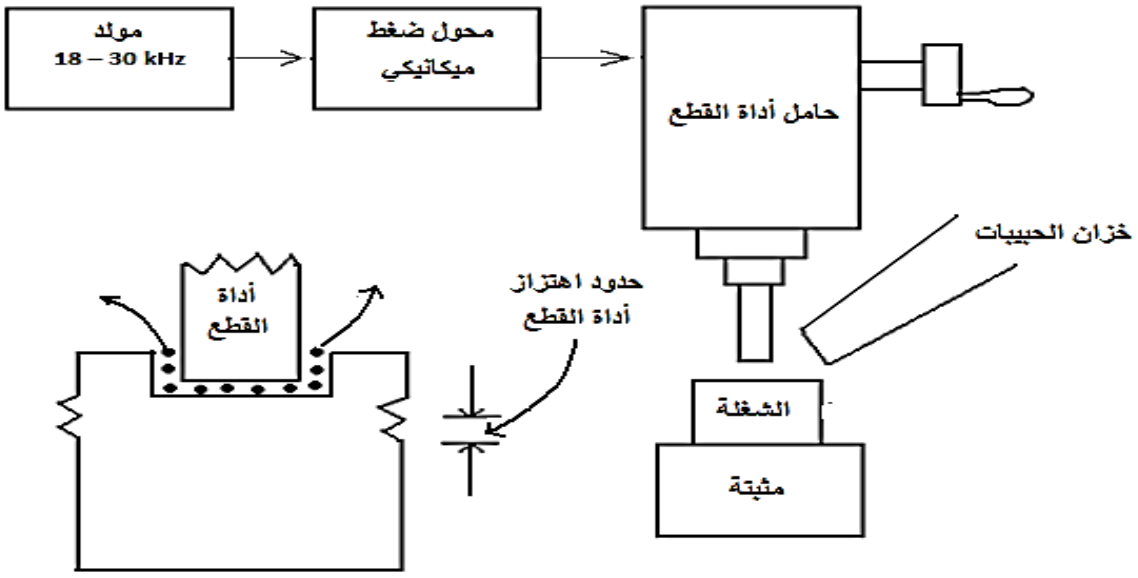
من مميزَّات هذه الطريقة :

1. خلو الشغلة من الاجهادات الحرارية .

2. انخفاض تكاليف أداة القطع .

3. يمكن استخدام عمال شبه مهرة لإنتاج أشغال دقيقة .

4. عمل ثقوب 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 الشغلات . يمكن بهذه الطريقة إزالة المعدن من الأسطح في مختلف المستويات في وقت واحد .

لقد تَّم تطوير هذه التقنية في مصانع الطائرات لتخفيض المساحات الكبيرة للأجزاء المصنَّعة من سبائك الألمونيوم ولكن الآن انتشر استخدامها في مختلف الصناعات .

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

3.4.1 خطوات التشغيل الكيميائي :

1. تخمير الأجزاء .
2. الحفر أو النحت .

1. تخمير الاجزاء :

خطوات التخمير :

i. إزالة الحواف الحادة من الشغلة لأنها تُؤدّي إلى ضعف طبقة الغطاء .

ii. تُنظَّف الأجزاء جيداً وتزال منها الدهون والشحوم بغمرها في بخار بعض المنظفات الكيميائية الأخرى . كما يجب إزالة الخدوش من على السطح حتى لا تظهر على الأسطح النهائية .

iii. تُغسل الأجزاء في ماء نظيف .

iv. تُغطَّى الشغلة بطبقة غطاء عازلة يمكن أن تكون من البلاستيك .

v. عندما تجف طبقة الغطاء يتم تعليم المساحات المطلوب حفرها .

vi. يقتلع الحجاب من المساحات المعلَّمة بواسطة سكينة .

الشكل (3.3) أدناه يوضح مخططاً كتلياً لتسلسل عملية التخمير .

2. الحفر أو النحت الكيميائي :

أثناء عملية الحفر تُعلَّق الشغلة في خزان المحلول بخلوص يُقدَّر بحوالي 150mm من قاع الخزان وبنفس المقدار في جميع الاتجاهات .

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

i. الألمونيوم وسبائكه :

يستعمل الألمونيوم وسبائكه محلول الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم) بنسبة تركيز 10% مضافاً إليه 1% ألمونيوم في شكل قطع تُذاب فيه .

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

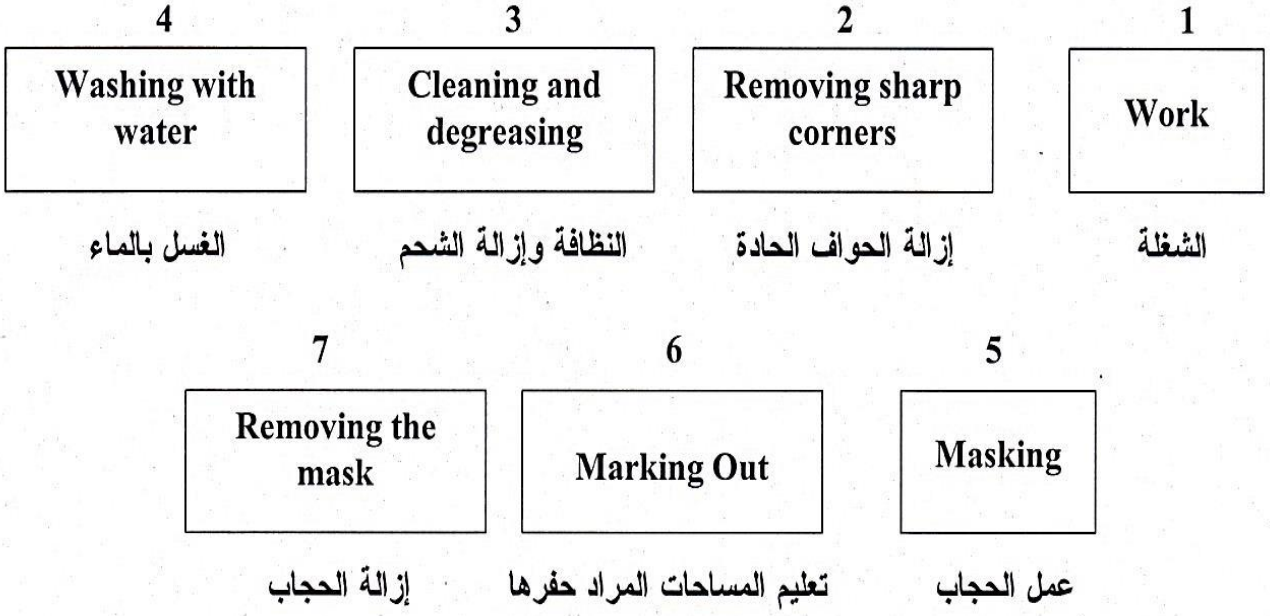
ii. الماغنسيوم وسبائكه:

يستخدم حامض النتريك بنسبة تركيز 8% عند درجة حرارة الغرفة مضافاً إليه عامل مبلل يساعد في عملية الحفر الكيميائي ويُكوِّن غطاءاً رغوياً يُقللِّ من انطلاق الأبخرة والغازات . يكون معدَّل هجوم المحلول 1.5m عمق في كل ساعة . بعد الحفر تغسل الشغلة جيداً بماء نظيف .

iii. التيتانيوم وسبائكه:

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

يجب أن يكون هنالك جهاز تحكم في الحرارة المتولدة أثناء عملية التشغيل كما يجب موازنة تركيز الحامض وكمية المحلول 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 (ductile material) مثل الفولاذ الطري (mild steel) عندما يتم تعريضها إلى اجهاد شد بسيط أوضحت أنَّه 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 زِيد الحمل فإن المادة ستخضع مُؤديَّة انفعالاً لدناً 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 بالتعنُّق أو التخصُّر في بعض المواضع على امتداد طولها (i.e. تقريباً 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 ، وتتم توسعته عند كل طرف لطول مناسب للمساكات . يمكن قطع قلاووظ (لولب) في أطراف العينة لربطها في المساكات ، أو يمكن عمل كتفة للعينة يتم من خلالها نقل الحمل أو يمكن مسكها بماسكة اسفينية بأوجه داخلية مخشنة (wedge) . الأسلوب الأخير هو الأبسط والأرخص للاستخدام ودائماً ما يستخدم لعيّنات مسطَّحة ، ولكنَّه يكون قاصراً على الفولاذ الناعم ومواد أخرى . يجب أن تكون الماسكات متمركزة ذاتياً لكي

يتم تسليط الحمل محورياً وبانتظام على العينة (i.e. لمقطع عرضي دائري فإنَّ لا تمركزيه 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 تسليط 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 هيدروليكياً 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) مُثبَّت على الطول القياسي. وهو جهاز يقوم بتحري التغييرات الصغيرة جداً في الطول ، أيضاً يمكن استخدام مقياس انفعال (strain gauge) . أما بالنسبة للانفعالات اللدنة فيتم قياسها بواسطة زوج من المقسمَّات ومسطرة مدرجَّة (pair of dividers and graduated rule) .

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

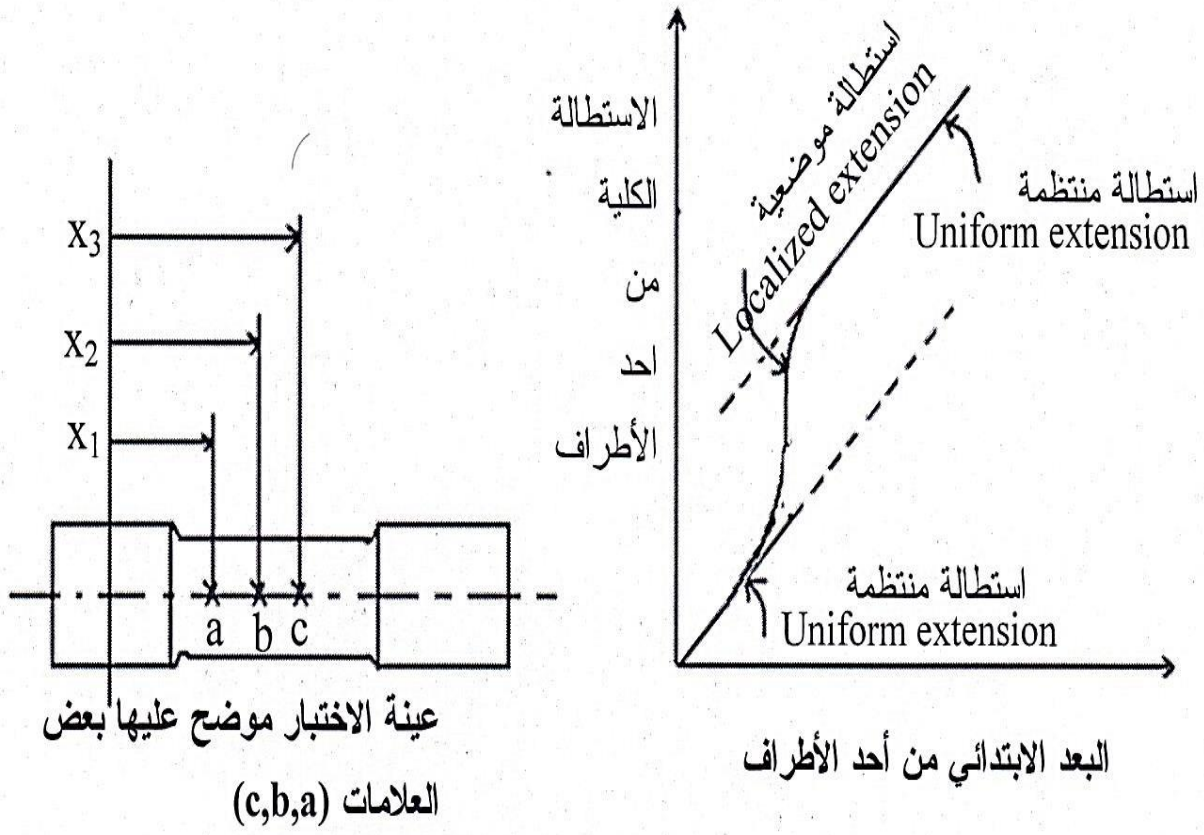
وُجِدَ أنه وباستثناء الفولاذ المصلَّد (hardened steel) كلما زادت سرعة الاختبار كلما تمَّ الحصول على قيم أكبر لإجهاد الخضوع والاجهاد الأقصى وبالتالي الاستطالة .

4.4 تفاوت الاستطالة مع الطول الاسمى ومساحة المقطع العرضي:

(Variation of Elongation with Gauge Length and Cross – Sectional Area)

إذا تمَّ وضع علامات على العينة لعدد كبير من التقسيمات على امتداد طولها وتمَّ اختبارها حتى الكسر، فإن القطعتان يمكن وصلهما مع بعضهما البعض ويتم قياس بعد كل علامة من احد الاطراف . بطرح الأبعاد المأخوذة ابتدائياً من تلك المأخوذة بعد الكسر نحصل على الاستطالة الكلية من احد الأطراف . وعندما يتم رسم الاستطالة الكلية ضد البعد من ذلك الطرف فسنحصل على المخطَّط الموضَّح 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 تقريباً عند منتصف الطول الاسمي للعينة ، بالتالي $e = a + bl$ تُعبِّر عن شكل المخطط .

الانفعال المئوي = $100e/l = 100a/l + 100b$

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

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

يتم اعطاء القيَّم التالية للثوابت B و C للفولاذ الطري : B=20 و C =70 . لكي يتم تفادي أي خطأ في مقارنة أرقام الاستطالة فإنه يُنصح حسب توصية المؤسسة البريطانية للمعايير والقياسات B. S. 18 بأنَّ الطول الأسمى يجب أن يكون مساوياً لـ $\left(l = 4\sqrt{A}\right)$.

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

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

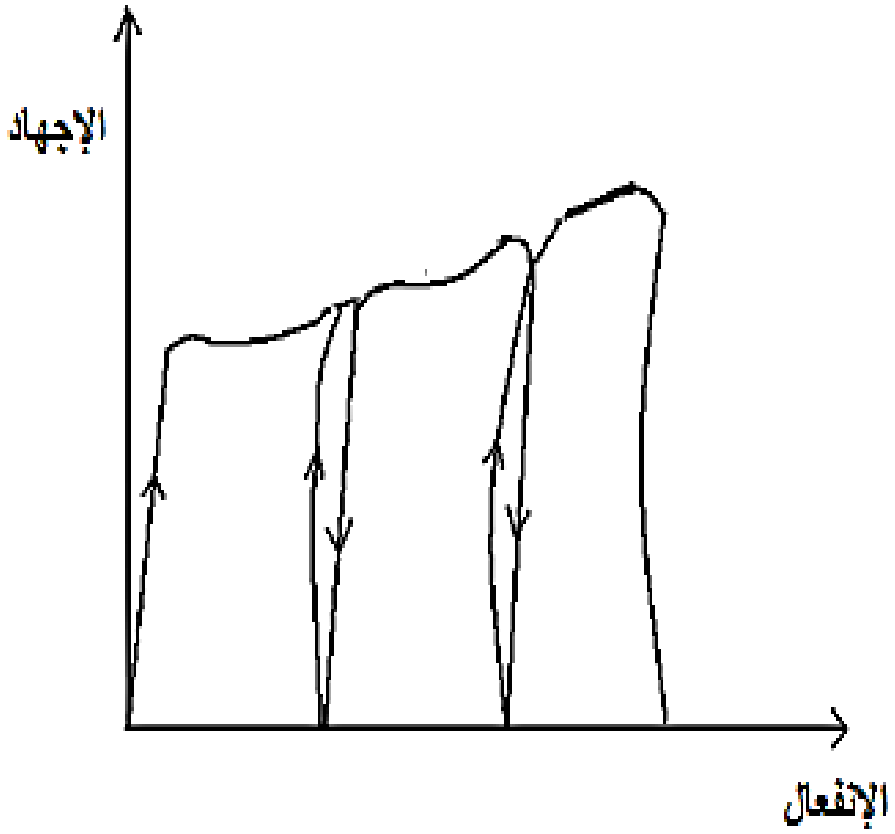
تدريجياً ، سيكون هنالك تشوهاً مستداماً في العينَّة .

عند اعادة التحميل وجد أنه وبالمراقبة الدقيقة أنَّ الفولاذ يبدو وكأنَّه فقد مرونته ، (i.e. لا يطيع بعد الآن قانون هوك (Hook's law)). حقيقة أنَّ منحنيات الاعتاق وإعادة التحميل تُشكِّل حلقة هستيرية والتي تُمثِّل الطاقة الضائعة في الاحتكاك الداخلي لجزيئات المادة . الشكل (4.2) أدناه

يُوضِّح منحنى الاجهاد ضد الانفعال لمادة مطيلية معرضَّة لتحميل تكراري . سترتفع نقطة الخضوع كثيراً حتى تصل تقريباً إلى قيمة مساوية لقيمة الاجهاد عند نهاية اختبار الشد ، ويُقال أنَّ المادة تم تصليدها بالشغل كما في عمليات السحب على البارد والدرفلة .

التحميل التكراري سيرفع نقطة الخضوع إلى قيمة تُقارب 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 الاصلية قبل الانفعال الزائد وبنفس نقطة الخضوع .

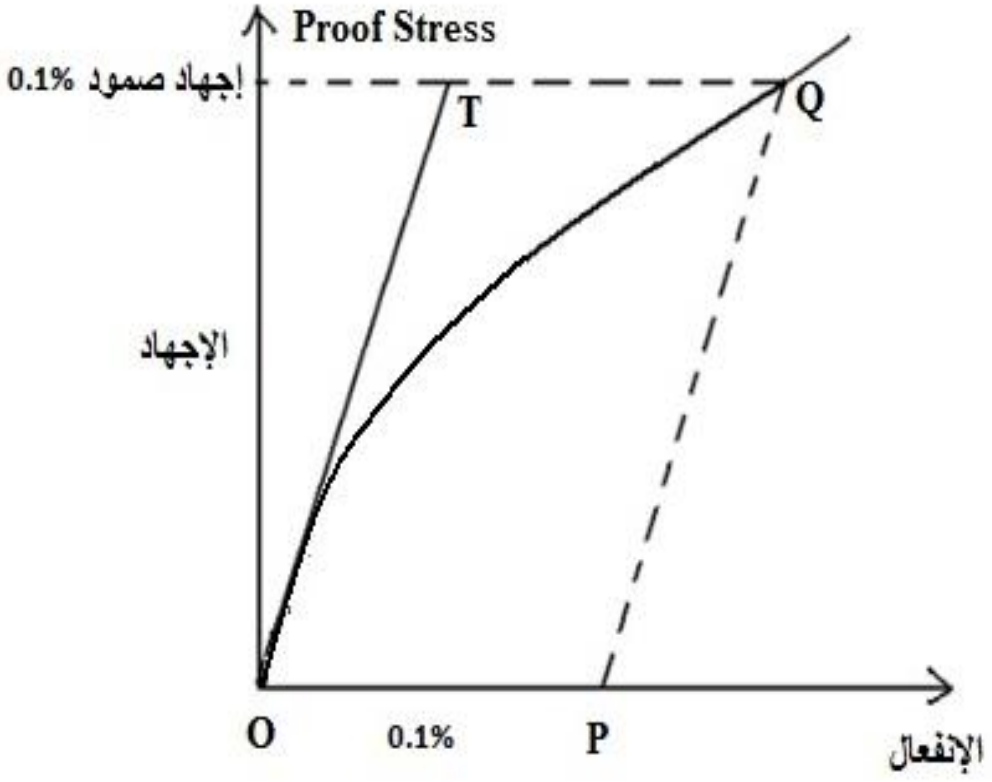


شكل (4.2) منحنى الاجهاد – الانفعال لمادة مطيلية مسلَّط عليها أحمال تكرارية

4.6 إجهاد الصمود (Proof Stress) :

العديد من المواد الهندسية ، من بينها سبائك الفولاذ وسبائك الألمونيوم والماغنسيوم الخفيفة لا تملك أي حد معين للتناسب أو نقطة للخضوع في اختبار الشد ، عليه فإن مخطط الاجهاد – الانفعال سيكون محنياً تقريباً

من نقطة الأصل. الشكل(4.3) أدناه يوضح منحنى الاجهاد ضد الانفعال لمادة قصفة .



شكل (4.3) منحنى الاجهاد – الانفعال لمادة قصفة

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

4.7 اختبارات الانضغاط (Compression Tests) :

عادة ما تكون عينات اختبارات الانضغاط للمعادن دائرية ، وللصبة الاسمنتية 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 القصفة مثل الحديد الزهر والأسمنت بالقص على مستويات مائلة بزاوية بين 50 و 70 بالنسبة للمحور الطولي.

4.7 أسئلة متابعة (Tutorial Questions) :

1. لماذا تكون عينات الاختبار للانضغاط دائرية المقطع في المعادن بينما تكون مربعة المقطع في الصبَّات الاسمنتية ؟
2. لماذا تفشل المواد القصفة بالقص على مستويات مائلة بزوايا بين 50 درجة و 70 درجة بالنسبة للمحور الطولي ؟

4.8 الانهيار في المعادن القصفة :

زاوية ميل الكسر للعينات القصفة أكبر من 45 درجة .

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

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

تكون زاوية الاحتكاك الداخلي Ø كبيرة كلما كبرت جزيئات المعدن المختبر .

زاوية ميل الكسر للإسمنت ، 70=**θ** .

زاوية ميل الكسر للحديد الزهر 60=**θ** .

زاوية ميل الكسر للنحاس الاصفر 50=**θ** .

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

عليه ، يمكن اثبات العلاقة 45+Ø/2=**θ** بالطريقة التحليلية التالية :

العينَّة المبينَّة في الشكل ادناه مساحة مقطعها = A ، تمَّ كسرها بتأثير حمل الانضغاط P الذي أحدث بها اجهاداً قيمته σ على مستوى يعمل زاوية مقدارها **θ** مع خط المرجعية الأفقي . الزاوية Ø تمثل زاوية الاحتكاك الداخلي للمعدن المراد اختباره وهي رقم ثابت للمعدن الواحد .

اجهاد الانضغاط الرأسي، $\sigma = P / A$

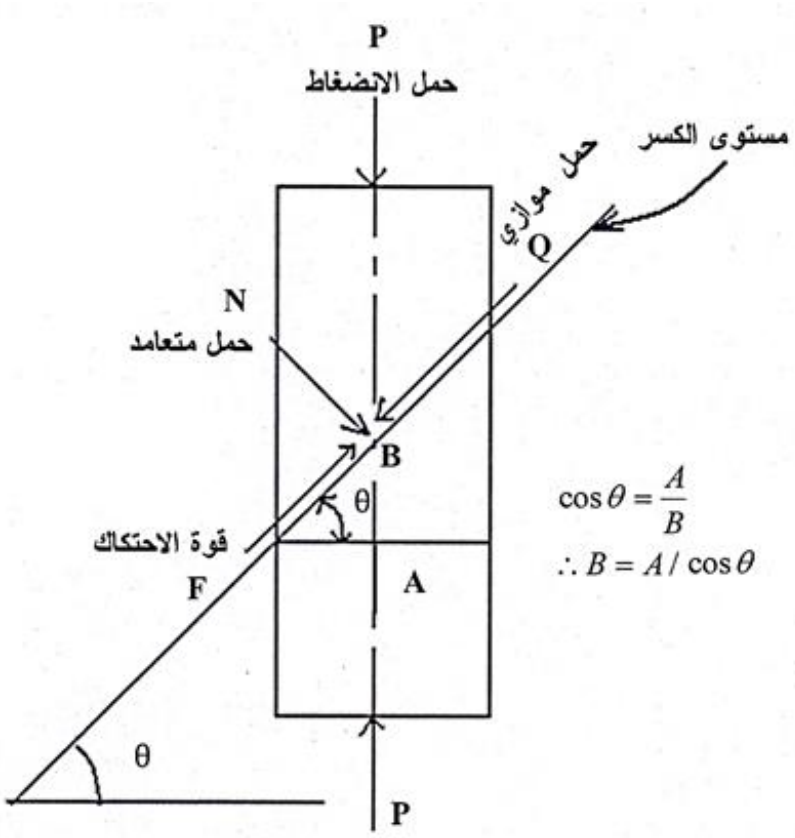
مساحة مقطع العينة على مستوى الكسر (B)، $B = A / \cos \theta$

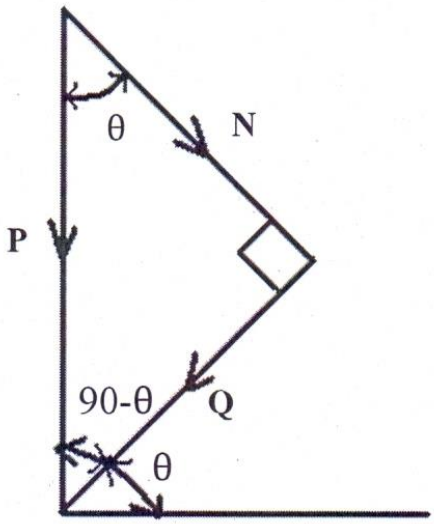
القوة P المسببَّة للكسر في الانضغاط لها مركبتين احداهما عمودية على مستوى الكسر (N) والأخرى موازية لمستوى الكسر (Q) وقيمة كل منهما :

$$N = P \cos \theta$$

$$Q = P \sin \theta$$

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





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

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

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

$F = N\tan\phi$ ، قوة الاحتكاك

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

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

يتضح مما سبق أنَّ الاجهادات المسببَّة للكسر على المستوى الذي يعمل زاوية θ مع المستوى الأفقي (σ_r) هي ناتج فرق تأثير الاجهاد الموازي لمستوى الكسر الناتج من القوة الرأسية P وتأثير إجهاد الاحتكاك الناتج عن مقاومة تماسك جزيئات المعدن للإنزلاق فوق بعضها البعض ، أي أن :

الاجهاد المسبب للكسر = اجهاد القص – اجهاد الاحتكاك

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

يحدث الكسر عندما يكون الاجهاد المسبب للكسر ، σ_r عند قيمته القصوى. بالتالي بمفاضلة الاجهاد المسبب للكسر بالنسبة لزاوية ميل الكسر ومساواته بالصفر للحصول على أقصى قيمة لزاوية ميل الكسر **θ** .

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

بتفاضل المعادلة (*) يتم الحصول على :

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

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

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

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

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

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

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

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

الفصل الخامس

التآكـل

Corrosion

5.1 تعـريف التآكـل (Definition of corrosion) :

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

5.2 المحـددات الاقتصـادية للتآكـل (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 عما هو مطلوب لِتحمُّل الأحمال والإجهادات الميكانيكية تحسباً من عملية التآكل 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 التآكل مع المنتج الرئيسي مما يؤدي إلى نقص في قيمة المنتج النهائي.

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

7. فقد المنتجات القيمة من خزانتها نتيجة لتسربها خلال ثقوب 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.

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

5.3 المحـددات الاجتماعـية للتآكـل (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، مثال 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 بيئة العمل والبيئة المجاورة ويُعرِّض الصحة العامة للخطر، مثل التسرب الإشعاعي النووي (i.e. المفاعل النووي الروسي تشرنوبل).

3. ما يتعلق بافتقار المصادر الطبيعية للمواد الخام والفلزات :

عملية إعادة بناء وتشييد وحدات جديدة بدلاً عن المتآكلة يستوجب استنفاذ 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 هنالك العديد من الأسباب التي تستوجب التصدي لعملية التآكل.

5.4 صور التآكل :

يحدث التآكل في صور وأشكال عديدة ومختلفة وتقسَّم 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 المسلك الذي تسلكه عملية التآكل وبهذا الخصوص ينقسم إلى تآكل كيميائي، وآخر كهروكيميائي.

3. حسب المظهر 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 موضعي أو مُركَّز وفي هذه الحالة يتركز في مساحات محددة.

5.5 أنـواع التآكـل (Types of Corrosion) :

هنالك أنواع عديدة للتآكل يمكن إبرازها فيما يلي:

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

التآكل المتجانس بمعدل متقارب عبر مساحات عريضة من السطح الفلزي يُعَدُّ 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 الاختيار الجيد لمواد الإنشاء والتشييد والوقاية بالتغطية من

أهم الوسائل التي تطبق للسيطرة على هذا النوع من التآكل.

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

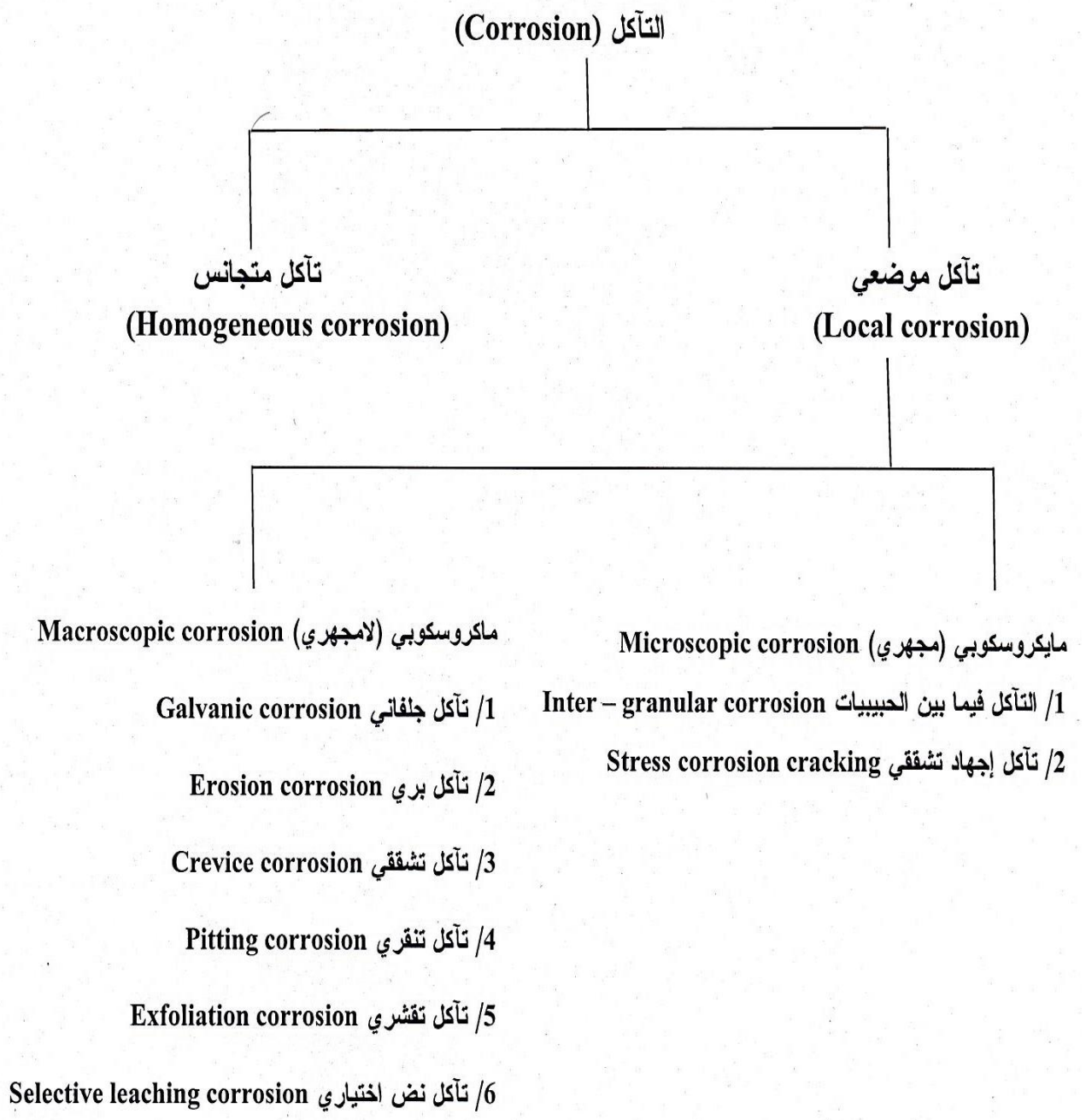
أما التآكل الجلفاني فإنه يحدث عندما يتواجد فلزان مختلفان من حيث النشاط الكهروكيميائي في حالة تلامس مع بعضهما البعض أو تم توصيلهما بموصِّل كهربي وتم تعريضهما لفعل سائل إلكتروليتي ما، فإنه وكنتيجة لذلك سوف تكتسب كل قطعة فلزية من هاتين القطعتين جهداً كهربياً خاصاً بها يتوقف من حيث المقدار على نوع هذه القطعة الفلزية وموقعها في الترتيب الذي يشار إليه بالسلسة الكهروكيميائية، إضافة إلى كل من تركيز المحلول الإلكتروني ودرجة الحرارة، وتأسيساً على ما تقدم سوف ينشأ فرق في الجهد بين القطعتين الفلزيتين المختلفتين وسوف يعمل هذا الفرق في الجهد كقوة دافعة لمرور التيار الكهربي خلال الوسط الاكتروليتي أو وسط التآكل وتكون النتيجة الحتمية لمرور هذا التيار الكهربي هو تآكل الفلز الأنشط والأسبق في السلسلة الكهروكيميائية، إذ يتصرف كانود وتحدث عنده عملية أكسدة أو تحرر من الالكترونات (i.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 عما إذا ما غمر بمفرده في الوسط الآكل. 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 بمعدَّل أكبر وتآكل الفلز الأنبل بمعدل أقل. وللمساحة النسبية للفلزين أهمية قصوى فعندما تكون مساحة الفلز الأكثر نبلاً كبيرة مقارنة بمساحة الفلز الأكثر نشاطاً فإن ذلك يُسرِّع 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 تُحتِّم استخدام فلزين مختلفين في تشييد المنشأة الفلزية الهندسية. كما يفضَّل أيضاً استخدام فلزين متقاربين في الجهد القياسي الكهربي، بحيث يكون فرق الجهد المتولد بين الفلزين والذي يُمثِّل القوة الدافعة أقل ما يمكن. هنالك طريقة أخرى للحد من التآكل الجلفاني وهي عدم استخدام مساحات كبيرة من الفلز الأكثر نبلاً في حالة تلامس مع مساحات محددة من الفلز الأكثر نشاطاً.

2. تآكل البري (Erosion Corrosion) :

يحدث هذا النوع من التآكل عندما يتهدم الفلز بفعل عاملين إحداهما كيميائي والآخر ميكانيكي، ومثال لذلك عندما يتحرك الوسط الآكل بسرعة معينة على السطح الفلزي فإننا نجد أن معدل التآكل يتزايد ويرجع السبب في ذلك إلى أن نواتج عملية التآكل والتي يمكن أن تعمل كطبقة واقية إذا ما ترسبت بصورة غير مسامية، سوف تزال هذه المرة نتيجة تحرك الوسط الآكل، ويتخذ تآكل البري صورة معينة ويكون له اتجاه محدد يرتبط باتجاه مسار الوسط الآكل الذي يتحرك على السطح الفلزي، ويستشري تآكل البري في الظروف التي تتواجد بها سرعات عالية وسريان دوامي فكثيرا ما يلاحظ في المقلبات ورفاصات المضخات والأنابيب خصوصا عند الانحناءات والأكواع. تتسبب 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 التفتتي والتآكل التجوفي نوعين مختلفين

من تآكل البري فيحدث التآكل نتيجة تكون واصطدام فقاعات البخار وتداعيها عند السطح الفلزي.



شكل (5.1) الأنواع المختلفة للتآكل

فالضغط المرتفع الناشئ من انفجار هذه الفقاعات عند السطح يؤدي إلى تشوه سطح الفلز وإزالة الغشاء الواقي الذي عادة ما يتواجد على سطحه. أما التآكل التفتتي فإنه يحدث عندما ينزلق فلز

على فلز آخر وهو عادة ما يسبب انهيارا ميكانيكياً لأحد الفلزين أو كلاهما، وغالباً 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 المتكونة يتم كشطها باستمرار من على سطح الفلز أو أن الإزالة الميكانيكية المستمرة لطبقة الأكاسيد 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 بيناً عن تلك الموجودة في المناطق القريبة من تلك الشقوق للأسطح المفتوحة. قد تتولد ظروف أشد قسوة داخل الشقوق مما يتسبب في حدوث تآكل موضعي عنيف. عادة تتواجد الشقوق عند الأطواق الخاصة بموانع التسرب ووصلات التراكيب والصواميل والمسامير والبراشيم ...الخ. ويمكن لها أن تتكون أيضاً عن طريق ترسب وتراكم الأوساخ ونواتج عمليات التآكل والخدوش في طبقات الطلاء. ويُعزى 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 انه لا يحدث في كافة الظروف التي يحدث فيها تلاق بين فلز ووسط آكل، فهنالك بعض المواد أكثر عرضة لهذا النوع من التآكل خصوصاً تلك التي تعتمد على تواجد الهواء في تكوين طبقة واقية من الأكسيد كالفولاذ 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 لتآكل الشقوق بالتصميم الجيد للحد من ميكانيكية تكون هذه الشقوق

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

4. تآكل التنقر (Pitting Corrosion) :

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

للحد من تآكل التنقر 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 بضع سنين حتى يمكن رؤيتها) لكنها دائما 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. يعد اختيار مواد الإنشاء والتشييد والتصميم الجيد بحيث تبقى الأسطح دائماً نظيفة هي أفضل الوسائل وأكثرها أماناً لتجنب هذا النوع من التآكل.

5. التقشر والنض الاختياري (Exfoliation and Selective Leaching Corrosion) :

يقصد بالتآكل التقشري ذلك النوع من التآكل الذي يحدث فيما دون السطح فهو يبدأ عند السطح النظيف ولكنه ينتشر فيما دونه وهو يختلف عن التآكل التنقري 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 تتكون 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 الألمونيوم ويمكن الحد منه بإجراء المعالجات الحرارية اللازمة أو سبكه 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 أنوية التبلور الموزعة توزيعاً عشوائياً داخل الفلز المنصهر، وكل نواة من هذه الأنوية تنمو في الاتجاهات المختلفة عن طريق انتظام ذرات الفلز في تناسق هندسي مُحدَّد يتفق ونوع التبلور الذي تخضع له ذرات الفلز لِتكِّون ما يسمى بالحبيبات ويجب أن يكون معلوماً أن انتظام الذرات في كل حبة والمسافات بينها يكون ثابتاً في كافة الحبيبات، ولكن نتيجة لعشوائية توزيع أنوية التبلور فإن مستويات الذرات التي تقع في الجوار بين الحبيبات لا يمكنها أن تخضع لنظام أي من الحبيبات وكنتيجة لذلك فإنها تتخذ تناسقاً وسيطاً وتسمى هذه المنطقة بمنطقة حدود الحبيبات. فعلي 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 الآكل 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 ثَمَّ فإنها تكون في مستوى طاقي أعلى يجعلها أنشط، هذا بالإضافة إلى انه وكنتيجة لضرورة بناء الحبيبات في ذرات نفس النوع فإن الشوائب تتراكم عند حدود الحبيبات مما يهيئ الفرصة لتواجد ذرات لفلزات مختلفة عند حدود الحبيبات، الأمر الذي يهيئ الفرصة لحدوث تآكل جلفاني 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 مُعدَّل التآكل المتجانس منخفضة.

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

1. لوحة مستطيلة المقطع من مادة مطيلية يتم درفلتها أو دلفنتها على البارد لتخفيض سمكها من 5mm إلى 4.5 mm . إذا تمَّ استخدام منظومة درافيل تشتمل على درفيلين بقطر متساوٍ مقداره 5cm ، أوجد قيمة زاوية التلامس لهذه الحالة .

2. أرسم رسماً توضيحياً لدرفيلين بقطر متساوٍ (i.e. $d_1=d_2=d$) يتم استخدامهما لعصر لوح سمكة الابتدائي t_1 وسمكة النهائي t_2 لتوضيح القوى التالية :

   i. قوة ضغط الدرفيل على المعدن (N).

   ii. قوة الاحتكاك بين المعدن والدرفيل (F).

   iii. قوة عصر المعدن (S) .

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

   v. مقاومة عملية سحب المعدن (P)

3. برهن أنه لكي تحدث عملية الدرفلة أو الدلفنة يجب أن تكون زاوية الاحتكاك الداخلي لجزيئات المادة (Ø)أكبر من زاوية التلامس (∝). استعن بالرسومات التوضيحية ما أمكن ذلك .

4. فاضل بين عمليتي الدرفلة على البارد والدرفلة على الساخن من حيث مميزاتهما ومحدداتهما .

5. لماذا تفشل المواد القصفة بالقص على مستويات مائلة بزاوية أكبر من 45° فما فوق بالنسبة للمحور الطولي ؟

6. لماذا تكون عينات الاختبار للانضغاط دائرية 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 **θ** = زاوية ميل الكسر

وØ = زاوية لاحتكاك الداخلي لجزيئات المادة .

i. اوجد زاوية الاحتكاك الداخلي Ø للأسمنت ، الحديد الزهر ، النحاس الأصفر إذا كانت زاوية ميل كسرها **θ** هي 70 ْ ، 60 ْ و 50 ْ على الترتيب.

ii. أوجد أيضاً معامل الاحتكاك لكل من الأسمنت ، الحديد الزهر ، والنحاس الأصفر .

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

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

10. تحدث بإيجاز عن المحددَّات الاجتماعية التي قد تسببها عملية التآكل؟

11. تحدث باختصار عن التآكل المتجانس والتآكل الجلفاني وكيف يتم تلافيه في الحالتين.

الكتب والمراجع

الكتب والمراجع العربية :

1. دكتور جلال الحاج عبد، "التصنيع والأتمتة والتجميع في الهندسة الميكانيكية" ، www.jalalalhajabed.com .

2. عثمان محمد عثمان ، علي الصويعي البوزيدي ، محمد خليفة التليب ، "مبادئ تقنيات المواد وعمليات التصنيع" ، منشورات مكتب البحوث والاستشارات الهندسية" ، (2005م) .

3. سوسن صبيح عبد الله ، زهير حسن عبد الله ، "تحليل تتابع عمليات التصنيع للمنتجات الصناعية " ، (The Iraqi Journal for Mechanical and Material Engineering)

4. دكتور الأمين عبد الجليل محمود ، "كتاب أساسيات عمليات التصنيع" ، دار نشر جامعة الخرطوم ، (2009م) .

5. دكتور عبد الجليل يوسف العطا ، "مذكرة محاضرات عمليات التصنيع (1) و (2) و (3)" ، جامعة وادي النيل ، كلية الهندسة والتقنية ، (1990) .

6. دكتور أسامة محمد المرضي سليمان ، "مذكرة محاضرات عمليات التصنيع (1) و (2)" ، جامعة البحر الأحمر ، كلية الهندسة ، (2000م) .

7. دكتور الأمين عبد الجليل محمود ، "عمليات تصنيع المواد (قطع المعادن)" ، مطبعة البجراوية ، الخرطوم ، (2009م) .

8. دكتور الأمين عبد الجليل محمود ، "علوم الاحتكاك والتآكل والتزليق (ترايبولوجي)" ، مطبعة جامعة الخرطوم ، (2007م) .

9. دكتور الأمين عبد الجليل محمود ، "عمليات تشكيل المعادن" ، مطبعة جامعة الخرطوم ، مايو (2007م) .

10. محمد نصر الدين دمير ، "تكنولوجيا هندسة الإنتاج" ، دار الراتب الجامعية ، بيروت ، (1988م) .

11. براون ل. ج. (مؤلف) ، محمد حسن سويلم (مترجم) ، "نظرية الصناعة" ، دار ماكروهيل للنشر ، المملكة المتحدة ، (1970م) .

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", 5th edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, (2006).

4. Sharma P. C. , "A textbook of Production Technology (Manufacturing Processes)" , 5th edition , S. Chand and Company Ltd , Ram Nagar , New Delhi , India , (2004).

5. Dieter G. E. , "Mechanical Metallurgy" , 3rd 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. Raj ender 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", 2nd edition, Butterworth Company, London, (1984).

16. Kalpakjian, Serope, "Manufacturing Engineering and Technology", 2nd edition, Addison – Wesley Publishers Company, USA, (1992).

17. DeGarmo, Black, Kolser, "Materials and Processes in Manufacturing", 7th edition, Macmillan Publishers Company, N. Y. and London, (1988).

18. Schley J. A., "Introduction to Manufacturing Processes", 3rd edition, McGraw Hill, Inc., USA, (2000).

نبذة عن المؤلف:

دكتور أسامة محمد المرضي سليمان خيال وُلِدَ بمدينة عطبرة بالسودان في العام 1966م. حاز على دبلوم هندسة ميكانيكية من كلية الهندسة الميكانيكية – عطبرة في العام 1990م. تحصَّل 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 ودرجة الدكتوراه من جامعة وادي النيل في العام 2017م. قام بالتدريس في العديد من الجامعات داخل السودان، بالإضافة لتأليفه لأكثر من أربعين كتابا باللغة العربية ولعشرين كتابا باللغة الإنجليزية بالإضافة لمائة ورقة علمية منشورة في دور نشر ومجلات عالمية إلى جانب إشرافه على أكثر من ثلاثمائة بحث تخرج لكل من طلاب الماجستير، الدبلوم العالي، البكالوريوس، والدبلوم العام. يشغِل الآن وظيفة أستاذ مشارك بقسم الميكانيكا بكلية الهندسة والتقنية – جامعة وادي النيل وأيضا عميدا لكلية الهندسة. بالإضافة لعمله كاستشاري لبعض الورش الهندسية بالمنطقة الصناعية عطبرة. هذا بجانب عمله كمدير فني لمجموعة ورش الكمالي الهندسية لخراطة أعمدة المرافق واسطوانات السيارات والخراطة العامة وكبس خراطيش الهيدروليك.