محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة: المحاضرة الاولى اسم التدريسي: د.محمد نجيب عبدالله

محتويات المحاضرة

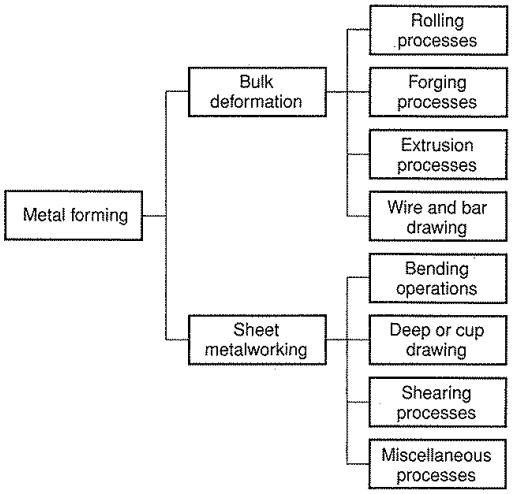
المحاور الرئيسية:

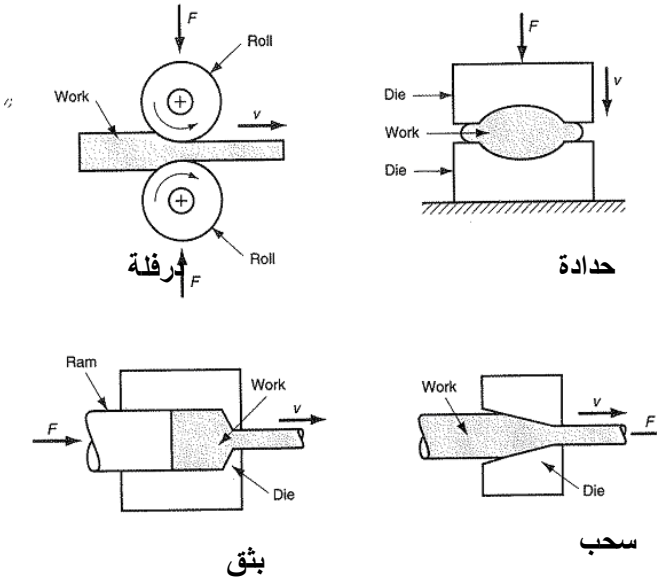
1-تشكيـــل المعـــــادن
2-تصرف المواد في عملية تشكيل المعادن
3-التصلد الانفعالي

المحتويات التفصيلية:

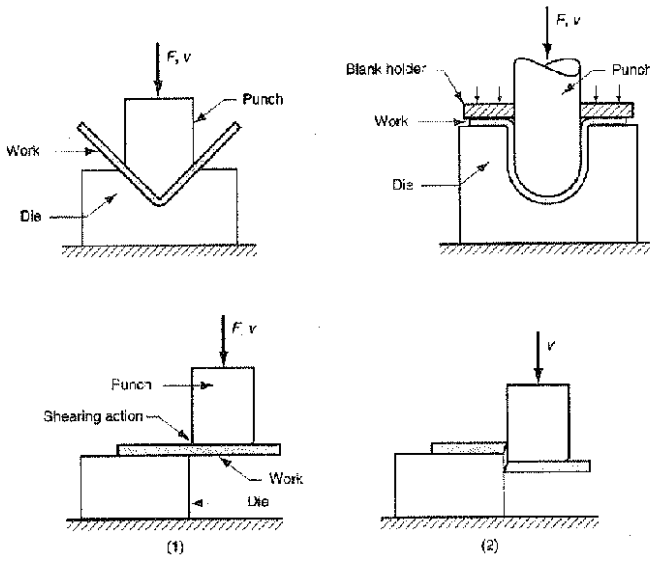
تشكيـــل المعـــــادن
Metal Forming or Metal Working

يتضمن تشكيل المعادن (Metal Forming) مجموعة كبيرة من عمليات التصنيع وفيه يستعمل التشويه اللدن (Plastic Deformation) لتغير شكل القطعة . يحصل التشكيل باستعمال أداة (Tool) , عادة تسمى القالب (Die) , والتي تؤثر بإجهادات (Stress) تتجاوز اجهاد الخضوع (Yield Stress) للمعدن . لذا فان المعدن يشكل ليأخذ شكل يُحَدد بهندسية (Geometry) القالب .
تكون الاجهادات المستخدمة في التشكيل اللدن للمعا دن عادة ضغطية (Compressive) ,مع ذلك يوجد بعض عمليات تشكيل تمط (Stretch) المعدن, وعمليات تثني (Bend) المعدن وأخرى تستخدم اجهادات قص . و لكي يتم التشكيل بنجاح يجب ا ن يكون للمعدن بعض الخواص . و الخواص المرغوب توفرها في التشكيل هي مقاومة خضوع (Yield Strength) منخفضة و مطيلية (Ductility) عالية . هذه الخواص تتأثر بدرجة الحرارة فقابلية الانضغاط (Malleability) تزداد ومقاومة الخضوع تقل عند رفع درجة حرارة التشكيل . إن تأثير درجة التشكيل الساخن (Hot Working) . وكذلك فإن معدل الانفعال (Strain rate) والاحتكاك (Friction) عوامل إضافية تؤثر على السلوك في عمليات تشكيل المعادن .



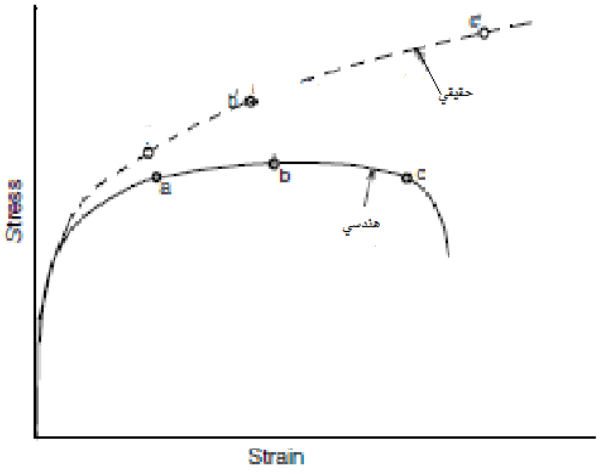


شكل (1) : عمليات تشكيل حجمية Bulk Deformation Processes



شكل (2) : تشكيل صفائح معدنيةSheet Metalworking

تصرف المواد في عملية تشكيل المعادن



شكل (3) : مخطط الاجهاد- الانفعال الحقيقي والهندسي

الإجهاد الهندسي (Engineering Stress)

$$S = \frac{F}{Ao}$$

حيث F = القوة N
Ao = المساحة الأصلية للنموذج mm²

الانفعال الهندسي (Engineering Strain)

$$e = \frac{L - L_o}{L_o}$$

حيث L = الطول في أية نقطة خلال الاستطالة mm
Lo = الطول القياسي الأصلي mm

الإجهاد الحقيقي True Stress

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

A = المساحة الحقيقية التي تقاوم الحمل في لحظة استخدامه .

الانفعال الحقيقي True Strain

$$d\varepsilon = \frac{dL}{L}$$

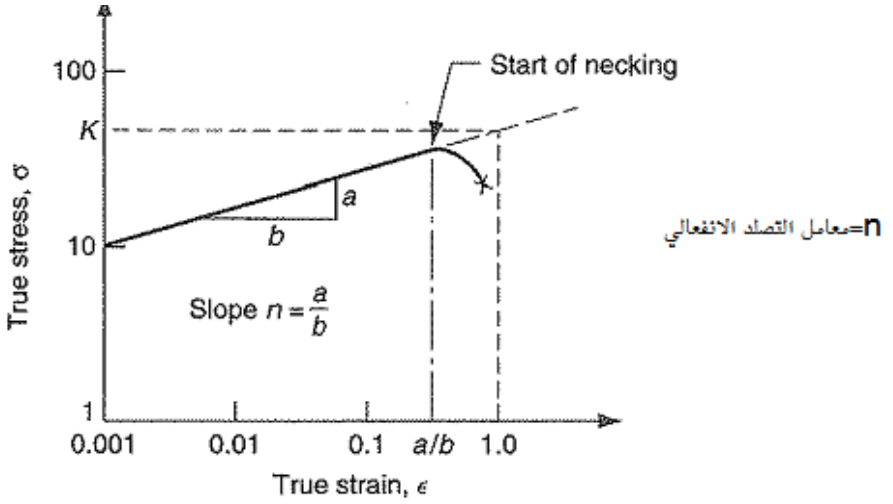
$$\varepsilon = \int_{Lo}^{L} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{Lo}$$

حيث L = الطول الفوري (الا ني) في أية لحظة خلال الاستطالة mm
Lo = الطول القياسي الأصلي mm

تكون المنطقة اللدنة من منحني الجهد - الانفعال ذات الأولوية في الاهتمام لان في تشكيل المعادن يتشوه المعدن تشويه لدن ثابتا .

التصلد الانفعالي Strain Hardening (Work Hardening) :-

عند زيادة الانفعال يصبح المعدن أكثر مقاومة stronger وتسمى هذه الصفة " التصلد ألانفعالي " وهي صفة لمعظم المعادن وتعتبر عاملا مهما في بعض عمليات التصنيع وخاصة تشكيل المعادن . دعنا نفحص تصرف المعدن عند تأثره بهذه الصفة . إذا رسم الجزء الذي يمثل المنطقة اللدنة في منحني الإجهاد – الانفعال على مقياس لوغاريتم – لوغاريتم فان النتيجة ستكون علاقة خطية وكما في الشكل (4) .



شكل (4)

ولكونها خطا مستقيما هنا (كما في الشكل) , فان العلاقة بين الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي في المنطقة اللدنة يمكن أن نعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$\sigma = K\varepsilon^n$$

تمثل هذه المعادلة *منحني الانسياب* (*flow curve*) وهي تعطي تقريب جيد لتصرف المعدن في المنطقة اللدنة ومتضمنة قدرته على التصلد الانفعالي . يسمى الثابت (*K*) *بمعامل المقاومة* (*strength coefficient*) ووحداته MPa ويساوي قيمة الإجهاد عندما يكون الانفعال الحقيقي مساويا لواحد وتسمى *n* *بمعامل التصلد الانفعالي* (*Strain Hardening*) وهي تمثل ميل الخط المستقيم في الشكل أعلاه . وقيمتها تتناسب بشكل مباشر بقابلية المعدن على التصلد الانفعالي . الجدول الأتي يبين القيم النموذجية لـ K و n لبعض المعادن

metals.

Material	Strength Coefficient, K		Strain Hardening Exponent, n
	MPa	lb/in^2	
Aluminum, pure, annealed	175	25,000	0.20
Aluminum alloy, annealed[a]	240	35,000	0.15
Aluminum alloy, heat treated	400	60,000	0.10
Copper, pure, annealed	300	45,000	0.50
Copper alloy: brass[a]	700	100,000	0.35
Steel, low C, annealed[a]	500	75,000	0.25
Steel, high C, annealed[a]	850	125,000	0.15
Steel, alloy, annealed[a]	700	100,000	0.15
Steel, stainless, austenitic, annealed	1200	175,000	0.40

Compiled from [9], [10], [11], and other sources.

[a]Values of K and n vary according to composition, heat treatment, and work hardening.

كما ذكر سابقا يمكن أن يعبر عن تصرف المعدن في المنطقة اللدنة بمنحني الانسياب flow curve :

$$\sigma = K\varepsilon^n$$

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة:	المحاضرة الثانية	اسم التدريسي:	د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

1- اجهاد الانسياب (flow stress)
2- معدل إجهاد الانسياب Average Flow Stress
3- درجة الحرارة في تشكيل المعادن

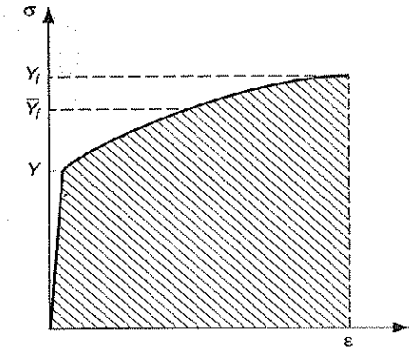
المحتويات التفصيلية:

اجهاد الانسياب (flow stress) :

إن منحني الانسياب يصف علاقة الإجهاد – الانفعال في المنطقة التي يحصل فيها تشكيل المعدن . فهي تشير الى إجهاد الانسياب للمعدن - أي خاصية المقاومة التي تعين القوى والقدرة اللازمة لإكمال عملية تشكيل ما لمعظم المعادن (في درجة حرارة الغرفة) . يدل مخطط الإجهاد الانفعال الحقيقي في الشكل (3) أعلاه على أن إذا ما شكل المعدن فان مقاومته (Its strength) تزداد نتيجة التصلد الانفعالي, لذا فان الإجهاد اللازم المستخدم لاستمرار التشكيل يجب أن يزداد ليكافئ هذه الزيادة بالمقاومة . ويعرف *إجهاد الانسياب (flow stress)* بأنه القيمة اللحظية (Instantaneous value) للإجهاد اللازم لاستمرار تشكيل المعدن أي لإبقاء انسياب المعدن وهي مقاومة الخضوع للمعدن كدالة للانفعال والتي يمكن التعبير عنها بـ

$$Y_f = K\varepsilon^n$$

يمكن استعمال اجهاد الانسياب اللحظي في كل عملية من عمليات التشكيل التي سيتم شرحها لاحقا لتحليل العملية عند حصولها .



شكل (5)

فمثلا في بعض عمليات الحدادة فان القوة اللحظية خلال عملية الانضغاط يمكن تعينها من قيمة إجهاد الانسياب . يمكن حساب اكبر قوة اعتمادا على إجهاد الانسياب الذي ينتج من الانفعال الأخير في نهاية شوط الحدادة .
في حالات أخرى فان التحليل يعتمد على معدل الاجهادات والانفعالات التي تحصل خلال التشكيل وليس القيم اللحظية كما في حالة البثق فعند ما تقل مساحة مقطع الخامة لكي تمر خلال قالب البثق فان المعدن يتصلد انفعاليا ليصل إلى أقصى قيمة .فلتعين قيم تتابع الإجهاد – الانفعال خلال الاختصار في المقطع والتي ليست صعبة فحسب ولكن الاهتمام بها محدود أيضا فمن المفيد أكثر تحليل العملية بالاعتماد على ***معدل إجهاد الانسياب*** خلال التشكيل .

معدل إجهاد الانسياب Average Flow Stress:-

هو معدل قيمة الإجهاد على منحني الإجهاد – الانفعال (stress – strain curve) منذ بداية الانفعال إلى القيمة النهائية (أكبر قيمة) التي تحصل خلال التشويه deformation وكما موضحة في الشكل أعلاه في مخطط الإجهاد الانفعال .
يعين معدل إجهاد الانسياب بتفاضل معادلة منحني الانسياب ($Y_f = K\varepsilon^n$) بين صفر وقيمة الانفعال النهائي (ε) التي تحدد المدى ذات الاهتمام فنحصل على العلاقة التالية لمعدل إجهاد الانسياب (average flow stress) بعد التقسيم على هذا الانفعال :

$$\bar{Y}_f = (\int_0^{\varepsilon} K\varepsilon^n)/\varepsilon$$

$$\bar{Y}_f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n}$$

حيث $\bar{Y}_f$ = معدل اجهاد الانسياب

ε = اكبر قيمة للانفعال خلال عملية التشكيل .
بمعرفة قيم K ***و*** n لمادة الشغلة المراد تشكيلها يمكن إنشاء طريقة لحساب الانفعال النهائي لكل عملية واعتمادا على هذا الانفعال و باستخدام المعادلة اعلاه يتم حساب معدل اجهاد الانسياب والذي تعرض له المعدن خلال العملية.

درجة الحرارة في تشكيل المعادن :-

إن منحني الانسياب هو تمثيل لتصرفات الإجهاد – الانفعال للمعدن خلال التشكيل اللدن وخاصة في عمليات التشكيل البارد (Cold Working) . إن قيم K و n لمعدن ما تعتمد على درجة الحرارة , كلاهما يقلان في درجة الحرارة العالية . بالإضافة إلى ذلك تزداد اللدونة في درجات الحرارة العالية إن لتغيرات هذه الخواص أهمية ***, لان أية عملية تشكيل يمكن أ ن تتم بقوى وقدرة اقل في درجات الحرارة المرتفعة*** . يوجد ثلاث مديات لدرجات الحرارة وهي : التشكيل البارد والدافئ والساخن .

1- التشكيل البارد Cold Working or Cold Forming :

هو تشكيل المعادن في درجة حرارة الغرفة أو أعلى قليلا (لمعظم المعادن الهندسية) . للتشكيل البارد فوائد مقارنة مع التشكيل الساخن وهي :
1- يمكن بها الحصول على أبعاد أدق . 2- إنهاء سطحي أفضل . 3- التصليد الانفعالي يزيد المقاومة والصلادة للجزء المشكل. 4 - انسياب الخلايا خلال التشكيل يعطي الفرصة لحصول على خواص اتجاه مرغوبة للمنتج . 5- لا يوجد الحاجة لتسخين الشغلة والتي توفر تكاليف الفرن والوقود وكذلك تؤدي إلى معدلات إنتاج أعلى .
يوجد مضار أو محددات تقترن مع عمليات التشكيل على البآرد :
1- يحتاج إلى قوى وقدرة اكبر لإجراء العملية . 2- يجب الاهتمام للتأكد بان سطوح الشغلة عند البدء خالية من التقشر scale والأوساخ . 3- المطيلية المتوفرة والتصليد الانفعالي للشغلة تحدد كمية التشكيل

الذي يمكن إجراءه عليها . في بعض العمليات يجب تخمير المعدن للسماح لإتمام التشكيل . في حالات أخرى فان المعدن ببساطة لايمتلك مطيلية كافية ليشكل على البارد .

لغرض التغلب على مشكلة التصلد الانفعالي ولتقليل القوى و القدرة اللازمة للتشكيل , يتم عدد من عمليات التشكيل في درجات حرارة أعلى , ويوجد مديين لدرجات الحرارة المرتفعة هذه مما أدى إلى ظهور العبارتين " التشكيل الدافئ" و " التشكيل الساخن" .

2- التشكيل الدافئ (warm working):-

نظرا لكون خواص التشكيل اللدن بشكل اعتيادي تتحسن بزيادة درجة حرارة القطعة المراد تشكيلها , فان عمليات التشكيل في بعض الأحيان تتم في درجات حرارة نوعا ما فوق درجة حرارة الغرفة ***ولكن تحت درجة حرارة استعادة التبلور (recrystallization temperature)*** . إن الخط الفاصل بين التشكيل البارد والتشكيل الدافئ عادة يعبر عنه بدلالة درجة حرارة انصهار المعدن Tm (مطلق) . الحد الفاصل الذي عادة يؤخذ هو 0.3Tm .

إن المقاومة والتصليد الانفعالي المنخفضين وكذلك اللونة المرتفعة مقارنة بتلك عند التشكيل البارد يعطي التشكيل الدافئ الفوائد التالية مقارنة بالتشكيل البارد :

1- قوى وقدرة اقل عند التشكيل. 2- يمكن التشكيل لأشكال ذات هندسية أكثر تعقيدا . 3- قد تقل أو تنعدم الحاجة للتخمير .

3- التشكيل الساخن (Hot Working):-

هو التشكيل في درجة حرارة ***فوق درجة حرارة استعادة التبلور r***إن درجة حرارة استعادة التبلور لمعدن ما هي حوالي نصف درجة الانصهار على التدرج المطلق . عمليا يجرى التشكيل الساخن عادة في درجة حرارة نوعا ما فوق (0.5 Tm) . ويستمر المعدن يلين (Soften) إذا زيدت درجة الحرارة فوق 0.5Tm مما يعطي فائدة للتشغيل الساخن فوق هذا المستوى . من ناحية أخرى فان عملية التشكيل نفسها تولد حرارة مما يزيد درجة حرارة الشغلة في مناطق معينة من القطعة , وهذا قد يسبب انصهاره في هذه المناطق وهذا غير مرغوب به وبشكل كبير . وكذلك يتسارع تكون التقشر (Scale) في الدرجات الحرارة العالية . ولتجنب حصول الانصهار أو زيادة التقشر يتم عادة التشكيل الساخن في حدود (0.5 Tm إلى 0.75) Tm .

إن الفائدة المهمة للتشكيل الساخن هو إمكانية الحصول على تشويه لدن (Deformation) جوهري للمعدن – أكبر كثيرا من ذلك الذي يمكن الحصول عليه من التشكيل البارد والتشكيل الدافئ . والسبب الأساسي لذلك هو أن منحني الانسياب (Flow curve) لمعدن التشكيل الساخن له معامل مقاومة (strength coefficient) K يقل كثيرا من ذلك في درجة حرارة الغرفة وكذلك معامل التصلد الانفعالي (n) صغير جدا واللدونة تزداد بشكل كبير, وكل هذه النتائج تعطي الفوائد التالية للتشكيل الساخن مقارنة بالتشكيل البارد :- 1- يمكن تغير شكل الشغلة وبشكل كبير . 2- نحتاج إلى قوى وقدرة أقل لتشكيل المعدن . 3- المعادن التي عادة قد تنكسر بالتشكيل البارد يمكن تشكيلها ساخنا .4- خواص المقاومة متساوية تقريبا في جميع الاتجاهات أي (Isotropic) بسبب غياب التركيب متجه الخلايا والذي ينتج من التشكيل البارد . 5 – لايحصل زيادة بالمقاومة للجزء المشكل كما في التشكيل البارد (يعتبر فائدة بالنسبة للمعادن التي الزيادة في المقاومة نتيجة التصليد الانفعالي غير مرغوب فيها لانها تقلل المطيلية المطلوبة في المرحلة الأخيرة –التشكيل البارد).

عيوب التشكيل الساخن:

1- أقل دقة بالإبعاد . 2-الطاقة الكلية المطلوبة أكبر (نتيجة الطاقة الحرارية لتسخين القطعة المراد تشكيلها) . 3- تأكسد سطح الشغلة (تقشره) وبالتالي الإنهاء السطحي أضعف 4- عمر أداة التشكيل أقل.

نظريا يتصرف المعدن في التشكيل الساخن كأنه مادة تامة اللدونة (Perfectly plastic) وتكون (n = 0) وهذا يعني أن المعدن سيستمر بالانسياب تحت مستوى اجهاد انسياب ثابت حال وصول هذا المستوى من الإجهاد. ولكن من ناحية ثانية يوجد ظاهرة إضافية تميز تصرف المعدن خلال التشكيل خاصة في درجات الحرارة العالية في التشكيل الساخن وهذه الخاصية هي حساسية معدل الانفعال (Strain rate sensitivity) .

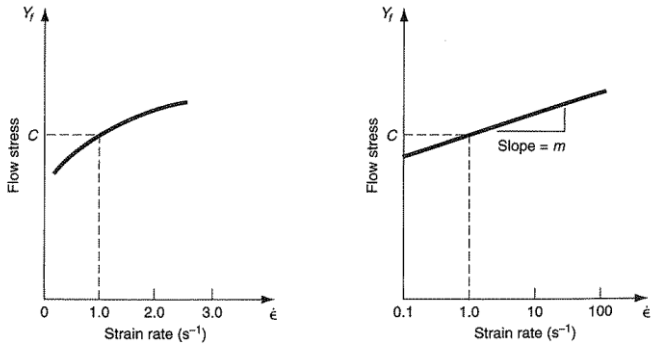
$$\dot{\varepsilon} = \frac{v}{h}$$

Where $\dot{\varepsilon}$ = true strain rate ,m/s/m or (s^{-1}) معدل الانفعال الحقيقي

حيث ان (h) يمثل الارتفاع اللحظي للشغلة المراد تشكيلها

h = instantaneous height of the work piece being deformed (m).

في التشكيل الساخن يعتمد اجهاد الانسياب على معدل الانفعال . إن تأثير معدل الانفعال على خواص المقاومة يعرف بحساسية معدل الانفعال (strain rate sensitivity) ويمكن مشاهدة التأثير في الشكل التالي :



شكل (6)

عند زيادة معدل الانفعال تزداد المقاومة للتشويه deformation (التشكيل) وهذا يرسم عادة تقريبا كخط مستقيم على مخطط لوغاريتم – لوغاريتم وهذا يؤدي إلى العلاقة :

$$Y_f = C\dot{\epsilon}^m$$

Where C: is the strength constant

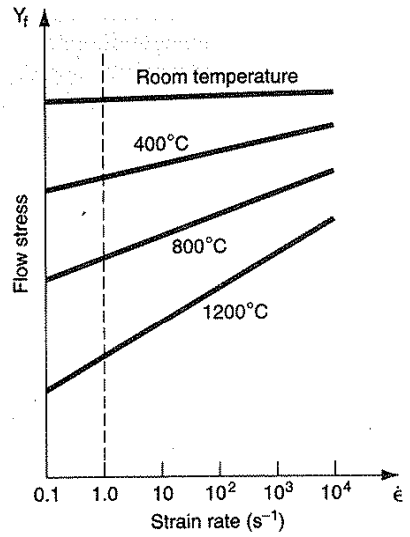
C ثابت المقاومة والذي يشبه K ولكن لايساويه

.m = strain rate sensitivity exponent

معامل حساسية معدل الانفعال

تعين قيمة (C) في معدل انفعال مقداره 1.0 و (m) هو ميل الخط المستقيم في الشكل أعلاه

تغيير أجهاد الانسياب بمعدل الانفعال يتأثر بدرجة الحرارة وكما في شكل (7)



شكل (7)

العلاقة الكاملة التي تجمع اجهاد الانسياب كدالة لكلا الانفعال ومعدل الانفعال هي كما يلي :-

$$Y_f = A\epsilon^n\dot{\epsilon}^m$$

حيث A هو معامل المقاومة (Strength coefficient) الذي يجمع تأثير قيم كل من K و C .

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة:	المحاضرة الثالثة	اسم التدريسي:	د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

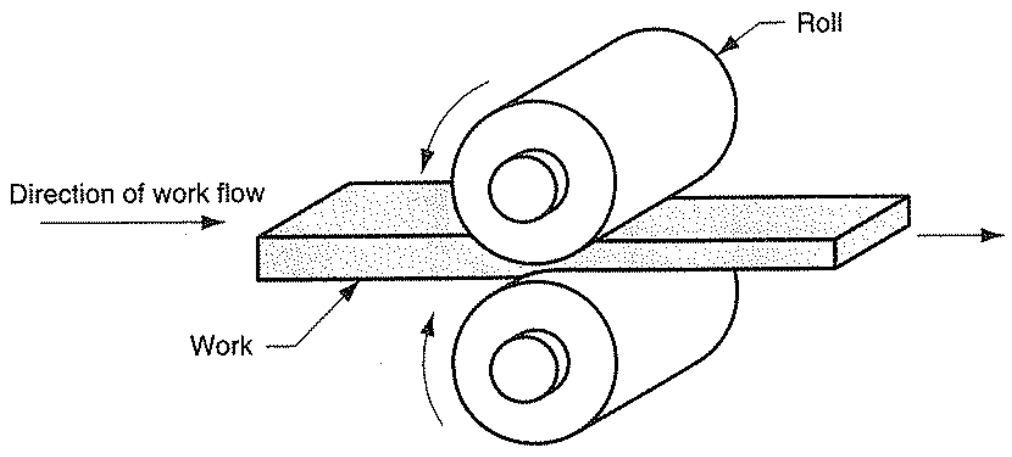
1- عمليـــــة الدرفلـــــة Rolling Operation

2- تحليل الدرفلة المسطحة (Analysis of Flat Rolling)

المحتويات التفصيلية:

عمليـــــة الدرفلـــــة
Rolling Operation

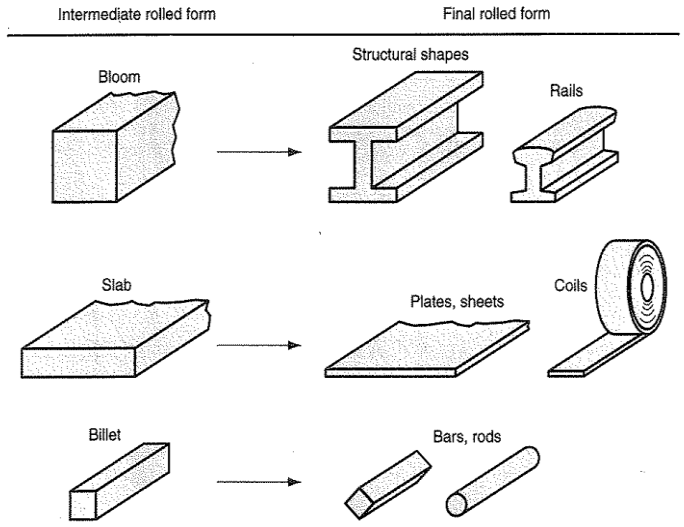
هي عملية تشكيل والتي فيها يقل سمك الشغلة بقوى ضغط خارجية تسلط بوساطة درافيل (Rolls) متقابلة (الدرفلة المسطحة) . تدور الدرافيل لتسحب وبنفس الوقت تعصر (Squeeze) الشغلة بينهم والشكل (8) يبين الدرفلة المسطحة (Flat rolling) والتي تستخدم لتقليل السمك لمقطع مستطيل . والطريقة المشابهة بشكل قريب هي درفلة الشكل (Shape rolling) والتي فيها يشكل المقطع المربع إلى شكل ما كشكل الـ I في عمود الـ (I- beam) .



شكل (8)

معظم عمليات الدرفلة تتم على الساخن (Hot working) لأنه يتطلب حصول تشويه كبير في هذه العملية . يتميز التشكيل الساخن بأنه خال من الاجهادات المتبقية وخواصه تقريبا متساوية في جميع الجهات (Isotropic) ولكن من عيوبه عدم إمكانية ضبط إبعاد المنتج والسطح يكون متأثر بتقشر طبقة الأكسيد الحاصلة نتيجة التسخين.

فيما يلي بعض منتجات الصلب (الفولاذ) التي تُشكّل في مصانع الدرفلة (Rolling mill) :-



شكل (9)

تحليل الدرفلة المسطحة (Analysis of Flat Rolling) :-

تتضمن الدرفلة المسطحة درفلة البلاطات (Slabs) والألواح (Plates) والصفائح (Sheets) والشرائط (Strips) والتي مقطعها مستطيل . في هذه الطريقة يتم عصر الشغلة (Work is squeezed) بين درفيلين بحيث يقل السمك بمقدار يسمى فرق السمك draft (*d*) .

$$d = t_o - t_f$$

حيث t_o = السمك عند البدء mm

و t_f = السمك النهائي mm

مقدار الاختصار والذي رمزه r هو

$$r = \frac{d}{t_o}$$

بالإضافة إلى تقليل السمك في عملية الدرفلة فانه يحصل زيادة في العرض أيضا .

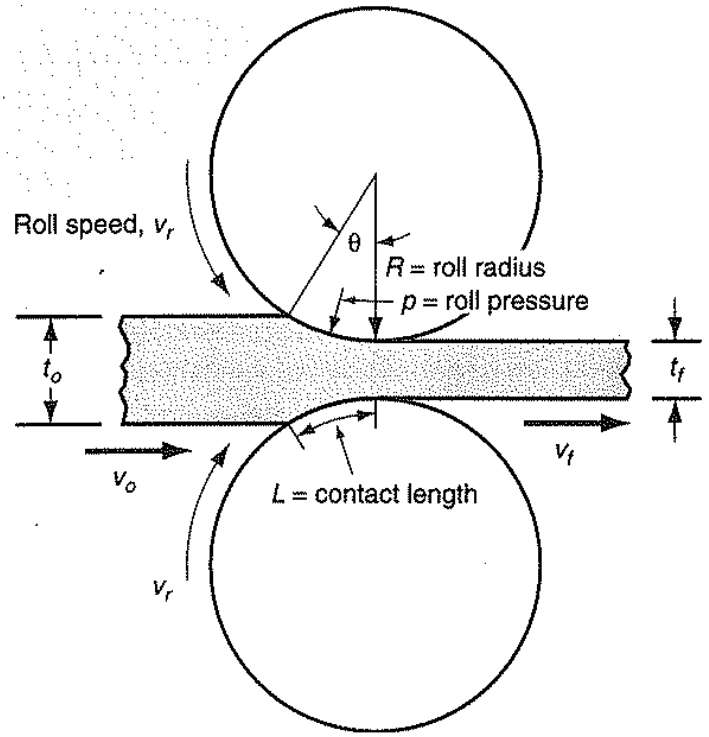
حجم المعدن الخارج من بين الدرفيلين يساوي الحجم الداخل بينهما أي :

$$t_o w_o L_o = t_f w_f L_f$$

حيث w_o و w_f هما عرض الشغلة (mm) قبل وبعد الدرفلة و L_o و L_f هما الطول (mm) قبل وبعد . وكذلك معدلات الحجم قبل وبعد الدرفلة يجب أن تكون متساوية لذا :

$$t_o w_o v_o = t_f w_f v_f$$

حيث v_o و v_f هما السرعتان عند الدخول والخروج



شكل (10)

سرعة دوران سطح الدرفيل هو *vr* وهذه السرعة تكون أكبر من السرعة عند الدخول *vo* واصغر من السرعة عند الخروج *vf* , وبما أنّ المعدن يمر باستمرار فان سرعته تتغير تدريجيا بين الدرفيلين وستكون هناك نقطة على قوس التلامس بين كل درفيل والمعدن تكون فيها سرعة الدرفيل وسرعة والقطعة المدرفلة متساويتين . وتسمى بالنقطة الحيادية neutral point أو النقطة التي لايحصل فيها انزلاق No – slip (point) . يحصل في كلا جانبي هذه النقطة انزلاق واحتكاك بين الدرفيل والشغلة ويمكن قياس كمية الانزلاق بوساطة الانزلاق الأمامي (Forward slip) (s).

$$s = \frac{v_f - v_r}{v_r}$$

أنّ الانفعال الحقيقي الذي يحصل في الشغلة في عملية الدرفلة يعتمد على سمكها قبل وبعد الدرفلة

$$\epsilon = \ln \frac{t_o}{t_f}$$

وكما ذكرنا سابقا يمكن استخدام هذا الانفعال الحقيقي في حساب معدل إجهاد الانسياب $\bar{Y}_f$ المؤثر على الشغلة في عملية الدرفلة المسطحة كما في المعادلة التالية :

$$\bar{Y}_f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n}$$

يستخدم معدل إجهاد الانسياب لحساب القوة التقريبية والقدرة في العملية.

يحصل الاحتكاك في الدرفلة بمعامل احتكاك معين وبضرب *قوة الانضغاط* للدرافيل *بمعامل الاحتكاك* ينتج قوة الاحتكاك بين الدرافيل والقطعة المراد درفلتها . يكون اتجاه قوة الاحتكاك باتجاه معين في

جهة الدخول قبل النقطة الحيادية (Neutral point) واتجاه معاكس في الجهة الأخرى بعد هذه النقطة .وهاتين القوتين غير متساويتين حيث تكون قوة الاحتكاك في جهة الدخول اكبر لذا فان محصلة القوتين تؤدي إلى سحب الشغلة خلال الدرافيل وبدون وجود هذه الحالة فان عملية الدرفلة ستكون مستحيلة .

يوجد حد لأقصى فرق سمك (Draft) الذي يمكن الحصول عليه في عملية الدرفلة لمعامل احتكاك معين والذي يعطى بالعلاقة التالية :

$$d_{max} = \mu^2 R$$

حيث d_{max} = أقصى فرق سمك mm و μ = معامل الاحتكاك و R = نصف قطر الدرفيل mm
وتدل المعادلة بأن إذا كان الاحتكاك صفر فان فرق السمك سيكون صفرا وبهذا يستحيل إجراء عملية الدرفلة والحصول على تنقيص بالسمك .

يعتمد معامل الاحتكاك في الدرفلة على التزييت ونوع المعدن المدرفل ودرجة الحرارة : قيم معامل الاحتكاك التقريبية هي:-

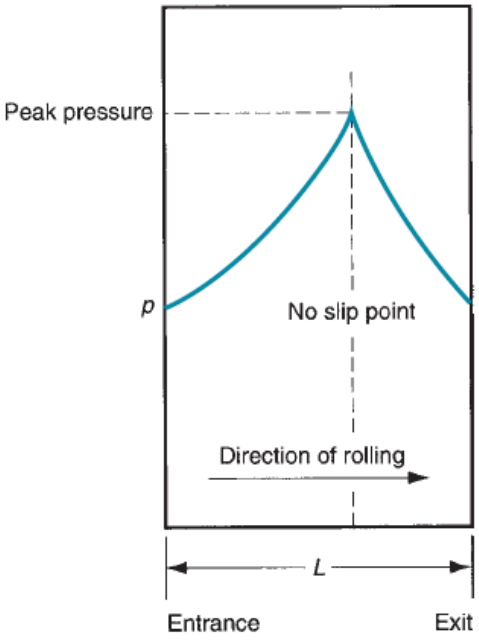
- الدرفلة على البارد μ = 0.1
- الدرفلة على الدافئ μ = 0.2
- الدرفلة على الساخن μ = 0.4

و تتميز الدرفلة على الساخن بحصول الالتصاق sticking وفيه يلتصق سطح القطعة المراد درفلتها بالدرافيل rolls في قوس التماس ويحصل هذا عادة عند درفلة الصلب والسبائك الاخرى في درجة الحرارة العالية .عند حصول الالتصاق فان معامل الاحتكاك قد يصل الى (0.7) . نتيجة الالتصاق تحدد حركة الطبقة السطحية بسرعة الدرفيل *vr* حيث يكون التشوه (Deformation) تحت هذه الطبقة شديد لكي تسمح بمرور القطعة خلال الفسحة بين الدرافيل .

القوة المسلطة من قبل الدرافيل *F* : -

$$F = w\int_0^L p\,dL$$

حيث F = قوة الدرفلة N و w = عرض القطعة المراد درفلتها mm و p = ضغط الدرفيل MPa و L = طول منطقة التماس بين كل درفيل والشغلة mm .
إن عملية التكامل تكون لجزئين منفصلين على جانبي نقطة الحياد neutral point . الشكل (11) يوضح التغيير بضغط الدرفيل على طول منطقة التماس .



شكل (11)

يكون أقصى ضغط في نقطة الحياد , وعندما يقل الاحتكاك فان نقطة الحياد تنتقل من الدخول وباتجاه الخروج وذلك للحفاظ على قوة سحب باتجاه الدرفلة وإلا سوف تنزلق الشغلة ولاتمر بين الدرافيل . كتقريب للنتائج التي يتم الحصول عليها من المعادلة أعلاه يمكن حسابها معتمدين على معدل اجهاد الانسياب الحاصل في معدن الشغلة بين الدرفيلين وكما يلي:-

$$F = \overline{Y}_f w L$$

حيث $\overline{Y}_f$ هو معدل إجهاد الانسياب MPa و حاصل ضرب wL هو مساحة منطقة التماس بين الدرفيل والشغلة . ويمكن حساب وبشكل تقريبي طول التماس باستخدام :

$$L = \sqrt{R(t_o - t_f)}$$

يمكن تقدير عزم الدرفلة بافتراض أن قوة الدرفيل تتركز على الشغلة عند مرورها بين الدرافيل وإنها تؤثر بذراع العزم لنصف طول التماس L .
العزم لكل درفيل:

$$T = 0.5FL$$

القدرة اللازمة لتدوير كل درفيل هو ضرب العزم بالسرعة الزاوية (Angular velocity) .
السرعة الزاوية هي $2\pi N$ حيث N = السرعة الدورانية للدرفيل , لذا القدرة *لكل درفيل* هي

$$P = 2\pi NT$$

وبتعويض $T = 0.5FL$ في المعادلة أعلاه *وبمضاعفة القيمة للإدخال بالحسبان القدرة لكلا الدرفيلين* نحصل :-

$$P = 2\pi NFL$$

حيث p = القدرة J/s (أو W) و N = سرعة دورانية 1/s (rev /min) و F = قوة الدرفلة N و L = طول التماس m .

مثال :- قطعة عرضها (300 mm) وسمكها (25 mm) غذيت بين درفيلين ذوات قدرة , كل درفيل له نصف قطر (250 mm) . يراد إلى تقليل السمك إلى (22 mm) بتمريره واحدة (One pass) بحيث سرعة

دوران الدرفيل (50 rev/min) . إذا كان منحني الانسياب للمعدن يعرف بـ (K = 275 Mpa) و n (= 0.15) و معامل الاحتكاك بين الدرافيل و الشغلة هي (0.12) .
أحسب فيما اذا كان الاحتكاك كاف لتحصل عملية الدرفلة , اذا كان كاف أحسب قوة وعزم وقدرة الدرفيل .

الحل:

$$d_{max} = \mu^2 R$$

$$d_{\max} = (0.12)^2 (250) = 3.6mm$$

$$L = \sqrt{250(25-22)} \cdot$$

= 27.4 mm

وتحسب $\bar{Y}_f$ من الانفعال الحقيقي حيث

$$\epsilon = \ln \frac{t_o}{t_f}$$

$$\varepsilon = \ln \frac{25}{22} = 0.128 \cdot$$

$$\bar{Y}_f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n}$$

$$\bar{Y}_f = \frac{275(0.125)^{0.15}}{1.15} = 175.7MPa$$

$$F = \bar{Y}_f w L$$

F= 175.7 (300)(27.4)=1444786 N
F = 0.5 FL

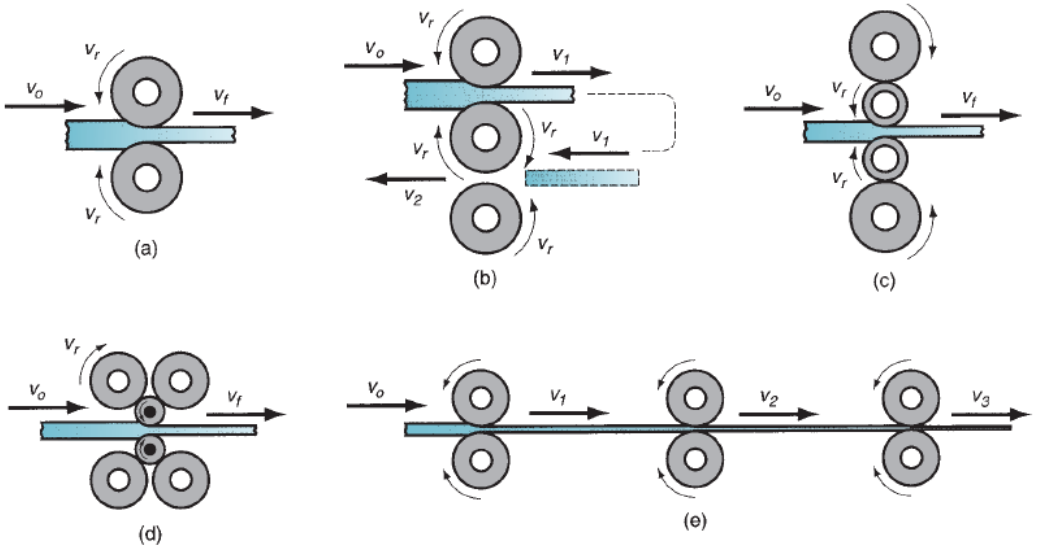
$$T = 0.5(1444786)(27.4)(10^{-3}) = 19786N-m$$

P= 2πNFL

$$P = 2\pi(50)(1444786)(27.4)(10^{-3}) = 12432086N-m/\min = 207201N-m/s(W)$$

يمكن بواسطة الدرفلة الحصول على قضبان (Beams) ذات مقاطع بأشكال مختلفة كـالقضبان ذات مقطع على شكل L (L-beams) وقضبان ذات مقطع على شكل I (I-beams) وعلى شكل U ودائرية ومربعة وقضبان السكة الحديدية ... الخ . مثال كما في شكل (9) .

الشكل بعض أنواع مكائن الدرفلة



شكل (12)

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة:	المحاضرة الرابعة	اسم التدريسي:	د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

1- الحدادة Forging

2- تحليل حدادة القالب المفتوح Open –Die Forging

المحتويات التفصيلية:

الحدادة Forging

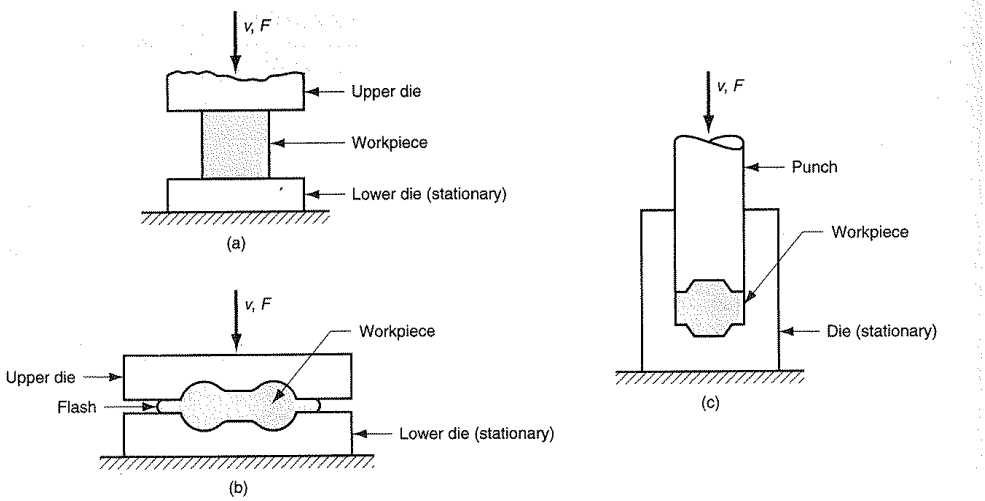
هي عملية تشويه deformation (تشكيل) وفيها تكبس الشغلة بين قالبين ويتم ذلك أما باستخدام طرق أو ضغط تدريجي وتستخدم لعمل أجزاء مختلفة ذات مقاومة عالية تدخل في صناعة السيارات والطائرات وتطبيقات أخرى كالمحور القلاب crank shaft وذراع التوصيل connecting rod والمسننات gears وعناصر تدخل في بناء الطائرة aircraft structural components وأجزاء التوربين .... و قد تستخدم الحدادة لإنتاج أشكال معينة والتي تشغل فيما بعد إلى الشكل النهائي.

معظم عمليات الحدادة تتم على الدافئ warm أو الساخن hot وذلك لكبر التشويه deformationالمطلوب في العملية وكذلك الحاجة إلى خفض المقاومة strength وزيادة المطيلية ductility لمعدن الشغلة , ومن ناحية أخرى الحدادة على البارد cold forging شائعة الاستخدام لبعض المنتجات . من فائدة الحدادة على البارد هو زيادة المقاومة نتيجة التصلد الانفعالي للجزء المشكل .

تسمى الماكنة التي تستخدم حمل الصدم impact load *بمطرقة الحدادة forging hammer* بينما تسمى الماكنة التي تستخدم الضغط التدريجي *بمكبس الحدادة forging press* .

وتصنف عمليات الحدادة بـ أ- الحدادة *بقالب مفتوح open- die forging (حدادة حرة)* والتي تكبس فيها الشغلة بين قالبين مسطحين two flat dies (أو تقريبا مسطحين) لذا يسمح للمعدن بالانسياب بدون تقييد constrain بالاتجاه الجانبي نسبة إلى سطح القالب . ب – *حدادة القالب المغلق closed–die forging*

***(حدادة مقيدة)* وفيها يحتوي سطح القالب على تجويف ذو شكل ينتقل إلى الشغلة خلال الضغط لذا فان انسياب المعدن يقيد بدرجة كبيرة وفي هذه العملية فان جزء من معدن الشغلة ينساب إلى خارج تجويف القالب ليشكل *حافة زائدة flash* .**



شكل - 6 a- حدادة القالب المفتوح b- حدادة القالب المقيد بحافة معدن زائد c- حدادة بدون حافة المعدن الزائد flash less

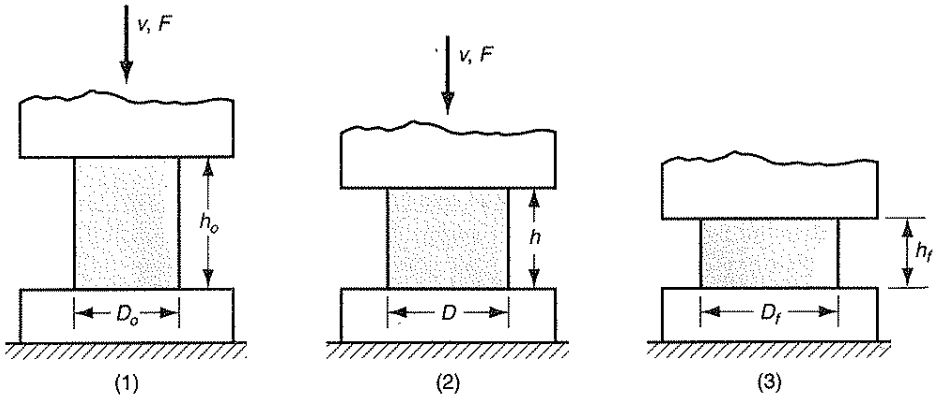
ان هذا المعدن الزائد يجب ان يزال فيما بعد. يمكن الحدادة باستخدام قالب بحيث لايوجد حافة زائدة flash less forging . عند البدء يجب ضبط حجم القطعة المراد حدادتها وبشكل دقيق بحيث تساوي حجم لتجويف القالب .

تحليل حدادة القالب المفتوح Open –Die Forging :-

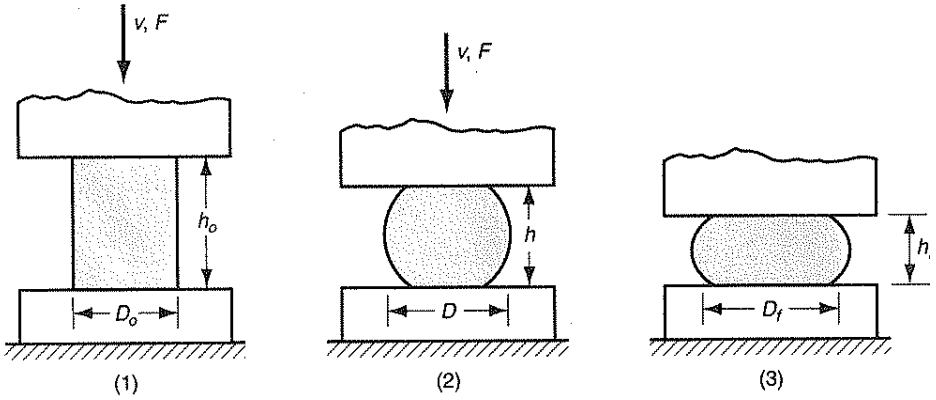
اذا تمت حدادة القالب المفتوح تحت ظروف مثالية أي بدون احتكاك بين الشغلة والقالب فانه يحصل تشويه deformation متجانس وان الانسياب العرضي (الشعاعي) للمعدن يكون منتظم على طول القطعة كما موضح في شكل -7 .
تحت هذه الظروف المثالية يمكن إيجاد الانفعال الحقيقي الذي يحدث في الشغلة خلال العملية كما يلي :-

$$\varepsilon = \ln \frac{h_o}{h} \quad \text{.....(1)}$$

حيث ho = ارتفاع الشغلة عند البدء mm
h = الارتفاع في نقطة وسط ما من العملية mm
hf = الارتفاع النهائي للشغلة في نهاية شوط الانضغاط , وهنا الانفعال الحقيقي تصل إلى أقصى قيمتها



شكل -7 تشكيل متجانس لشغلة اسطوانية تحت ظرف مثالية لعملية حدادة بقالب مفتوح: 1-بداية العملية لشغلة بطولها وقطرها الأصليين. 2- انضغاط جزئي . 3 – الشغلة بأبعادها النهائية .



شكل – 8 تشكيل حقيقي لشغلة اسطوانية لعملية حدادة بقالب مفتوح يوضح البرملةbarreling الواضحة : 1-بداية العملية لشغلة بطولها وقطرها الأصليين. 2- انضغاط جزئي . 3 – الشغلة بشكلها النهائي.

القوة اللازمة لاستمرار الانضغاط في أي ارتفاع h خلال عملية الحدادة يمكن إيجادها بضرب مساحة المقطع المطابق له بإجهاد الانسياب

$$F = Y_f A \text{.....(2)}$$

حيث F = القوة N
و A = مساحة مقطع القطعة المراد حدادتها mm^2
Yf = إجهاد الانسياب المطابق للانفعال المعطى في المعادلة أعلاه MPa
المساحة A تزداد باستمرار خلال العملية بينما الارتفاع يقل.
إن إجهاد الانسياب Yf يزداد نتيجة التصلد الانفعالي ما عدا عندما يكون المعدن تام اللدونة perfectly plastic أي انه لايوجد تصلد انفعالي n = 0 و
Yf = Y (yield strength of metal)
عندما لايكون المعدن تام اللدونة فان القوة تصل إلى أقصى قيمة في نهاية شوط الحدادة عندما كلا المساحة وإجهاد الانسياب في اعلي قيمهم .
إن عملية الحدادة الحقيقية لاتحصل كما في شكل 7 لان الاحتكاك يعرقل الانسياب بين معدن الشغلة وسطح القالب وهذا ينشئ تأثير البرملة كما في شكل 8 . عند تشكيل القطعة وهي ساخنة باستخدام قوالب باردة فان تأثير البرملة يزداد وهذا ناتج من معامل الاحتكاك الأكبر في التشكيل الساخن وانتقال الحرارة في وقرب سطوح القالب التي تبّرد المعدن وتزيد مقاومته للتشويه . إن المعدن الاسخن في وسط القطعة ينساب بشكل اكبر من المعدم الأبرد في النهايات . وهذه المؤثرات تكون اكبر عندما تزداد نسبة القطر- إلى – الارتفاع بسبب كون مساحة التماس بين القطعة والقالب اكبر .
جميع هذه العوامل تجعل القوة المستخدمة اكبر من تلك المستخدمة في المعادلة 2 . لذا نستخدم العلاقة التالية :

$$F = K_f Y_f A \text{.....(3)}$$

حيث

K_f = معامل الشكل يستعمل ليدخل تأثير نسبة D/h والاحتكاك

$$K_f = 1 + \frac{0.4\mu D}{h} \quad \text{.....(4)}$$

حيث μ = معامل الاحتكاك و D هي قطر الشغلة او أي أبعاد تمثل طول التماس مع سطح القالب mm و h ارتفاع الشغلة mm .

مثال : قطعة اسطوانية عرضت إلى عملية حدادة على البارد. إذا كان ارتفاع القطعة وقطرها عند البداية هما 75 mm و 50 mm على التوالي . قل الارتفاع بالعملية إلى 36 mm . إذا كان منحني الانسياب للمعدن يعرف بـ K = 350 MPa و n = 0.17 . افترض أن معامل الاحتكاك هو 0.1 . أحسب القوة عند بدء العملية وعند ارتفاع 62 mm و 49 mm وعند ارتفاع نهائي قدره 36 mm.

الحـــل:

الحجم

$$V = 75\pi(50^2/4) = 147{,}262 \text{ mm}^3.$$

عند لحظة تماس القالب العلوي فان

$$h = 75 \text{ mm and the force } F = 0.$$

- عند بدء الخضوع نفترض أن الانفعال

$$\text{strain} = 0.002$$

وفيها إجهاد الانسياب

$$Y_f = K\epsilon^n = 350(0.002)^{0.17} = 121.7 \text{ MPa}$$

وان القطر والمساحة لايزالان تقريبا

$$D = 50 \text{ mm and area } A = \pi(50^2/4) = 1963.5 \text{ mm}^2.$$

في هذه الظروف

$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(50)}{75} = 1.027$$

القوة المستخدمة في الحدادة هي :

$$F = 1.027(121.7)(1963.5) = 245{,}410 \text{ MPa}$$

-عند الارتفاع

$$h = 62 \text{ mm},$$

$$\epsilon = \ln\frac{75}{62} = \ln(1.21) = 0.190$$

$$Y_f = 350(0.1904)^{17} = 264.0 \text{ MPa}$$

بافتراض ثبوت الحجم وبافتراض عدم وجود برملة

$$A = 147{,}262/62 = 2375.2\ \text{mm}^2 \text{ and } D = 55.0\ \text{mm}$$

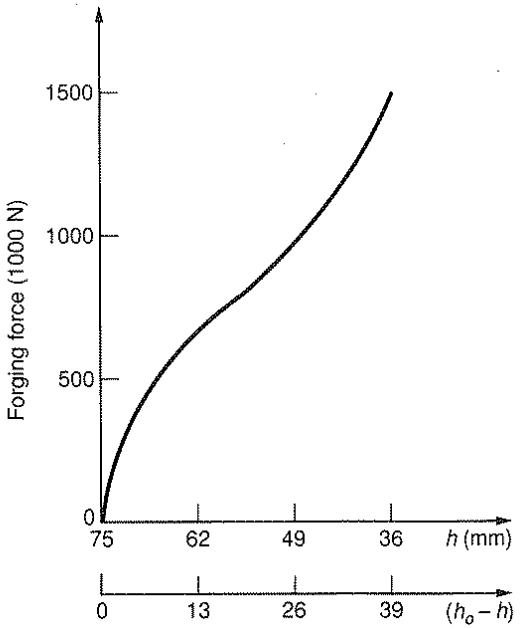
$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(55)}{62} = 1.035$$

$$F = 1.035(264)(2375.2) = 649{,}303\ \text{N}$$

- وبنفس الطريقة

at $h = 49$ mm, $F = 955{,}642$ N. And at $h = 36$ mm, $F = 1{,}467{,}422$ N.

منحني الحمل – الشوط موضح في الشكل 9.



محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة:	المحاضرة الخامسة	اسم التدريسي:	د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

1- عملية البثق Extrusion Process
2- أنواع البثق
3- تحليل عملية البثق
4- البثق الصدمي

المحتويات التفصيلية:

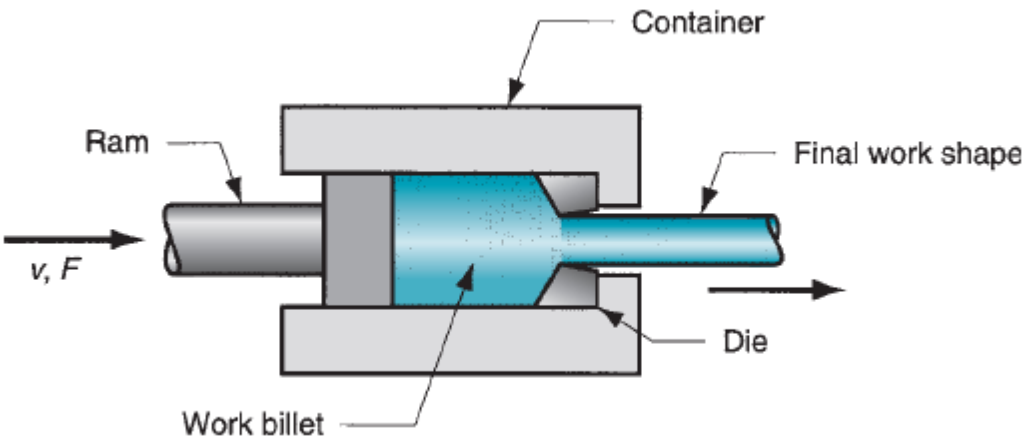
عملية البثق Extrusion Process

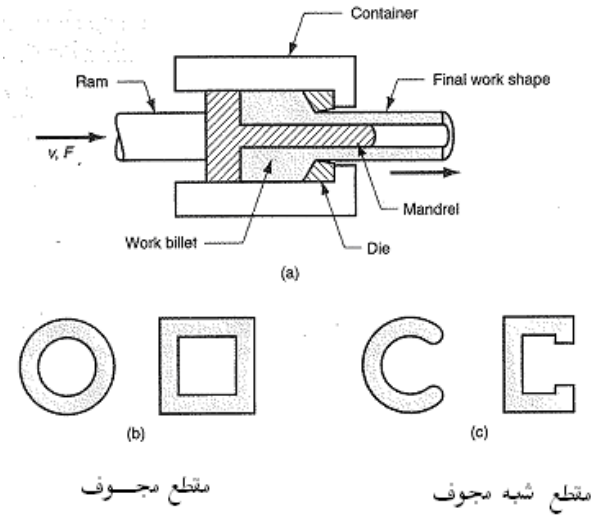
هي عملية انضغاطية وفيها تجبر القطعة المعدنية للانسياب خلال فتحة القالب (Die) للحصول على شكل المقطع المطلوب . يمكن تشبيهها بعصر معجون الآسنان ليخرج من فتحة الأنبوبة و لهذه الطريقة عدة فوائد :

1- يمكن الحصول على أشكال متنوعة (بمجرد تبديل القالب) وخاصة باستخدام البثق على الساخن ولكن ما يحدد الهندسية هو إن شكل المقطع للجزء المبثوق يجب أن يكون منتظم على طوله.
2- يتحسن تركيب الخلايا (Grain structure) وخواص المقاومة في البثق البارد والدافئ.
3- يمكن الحصول على دقة بالأبعاد و خاصة بالبثق على البارد .
4 - في بعض عمليات البثق تكون فضلات المعدن المتبقي قليلة أو معدومة .

أنواع البثق :

اولا: بثق مباشر (Direct Extrusion) أو بثق أمامي (Forward Extrusion):-

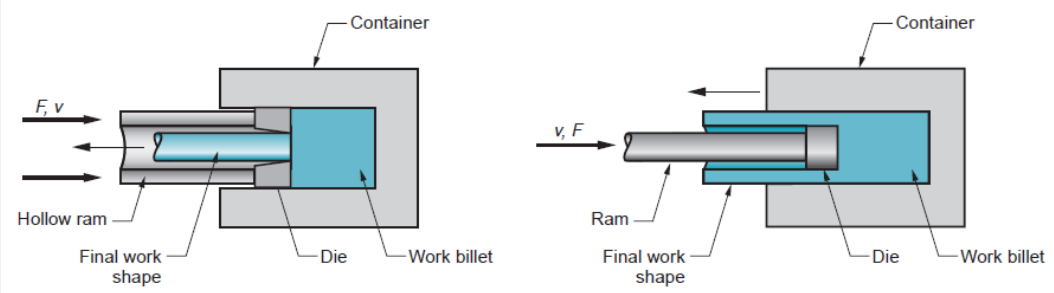




بثق مباشر لإنتاج مقطع مجّوف أو شبه مجّوف

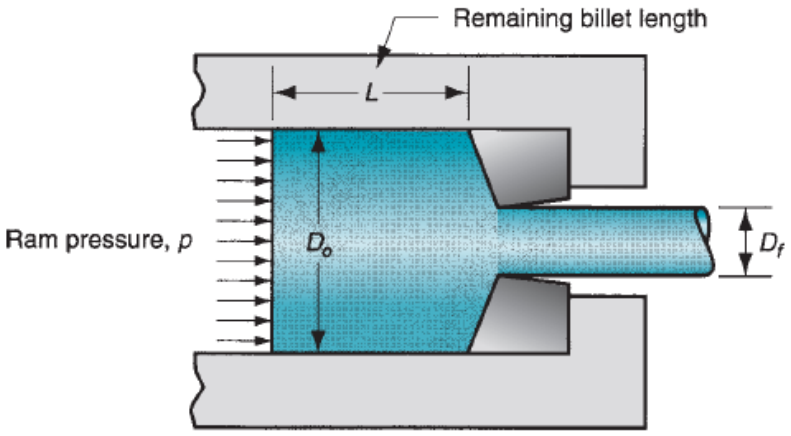
شكل (22)

ثانيا: بثق غير مباشر(Indirect Extrusion)او بثق عكسي (Reverse Extrusion):-



شكل (23)

تحليل عملية البثق :-



شكل (24)

نسبة البثق أو نسبة الاختصار $\mathbf{r_x}$: تعرف بـ

$$r_x = \frac{A_o}{A_f}$$

حيث : r_x = نسبة البثق (Extrusion ratio) وتستعمل للبثق المباشر وغير المباشر

A_o = مساحة المقطع للخامة عند البداية (Starting billet) mm^2

A_f = مساحة المقطع النهائي للجزء المبثوق mm^2

يمكن استخدام قيمة $\mathbf{r_x}$ **لتعيين الانفعال الحقيقي في البثق** إذا اعتبر أن التشكيل مثالي بدون احتكاك ولا تشويه داخلي في الشغلة .

$$\epsilon = \ln r_x = \ln \frac{A_o}{A_f}$$

في حالة افتراض بان **التشويه مثالي (أي لايوجد احتكاك ولا شغل يصرف داخل المعدن عند تشويهه)** , هنا يمكن حساب الضغط p المستخدم على المكبس ram لكبس الخامة لكي تمر خلال فتحة القالب (انظر الشكل) كما يلي :-

$$p = \overline{Y}_f \ln r_x$$

حيث $\overline{Y}_f$ = معدل إجهاد الانسياب MPa وعلينا أن نتذكر بان

$$\overline{Y}_f = \frac{K\epsilon^n}{1+n}$$

في الحقيقة **يوجد احتكاك بين القالب والمعدن** المبثوق أثناء عملية البثق **وفي البثق المباشر يوجد أيضا احتكاك بين سطح المعدن والجدار الداخلي لوعاء container البثق** وهذا يزيد من الانفعال الذي يواجهه المعدن . من أكثر العلاقات التي لاقت قبولا لحساب انفعال البثق هي التي قدمت من قبل (***Johnson***) :

$$\epsilon_x = a + b \ln r_x$$

حيث ε_x هو انفعال البثق و a و b هما ثوابت لزاوية قالب ما وقيمتهما :

a = 0.8

b = 1.2 t o 1.5

وتميل قيمهما للزيادة بزيادة زاوية القالب المستخدم .

يمكن تقدير ضغط المكبس المستخدم في **البثق غير المباشر** اعتمادا على معادلة انفعال البثق لـ Johnson كما يلي :

$$p = \overline{Y}_f \epsilon_x$$

حيث تحسب $\overline{Y}_f$ فقط اعتمادا على الانفعال المثالي كما في المعادلة :

$$\epsilon = \ln r_x = \ln \frac{A_o}{A_f}$$

$$\longrightarrow \quad \overline{Y}_f = \frac{K\epsilon^n}{1+n}$$

ولا نستخدم في حسابها انفعال البثق التي في المعادلة:

$$\epsilon_x = a + b \ln r_x$$

في البثق المباشر فان تأثير **الاحتكاك بين جدار اسطوانة الكبس والخامة المعدنية billet بداخلها يجعل ضغط المكبس أكبر منه في البثق غير المباشر** و يمكن كتابة العلاقة والتي تعزل قوة الاحتكاك في وعاء البثق المباشر:

$$\frac{p_f \pi D_o^2}{4} = \mu p_c \pi D_o L$$

حيث p_f = الضغط الإضافي اللازم **للتغلب على الاحتكاك** MPa .

$D_o^2/4\pi$ = مساحة مقطع الخامة billet mm² .

μ = معامل الاحتكاك على جدار الاسطوانة

P_c = ضغط الخامة على جدار اسطوانة الكبس MPa

$\pi D_o L$ = المساحة بين الخامة billet وجدار الاسطوانة mm²

الجهة اليمنى من المعادلة تدل على **قوة الاحتكاك بين الخامة والاسطوانة و الجهة اليسرى** تعطي **القوة الإضافية على المكبس للتغلب على الاحتكاك** .

إذا كان **الاحتكاك التصاقي (sticking friction)** فان إجهاد الاحتكاك يساوي **مقاومة خضوع قص (Shear yield strength)** للمعدن المبثوق فالجهة اليمنى للمعادلة أعلاه تصبح :

$$\mu p_c \pi D_o L = Y_s \pi D_o L$$

حيث Y_s = مقاومة خضوع

$$\frac{p_f \pi D_o^2}{4} = Y_s \pi D_o L$$

or

$$p_f = 4Y_s \frac{L}{D_o}$$

إذا فرضنا أن $Y_s = \overline{Y}_f/2$ فان الضغط p_f يصبح

$$p_f = \overline{Y}_f \frac{2L}{D_o}$$

بناءا على هذه الأسباب يمكن استخدام العلاقة التالية لحساب ضغط المكبس في **البثق المباشر**:

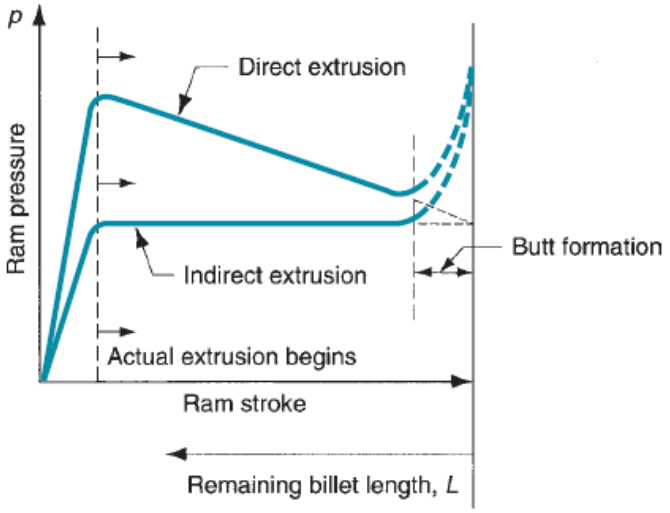
$$p = \bar{Y}_f \varepsilon_x + \bar{Y}_f \frac{2L}{D_o}$$

or

$$p = \bar{Y}_f \left(\epsilon_x + \frac{2L}{D_o} \right)$$

حيث $\bar{Y}_f \frac{2L}{D_o}$ هو للضغط الإضافي بسب الاحتكاك **بين الخامة و وعاء الكبس** . و **L هو طول الخامة الذي لايزال لم يبثق** و Do هو القطر الأصلي للخامة . **من الملاحظ أن p تقل عندما يقل الطول المتبقي للخامة خلال عملية البثق .**

الشكل التالي يمثل رسم لضغط المكبس مع شوط المكبس للبثق المباشر والبثق غير المباشر , والمعادلة أعلاه ربما تعطي تقدير معالى فيه أي أعلى مما يجب .عند استخدام تزييت جيد فان ضغط المكبس سوف يكون أقل من القيم التي تحسب بهذه المعادلة.



شكل (25)

ان الشكل (25) يبين مخطط مثالي لضغط المكبس مع شوط المكبس (والطول المتبقي L) للبثق المباشر direct extrusion والبثق غير المباشر indirect extrusion. إن القيم الأعلى للبثق المباشر ناتجة من الاحتكاك في جدران الوعاء .إن شكل الضغط الابتدائي الناشئ في بداية المخطط يعتمد على زاوية القالب (الزاوية الأكبر تسبب إنشاء ضغط أعلى) .الزيادة بالضغط في نهاية لشوط تعود تكون الفضلة.

القوة المسلطة بوساطة المكبس :

إن **قوة المكبس** في البثق ناتجة من ضرب الضغط P من المعادلة $p = \bar{Y}_f \epsilon_x$ بمساحة مقطع الخامة **Ao** **بالنسبة للبثق غير المباشر**

أو ناتجة من ضرب الضغط P من $p = \bar{Y}_f \left(\epsilon_x + \frac{2L}{D_o} \right)$ المعادلة بمساحة مقطع الخامة A_o **بالنسبة للبثق المباشر**

أي:

$$F = pA_o$$

القدرة اللازمة لإجراء عملية البثق هي:

$$P = Fv$$

حيث ان v تمثل سرعة البثق (m/s)

مثال :

خامة طولها 75 mm وقطرها 25 mm يراد بثقها بعملية بثق مباشر بنسبة بثق rx =4 .إذا كان الجزء المبثوق مقطعه دائري وكانت زاوية القالب (نصف الزاوية half - angle) =90º ومعامل المقاومة K = 425 MPa و معامل التصلد الانفعالي n = 0.18 .استخدم معادلة Johnson حيث a = 0.8 و b = 1.5 لحساب الانفعال . احسب الضغط المستخدم على نهاية الخامة حيث يتحرك المكبس إلى الأمام .

الحل :

دعنا نرى ضغط المكبس عند اطوال الخامة (L=75 mm) اي الطول عند البداية و (L=50 mm) و (L=25 mm) و (L=0) . نحسب الانفعال الحقيقي المثالي وانفعال البثق باستخدام علاقة (*Johnson*) ومعدل اجهاد الانفعال .

$$\epsilon = \ln r_x = \ln 4.0 = 1.3863$$

$$\epsilon_x = 0.8 + 1.5(1.3863) = 2.8795$$

$$\overline{Y}_f = \frac{415(1.3863)^{0.18}}{1.18} = 373 \text{ MPa}$$

$L = 75$ mm: With a die angle of 90°, the billet metal is assumed to be forced through the die opening almost immediately; thus, our calculation assumes that maximum pressure is reached at the billet length of 75 mm. For die angles less than 90°, the pressure would build to a maximum as in Figure . as the starting billet is squeezed into the cone-shaped portion of the extrusion die. Using

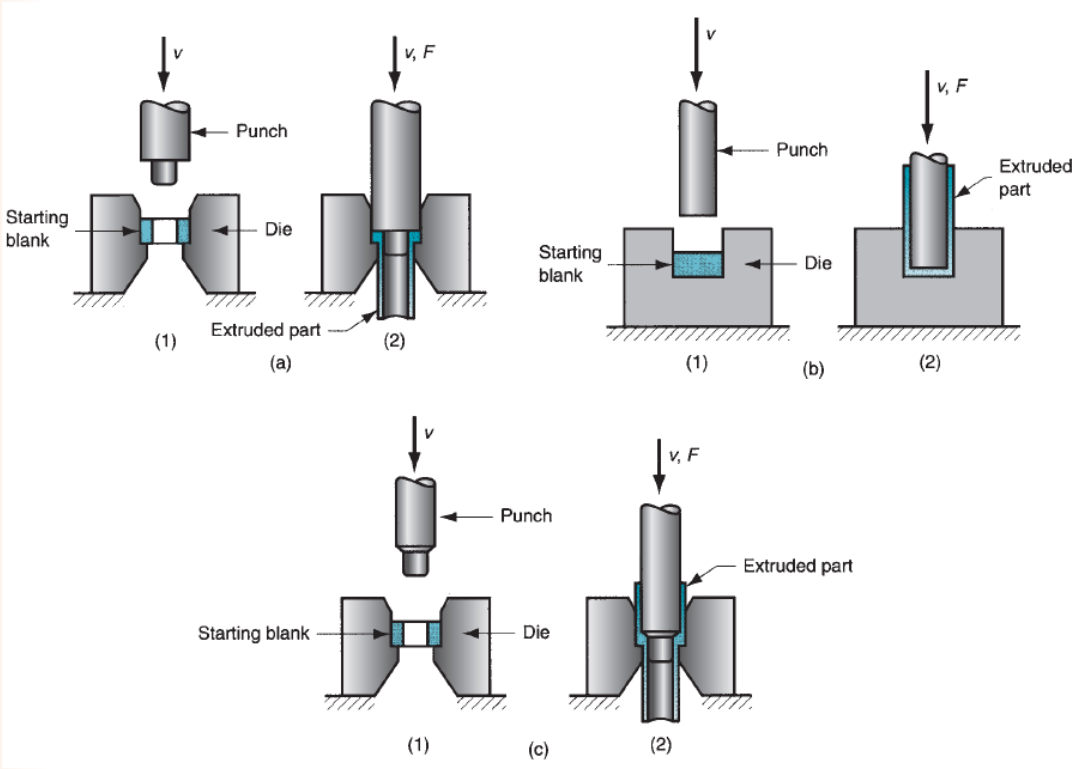
$$p = 373\left(2.8795 + 2\frac{75}{25}\right) = 3312 \text{ MPa}$$

$$L = 50 \text{ mm}: p = 373\left(2.8795 + 2\frac{50}{25}\right) = 2566 \text{ MPa}$$

$$L = 25 \text{ mm}: p = 373\left(2.8795 + 2\frac{25}{25}\right) = 1820 \text{ MPa}$$

بثق الصدم Impact Extrusion :-

ينجز بثق الصدم بسرعة أعلى وأشواط أقل من البثق الاعتيادي . وكما يدل الاسم فان المكبس يصدم معدن الشغلة بدلا من استخدام الضغط عليها . ويمكن أن يتم الصدم كبثق أمامي أو عكسي أو خليط من كلاهما وكما موضح في الشكل



a.- بثق أمامي b- بثق عكسي c - خليط أمامي وعكسي
شكل (26)

يستخدم بثق الصدم عادة على البارد ويكون الصدم العكسي الأكثر شيوعا . المنتجات التي ُتعمل بهذه الطريقة تشمل أنابيب معجون الأسنان وأغلفة البطاريات . وكما موضح في الشكل بهذه الأمثلة يمكن الحصول على جدران رقيقة جدا لأجزاء تبثق بالصدم . إن مميزات السرعة العالية للصدم تسمح للحصول على اختصارات كبيرة بمعدلات إنتاج عالية مما يجعلها طريقة تجارية مهمة .

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع

المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة:	المحاضرة السادسة	اسم التدريسي:	د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

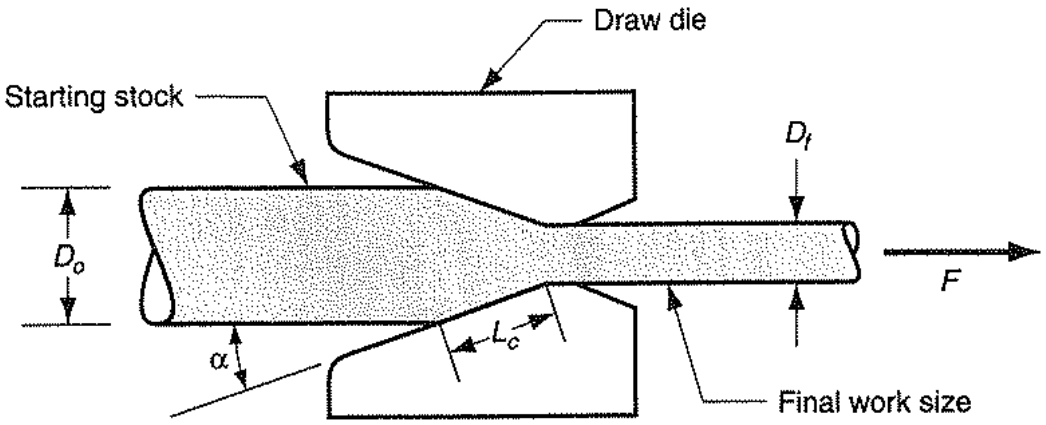
1. سحب الأسلاك والقضبان Wires and Bars Drawing
2. تحليل السحب(للأسلاك والقضبان)
3. أجهزة السحب
4. سحب الأنابيب Tube Drawing

المحتويات التفصيلية:

سحب الأسلاك والقضبان Wires and Bars Drawing

وهي الطرق التي يتم بها تقليل مساحة مقطع الأسلاك والقضبان وذلك بسحبها من خلال فتحة القالب die كما في الشكل . بما أن وجود اجهادات شد واضحة في عملية السحب , إلا أن اجهادات الضغط تلعب أيضا دورا مهما لان المعدن في هذه العملية يعصر عند مروره خلال فتحة القالب . ولهذا السبب فان التشويه (Deformation) الذي يحصل في السحب يشار إليه بالضغط غير المباشر .

الفرق بين سحب الاسلاك (Wires) وسحب القضبان (Bars) هو حجم الخامة المراد سحبها فسحب القضبان هي عبارة تستعمل للقضبان ذات القطر الكبير بينما سحب السلك تستخدم للخامة ذات القطر الصغير . حيث يمكن سحب سلك بقطر يصل إلى (0.03 mm) .



شكل (28)

بصورة عامة يتم سحب القضيب بسحبة واحدة أي تسحب الخامة خلال فتحة قالب واحد . ونظرا لكون الخامة المراد سحبها لها قطر كبير لذا تكون على شكل قطعة اسطوانية مستقيمة وليس على شكل لفة (Coil), وهذا يحدد طول الشغلة المراد سحبها مما يتطلب أن تستخدم العملية عدد كبير من القطع .على العكس من ذلك , يسحب السلك من لفات تحتوي على ربما عدة مئات من الأمتار من السلك والذي يمر من خلال قوالب سحب متسلسلة . عدد القوالب يتراوح عادة بين 4 إلى 12 قالب . إن عبارة السحب المستمر (Continuous drawing) تستخدم لتصف هذا النوع من العمليات بسبب كون الإنتاج الطويل يتم الحصول عليه باستخدام لفات السلك والتي يمكن أن تلحم مع بعضها بلحام تقابلي (But-welded) لجعل العملية مستمرة .

في عملية السحب يعطى التغيير عادة للشغلة بـ " اختصار المساحة Area reduction " والذي يعرف كما يلي : -

$$r = \frac{A_o - A_f}{A_o}$$

حيث r = اختصار المساحة في السحب و Ao = مساحة المقطع الأصلية للشغلة mm^2 و Af = مساحة المقطع النهائية بعد السحب . و يعبر عادة عن اختصار المساحة كنسبة مئوية .

الفرق بين القطر الأصلي و القطر النهائي (Draft :d) :

$$d = D_o - D_f$$

حيث Do = القطر الأصلي للشغلة mm و Df = القطر النهائي لها mm

تحليل السحب(للأسلاك والقضبان) :-

ميكانيكية السحب :

في حالة عدم وجود احتكاك أو شغل ينجز للتشويه الداخلي في عملية السحب , يمكن تعيين الانفعال الحقيقي كما يلي :

$$\epsilon = \ln\frac{A_o}{A_f} = \ln\frac{1}{1-r}$$

يعطى الإجهاد الناتج من هذا التشكيل المثالي بـ :

$$\bar{Y}_f = \frac{K\epsilon^n}{1+n}\quad \bar{Y}_f \ln\frac{A_o}{A_f}$$

حيث وكما هو معلوم فان معدل إجهاد الانسياب :

ونظرا لوجود الاحتكاك في عملية السحب ووجود تشويه داخلي فان الإجهاد الحقيقي يكون أكبر من المعطى بالمعادلة أعلاه

$$\sigma = \overline{Y}_f \epsilon = \overline{Y}_f \ln \frac{A_o}{A_f}$$

فبالإضافة إلى النسبة *Ao/Af* فالمتغيرات الأخرى التي تؤثر على إجهاد السحب هي : زاوية القالب ومعامل الاحتكاك بين معدن الشغلة والقالب . لقد افترضت طرق كثيرة لتعيين إجهاد السحب اعتمادا على قيم هذه العوامل ولقد تم اختيار المعادلة التالية منهم :

$$\sigma_d = \overline{Y}_f \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) \phi \ln \frac{A_o}{A_f}$$

حيث σ_d = إجهاد السحب MPa و μ = معامل الاحتكاك بين الشغلة والقالب و α = زاوية القالب (نصف الزاوية) كما موضحة في الشكل أعلاه . و ϕ = عامل للإدخال في الحسبان التشويه غير المتجانس (Inhomogeneous deformation) والذي يعين كما يلي لمقطع دائري :-

$$\phi = 0.88 + 0.12 \frac{D}{L_c}$$

حيث D = متوسط قطر الشغلة خلال السحب و L_c = منطقة التماس للشغلة بقالب السحب mm.
(أنظر الشكل 28) . يمكن تعيين قيم D و L_c مما يلي :

$$D = \frac{D_o + D_f}{2}$$

$$L_c = \frac{D_o - D_f}{2 \sin \alpha}$$

لحساب قوة السحب , يضرب إجهاد السحب بمساحة المقطع المسحوب

$$F = A_f \sigma_d = A_f \overline{Y}_f \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) \phi \ln \frac{A_o}{A_f}$$

حيث F = قوة السحب بالنيوتن

القدرة في عملية السحب = قوة السحب x سرعة الخروج للشغلة

مثال : سحب سلك خلال قالب له زاوية دخول (15 °) . القطر عند البداية قبل السحب (2.5mm) والقطر النهائي (2.0 mm) . إذا كان معامل الاحتكاك بين الشغلة والقالب (0.07) ومعامل المقاومة K مقداره (205 MPa) ومعامل التصلد الانفعالي (n= 0.2) . أحسب إجهاد السحب وقوة السحب في هذه العملية .

الحـــــل :

يمكن إيجاد قيم D و L_c باستخدام العلاقات

$$D = \frac{D_o + D_f}{2}$$

$$L_c = \frac{D_o - D_f}{2 \sin \alpha} = 1.0 \text{ mm.}$$

$$\phi = 0.88 + 0.12 \frac{D}{L_c}$$

$$A_o = 4.91 \text{ mm}^2 \text{ and } A_f = 3.14 \text{ mm}^2.$$

$$\epsilon = \ln(4.91/3.14) = 0.44$$

$$\overline{Y}_f = \frac{205(0.446)^{0.20}}{1.20} = 145.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = (145.4)\left(1 + \frac{0.07}{\tan 15}\right)(1.15)(0.446) = 94.1 \text{ MPa}$$

اخيرا ان قوة السحب تنتج من حاصل ضرب اجهاد السحب بمساحة المقطع للسلك الخارج

$$F = 94.1(3.14) = 295.5\ \text{N}$$

أقصى اختصار لكل تمريره (Maximum Reduction per Pass):-

عادة لا يمكن إجراء الاختصار الكامل للحصول على القطر المطلوب في تمريره واحدة (Single pass) والسبب هو انه لو لاحظنا معادلة إجهاد السحب , نرى عند زيادة الاختصار يزداد إجهاد السحب وإذا أصبح الاختصار كبيرا إلى حد ما فان إجهاد السحب سوف يفوق مقاومة الخضوع (Yield strength) للمعدن الخارج من القالب وإذا حدث ذلك فان السلك سيستطيل هنا بدلا من أن يعصر ويتشكل خلال فتحة القالب . ولغرض جعل سحب السلك ناجحا فان أقصى إجهاد سحب (Maximum drawing stress) يجب أن يكون اقل من مقاومة الخضوع للمعدن الخارج من القالب .

من الممكن تعيين أقصى الإجهاد هذا وأقصى اختصار ناتج والذي يمكن عمله في تمريره واحدة ,تحت فرضيات معينة . دعنا نفترض بان المعدن تام اللدونة أي أن $n = 0$ ولا يوجد احتكاك ولاتشويه إضافي داخلي (Redundant work) , ففي هذه الحالة المثالية فان أقصى إجهاد سحب محتمل يساوي إجهاد الخضوع لمادة الشغلة وعليه نستعمل معادلة إجهاد السحب تحت ظروف التشكيل المثالي واضعين $\bar{Y}_f = Y$ لان $n = 0$.

$$\sigma_d = \bar{Y}_f \ln\frac{A_o}{A_f} = Y \ln\frac{A_o}{A_f} = Y \ln\frac{1}{1-r} = Y$$

وهذا يعني بان

$$\ln(A_o/A_f) = \ln(1/(1-r)) = 1$$

أي أن أقصى انفعال محتمل

$$\epsilon_{\max} = 1.0$$

أقصى نسبة مساحة محتملة هي :

$$\frac{A_o}{A_f} = e = 2.7183$$

وأقصى اختصار محتمل :

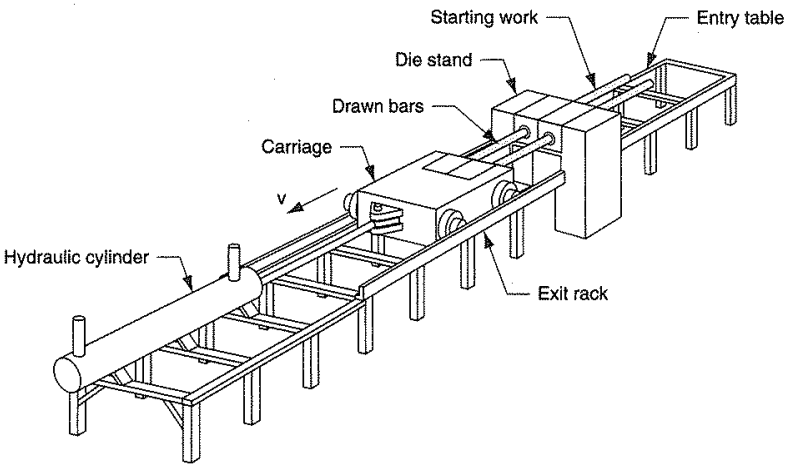
$$r_{\max} = \frac{e-1}{e} = 0.632$$

إن القيمة المعطاة في المعادلة أعلاه تستخدم غالبا كأقصى اختصار نظري في تمريره واحدة رغم كونها تلغي : (1)- تأثيرات الاحتكاك والتشويه الداخلي k والذي يؤدي إلى خفض أقصى قيمة محتملة و (2)- التصلد

الانفعالي والذي يزيد أقصى اختصار محتمل لان مقاومة السلك الخارج ستكون أكبر منها للمعدن عند البدء عمليا فان اختصارات السحب لكل تمريره أقل من الحد النظري .
يبدو الحدود العليا للاختصار في العمليات الصناعية لسحب لقضيب بتمريره واحدة (0.5) ولسلك متعدد السحب (0.3) .

أجهزة السحب

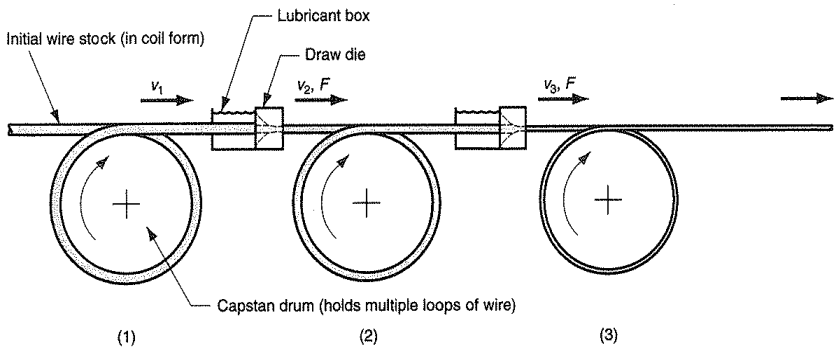
سحب القضبان :



شكل (29) : سحب القضبان

سحب الأسلاك:

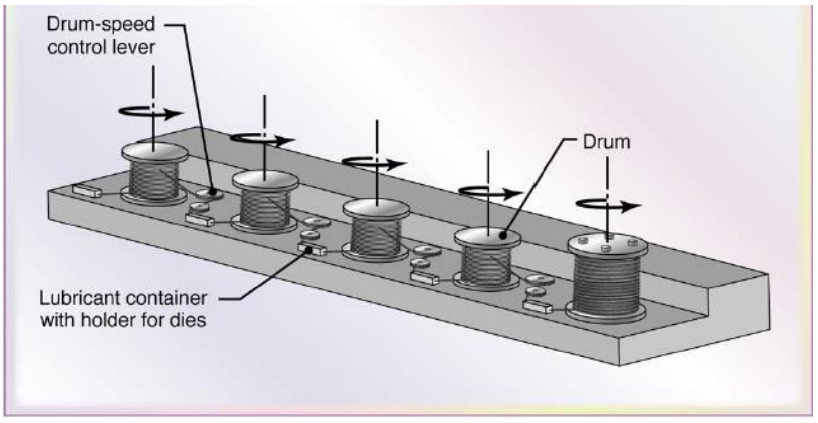
سحب السلك يحصل على مكائن سحب مستمرة والتي تحتوي على قوالب سحب متعددة وبكرات تجميع بين القوالب كما في الشكل (30):

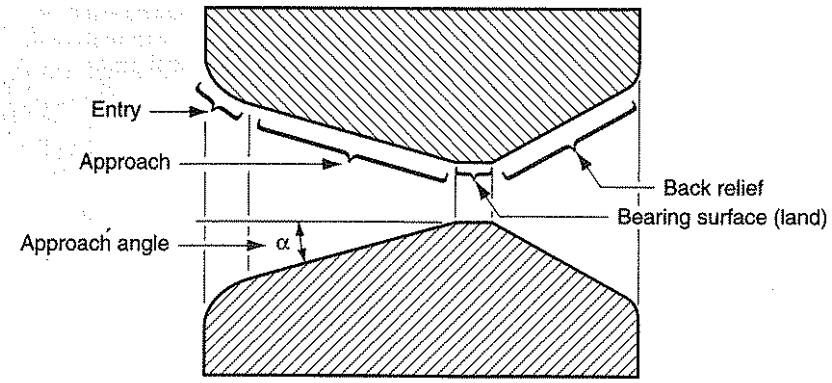


شكل (30)

قالب السحب :-

قالب السحب النموذجي (Typical) ويمكن تمييز أربعة مناطق فيه هي:-





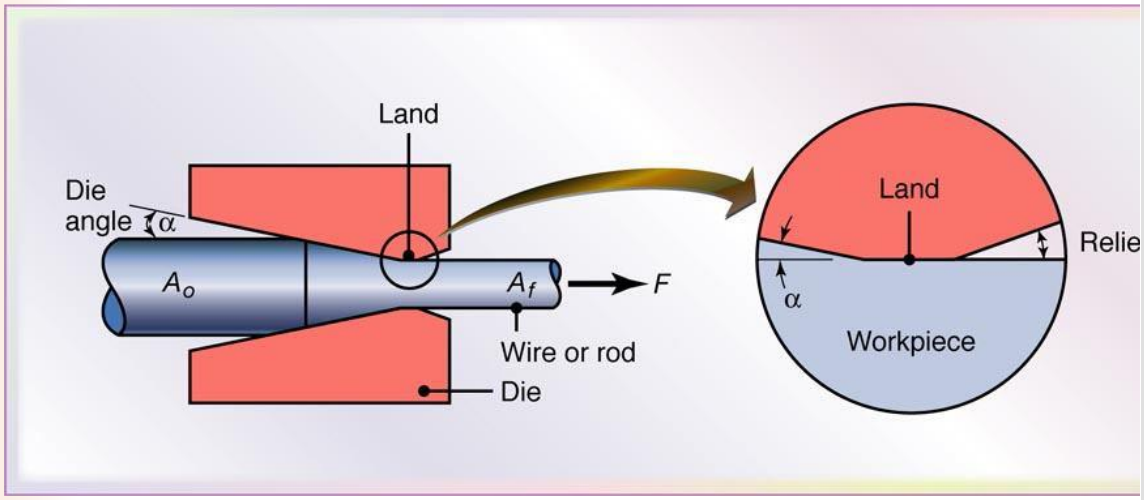
شكل (31)

1- منطقة الدخول: عادة لها شكل الجرس وهي لا تمس السلك والغرض منها إدخال المزيت(Lubricant) إلى القالب لمنع التماس بين سطحي السلك والقالب.

2- منطقة الاقتراب (Approach): وفيها تحصل عملية التشكيل . وهي تشبه المخروط (cone) ولها زاوية (نصف زاوية القالب) , و تتراوح عادة من ° 6 إلى °20 . وتتغير تبعا لمادة السلك .

3- منطقة السطح الحامل Bearing surface (land) : هذه المنطقة تحدد قطر السلك المسحوب النهائي. راجع شكل (32) .

4- منطقة خلوص خلفي Back relief : منطقة الخروج. مقدار هذه الزاوية حوالي 30 ° (نصف الزاوية) . تصنع قوالب السحب عادة من صلب العدة أو من الكربيدات المسمنتة أو قد يستعمل الماس في القوالب المستخدمة في عمليات سحب الأسلاك ذي السرع العالية .



شكل (32)

تحضير الخامة-

قبل البدء بعملية السحب يجب تحضير الخامة كما ينبغي وهذا يتضمن ثلاث خطوات :

1- التخمير : والغرض منه هو زيادة المطيلية (Ductility) للخامة لكي تتقبل التشويه (Deformation) خلال السحب . وفي بعض الأحيان يكون هناك حاجة للتخمير بين الخطوات في السحب المتواصل .

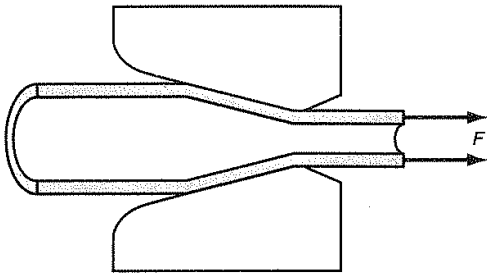
2 – التنظيف : يتطلب إجراء التنظيف لمنع تلف سطح الشغلة وقالب السحب .ويتضمن التنظيف إزالة التقشر (Scale) و الصدأ (Rust) بوساطة المعاملة الكيميائية (Chemical pickling) أو بعملية القذف (Shot blasting).

في بعض الحالات يتم تزييت سطح الشغلة قبيل السحب بعد التنظيف (Subsequent).

3– تصغير قطر نهاية الخامة عند البداية لغرض إدخالها من خلال القالب لكي تبدأ العملية ويتم ذلك بالطرق أوالد رفلة أو الخراطة. بعد ذلك تثبت هذه النهاية بالفكوك التي في العجلة(للقضبان) أو أية وسيلة لبدء عملية السحب بالنسبة للأسلاك .

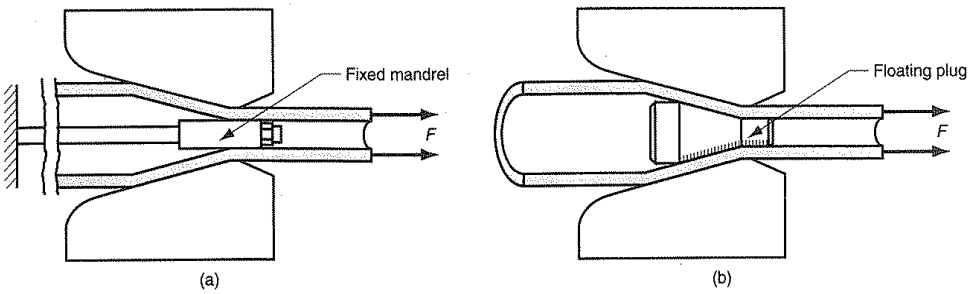
سحب الأنابيب Tube Drawing : -

يمكن استخدام عملية السحب لتقليل القطر أو السمك بعد إنتاج الأنبوب الابتدائي ببعض الطرق الأخرى كالبثق . يمكن إجراء سحب الأنابيب إما باستخدام عمود محوري (Mandrel) أو بدونه .وابسط طريقة هي بعدم استخدام العمود المحوري والتي تستخدم لتقليل القطر كما في شكل (33) .



شكل (33)
سحب الأنبوب بدون عمود

المشكلة في طريقة محوري هو عدم إمكانية ضبط القطر الداخلي وسمك الأنبوب . ولهذا السبب يستخدم عمود محوري بأنواع مختلفة – نوعان منها موضح في الشكل التالي :



شكل (34)

في الشكل 34-a ,يستخدم عمود محوري ثابت (Fixed mandrel) يربط إلى عمود ساند طويل لضبط كلا القطر والسمك خلال العملية .من محددات هذه الطريقة عمليا هو أن طول العمود الساند يحدد طول الأنبوب الذي يمكن سحبه.

النوع الثاني موضح في شكل 34-b يستخدم ألبلك الطائف (Floating plug) يصمم شكله بحيث يجد موقع طبيعي Natural في منطقة الاختصار (Reduction zone) للقالب . وهذه الطريقة تزيل التحديدات المتعلقة بطول الشغلة الموجودة في المحور الثابت .

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة:	المحاضرة السابعة	اسم التدريسي:	د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

1. **ميتالورجيا المساحيق Powders Metallurgy**
2. **خاصية المساحيق الهندسية**
3. **إنتاج المساحيق المعدنية**
4. **الكبس والتلبيد**

المحتويات التفصيلية:

ميتالورجيا المساحيق Powders Metallurgy

يطلق مصطلح ميتالورجيا المساحيق على تقنية معالجة المعدن وهي عملية تصنيع المنتوجات بأشكالها النهائية بكبس مسحوق معدني ناعم الى الشكل المطلوب للمنتوج ، والذي يجري في قالب معدني (Mold) مرتفع الثمن لذا فان ميتالورجيا المساحيق ملائم جدا للإنتاج المتوسط والكبير , تحت ضغط عالي ثم تسخين المسحوق المكبوس بعملية التلبيد (Sintering) بفترة زمنية محددة وتتم عادة في درجة حرارة أقل من درجة حرارة الانصهار للمعدن للمسحوق الذي قد يتكون من مزيج من مساحيق معادن مختلفة.

ان عملية ميتالورجيا المساحيق تتألف من خمس خطوات رئيسية-:

1. **انتاج مسحوق معدني (Preparing powder) .**
2. **مزج واعداد المسحوق للعملية (Mixing) .**
3. **كبس المسحوق الى الشكل المطلوب للمنتوج (Pressing) .**
4. **تسخين أو تلبيد الشكل الناتج من عملية الكبس في درجة حرارة مرتفعة (Sintering) .**
5. **بالإضافة الى عدة خطوات اخرى لغرض الحصول على منتوجات ذات مواصفات خاصة (Finishing) .**

خاصية المساحيق الهندسية :

يمكن تعريف المسحوق بأنه دقائقي صلد ناعم

المميزات الهندسية

يمكن تعريف هندسية الحبيبات بما يلي :

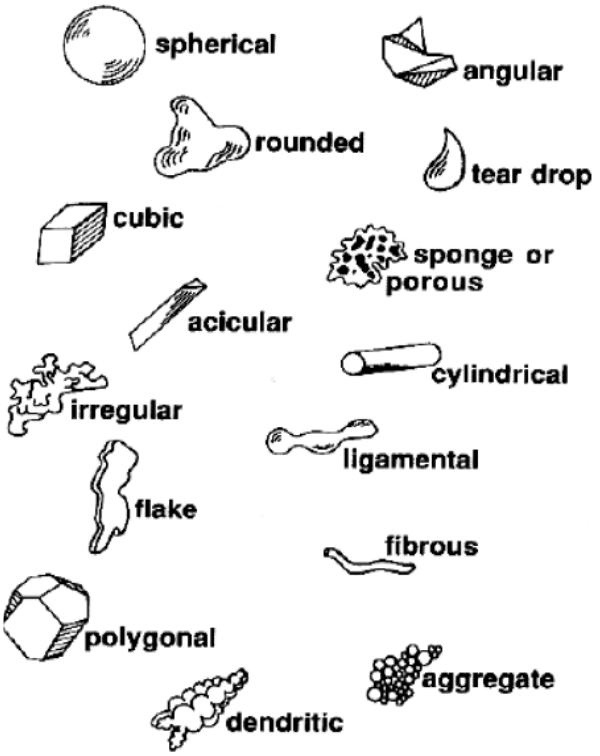
1. **حجم الحبيبة وتوزيعها .**
2. **شكل الحبيبة وبنيتها الداخلية .**

3. المساحة السطحية .

ـ حجم الحبيبة وتوزيعها : يقصد بحجم الحبيبة هو أبعاد الحبيبة الواحدة . إذا كانت الحبيبة كروية فان بعد واحد كاف لإيجاد الحجم . أما للأشكال الأخرى يوجد الحاجة إلى بعدين أو أكثر . يوجد عدة طرق لإيجاد أحجام الحبيبات . أكثر طريقة معروفة هي استخدام غربال يحتوي على فتحات شبكة (Mesh) بأبعاد مختلفة . تستخدم عبارة (Mesh count) لتدل على عدد الفتحات لكل انج خطي linear inch للغربال .فـ 200 تعني وجود 200 فتحة لكل انج خطي . وبما أن الشبكة مربعة فان الرقم يستخدم في كلا الاتجاهين وان العدد الكلي للفتحات لكل انج مربع هو 200^2 أي 40 000 . لذا كلما كبر الرقم يدل على حجم حبيبة أصغر . يصنف حجم الحبيبات وذلك بإمرارها خلال عدد من الغرابيل بحيث يصغر حجم شبكتها بالتعاقب . ربما يسمى حجم مسحوق ما 200 size 230 through وهذا يدل على إن المسحوق قد مرّ خلال 200 mesh ولم يمر خلال 230 , ولغرض جعل التصنيف أسهل نقول ببساطة بان حجم الحبيبة هو 200 .

ـ شكل الحبيبة وتركيبها الداخلي :

يمكن تقسيم أشكال مسحوق المعدن إلى أنوع مختلفة , وكما موضح في شكل (35) , سوف يكون هناك اختلاف في أشكال الحبيبة في مجموعة من المساحيق و كما في حجم الحبيبة الذي يتغير.
إن المقياس البسيط والمفيد لشكل الحبيبة هو *نسبة* المظهر (Aspect ratio) وهي نسبة أقصى بعد لأدنى بعد لحبيبة ما . نسبة المظهر لحبيبة كروية هو 1.0 ولكن لحبة أبرية الشكل (Acicular grain) ربما 2 إلى 4 . يتطلب استخدام تقنيات ميكروسكوب لتعيين خصائص الشكل .
أي حجم لمساحيق سوف يحتوي على مسامات (Pores) بين الحبيبات والتي تسمى بالمسامات المفتوحة (Open pores) لأنها خارجية بالنسبة للحبيبات . إن المسامات المفتوحة هي فضاءات والتي فيها يمكن أن تنفذ السوائل كالماء والزيت أو المعدن المنصهر . بالإضافة إلى ذلك يوجد مسامات مغلقة (Closed pores) وهي فجوات داخلية في تركيب الحبيبة . إن وجود هذه المسامات الداخلية عادة صغير جدا وتأثيرها في حالة وجودها قليل ولكنها تؤثر على قياسات الكثافة



شكل (35)

ـ المساحة السطحية :

نفرض أن شكل الحبيبة كروي فان المساحة والحجم هما :

$$A = \pi D^2$$

$$V = \frac{\pi D^3}{6}$$

نسبة المساحة للحجم :

$$\frac{A}{V} = \frac{6}{D}$$

عموما يمكن التعبير عن نسبة المساحة – إلى – ا لحجم لشكل ما سواء كان كروي أو غير كروي كما يلي :

$$\frac{A}{V} = \frac{K_s}{D} \quad \text{or} \quad K_s = \frac{AD}{V}$$

حيث Ks = عامل الشكل (shape factor) و D كحالة عامة = قطر الكرة التي حجمها مكافئ لحجم حبيبة غير كروية ملم (انج).

Ks للكرة = 6.0 , ولشكل غير كروي < 6.0

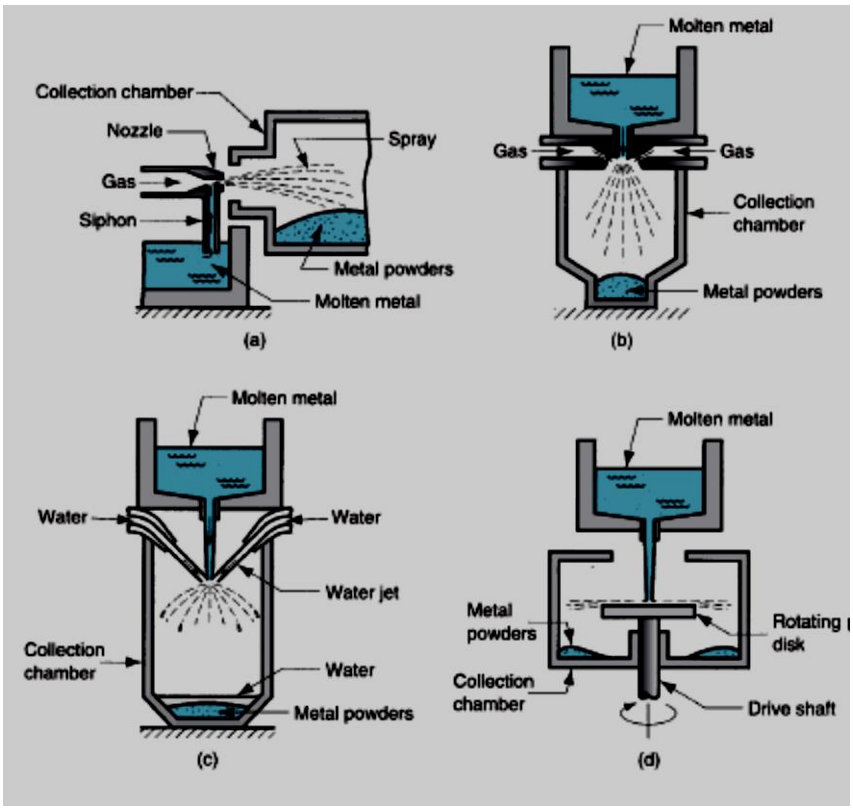
ممكن القول من المعادلات أعلاه . للحبيبات الأصغر حجما وأكبر معامل شكل (Ks) يعني مساحة سطحية أعلى لنفس الوزن الكلي لمساحيق المعدن . وهذا يعني أن المساحة التي تتعرض للأكسدة أكبر .أن الحجم المسحوق الصغير يودي أكثر لتجمع الحبيبات , وهذا يعتبر عيب في عملية التغذية الأوتوماتيكية للمساحيق . إن سبب استخدام حجوم حبيبات أصغر لأنهم يعطون تقلص منتظم وخواص ميكانيكية أفضل في المنتج النهائي .

إنتاج المساحيق المعدنية :-

1- التذرية او(التحويل الى رذاذ) The atomization :

تتضمن الطريقة تحويل المعدن المنصهر الى رذاذ (Spray) من القطرات التي تتصلب لتصبح مساحيق . وهذه الطريقة يمكن استخدامها لمعظم المعادن سواء كانت سبائك أو معادن نقية .

يوجد عدة طرق لتكوين رذاذ المعدن المصهور , والتي عدد منها موضح في الشكل (36) .



شكل (36) : (a , b) ترذيذ بالغاز (c)الترذيذ بالماء.(d) الترذيذ بالطرد المركزي باستخدام قرص دوار

2- التشغيل والتجليخ والبرادة (Machining ,Grinding and Filling) .

3- الطرق الكيمياوية كطريقة الاختزال الكيميائي Chemical Reduction :

تتضمن تفاعلات كيميائية والتي بها تختزل المركبات الى مساحيق عناصر معدنية, من الطرق المعروفة هو الحصول على المعادن من اكاسيدها باستخدام عوامل اختزال كالهيدروجين وأول أكسيد الكاربون – يستخدم للحديد والتنكستن والنحاس .

وطريقة أخرى والتي تترسب العناصر المعدنية من إذابة أملاحها في ماء – مساحيق من النحاس والنيكل والكوبالت يمكن إنتاجها بهذه الطريقة

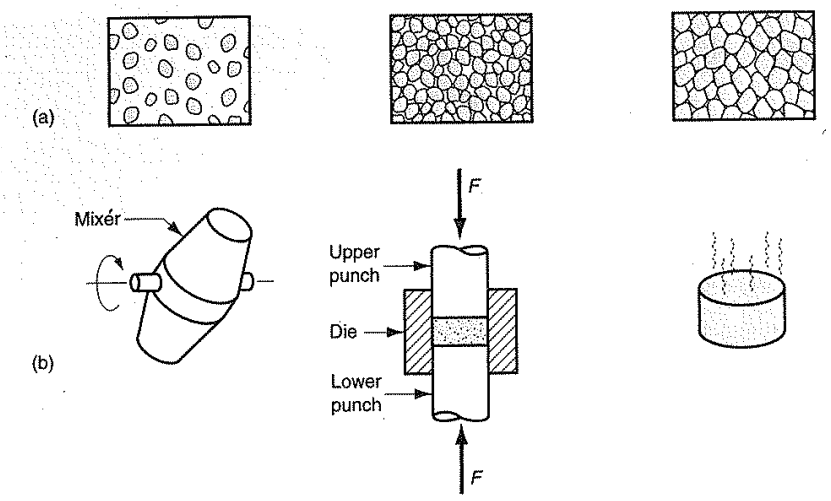
4-التحلل الكهربائي Electrolysis :

وذلك بجعل المعدن المطلوب أنودا , وهذا يذوب ببطء عند تسليط فولتية وينتقل خلال الالكتروليت ويترسب على الكاثود . يؤخذ المعدن المرسب ويغسل ويجفف ليحصل مسحوق معدني بنقاوة عالية جدا , تستخدم هذه التقنية لإنتاج مسحوق البريليوم والنحاس والحديد والفضة والتيتانيوم والتانتاليوم .

الكبس والتلبيد

بعد إنتاج مساحيق المعادن فان الطريقة التقليدية لتتابع ميتالورجيا المساحيق تتضمن ثلاث خطوات :

1- خلط المساحيق .
2- الكبس , وفيها تكبس المساحيق الى الشكل المطلوب .
3- التلبيد (Sintering) , يتم التسخين الى درجة حرارة تحت درجة حرارة الانصهار لتسبب الربط في الحالة الصلبة (Solid – state bonding) للحبيبات وبالتالي زيادة المقاومة . (strengthening) هذه الخطوات موضحة في الشكل (37) .



شكل (37)

تضاف المواد التالية الى المساحيق المعدنية عادة عند خطوة الخلط و المزج :

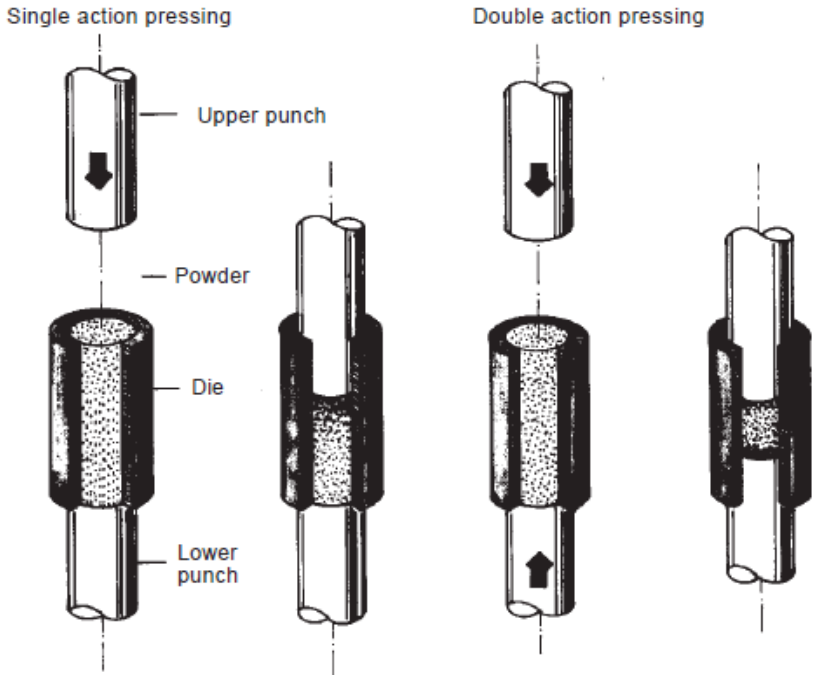
1- مزيتات كأملاح او استرات الخارصين والألمنيوم وبكميات قليلة لتقليل الاحتكاك بين الحبيبات والقالب خلال الكبس .

2- مواد رابطة (Binders) كالكوبلت واللازمة في بعض الحالات للحصول على مقاومة كافية للقطعة المكبوسة ومقاومة الصدمات وقبل التلبيد . 3- مواد مزيلة الاندماج والتلبد (Deflocculated) , والتي تمنع تكتل المساحيق لتجعل خاصية الانسياب أفضل خلال العملية اللاحقة .

عملية الكبس (أو الدمج) Compaction :

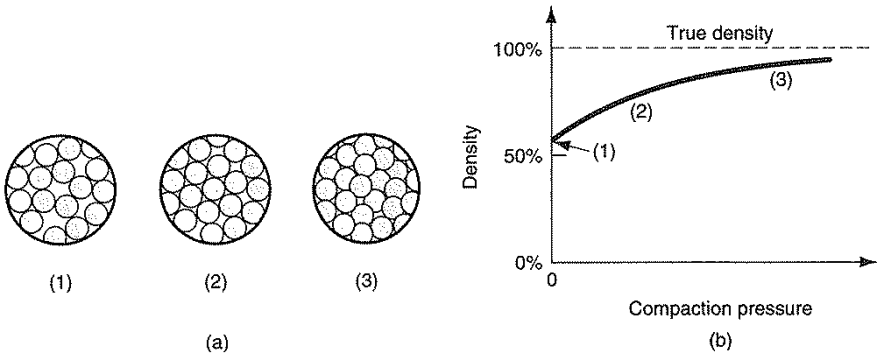
يستخدم ضغط عالي على المساحيق لتشكيلها الى الشكل المطلوب . لقد تم تطوير عدد من اساليب كبس المساحيق المعدنية حيث ان كل من هذه الاساليب يعطي منتوج مختلف سواء من حيث الحجم والشكل او من حيث الخواص الفيزيائية , وتستعمل اساليب الكبس الاحادية الاتجاه (Single acting pressing) لإنتاج منتوجات صغيرة الحجم عادة كما في الشكل (38) . في حين ان هناك اساليب اخرى تستخدم لإنتاج منتوجات كبيرة الحجم منها :

- المكبس ذو الفعل المزدوج (Double acting pressing) حيث يتم كبس المنتج بمكبسين علوي وسفلي في نفس الوقت مما ينتج مسبوكا اكثر تجانسا في الكثافة والخواص الاخرى شكل (38) .
- المكبس بالضغط المتساوي الى كافة الاتجاهات (وهي عملية تسليط ضغط متساو الى كافة الاتجاهات على مسحوق موضوع داخل قالب مرن مسدود بإحكام باستخدام ضغط سائل او ضغط وسط غازي .
- الكبس الانفجاري وذلك بتسليط مادة متفجرة على قالب المسحوق المعدني .
- كبس المساحيق المعدنية بالدرفلة .



شكل (38)

إن عملية الكبس تنظم المسحوق وتقلل المسامات بين الحبيبات وتزيد نقاط التماس بينهم . وعند زيادة الضغط يحصل تشويه لدن للحبيبات وهذا يؤدي الى زيادة مساحات التماس بين الحبيبات ويجعل حبيبات أخرى تتماس أيضا ويلازم ذلك نقصان بالمسامات . والتقدم موضح بالشكل (39) .



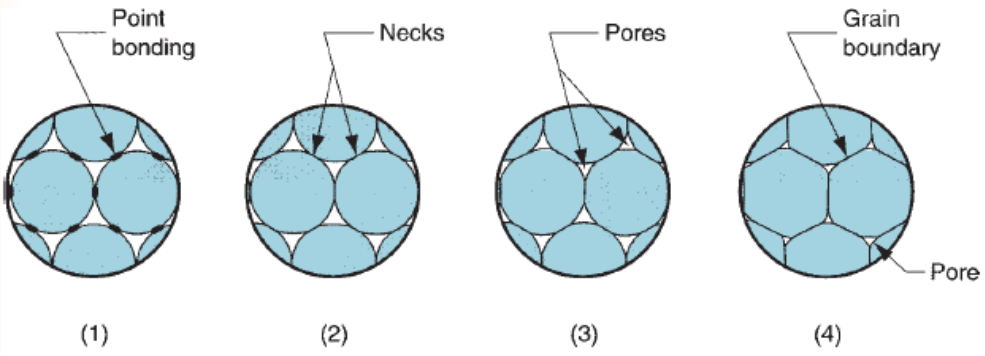
شكل (39)

التلبيد Sintering:

بعد الكبس تكون مقاومة وصلادة الجزء قليلة . إن التلبيد هي معالجة حرارية تجرى على الجزء المكبوس لربط حبيباته المعدنية مما يزد المقاومة والصلادة . تتم العملية عادة في درجات حرارة بين (0.7 و 0.9) من درجة حرارة الانصهار. ويطلق في بعض الأحيان العبارة التلبيد في الحالة الصلبة – solid sintering (state) أو في بعض الأحيان يطلق تلبيد الطور الصلد (Solid – phase sintering) لهذا التلبيد التقليدي , وذلك لبقاء المعدن غير منصهر في درجات الحرارة المعالجة هذه .

إن القوة المحركة للتلبيد هو نقصان طاقة السطح . يحتوي الجزء بعد الكبس على حبيبات عدة واضحة لكل واحدة لها سطحها , لذا فان مجموع مساحة السطح في الجزء المكبوس عالية جدا .تحت تأثير الحرارة تقل مساحة السطح نتيجة تكوين ونمو الارتباطات بين الحبيبات والتي يلازمها تقليل في الطاقة السطحية .

إن تسلسل الرسومات في شكل (40) يبين في مقياس ميكروسكوبي التغيرات التي تحصل خلال تلبيد للمساحيق المعدنية . يتضمن التلبيد انتقال كتلي لتكوين التخصرات (Necks) وتحويلها الى حدود الخلايا (grain boundaries) . إن الميكانيكية الأساسية التي يحصل فيها هذا هو الانتشار (Diffusion) مع ميكانيكيات أخرى محتملة تشمل انسياب المعدن (Metal flow) .



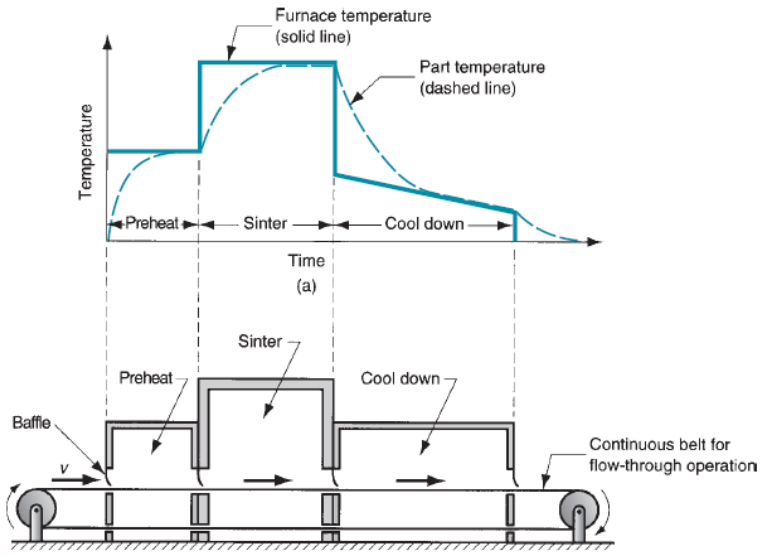
شكل (40)
عملية التلبيد بمقياس ميكروسكوبي : 1- بدأ الربط بين الحبيبات في نقاط التماس
2- نمو مناطق التماس الى تخصرات necks . 3- يقل حجم المسامات بين الحبيبات .
4- تبدأ حدود الخلايا grain boundaries بين الحبيبات في المناطق المتخصرة

ويحصل تقلص خلال التلبيد نتيجة تقليل حجم المسامات , وهذا يعتمد الى حد كبير على كثافة الجزء المكبوس قبل التلبيد والذي بدوره يعتمد على الضغط المستخدم خلال الكبس .

تتضمن عملية المعالجة الحرارية عموما ثلاث خطوات

1- تسخين (Preheat) أولي لحرق المزيتات والمواد الرابطة .
2-
3- التلبيد.
4- التبريد.

وكما موضح في الشكل (41)



شكل (41)

والجدول التالي يوضح درجات حرارة التلبيد والأزمان لبعض المعادن المختارة :

	Sintering Temperatures		
etal	°C	°F	Typical Time
ass	850	1600	25 min
onze	820	1500	15 min
pper	850	1600	25 min
on	1100	2000	30 min
ainless steel	1200	2200	45 min
ngsten	2300	4200	480 min

الكبس والتلبيد في وقت واحد (Combined Pressing and Sintering) :

وفيه يتم الكبس والتلبيد في خطوة واحدة وتسمى هذه الطريقة ب (Hot pressing) حيث يتم الحصول على مساحيق عالية الكثافة .

التلبيد في الطور السائل Liquid Phase Sintering :

إن التلبيد الاعتيادي هو تلبيد الحالة الصلبة كما ذكر سابقا . في بعض الحالات الخليط يحتوي على مسحوق لمعدنين ذي درجتي انصهار مختلفتين ,يستخدم نوع تلبيد بديل يسمى تلبيد الطور السائل .في هذه الطريقة يخلط المسحوقين بالبداية ثم يسخنان إلى درجة حرارة عالية بحيث تصهر المعدن ذا درجة الانصهار المنخفضة وليس الأخر .إن المعدن المنصهر سيبلل حبيبات الصلبة مكونا تركيب كثيف مع ربط متين بين المعدنين بعد

التصلب . واعتمادا على المعادن المستخدمة فالتسخين الطويل قد يسبب تسابك بينهم وذلك بالذوبان التدريجي للحبيبات الصلبة في السائل المنصهر أو انتشار للسائل في الصلب . في كلا الحالتين فان الناتج سيكون كثيف (لا يوجد مسامات) وقوي . أمثلة على ذلك

Fe – Cu
W – Cu
Cu – Co

أمثلة على منتجات باستخدام ميتالورجيا المساحيق :
إن الأجزاء التي تصنع عادة بهذه الطريقة هي : بعض المسننات (Gears) والمحامل (Bearings) و الروابط (Fasteners) و أجزاء التماس الكهربائي (Electrical contacts) وأدوات القطع (Cutting tools) وأجزاء مختلفة للمكائن .

مثال : انتاج محامل (**Oil-less bearing**) :

1. **Graphite powder + Copper powder + Tin powder are compressed to make bronze bearing .**

2. **Sintering at (800°C) the Tin melts and soldering the Copper particles together.**

3. **Quenched in lubrication oil .**

مزايا وعيوب عملية تشكيل مساحيق المعادن :

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

1. ان منتوجات هذه العملية لا تحتاج الى عمليات اضافية للتشكيل او التشغيل , حيث يمكن استعمالها مباشرة .
2. خطوات انتاج المنتوجات سهلة وذات كفاءة انتاجية عالية .
3. تتوفر امكانية انتاج منتوجات لا يمكن تشكيلها او تكون صعبة التشكيل بطرق التشكيل الاعتيادية للتشكيل .
4. تتوفر امكانية كبيرة لتغيير التركيب الكيمياوي للمنتوجات عن طريق التحكم في مزيج المسحوق وبالتالي توفر امكانية الحصول على الخواص المتباينة .
5.

ومن اهم عيوب هذه العملية :

1. صعوبة انتاج المنتوجات ذات الاشكال المعقدة .
2. معظم منتوجات هذه الطريقة تكون ذات مقاومة ومتانة اقل من منتوجات عمليات التشكيل الاخرى .
3. ارتفاع تكاليف صناعة القوالب والمكابس المستخدمة في العملية .

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

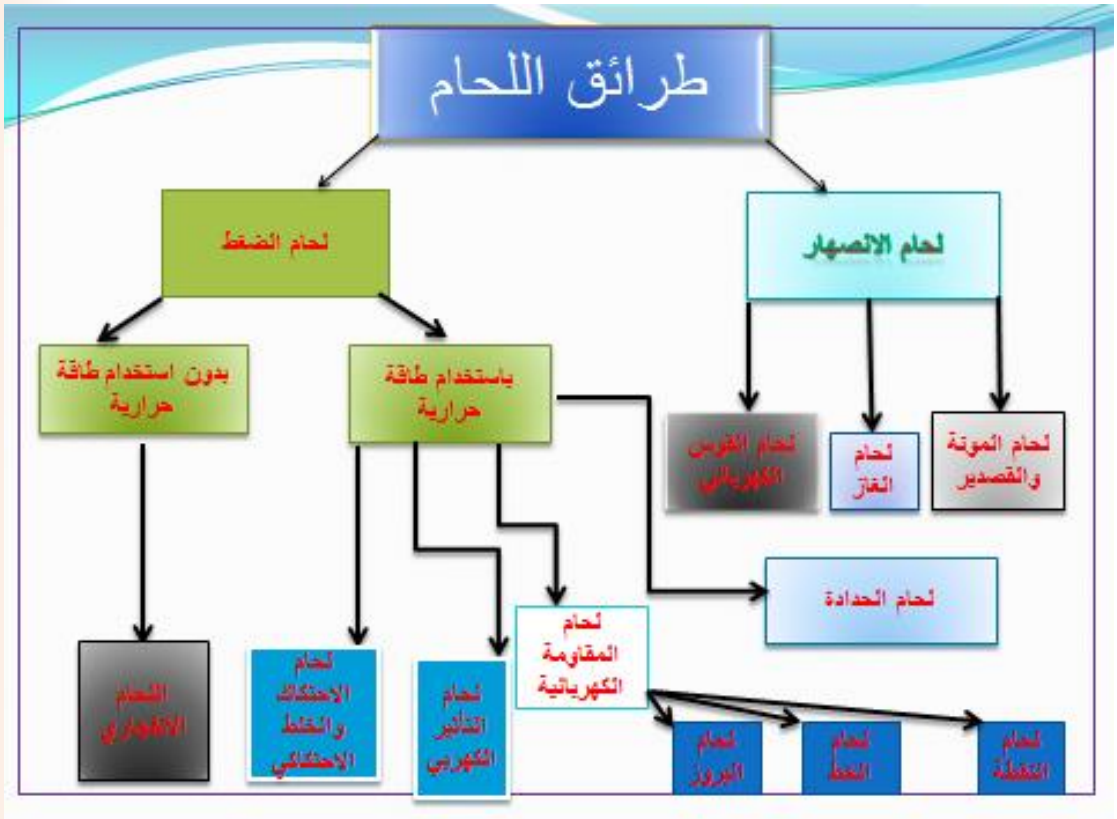
تسلسل المحاضرة:	المحاضرة الثامنة	اسم التدريسي:	د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

1- عمليات اللحام Welding Processes
2- اللحام الانصهاري (Fusion Welding)
3- اللحام بالأقطاب المغطاة (اللحام اليدوي) Manual Metal Arc

المحتويات التفصيلية:

عمليات اللحام Welding Processes



شكل (54) : بعض طرائق اللحام

تعرف عملية اللحام : بانها عملية وصل المعادن او السبائك باستخدام الحرارة او الضغط او كلاهما وتكون الوصلة الناتجة وصلة دائمة لا يمكن فكها دون الاضرار بالجزئين المتصلين .

تقسم طرائق اللحام الى صنفين رئيسين :-

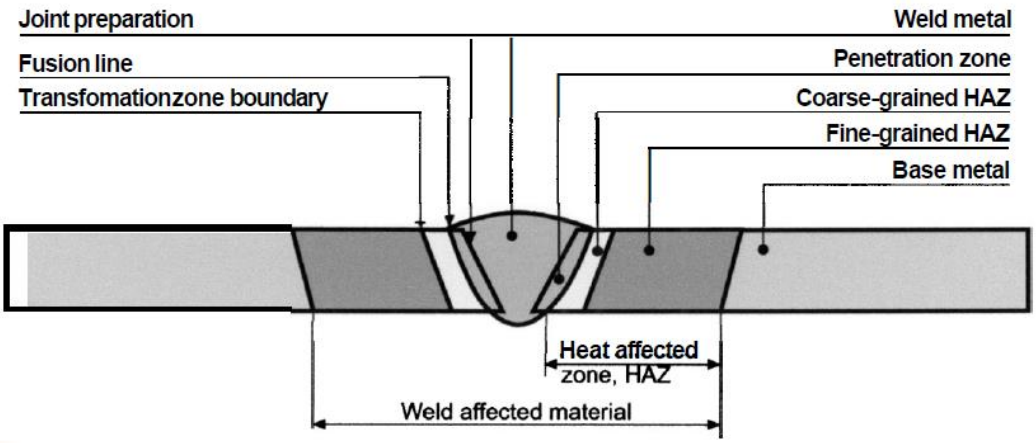
أولا : - لحام الانصهار Fusion Welding:-

وفيه يتم الوصل بصهر الجزأين المراد لحامهما وقد تتم عملية اللحام بإضافة أو عدم اضافة معدن مالئ (filler metal) . ويشمل : لحام القوس الكهربائي , لحام المونة والقصدير , اللحام الغازي , وطرق لحام انصهار اخرى..

ثانيا : - لحام الحالة – الصلبة Solid- State Welding :-

فيه يتم الوصل نتيجة استخدام الضغط وحده أو استخدام الحرارة والضغط معا . عند اللحام تكون درجة الحرارة تحت درجة حرارة الانصهار للمعدن الملحوم مثل لحام المقاومة الكهربائية ولحام الاحتكاك ولحام الخلط الاحتكاكي واللحام الانفجاري ....الخ .

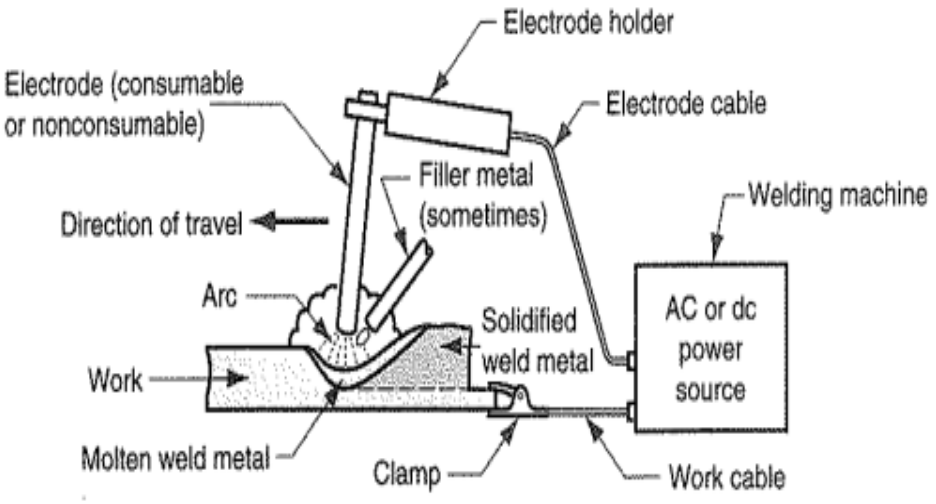
والشكل التالي يبين مناطق اللحام الرئيسية (منطقة الوصل) :



شكل (55) : المناطق الاساسية لمنطقة الوصل

اللحام الانصهاري (Fusion Welding)

لحام القوس الكهربائي Electric Arc Welding



شكل (56) : لحام القوس الكهربائي

القوس الكهربائي The Arc

- الاقطاب Electrodes

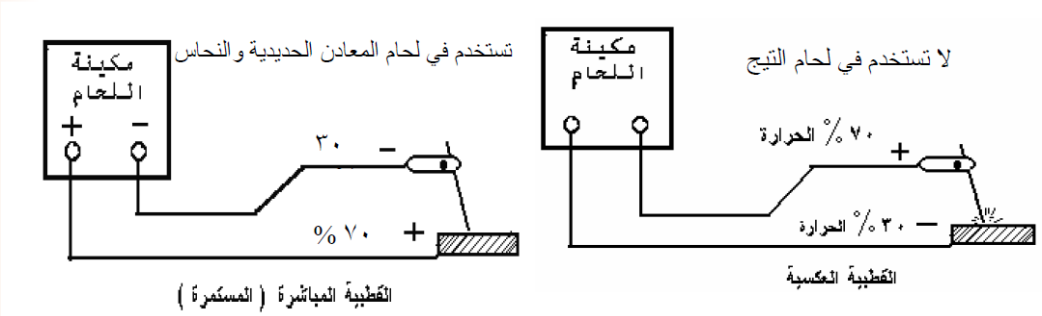
1- قطب مستهلكة (Consumable)

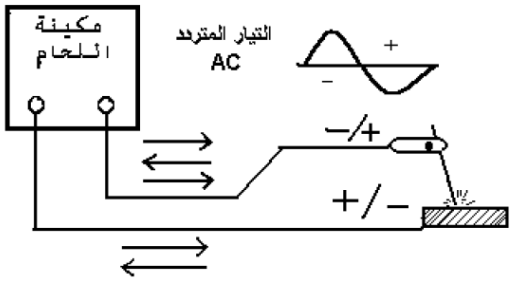
2- قطب غير مستهلكة (Non consumable)

1. **تأثير القطبية على اللحام : 1. DCSP OR DCEN (Straight Polarity)**

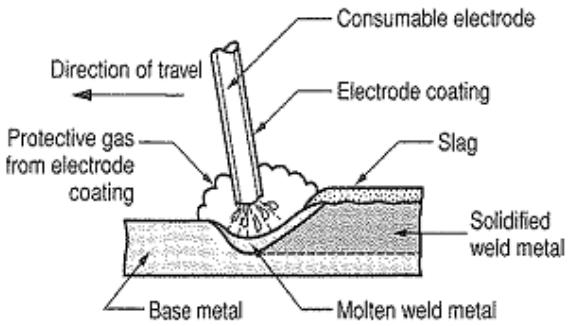
DCRP OR DCEP (Reverse Polarity) . 2

AC . 3





1- اللحام بالأقطاب المغطاة (اللحام اليدوي) Manual Metal Arc Welding (MMAW) 0r Shielded Metal Arc Welding (SMAW)



تستخدم في اللحام أقطاب مستهلكة مغطاة (Consumable coated electrode) .

يحتوي ***غلاف القطب electrode coating*** على مواد مختلفة (الفلكس flux) لكي توفر الحماية للقوس الكهربائي .يجب أن يكون معدن سلك القطب مشابه للمعدن المراد لحامه أي ان تركيبه يكون مقارب جدا لتركيب المعدن الاساس .

الغاية الأساسية للغلاف (الفلكس) :-

1- لاستقرار القوس (arc) الكهربائي ولتأيين جو القوس وتحسين انتقال المعدن من القطب إلى الشغلة (مثال: وجود TiO_2)

2- لتوليد غازات واقية لمنع معدن اللحام المنصهر من الأكسدة الجوية فمثلا تضاف مادة سليلوزية التي تحترق لتولد غاز يحمي منطقة اللحام من الأكسيجين والنتروجين الموجودان في الهواء

$$C_6H_{10}O_5 + 3O_2 \rightarrow \underline{6CO} + 5H_2O$$

غاز مختزل يحيط بالمعدن المنصهر عند انتقاله من القطب إلى الشغلة

3- لتكوين غطاء من الخبث على سطح معدن اللحام المنصهر . مثلا السليكا SiO_2 تتحد مع الاكاسيد الموجودة والناتج يذهب الى الخبث المنصهر

4- للتزويد بالمواد مزيلة للأكسيجين (DE- oxidant) والتي تتفاعل مع الأكسيجين الذائب في معدن اللحام والحفاظ على العناصر السبائكية فيه .مثال يضاف (Ferro-Silicon) للغلاف .

5- لتزويد اللحام بالعناصر السبائكية من خلال الغلاف عندما يراد ذلك

6-لتسهيل الفصل النظيف للخبث (Slag) من المعدن بعد التجمد .

<u>فوائد الخبث (Slag) الذي يتكون على سطح اللحام:</u>

1 - يحمي معدن اللحام من الاكسدة

2- يعمل كفلكس والذي يذيب الاكاسيد والشوائب الاخرى الموجودة في البركة المنصهرة .

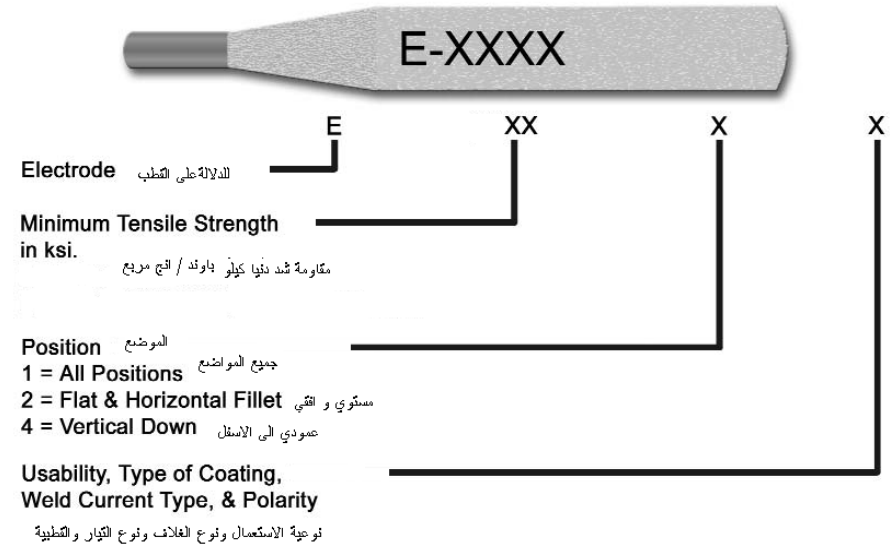
3- يساعد على خلط المعدن القادم من سلك اللحام والمعدن الاساس

4 - يعمل كعازل حراري بعد اللحام والتجمد

5 - يساعد على تحسين سطح معدن اللحام.

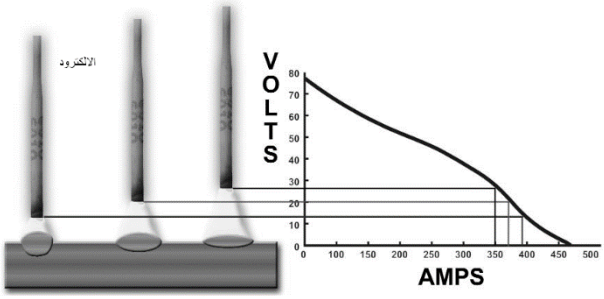
القطب (<u>THE ELECTRODE</u>) :

يوجد نظام رقمي على الاقطاب(الالكترودات) فمثلا :النظام الامريكي A.W.S (<u>A</u>merican <u>W</u>elding <u>S</u>ociety)



في بعض الاحيان يضاف حرف مع رقم والذي يعني اضافة عنصر سبائكي الى معدن للحام وخاصة في لحام الصلب السبائكي.

تغيير الفولتية والتيار في مصدر قدرة لحام اعتيادية Traditional Welding Power Source :



يعتمد اختيار عوامل القدرة (الفولتية والتيار) الملائمة على المعادن المراد لحامها ونوع الالكترود وطوله وعمق تغلغل اللحام المطلوب

. قلما تستخدم هذه الطريقة (<u>اللحام بالأقطاب المغطاة</u>) في لحام الألمنيوم وسبائكه والنحاس وسبائكه والتتانيوم.

ملاحظة : ينبغي وضع الأقطاب (electrodes) في فرن عند فتح غلاف الالكترودات لإيقاف امتصاصهم الرطوبة من الجو ولتجفيفهم.

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة: **المحاضرة التاسعة** **اسم التدريسي:** **د.محمد نجيب عبدالله**

المحاور الرئيسية:

1- لحام القوس الكهربائي المحمي بغاز خامل باستخدام قطب غير مستهلك

2- لحام القوس الكهربائي المحمي بغاز خامل باستخدام القطب المعدني المستهلك

3- لحام القوس الكهربائي المغمور

4- لحـام قوس البلازما

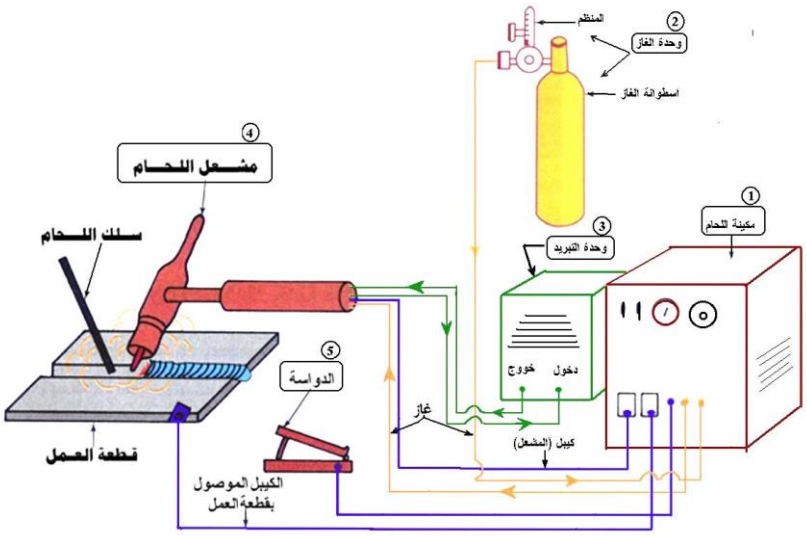
5- لحام الثرميث

المحتويات التقصيلية :

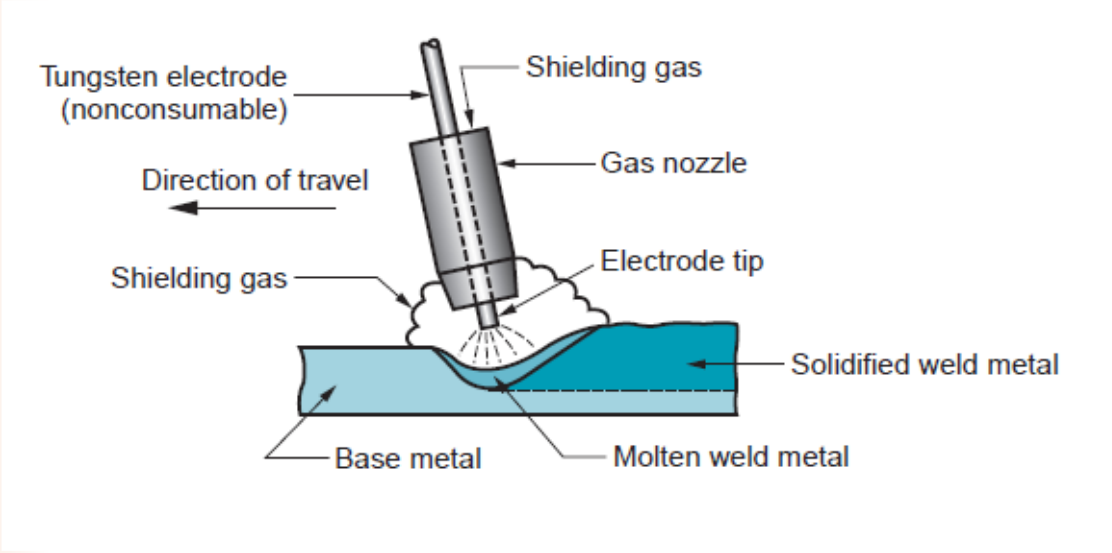
2. لحام القوس الكهربائي المحمي بغاز خامل باستخدام قطب غير مستهلك

TIG Welding

Tungsten Inert) : (Gas-TIG



في هذا اللحام ينشأ القوس بين الشغلة والقطب الذي يكون ***غير مستهلك*** والمصنوع من التنكستن وذلك لكون التنكستن ذي درجة انصهار عالية مما يجعله يقاوم الحرارة العالية الناتجة أثناء اللحام لكي لا تحصل فيه تعرية. ويستخدم في عملية اللحام سلك إضافي والذي يجب أن تنصهر نهايته في داخل جو القوس الناشئ , ويستخدم غاز خامل كالاركون أو الهليوم أو خليط منهما كغازات واقية لمنطقة اللحام من التأكسد من خلال النوزل الذي يحيط القطب وهذا النوزل يقوم بتوصيل غاز الحماية إلى منطقة اللحام .



عندما يكون التيار DC والقطب (الالكترود Electrode) سالب, وهنا يرمز بـ DCEN أي (DC-Electrode Negative) سيعمل القطب في درجة حرارة أقل من كون القطب موجب والشغلة سالبة والتي يرمز لها بالرمز DCEP (DC-Electrode Positive) .

عند استخدام قطبية DCEN فإن الحرارة المتولدة على سطح الشغلة تكون أكبر من تلك التي على القطب وبالتالي يكون تغلغل الحرارة في الشغلة أعمق بينما يكون القطب أبرد نسبيا ويتعرى بشكل أقل مما يحافظ على نهايته المدببة . إن السبب في ذلك هو أن الإلكترونات تسري من نهاية القطب إلى الشغلة بينما الأيونات الموجبة تنتقل بالاتجاه المعاكس.

عندما تكون القطبية DCEP فإن الإلكترونات تصطدم بسطح ألقطب .تتداخل الاكاسيد مع تدفق الإلكترونات فتمنع الاندماج في المعدن ألسائل . بالإضافة إلى ذلك فان قذف طبقة الأكسيد بأيونات الغاز لها تأثير منظف مؤثر على سطح معدن اللحام نتيجة تفتيت طبقات الأكسيد ألمتماسكة نتيجة ذلك فان السبائك الخفيفة والتي تتأكسد بسهولة يمكن لحامها بشكل فعال باستخدام القطبية DCEP . رغم أن استخدام AC يعطي حلا وسطا بين الصهر السريع وتنظيف ألسطح . عموما تعتبر طريقة TIG ملائمة جدا للحام الصفائح الرقيقة والأنابيب وذلك لكون الحرارة الداخلة عند اللحام قليلة .

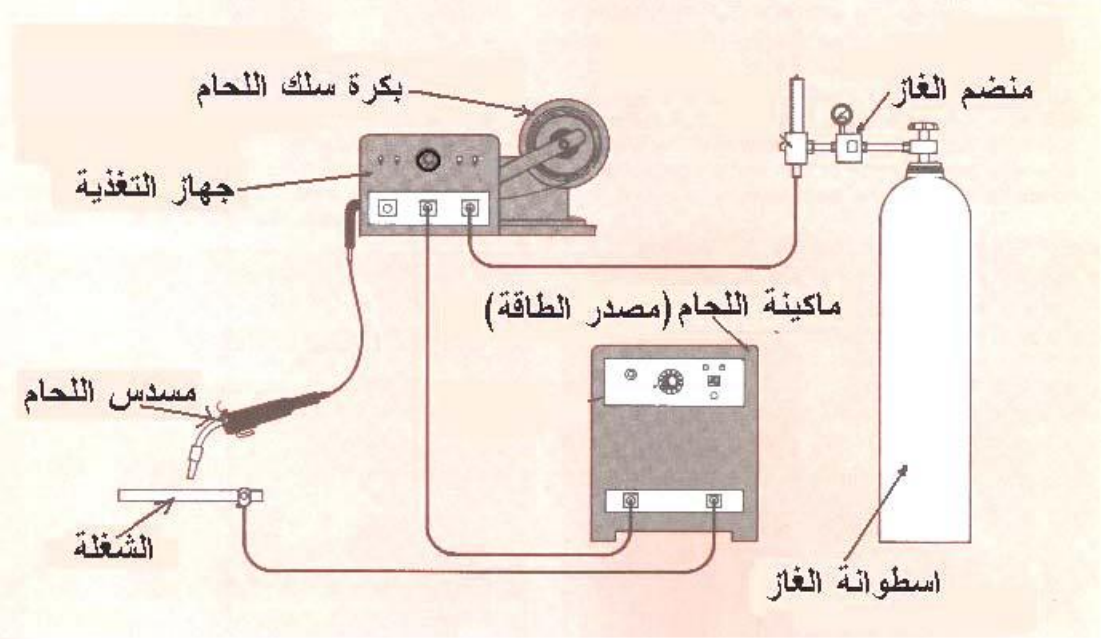
إن لحام TIG لا يسبب أي (Undercut) أو تغلغل زائد ويكون احتمال التشوه أقل ما يمكن مقارنة بأية طريقة أخرى . يعطي لحام TIG نوعية لحام فائقة ولكن بإنتاجية منخفضة وكذلك فان المعدن خال من الرش (Spatter).

6- لحام القوس الكهربائي المحمي بغاز خامل باستخدام القطب المعدني المستهلك

Metal Inert Gas (MIG) or Gas Metal Arc Welding (GMAW)

في هذه الطريقة يكون القطب مستهلك وعلى شكل سلك عاري(غير مغطى) وتتم الحماية بتغطية القوس the arc بغاز خامل . ويتم تزويد سلك اللحام بشكل مستمر واوتاموتيكي من بكرة spool . و يتحرك السلك من خلال فتحة

(النوزلnozzle) ليكون قوس كهربائي مع الشغلة المراد لحامها كما في الشكل التالي :

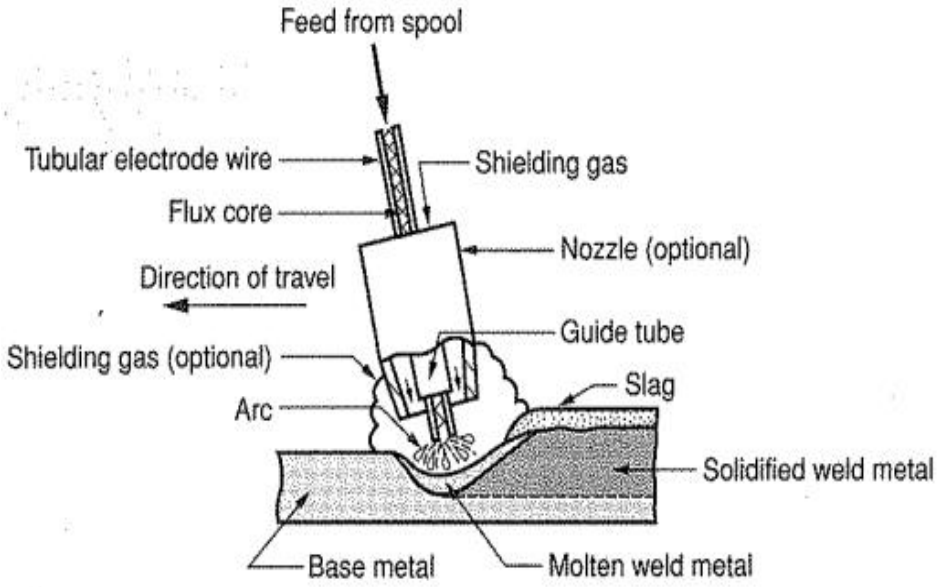


لحام (MIG)

تتراوح أقطار السلك المستخدم في هذه الطريقة بين (0.8 الى 6.5) ملم وتعتمد على سمك الأجزاء المراد لحامها وعلى معدل ترسيب المعدن المطلوب.
في طريقة لحام ال MIG تستخدم غازات خاملة للحماية كالاركون أ و الهليوم او خليط منها للحام الالمنيوم وسبائكه والصلب اللا يصدأ (Stainless Steel) بينما يستخدم الغاز الفعال CO2 بصورة عامة للحام الصلب المنخفض والمتوسط الكاربون..

على الرغم من استخدام غطاء من الغاز الخامل في طريقة MIG فلا تشترك هذه الطريقة كثيرا مع طريقة TIG , فبينما في الطريقة الأخيرة يستخدم عادة القطبية DCEN لتجنب التسخين الزائد لقطب التنكستن الذي يسبب التعرية فيه فإنه في طريقة لحام MIG عند استخدام التيار DC تستخدم القطبية DCEP بشكل ثابت حيث يستفاد من تأثيرها المنظف للسطح وكما شرح أعلاه . وبما أن صهر القطب (الالكترود) هنا مطلوب فلا توجد مشكلة في التسخين المفرط للقطب و وكذلك يمكن استخدام شدة تيار عالي في هذه الطريقة .
إن معظم أجهزة لحام الـ MIG مصممة للعملية شبه الأوتوماتيكية (Semi- Automatic) , حيث يوجه التورج (Torch) بواسطة العامل وتثبت باقي العوامل كالتيار وكمية الغاز الخامل وسرعة السلك وماء التبريد في حالة وجوده ... مسبقا قبل بدء اللحام.

***عند استخدام غاز CO2 (الرخيص الثمن مقارنة بالاركون) في لحام الصلب , تسمى الطريقة بالـ (MAG Metal Active Gas) أو طريقة لحام - CO2 وفي هذه الحالة يجب استخدام سلك القطب غني بعناصر إزالة الاكاسيد Deoxidents كالـ Mn : و Si وفي بعض الأحيان Al , لان CO2 قد يكون له تأثير مؤكسد عند درجات الحرارة العالية .**

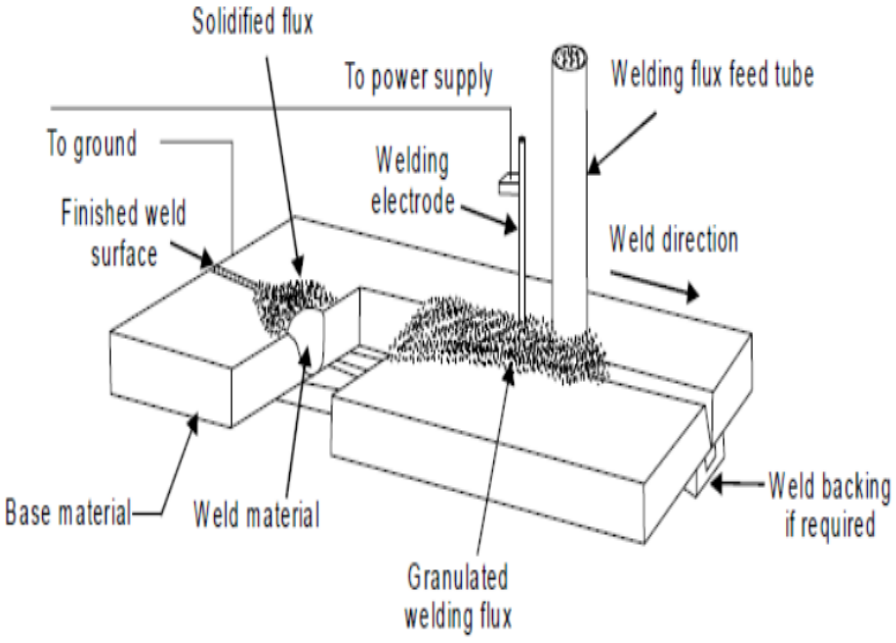


تعتبر طريقة لحام **MIG** ذات إنتاجية عالية . لا تحتاج هذه الطريقة مكائن غالية الثمن , ويمكن نقل مكائن اللحام بسهولة , مما يجعل هده الطريقة معروفة جدا في ألاماكن الإنشائية . يلعب الغاز الخامل وعوامل اللحام وكذلك السلك المستهلك دورا مهما في اللحام. يتم اختيار الغاز الحامي بعد أخذ النوعية المطلوبة والتكلفة وقابلية العمل في الاعتبار.

7- لحام القوس الكهربائي المغمور

Submerged Arc-Welding (SAW)

في هده الطريقة يزود الفلكس **flux** (والذي يكون على شكل مسحوق **powder**) إلى منطقة الوصل **joint** بواسطة أنبوب يسبق القوس الكهربائي بحيث يولد القطب المستهلك (السلك) قوس كهربائي تحت الفلكس وتنتج الطاقة اللازمة للحام من مرور تيار كهربائي بين القطب والشغلة من خلال وسط خاص وهذا الوسط هو خبث ينتج من صهر مسحوق الفلكس والذي فيه نهاية السلك . تكون بركة اللحام **weld pool** ونهاية القطب مغمورين تحت الفلكس.



الطريقة هي بشكل أساسي أتوماتيكية وتستخدم عندما يكون خط الوصل مستقيما. يفرغ مسحوق الفلكس في المنطقة المهيأة للوصل من خلال أنبوب يتقدم القطب ويثبت هذا الأنبوب على ماسك القطب electrode holder.

عند اللحام يحيط الفلكس النهاية المنصهرة للقطب ويغطي بشكل كامل القوس الكهربائي . ينصهر معظم الفلكس ويرتفع على سطح معدن اللحام المنصهر , وذلك نتيجة اختلاف الكثافة , حيث الخبث غطاء يحمي للحام . يزال الفلكس غير المنصهر بواسطة نظام شفط suction system لكي يستخدم ثانية . و بعد اللحام يمكن فصل الخبث عن سطح المعدن وبسهولة عندما يبرد.

القطب الذي يكون على شكل سلك عاري يلف على بكرة وهو عادة مطلي بالنحاس ليجعل المقاومة الكهربائية بين القطب والموصلات الكهربائية منخفضة مما يسهل تغذية التيار للقطب.

مزايا الطريقة:-

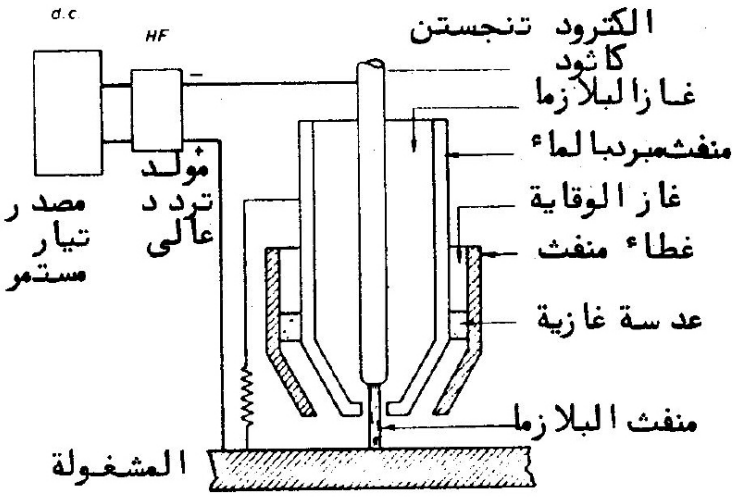
- نظرا لإمكانية استخدام تيار عالي فان سرعة اللحام تكون عالية والتغلغل penetration عالي مما يسهل لحام أسماك اكبر للصفائح والالواح ....الخ.
- تعطي هذه الطريقة سطح أملس جدا للحام الناتج (لان الحرارة الداخلة لمنطقة اللحام عالية مما يجعل تجمد البركة بطيء جدا وكذلك لكون الخبث الذي عليها ذو سيولة عالية نسبيا) .
- يكون سطح الشغلة المحيط باللحام خالي من رش spatter المعدن .
- نظرا للعزل التام من المحيط الجوي بواسطة الفلكس فان عملية الأكسدة تكون أقل ما يمكن , ويكون صوت القوس الكهربائي خافت جدا , كما لا يوجد الإزعاج الناتج من ضوء القوس أو الغازات الناتجة من اللحام .
- تكاليف أقل – كمية المعدن المالي المضاف أقل من الطرق الأخرى.

محددات الطريقة:-

- كون الفلكس المستخدم على شكل مسحوق لذا فان اللحام يجب أن ينفذ بشكل أفقي مالم تستخدم طرق أخرى لتثبيت الفلكس .
- لايمكن استخدام الطريقة لسمك أقل من 1.8 ملم.
- نظرا لعدم رؤية بركة اللحام فمن الضروري ضبط حركة القطب وذلك بتثبيت استقامة خط الوصل , ويجب إما أن ينظم انحراف راس جهاز اللحام بشكل دقيق ليتبع خط الوصل أو يجب تنظيم موضع الرأس باستخدام مؤشر أو عمود ضوء مركز يتقدم مسحوق الفلكس , وغالبا إذا ما كانت منطقة الوصل على شكل أخدود groove يستخدم جهاز يوجه بعجلة تسير في الحافة المهيأة للحام .

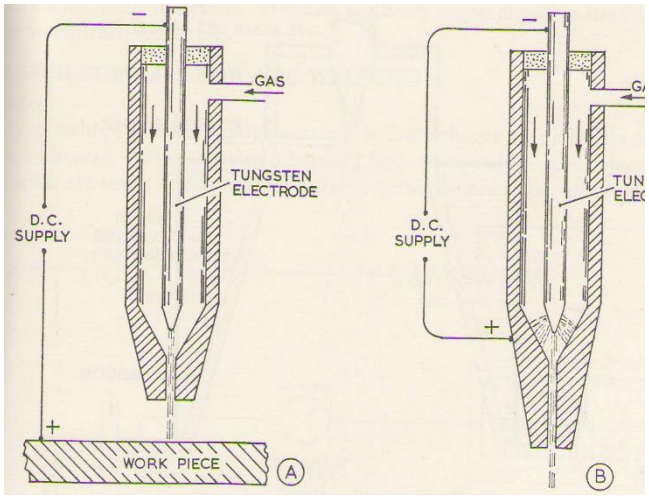
ملاحظة- إن الغايات من استخدام الفلكس هي نفس الغايات لغلاف القطب المذكور أعلاه في طريقة SMAW .

5 - لحـام قوس البلازما Plasma Arc Welding



هو نوع خاص من لحام ال TIG وفيه يوجه قوس البلازما الى منطقة اللحام . في هذه الطريقة يوضع قطب التنكستن في نوزل مصمم خصيصا ليركز سيل سريع من غاز خامل (كالاركون أو خليط من الاركون –هيدروجين أو النتروجين) الى منطقة القوس arc لتتشكل بلازما ساخنة وذات سرعة وتركيز عاليين

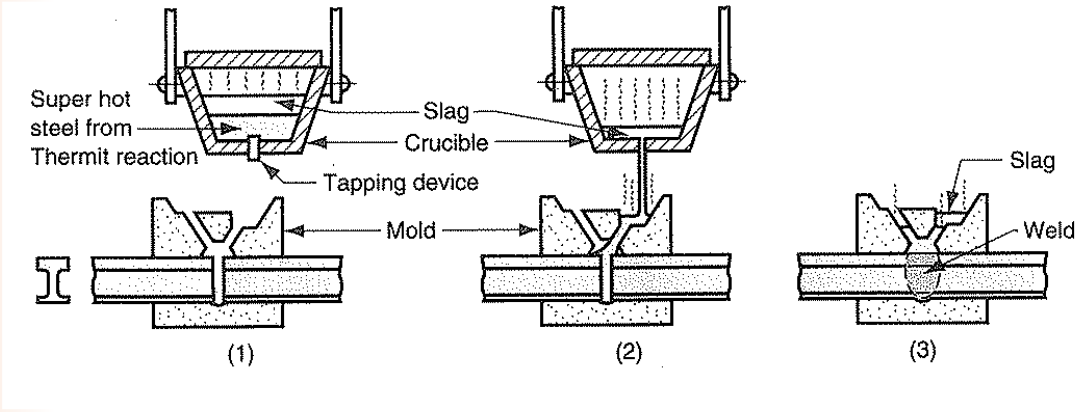
كما في الشكل. تصل درجة حرارة لحام قوس البلازما الى أعلى من 17000 درجة مئوية .ان سبب كون درجة الحرارة عالية بهذا الشكل(أكبر بكثير من درجة حرارة ال TIG) يأتي من تضييق القوس. فعلى الرغم من أن القدرة
المستخدمة أقل مستوى من تلك المستخدمة في ال TIG ولكن نظرا للتركيز الكبير لهذه القدرة والحصول على نفاذjet بقطر صغير وشدة قدرة عالية جدا يجعل درجة الحرارة عالية.



إن عبارة " بلازما " تستخدم لوصف كتلة من الغاز البالغ السخونة والذي قد تأين , أي أن ذراته وجزيئاته قد تكسرت إلى خليط من الإلكترونات والأيونات الموجبة .ويتم الحصول على هذه الحالة كما ذكر اعلاه نتيجة امرار غاز ملائم - كالأركون - أو خليط من الأركون والهيدروجين أو النتروجين خلال قوس كهربائي بممر مضيّق. تحت هذه الظروف يحصل تأين للغاز وينتج انبثاق للبلازما من نوزل (تورج)
يوجد نوعان لقوس البلازما وهما:-

ا Non transferred Plasma Arcالأول هو "*قوس البلازما غير المنتقل* "
إذا زود (التورج Torch) المستخدم في لحام TIG بنوزل مبرد بالماء, والذي يشكل حجرة chamber حول القطب, وإذا قدح القوس من القطب إلى هذه الحجرة فإنه يمكن أن ينبثق قوس البلازما من النوزل على شكل يشبه اللهب .أي هنا التورج يقدح القوس *من القطب* السالب *(الكاثود* Cathode *) إلى نهاية النوزل*, ويكون النوزل موجب (أنود Anode) .في هذه الطريقة لا يعتمد نفاث البلازما بصورة تامة على الشغلة حيث يكون مصدر القدرة من ضمن الجهاز(شكلB) . تعتبر هذه الطريقة ملائمة لتذرية المعدن metal spraying واللحام
النوع الثاني هو *Transferred Plasma Arc* " *قوس البلازما المنتقل* "
يتكون عندما يقدح القوس من*القطب* إلى *الشغلة* حيث يضيّق القوس عند مروره خلال فتحة النوزل (شكل A). ويستخدم هذا النوع من قوس البلازما في عملية القطع وذلك بسبب كثافة الطاقة العالية وسرعة البلازما .
إن من الضروري وجود قوس طيار من القطب إلى النوزل لبدء القوس (يشبه تورج قوس البلازما المنتقل تورج لحام التيك).
يمكن استخدام القوس المنتقل في اللحام بالاضافة للقطع. وعند استخدام قوس البلازما في اللحام يتطلب إستخدام غاز حامي خامل إضافي والذي يزود من خلال فتحة دائرية حول الغاز الأولي المار خلال حجرة قوس البلازما . يستخدم بصورة عامة تيار مستمر –القطب سالب ماعدا في لحام الألمنيوم حيث يكون القطب موجب .
إن المدى والذي يمكن تضييق القوس عند مروره خلال النوزل يؤثر إلى حد ما على درجة الحرارة الناتجة .وبما أن الحرارة تميل لتكون بشكل رئيسي على سطح الشغلة فإن هذه التقنية ملائمة لقطع المواد ذات المقاومة العالية للحرارة .

لحام الثرميت Thermit Welding



شكل (7)

لحام الثرميت : هو أحد أنواع لحام الانصهار وفيه تنتج الحرارة اللازمة للحام من المعدن المنصهر والمسخن جدا نتيجة التفاعل الكيميائي لخليط الثرميت (المتكون من مسحوق الألمنيوم وأكسيد الحديد). ويتم الحصول على المعدن المالئ من المعدن ألمنصهر وعلى الرغم من كونها طريقة تستخدم للوصل باللحام إلا أنها لها صفات مشتركه مع السباكة أكثر من اللحام.

عندما يشعّل مسحوق متكون من خليط من الألمنيوم وأكسيد الحديد في درجة حرارة حوالي 1200 م ° يحصل التفاعل التالي :

$4\ Al_2O_3 + 9\ Fe \longleftarrow 3\ Fe_3O_4 + 8\ Al$ يطفو على السطح كخبث + Heat حرارة

يطفو أكسيد الألمنيوم على سطح الحديد فيحميه من الجو بينما يفرغ الحديد من الأسفل في القالب المهيء للحام.

- تكون نسبة الألمنيوم إلى أكسيد الحديد كالنسبة الجزيئية في المعادلة أعلاه.

- يستخدم مشعّل *كبيروكسيد الباريوم* حيث يخلط قليلا منه مع مسحوق الألمنيوم ويوضع كتلّة منه على قمة خليط الثرميت وتوضع قطعة من شريط المغنيسيوم على قمة هذه التلة حيث تستعمل كمصهر . قد يستخدم لهب الأوكسي – أستيلين لتسخين خليط الثرميد وبدء التفاعل.

تصل درجة الحرارة بعد التفاعل الكيميائي إلى ما يزيد عن 2500 م°.

عادة يوضع الخليط في بودقة مبطنة بطبقة مقاومة للحرارة و لها فتحة من الأسفل وتوضع فوق المنطقة المراد لحامها (كما في الشكل 7) . بعد أن يتم التفاعل (حوالي 30 ثانية) ينساب المعدن المنصهر من فتحة البودقة إلى القالب المنشأ ليحيط المنطقة المراد لحامها , ونظرا لكون المعدن المنصهر الداخل عالي السخونة فانه يذيب حافات الأجزاء المراد لحامها مكونا لحاما بعد الانجماد. وبعد أن يبرد يكسر القالب وتزال الزوائد من مغذي والممرات..... بلهب اكسي- استيلين او أية طريقة اخرى

يستخدم هذا النوع من اللحام : ابتدأ " من لحام نهايات قضبان السكك الحديدية التي تحتاج الى بضع كيلوغرامات الى هياكل البواخر التي تحتاج الى اطنان من الحديد وتستخدم في تصليح الكسور في المسبوكات والأجزاء المنتجة بالحدادة الكبيرة .

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة:	المحاضرة العاشرة	اسم التدريسي:	د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

1- لحام المقاومة الكهربائية
2- لحام النقطة
3- لحام الخطي
4- لحام البروزي
5- لحام التقابلي

المحتويات التفصيلية :

لحام المقاومة الكهربائية
Electric Resistance Welding

لحام المقاومة الكهربائية:

في طرق لحام المقاومة الكهربائية يتم تسخين الأجزاء المراد لحامها وذلك بإمرار تيار كهربائي عالي وبفولتية منخفضة من خلال هذه الاجزاء ولفترة زمنية قصيرة نسبيا. و بهذه الطرق يمكن السيطرة على درجة الحرارة وبشكل دقيق للحصول على لحام بالخواص المطلوبة.

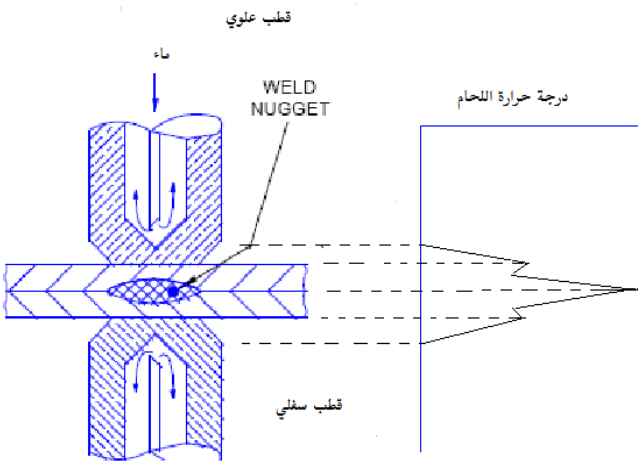
يتم اللحام باستخدام الحرارة والضغط . يشمل لحام المقاومة الكهربائية :-

لحام النقطة ولحام البروز ولحام الخطي واللحام التقابلي.

$$H = I^2Rt$$

حيث :-

H = الحرارة المتولدة
I = تيار اللحام
R = المقاومة الكهربائية
t = زمن مرور التيار
توزيع درجة الحرارة بين القطبين

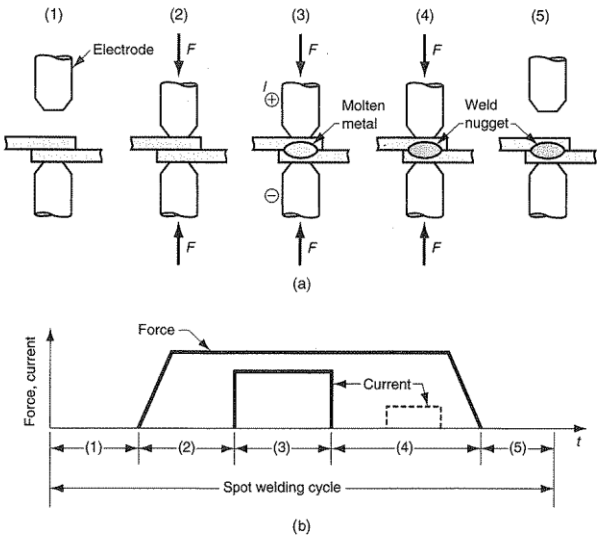


شكل (1) : لحام النقطة

بالإضافة للحرارة اللازمة لإجراء اللحام بين الصفيحتين تتولد ايضا حرارة في منطقة التماس بين اقطاب اللحام والصفائح المراد لحامها (كما موضح في الشكل أعلاه), ولكن هذه الحرارة أقل من حرارة اللحام وذلك لكون المقاومة بين الاقطاب (والتي مادتها ذات توصيلية عالية) والصفائح المراد لحامها عادة أقل من تلك التي بين الصفيحتين , وكذلك لكون الاقطاب عادة تبّرد بالماء مما يقلل الحرارة المتولدة بين الاقطاب والصفائح.

1- لحام النقطة Spot Welding

الخطوات في دورة لحام النقطة - لأحظ شكل 2



شكل (2)

1 - توضع الاجزاء المراد لحامها بين القطبين (الالكترودين) المفتوحين.
2 - تغلق الاقطاب على الاجزاء وتستخدم القوة F.
3 – يمرر التيار الكهربائي لفترة معينه.
4 - يقطع التيار الكهربائي مع بقاء القوة مستخدمة (وقد تزاد هذه القوة) .
هنا قد يستخدم تيار قليل (الجزء المنقط في الشكل اعلاه) قرب نهاية هذه الخطوة لغرض ازالة الاجهاد في منطقة اللحام .
5 – يفتح القطبان (الالكترودان) وتزال الاجزاء الملحومة.

الحرارة في منطقة اللحام

$$H = I^2Rt$$

$$H = K\,I^2Rt \qquad \ldots\ldots\ldots (1)$$

K = عامل يتضمن فقدان الحرارة (بالتوصيل والإشعاع..)

$H = (\pi/4)\, d^2.2L\,.\,S\,.\quad C\,.\,(\,T\,-\,To\,)$ .....(2)

d = قطر نهاية القطب

L = سمك الصفيحة

S = كثافة المعدن المراد لحامه

C = الحرارة النوعية

T = درجة حرارة اللحام

T_0 = درجة حرارة الجو عند اللحام

وبتساوي المعادلتين 1 و 2 اعلاه وإهمال درجة حرارة الجو نحصل على:

$(\pi/4)\, d^2.2L.\,S\,.\,C\,.\,T = K\,I^2Rt$ ..... (3)

$$T = \frac{2.K.I^2.R.t}{\pi.d^2.L.S.C}.$$

المعادلة اعلاه توضح علاقة درجة الحرارة مع العوامل الاخرى.

تحمل الاقطاب المستخدمة في لحام المقامة الكهربائية تيار عالي بينما الضغط المستخدم قد يتراوح بين خمسة وسبعون الى مائة نيوتن / ملم مربع لذا فان مادة الاقطاب يجب ان تكون ذات مقاومة ميكانيكية عالية وبنفس الوقت لها توصيلية كهربائية عالية بشكل كافي بحيث لا تسخن الى حد يجعلها تلحم مع الصفائح المراد لحامها. لذا تستخدم سبائك النحاس كـ:

alloys : copper – tungsten , chromium - copper , Beryllium bronze.

- تكون عملية لحام المعادن ذات مقاومة كهربائية العالية والتوصيلية للحرارة القليلة أسهل من المعادن ذات المقاومة الكهربائية المنخفضة والتوصيلية العالية , فمثلا عملية لحام الصلب سهلة مقارنة بالألمنيوم لكون المقاومة الكهربائية للأول أعلى وتوصيلية للحرارة اقل من الثاني.

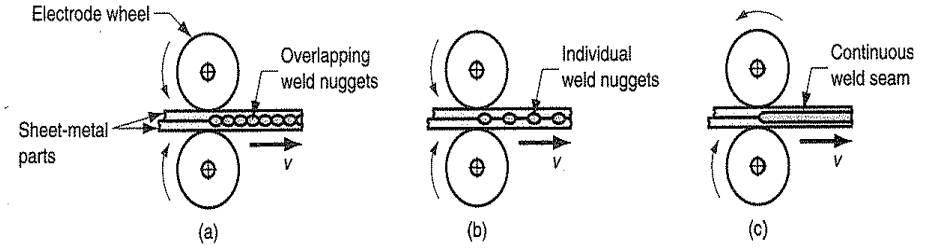
تؤثر نسبة قطر نهاية القطب إلى سمك المعدن بين القطبين على نوعية اللحام ,فإذا كان القطر كبير جدا (أي أكبر من المطلوب)فانه يتطلب استخدام تيار كبير والذي قد يسبب تسخين موضعي مفرط وأكسدة للمعدن المجاور للحام بينما إذا كان القطر صغير جدا فان مقاومة (متانة)اللحام قليلة وذلك لكونه لم يغطي منطقة كافية.

يوجد علاقة تقريبية بين القطر والسمك وهي:

$d = (2.5 + 2L)$

2- Seam Welding اللحام الخطي

هو نوع من انواع لحام المقاومة الكهربائية والذي فيه تستخدم عجلات (دوارة) بدلا من الاقطاب ذات النقطة الواحدة . يعمل هذا النوع من اللحام على نفس مبدأ لحام النقطة , ولكن الفرق الرئيسي بين لحام الخطي ولحام النقطة هو أنه في هذا اللحام يمرر التيار بشكل مستمر أو متقطع (على شكل نبضات) خلال العجلات الدوارة (كما في الشكل 3)

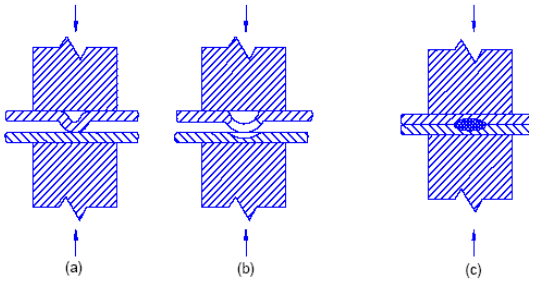


a. Overlapping weld spot b. spaces between the weld spots c. continuous welding seam

شكل (3)

وبصورة عامة يتم التبريد بفتح الماء على العجلات لصعوبة تبريدها داخليا .

3- Projection welding(النتوء) لحام البروز



شكل (4) : مراحل لحام البروز

يكوّن البروز خلال عملية اللحام نقطة تماس بين الصفيحتين المراد وصلهما وهذه النقطة تعمل على تركيز تيار اللحام وبالتالي تركيز الحرارة المتولدة في ذلك الموقع.

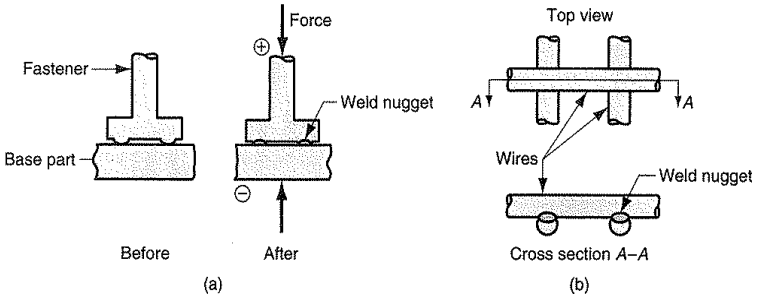
اذا كان سمك الصفيحة = t

فان عرض البروز = t

وارتفاع البروز = 0.6t

يوجد انوع اخرى من لحام البروز

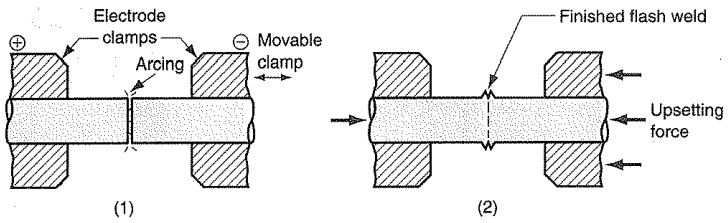
أمثلة على استخدام هذه الطريقة



شكل (5) : امثلة على لحام البروز

لاحظ في شكل 5 (b) تكون مناطق التماس بين الاسلاك المتعامدة بروزات طبيعية لتركيز تيار اللحام وكما في لحام السلال والعربات المستخدمة في الاسواق الكبيرة

4- اللحام التقابلي Butt welding



شكل (6)

في هذا اللحام يوضع الجزءان المراد لحامها بتماس مع بعضهما ويمرر تيار خلال المساحة التي يحصل فيها تماس فتتولد فيها حرارة كافية لإجراء اللحام حيث يستخدم ضغط فيتم اللحام كما في الشكل أعلاه.

ملاحظة عن اللحام الوميضي :

هذه الطريقة تستخدم للحام التقابلي حيث يتم تماس الوجهان المراد لحامهما ويمرر تيار لتسخين الوجهين الى درجة حرارة الانصهار بعدها تستخدم قوة لضغط الوجهين وحصول اللحام . بالإضافة الى التسخين بالمقاومة الكهربائية يحدث قوس كهربائي (يسمى وميض والذي منه أخذ الاسم). ان القوس يعتمد على مدى التماس بين السطحين , لذا اللحام الوميضي يصنف في بعض الاحيان بانه من مجموعة لحام القوس الكهربائي.

محاضرات قسم الهندسة الميكانيكية

عنوان المادة: عمليات التصنيع المرحلة: الثالثة

تسلسل المحاضرة: المحاضرة الحادية عشر اسم التدريسي: د.محمد نجيب عبدالله

المحاور الرئيسية:

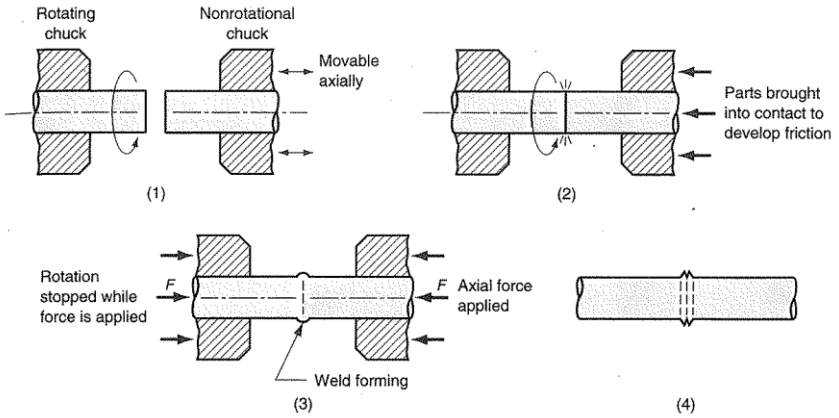
1- عمليات اللحام Friction welding

2- اللحام الانصهاري Oxy – acetylene welding

المحتويات التفصيلية :

لحام الاحتكاك Friction Welding

لحام الاحتكاك: هي طريقة لحام الحالة الصلبة وفيها يتم اللحام بالحرارة الناتجة من الاحتكاك مع استخدام ضغط . يحدث الاحتكاك نتيجة الفرك الميكانيكي بين الوجهين المراد وصلهما وعادة يتم بدوران احد الجزأين المراد لحامهما نسبة للأخر وذلك لرفع درجة الحرارة بين الوجهين المتحاكين الى درجة حرارة اللحام ثم يتوقف الدوران وتستخدم قوة كافية لعمل ربط معدني . الشكل 8 يوضح تتابع عملية اللحام حيث :



شكل (8)

1- يدور احد الاجزاء مع عدم وجود تماس .2- يتم التماس لتوليد حرارة بالاحتكاك .3 - يتوقف الدوران بينما تستخدم قوة ضاغطة محورية .4- حصول اللحام.

ان قوة الضغط المحورية تؤدي الى نقصان في مجموع طول الجزأين حيث يندفع المعدن الى الخارج كما في الشكل . ان وجود اية طبقات أكسيديه أو اوساخ على السطوح المتحاكة سوف تندفع الى الخارج خلال العملية. يتم ازاله الجزء البارز الناتج من العملية لاحقا (بعملية الخراطة مثلا).

- **اذا ما أجريت العملية بشكل صحيح فانه لا يحصل صهر في المعدن**
- **لا يستخدم معدن مالئ ولا مساعد صهر ولا غازات واقية**

يوجد نظامان للتدوير

1- *لحام احتكاك – تدوير مستمر* :

وفيه يدور احد الجزأين بسرعة دوران معينة وتستخدم قوة محددة ليحتك بالجزء الثابت فتتولد حرارة نتيجة الاحتكاك بين السطحين المتحاكين. وعند وصول درجة الحرارة الى درجة حرارة التشكيل الساخن يتم ايقاف الدوران فجاءه وبنفس الوقت تستخدم قوة كبيرة لحصول اللحام.

***2--لحام الاحتكاك القصور الذاتي* :**

في هذه الطريقة يربط الجزء الدوار بالحدافة flywheel والذي يدور الى سرعة معينة ثم تفصل الحدافة عن المحرك الذي يدورها وتستخدم قوة للحام .ان الطاقة الحركية المخزونة في الحدافة تتحول الى حرارة احتكاك تؤدي الى التحام السطحين المتحاكين .

يستخدم هذا اللحام في لحام المحاور والأنابيب والصمامات .....

مميزات طريقة لحام الاحتكاك :

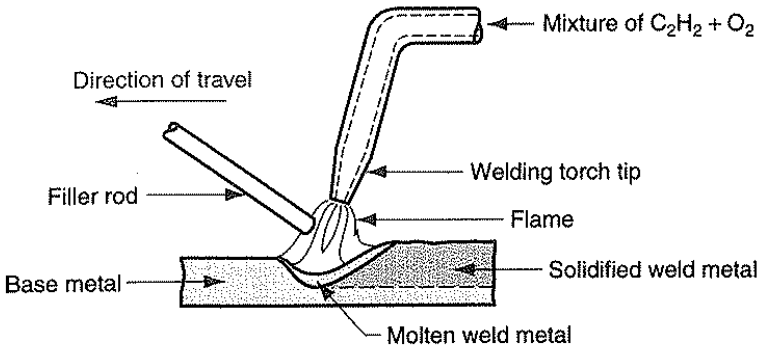
- في هذه الطريقة تكون المنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ صغيرة .

- يمكن أن تستخدم في لحام معادن مختلفة.
- على الاقل أحد الجزأين المراد لحامهما دائري المقطع.
- وتحتاج الى ازالة المعدن البارز نتيجة اللحام.
- و يقل الطول الكلي للجزأين بعد اللحام.

لحام الاوكسي– استلين

Oxy-acetylene Welding

هو لحام انصهاري يتم باستخدام لهب **(Flame)** ناتج من تفاعل غاز الاستلين **(Acetylene)** والاوكسجين , ويوجه اللهب بواسطة مشعل لحام **(Torch)**.



يتم اللحام باستخدام معدن مالئ **(Filler metal)** او بدونه . اذا استخدم المعدن المالي فهو على شكل اسياخ اقطارها عادة تكون بين **(1.6–9.5mm)** ملم ومعدنها مشابه الى المعدن الاساس (Base metal) المراد لحامه . عادة تغطى الاسياخ بفلكس والذي يساعد في تنظيف ومنع الاكسدة مما يعطي منطقة لحام جيدة . يكون غاز الاستلين **(C_2H_2)** الاكثر استخداما من بين الغازات المستخدمة في اللحام الغازي وذلك لإمكانية الحصول منه على درجة حرارة اعلى من تلك التي يمكن الحصول عليها من الغازات الاخرى حيث تصل الى **(3480°C)** .

يتم الحصول على اللهب من التفاعل الكيميائي للأستلين والاوكسجين في مرحلتين :

الاولى تتم بالتفاعل :

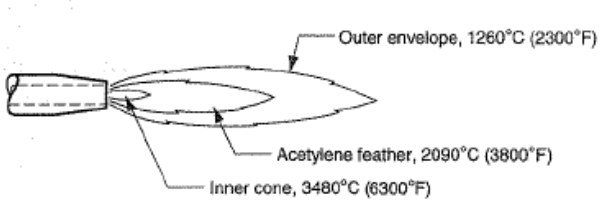
$$C2H2 + O2 \rightarrow 2\,CO + H2 + heat$$

ان ناتج التفاعل قابل للاحتراق مؤديا الى تفاعل المرحلة **الثانية** :

$$2CO + H_2 + 1.5\,O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O + heat$$

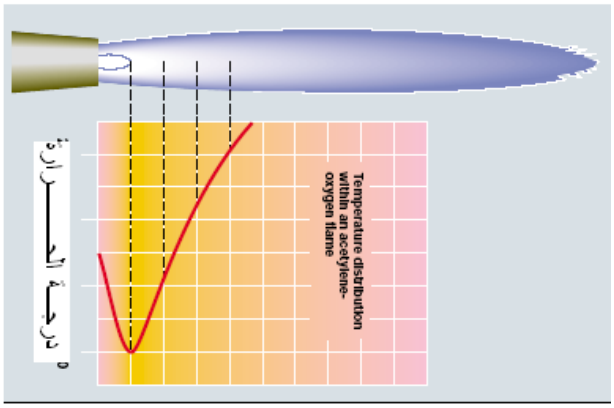
وهاتان المرحلتان تظهران في لهب الاوكسي– استلين الخارج من المشعل .

عندما يكون الخليط من الاستلين والاوكسجين بنسبة**(1:1)** كما في المعادلتين الاولى والثانية اعلاه يتم الحصول على لهب متعادل **(Neutral flame)** كما في الشكل التالي :



المرحلة الاولى ان تفاعل

يظهر كمخروط داخلي في اللهب (الذي يكون ابيض مضيء) بينما المرحلة الثانية من التفاعل هي الغلاف الخارجي . ان اعلى درجة حرارة في اللهب تصل عند قمة المخروط الداخلي (انظر الشكل) .



كما ذكر اعلاه فان اللهب متعادل **(Neutral)** عندما يكون الخليط من الاستلين والاوكسجين بنسبة (1:1) وعندما تزداد نسبة الاستلين يكون اللهب مختزل **(Reducing)** وعندما تزداد نسبة الاوكسجين يكون اللهب مؤكسد **(Oxidising)** . كما موضح في الشكل :

مؤكسد مختزل

متعادل

في عملية اللحام ينتشر الغلاف الخارجي **(Outer envelope)** ليغطي سطوح الشغلة المراد لحامها لكي يحميها من الجو المحيط .

ان كثافة القدرة وكفاءة انتقال الحرارة في لحام الاوكسي- استلين متدنية نسبيا وذلك بسبب توزيع درجة الحرارة في اللهب والطريقة التي ينتشر بها اللهب على سطح الشغلة والفقدان الحراري في الهواء . ان الكفاءة في هذا النوع من اللحام تتراوح بين **(0.1-0.3)** .

ان الاستلين سريع الاشتعال والبيئة التي يستخدم فيها لحام الاوكسي- استلين تكون خطرة . ان الاستلين النقي غاز عديم اللون والرائحة ولكن لأسباب الامان فان الغاز التجاري ينتج برائحة مميزة , ان احدى المحددات الفيزيائية هو كونه غير مستقر في ضغط اعلى من الضغط الجوي **(0.1 MPa.)** لذا فان غاز الاستلين يخزن في اسطوانات تحتوي على مادة مسامية مثل : (Asbestos, Blasa wood and other materials) مشبعة بالأسيتون **(CH_3COCH_3)** يذاب الاستلين في سائل الاسيتون حيث يذيب الاسيتون 25 مرة بقدر حجمه من الاستلين مما يعطي وسائل امينة لخزن هذا الغاز.

يتم توليد الغاز في مولدات الغاز وذلك اما بأسلوب **تساقط الماء على الكربيد (CaC_2)** او **بتساقط الكربيد على الماء** حيث يتم التفاعل وكما يلي:

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

ان اجهزة اللحام في طريقة لحام ألأكسي – أستيلين رخيصة نسبيا ومتنقلة فهي مناسبة للإنتاج بكميات قليلة ولأعمال التصليح وهي قلما تصلح للحام صفائح والواح يزيد سمكها على **(6.4)** ملم لفوائد لحام القوس الكهربائي لذلك. بالرغم من امكانية جعلها طريقة اوتوماتيكية الا انها عادة تستخدم يدويا وهي تعتمد على مهارة العامل لإعطاء لحام جيد .

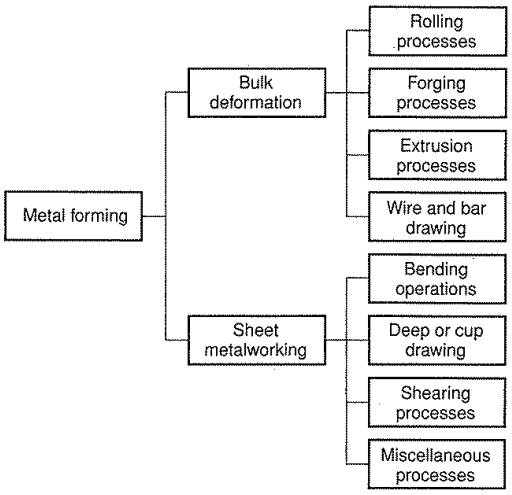
اسم التدريسي رقم الهاتف عنوان البريد الاليكتروني

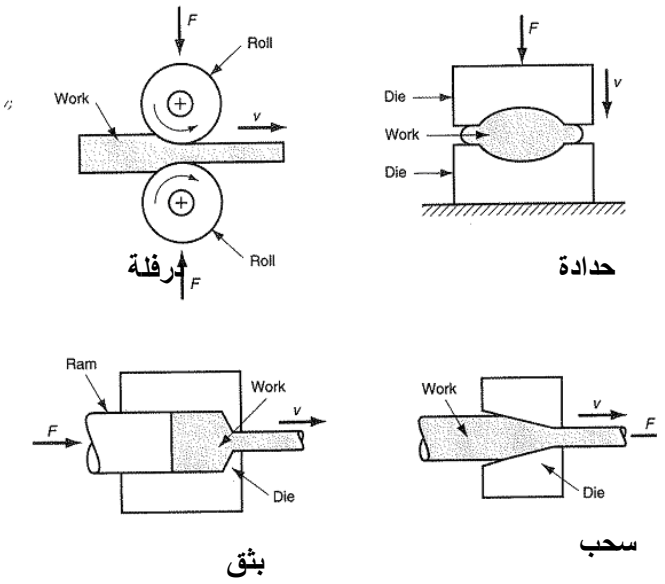
اسم التدريسي رقم الهاتف عنوان البريد الاليكتروني

اسم التدريسي رقم الهاتف عنوان البريد الاليكتروني

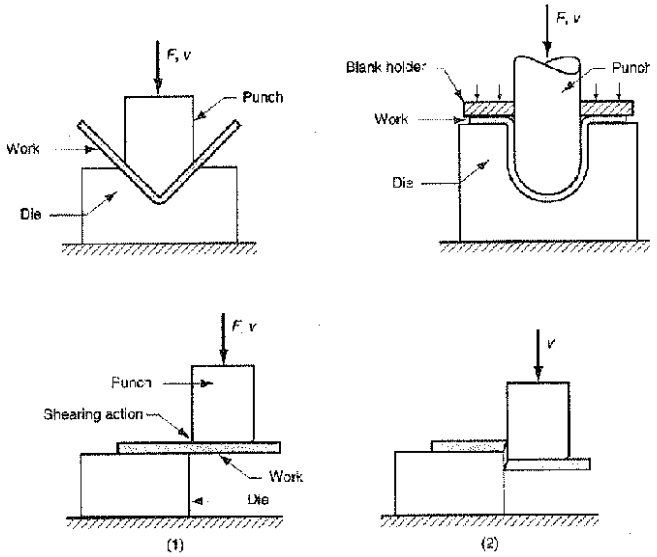
تشكيـــل المعـــــادن
Metal Forming or Metal Working

يتضمن تشكيل المعادن (Metal Forming) مجموعة كبيرة من عمليات التصنيع وفيه يستعمل التشويه اللدن (Plastic Deformation) لتغير شكل القطعة . يحصل التشكيل باستعمال أداة (Tool) , عادة تسمى القالب (Die) , والتي تؤثر بإجهادات (Stress) تتجاوز اجهاد الخضوع (Yield Stress) للمعدن . لذا فان المعدن يشكل ليأخذ شكل يُحّدد بهندسية (Geometry) القالب .
تكون الاجهادات المستخدمة في التشكيل اللدن للمعا دن عادة ضغطية (Compressive), مع ذلك يوجد بعض عمليات تشكيل تمط (Stretch) المعدن, وعمليات تثني (Bend) المعدن وأخرى تستخدم اجهادات قص . و لكي يتم التشكيل بنجاح يجب ا ن يكون للمعدن بعض الخواص . و الخواص المرغوب توفرها في التشكيل هي مقاومة خضوع (Yield Strength) منخفضة و مطيلية (Ductility) عالية . هذه الخواص تتأثر بدرجة الحرارة فقابلية الانضغاط (Malleability) تزداد ومقاومة الخضوع تقل عند رفع درجة حرارة التشكيل . إن تأثير درجة التشكيل الساخن (Hot Working) . وكذلك فإن معدل الانفعال (Strain rate) والاحتكاك (Friction) عوامل إضافية تؤثر على السلوك في عمليات تشكيل المعادن .



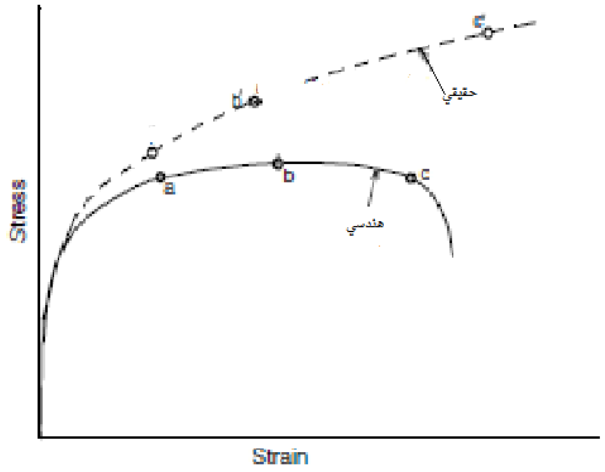


شكل (1) : عمليات تشكيل حجمية Bulk Deformation Processes



شكل (2) : تشكيل صفائح معدنيةSheet Metalworking

تصرف المواد في عملية تشكيل المعادن



شكل (3) : مخطط الاجهاد- الانفعال الحقيقي والهندسي

الإجهاد الهندسي (Engineering Stress)

$$S = \frac{F}{Ao}$$

حيث F = القوة N
Ao = المساحة الأصلية للنموذج mm²

الانفعال الهندسي (Engineering Strain)

$$e = \frac{L - L_o}{L_o}$$

حيث L = الطول في أية نقطة خلال الاستطالة mm
Lo = الطول القياسي الأصلي mm

الإجهاد الحقيقي True Stress

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

A = المساحة الحقيقية التي تقاوم الحمل في لحظة استخدامه .

الانفعال الحقيقي True Strain

$$d\varepsilon = \frac{dL}{L}$$

$$\varepsilon = \int_{Lo}^{L} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{Lo}$$

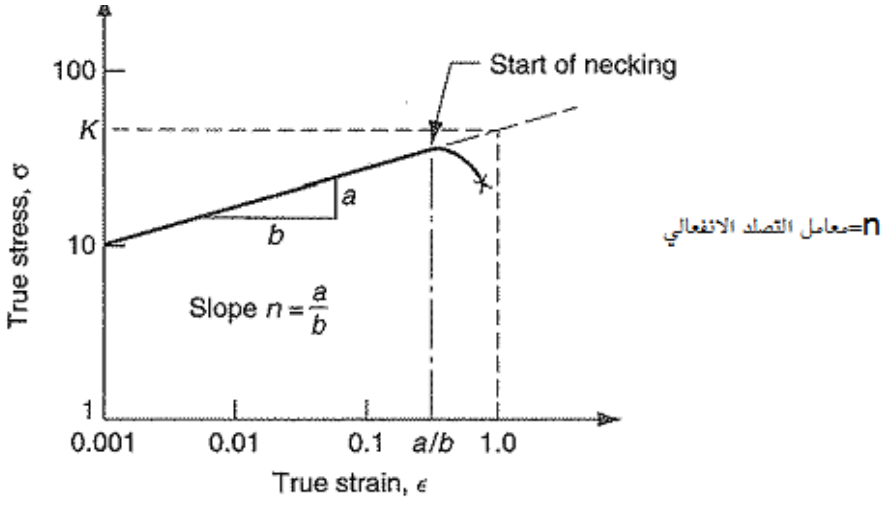
حيث L = الطول الفوري (الا ني) في أية لحظة خلال الاستطالة mm
Lo = الطول القياسي الأصلي mm

تكون المنطقة اللدنة من منحني الجهد - الانفعال ذات الأولوية في الاهتمام لان في تشكيل المعادن يتشوه المعدن تشويه لدن ثابتا .

التصلد الانفعالي (Work Hardening) Strain Hardening :-

عند زيادة الانفعال يصبح المعدن أكثر مقاومة stronger وتسمى هذه الصفة " التصلد ألانفعالي " وهي صفة لمعظم المعادن وتعتبر عاملا مهما في بعض عمليات التصنيع وخاصة تشكيل المعادن . دعنا نفحص

تصرف المعدن عند تأثره بهذه الصفة . إذا رسم الجزء الذي يمثل المنطقة اللدنة في منحني الإجهاد – الانفعال على مقياس لوغاريتم – لوغاريتم فان النتيجة ستكون علاقة خطية وكما في الشكل (4) .



شكل (4)

ولكونها خطا مستقيما هنا (كما في الشكل) , فان العلاقة بين الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي في المنطقة اللدنة يمكن أن نعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$\sigma = K\varepsilon^n$$

تمثل هذه المعادلة *منحني الانسياب* (*flow curve*) وهي تعطي تقريب جيد لتصرف المعدن في المنطقة اللدنة ومتضمنة قدرته على التصلد الانفعالي . يسمى الثابت (*K*) *بمعامل المقاومة* (*strength coefficient*) ووحداته MPa ويساوي قيمة الإجهاد عندما يكون الانفعال الحقيقي مساويا لواحد وتسمى *n* *بمعامل التصلد الانفعالي* (*Strain Hardening*) وهي تمثل ميل الخط المستقيم في الشكل أعلاه . وقيمتها تتناسب بشكل مباشر بقابلية المعدن على التصلد الانفعالي . الجدول الأتي يبين القيم النموذجية لـ K و n لبعض المعادن

metals.

Material	Strength Coefficient, *K*		Strain Hardening Exponent, *n*
	MPa	lb/in^2	
Aluminum, pure, annealed	175	25,000	0.20
Aluminum alloy, annealed[a]	240	35,000	0.15
Aluminum alloy, heat treated	400	60,000	0.10
Copper, pure, annealed	300	45,000	0.50
Copper alloy: brass[a]	700	100,000	0.35
Steel, low C, annealed[a]	500	75,000	0.25
Steel, high C, annealed[a]	850	125,000	0.15
Steel, alloy, annealed[a]	700	100,000	0.15
Steel, stainless, austenitic, annealed	1200	175,000	0.40

Compiled from [9], [10], [11], and other sources.

[a]Values of *K* and *n* vary according to composition, heat treatment, and work hardening.

كما ذكر سابقا يمكن أن يعبر عن تصرف المعدن في المنطقة اللدنة بمنحني الانسياب **flow curve** :

$$\sigma = K\varepsilon^n$$

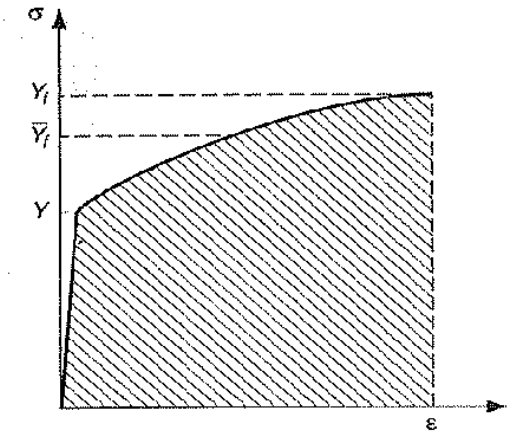
اجهاد الانسياب (flow stress) :

إن منحني الانسياب يصف علاقة الإجهاد – الانفعال في المنطقة التي يحصل فيها تشكيل المعدن . فهي تشير الى إجهاد الانسياب للمعدن - أي خاصية المقاومة التي تعين القوى والقدرة اللازمة لإكمال عملية تشكيل ما لمعظم المعادن (في درجة حرارة الغرفة) . يدل مخطط الإجهاد الانفعال الحقيقي في الشكل (3) أعلاه على أن إذا ما شكل المعدن فان مقاومته (Its strength) تزداد نتيجة التصلد الانفعالي, لذا فان

الإجهاد اللازم المستخدم لاستمرار التشكيل يجب أن يزداد ليكافئ هذه الزيادة بالمقاومة . ويعرف ***إجهاد الانسياب*** ***(flow stress)*** بأنه القيمة اللحظية (Instantaneous value) للإجهاد اللازم لاستمرار تشكيل المعدن أي لإبقاء انسياب المعدن وهي مقاومة الخضوع للمعدن كدالة للانفعال والتي يمكن التعبير عنها بـ

$$Y_f = K\varepsilon^n$$

يمكن استعمال اجهاد الانسياب اللحظي في كل عملية من عمليات التشكيل التي سيتم شرحها لاحقا لتحليل العملية عند حصولها .



شكل (5)

فمثلا في بعض عمليات الحدادة فان القوة اللحظية خلال عملية الانضغاط يمكن تعينها من قيمة إجهاد الانسياب . يمكن حساب اكبر قوة اعتمادا على إجهاد الانسياب الذي ينتج من الانفعال الأخير في نهاية شوط الحدادة .

في حالات أخرى فان التحليل يعتمد على معدل الاجهادات والانفعالات التي تحصل خلال التشكيل وليس القيم اللحظية كما في حالة البثق فعند ما تقل مساحة مقطع الخامة لكي تمر خلال قالب البثق فان المعدن يتصلد انفعاليا ليصل إلى أقصى قيمة .فلتعين قيم تتابع الإجهاد – الانفعال خلال الاختصار في المقطع والتي ليست صعبة فحسب ولكن الاهتمام بها محدود أيضا فمن المفيد أكثر تحليل العملية بالاعتماد على ***معدل إجهاد الانسياب*** خلال التشكيل .

معدل إجهاد الانسياب Average Flow Stress:-

هو معدل قيمة الإجهاد على منحني الإجهاد – الانفعال (stress – strain curve) منذ بداية الانفعال إلى القيمة النهائية (أكبر قيمة) التي تحصل خلال التشويه deformation وكما موضحة في الشكل أعلاه في مخطط الإجهاد الانفعال .

يعين معدل إجهاد الانسياب بتفاضل معادلة منحني الانسياب ($Y_f = K\varepsilon^n$) بين صفر وقيمة الانفعال النهائي (ε) التي تحدد المدى ذات الاهتمام فنحصل على العلاقة التالية لمعدل إجهاد الانسياب (average flow stress بعد التقسيم على هذا الانفعال :

$$\bar{Y}_f = (\int_0^{\varepsilon} K\varepsilon^n)/\varepsilon$$

$$\bar{Y}_f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n}$$

حيث $\bar{Y}_f$ = معدل اجهاد الانسياب

ε = اكبر قيمة للانفعال خلال عملية التشكيل .

بمعرفة قيم *K* و *n* لمادة الشغلة المراد تشكيلها يمكن إنشاء طريقة لحساب الانفعال النهائي لكل عملية واعتمادا على هذا الانفعال و باستخدام المعادلة اعلاه يتم حساب معدل اجهاد الانسياب والذي تعرض له المعدن خلال العملية.

درجة الحرارة في تشكيل المعادن :-

إن منحني الانسياب هو تمثيل لتصرفات الإجهاد – الانفعال للمعدن خلال التشكيل اللدن وخاصة في عمليات التشكيل البارد (Cold Working) . إن قيم *K* و *n* لمعدن ما تعتمد على درجة الحرارة , كلاهما يقلان في درجة الحرارة العالية . بالإضافة إلى ذلك تزداد اللدونة في درجات الحرارة العالية إن لتغيرات هذه الخواص أهمية *, لان أية عملية تشكيل يمكن أ ن تتم بقوى وقدرة اقل في درجات الحرارة المرتفعة* . يوجد ثلاث مديات لدرجات الحرارة وهي : التشكيل البارد والدافئ والساخن .

1- التشكيل البارد Cold Working or Cold Forming :

هو تشكيل المعادن في درجة حرارة الغرفة أو أعلى قليلا (لمعظم المعادن الهندسية) . للتشكيل البارد فوائد مقارنة مع التشكيل الساخن وهي :

2- يمكن بها الحصول على أبعاد أدق . 2- إنهاء سطحي أفضل . 3- التصليد الانفعالي يزيد المقاومة والصلادة للجزء المشكل. 4 - انسياب الخلايا خلال التشكيل يعطي الفرصة لحصول على خواص اتجاه مرغوبة للمنتج . 5- لا يوجد الحاجة لتسخين الشغلة والتي توفر تكاليف الفرن والوقود وكذلك تؤدي إلى معدلات إنتاج أعلى .

يوجد مضار أو محددات تقترن مع عمليات التشكيل على البارد :

1- يحتاج إلى قوى وقدرة اكبر لإجراء العملية . 2- يجب الاهتمام للتأكد بان سطوح الشغلة عند البدء خالية من التقشر scale والأوساخ . 3- المطيلية المتوفرة والتصليد الانفعالي للشغلة تحدد كمية التشكيل الذي يمكن إجراءه عليها . في بعض العمليات يجب تخمير المعدن للسماح لإتمام التشكيل . في حالات أخرى فان المعدن ببساطة لايمتلك مطيلية كافية ليشكل على البارد .

لغرض التغلب على مشكلة التصلد الانفعالي ولتقليل القوى و القدرة اللازمة للتشكيل , يتم عدد من عمليات التشكيل في درجات حرارة أعلى , ويوجد مديين لدرجات الحرارة المرتفعة هذه مما أدى إلى ظهور العبارتين " التشكيل الدافئ" و " التشكيل الساخن" .

2- التشكيل الدافئ (warm working):-

نظرا لكون خواص التشكيل اللدن بشكل اعتيادي تتحسن بزيادة درجة حرارة القطعة المراد تشكيلها , فان عمليات التشكيل في بعض الأحيان تتم في درجات حرارة نوعا ما فوق درجة حرارة الغرفة *ولكن تحت درجة حرارة استعادة التبلور* (*recrystallization temperature*) . إن الخط الفاصل بين التشكيل البارد والتشكيل الدافئ عادة يعبر عنه بدلالة درجة حرارة انصهار المعدن Tm (مطلق) . الحد الفاصل الذي عادة يؤخذ هو 0.3Tm .

إن المقاومة والتصليد الانفعالي المنخفضين وكذلك اللونة المرتفعة مقارنة بتلك عند التشكيل البارد يعطي التشكيل الدافئ الفوائد التالية مقارنة بالتشكيل البارد :

2- قوى وقدرة اقل عند التشكيل. 2- يمكن التشكيل لأشكال ذات هندسية أكثر تعقيدا . 3- قد تقل أو تنعدم الحاجة للتخمير .

3- التشكيل الساخن (Hot Working) :-

هو التشكيل في درجة حرارة *فوق درجة حرارة استعادة التبلور* إن درجة حرارة استعادة التبلور لمعدن ما هي حوالي نصف درجة الانصهار على التدرج المطلق . عمليا يجرى التشكيل الساخن عادة في درجة حرارة نوعا ما فوق (0.5 Tm) . ويستمر المعدن يلين (Soften) إذا زيدت درجة الحرارة فوق 0.5Tm مما يعطي فائدة للتشغيل الساخن فوق هذا المستوى . من ناحية أخرى فان عملية التشكيل نفسها تولد حرارة مما يزيد درجة حرارة الشغلة في مناطق معينة من القطعة , وهذا قد يسبب انصهاره في هذه المناطق وهذا غير مرغوب به وبشكل كبير . وكذلك يتسارع تكون التقشر (Scale) في الدرجات الحرارة العالية . ولتجنب حصول الانصهار أو زيادة التقشر يتم عادة التشكيل الساخن في حدود (0.5 Tm إلى 0.75) Tm .

إن الفائدة المهمة للتشكيل الساخن هو إمكانية الحصول على تشويه لدن (Deformation) جوهري للمعدن – أكبر كثيرا من ذلك الذي يمكن الحصول عليه من التشكيل البارد والتشكيل الدافئ . والسبب الأساسي لذلك هو أن منحني الانسياب (Flow curve) لمعدن التشكيل الساخن له معامل مقاومة (strength coefficient) K يقل كثيرا من ذلك في درجة حرارة الغرفة وكذلك معامل التصلد الانفعالي (n) صغير جدا واللدونة تزداد بشكل كبير, وكل هذه النتائج تعطي الفوائد التالية للتشكيل الساخن مقارنة بالتشكيل البارد :- 1- يمكن تغير شكل الشغلة وبشكل كبير . 2- نحتاج إلى قوى وقدرة أقل لتشكيل المعدن . 3- المعادن التي عادة قد تنكسر بالتشكيل البارد يمكن تشكيلها ساخنا .4- خواص المقاومة متساوية تقريبا في جميع الاتجاهات أي (Isotropic) بسبب غياب التركيب متجه الخلايا والذي ينتج من التشكيل البارد . 5 – لايحصل زيادة بالمقاومة للجزء المشكل كما في التشكيل البارد (يعتبر فائدة بالنسبة للمعادن التي الزيادة في المقاومة نتيجة التصليد الانفعالي غير مرغوب فيها لانها تقلل المطيلية المطلوبة في المرحلة الأخيرة –التشكيل البارد).

عيوب التشكيل الساخن:

1- أقل دقة بالإبعاد . 2-الطاقة الكلية المطلوبة أكبر (نتيجة الطاقة الحرارية لتسخين القطعة المراد تشكيلها) . 3- تأكسد سطح الشغلة (تقشره) وبالتالي الإنهاء السطحي أضعف 4- عمر أداة التشكيل أقل.

نظريا يتصرف المعدن في التشكيل الساخن كأنه مادة تامة اللدونة (Perfectly plastic) وتكون (n = 0) وهذا يعني أن المعدن سيستمر بالانسياب تحت مستوى اجهاد انسياب ثابت حال وصول هذا المستوى من الإجهاد. ولكن من ناحية ثانية يوجد ظاهرة إضافية تميز تصرف المعدن خلال التشكيل خاصة في درجات الحرارة العالية في التشكيل الساخن وهذه الخاصية هي حساسية معدل الانفعال (Strain rate sensitivity) .

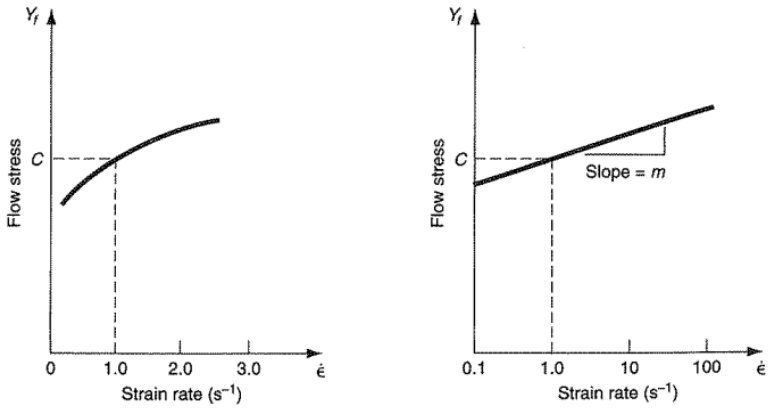
$$\dot{\varepsilon} = \frac{v}{h}$$

Where $\dot{\varepsilon}$ = true strain rate ,m/s/m or (s^{-1}) معدل الانفعال الحقيقي

حيث ان (h) يمثل الارتفاع اللحظي للشغلة المراد تشكيلها

h = instantaneous height of the work piece being deformed (m).

في التشكيل الساخن يعتمد اجهاد الانسياب على معدل الانفعال . إن تأثير معدل الانفعال على خواص المقاومة يعرف بحساسية معدل الانفعال (strain rate sensitivity) ويمكن مشاهدة التأثير في الشكل التالي :



شكل (6)

عند زيادة معدل الانفعال تزداد المقاومة للتشويه deformation (التشكيل) وهذا يرسم عادة تقريبا كخط مستقيم على مخطط لوغاريتم – لوغاريتم وهذا يؤدي إلى العلاقة :

$$Y_f = C\dot{\epsilon}^m$$

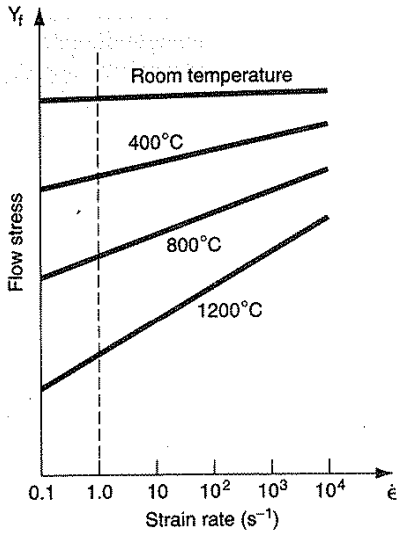
Where C: is the strength constant

C ثابت المقاومة والذي يشبه K ولكن لايساويه

.m = strain rate sensitivity exponent

معامل حساسية معدل الانفعال

تعين قيمة (C) في معدل انفعال مقداره 1.0 و (m) هو ميل الخط المستقيم في الشكل أعلاه
تغيير أجهاد الانسياب بمعدل الانفعال يتأثر بدرجة الحرارة وكما في شكل (7)



شكل (7)

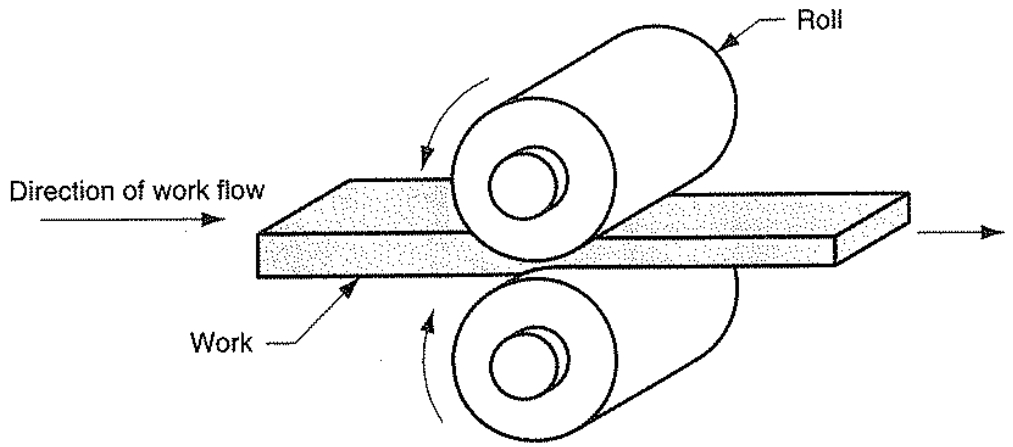
العلاقة الكاملة التي تجمع اجهاد الانسياب كدالة لكلا الانفعال ومعدل الانفعال هي كما يلي :-

$$Y_f = A\epsilon^n \dot{\epsilon}^m$$

حيث A هو معامل المقاومة (Strength coefficient) الذي يجمع تأثير قيم كل من K و C .

عمليـــــــة الدرفلـــــــة
Rolling Operation

هي عملية تشكيل والتي فيها يقل سمك الشغلة بقوى ضغط خارجية تسلط بوساطة درافيل (Rolls) متقابلة (الدرفلة المسطحة) . تدور الدرافيل لتسحب وبنفس الوقت تعصر (Squeeze) الشغلة بينهم والشكل (8) يبين الدرفلة المسطحة (Flat rolling) والتي تستخدم لتقليل السمك لمقطع مستطيل . والطريقة المشابهة بشكل قريب هي درفلة الشكل (Shape rolling) والتي فيها يشكل المقطع المربع إلى شكل ما كشكل الـ I في عمود الـ (I- beam) .

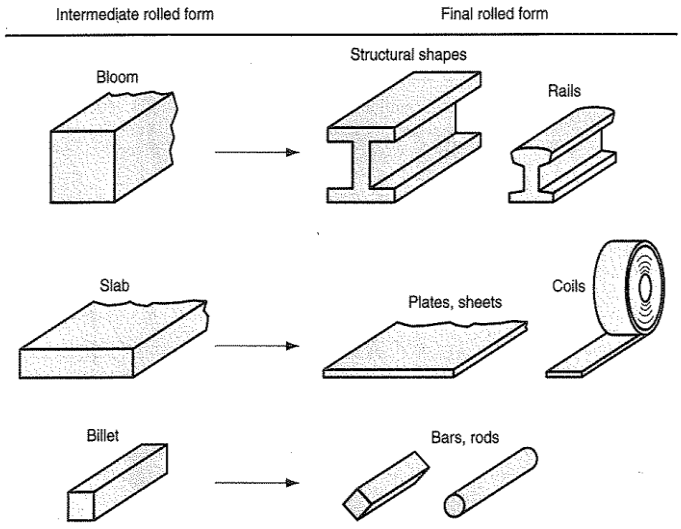


شكل (8)

معظم عمليات الدرفلة تتم على الساخن (Hot working) لأنه يتطلب حصول تشويه كبير في هذه العملية . يتميز التشكيل الساخن بأنه خال من الاجهادات المتبقية وخواصه تقريبا متساوية في جميع الجهات

(Isotropic) ولكن من عيوبه عدم إمكانية ضبط إبعاد المنتج والسطح يكون متأثر بتقشر طبقة الأكسيد الحاصلة نتيجة التسخين.

فيما يلي بعض منتجات الصلب (الفولاذ) التي تُشكّل في مصانع الدرفلة (Rolling mill) :-



شكل (9)

تحليل الدرفلة المسطحة (Analysis of Flat Rolling) :-

تتضمن الدرفلة المسطحة درفلة البلاطات (Slabs) والألواح (Plates) والصفائح (Sheets) والشرائط (Strips) والتي مقطعها مستطيل . في هذه الطريقة يتم عصر الشغلة (Work is squeezed) بين درفيلين بحيث يقل السمك بمقدار يسمى فرق السمك draft (*d*) .

$$d = t_o - t_f$$

حيث t_o = السمك عند البدء mm

و t_f = السمك النهائي mm

مقدار الاختصار والذي رمزه r هو

$$r = \frac{d}{t_o}$$

بالإضافة إلى تقليل السمك في عملية الدرفلة فانه يحصل زيادة في العرض أيضا .

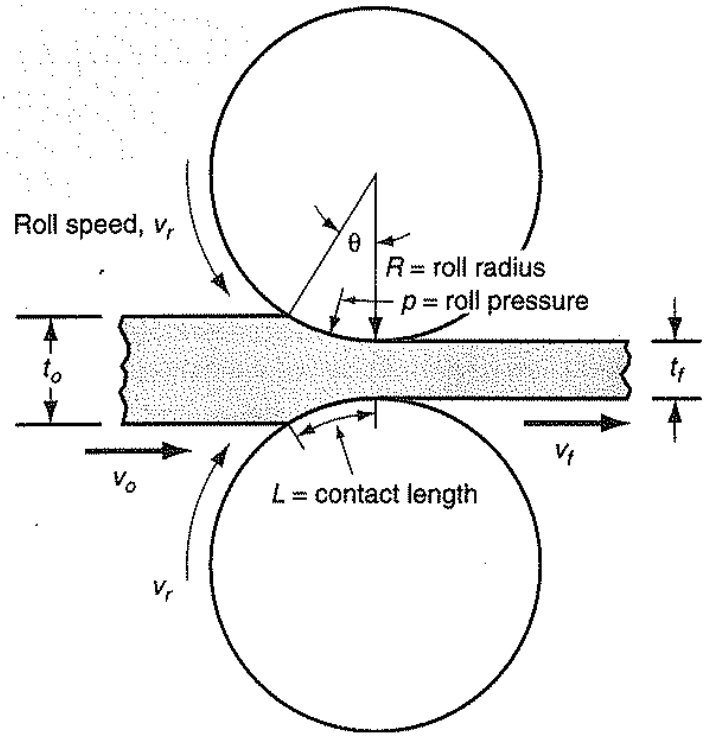
حجم المعدن الخارج من بين الدرفيلين يساوي الحجم الداخل بينهما أي :

$$t_o w_o L_o = t_f w_f L_f$$

حيث w_o و w_f هما عرض الشغلة (mm) قبل وبعد الدرفلة و L_o و L_f هما الطول (mm) قبل وبعد . وكذلك معدلات الحجم قبل وبعد الدرفلة يجب أن تكون متساوية لذا :

$$t_o w_o v_o = t_f w_f v_f$$

حيث v_o و v_f هما السرعتان عند الدخول والخروج



شكل (10)

سرعة دوران سطح الدرفيل هو ***vr*** وهذه السرعة تكون أكبر من السرعة عند الدخول ***vo*** واصغر من السرعة عند الخروج ***vf*** , وبما أنّ المعدن يمر باستمرار فان سرعته تتغير تدريجيا بين الدرفيلين وستكون هناك نقطة على قوس التلامس بين كل درفيل والمعدن تكون فيها سرعة الدرفيل وسرعة والقطعة المدرفلة متساويتين . وتسمى بالنقطة الحيادية **neutral point** أو النقطة التي لايحصل فيها انزلاق **No – slip (point)** . يحصل في كلا جانبي هذه النقطة انزلاق واحتكاك بين الدرفيل والشغلة ويمكن قياس كمية الانزلاق بوساطة الانزلاق الأمامي **(Forward slip) (s).**

$$s = \frac{v_f - v_r}{v_r}$$

أنّ الانفعال الحقيقي الذي يحصل في الشغلة في عملية الدرفلة يعتمد على سمكها قبل وبعد الدرفلة

$$\epsilon = \ln \frac{t_o}{t_f}$$

وكما ذكرنا سابقا يمكن استخدام هذا الانفعال الحقيقي في حساب معدل إجهاد الانسياب $\bar{Y}_f$ المؤثر على الشغلة في عملية الدرفلة المسطحة كما في المعادلة التالية :

$$\bar{Y}_f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n}$$

يستخدم معدل إجهاد الانسياب لحساب القوة التقريبية والقدرة في العملية.

يحصل الاحتكاك في الدرفلة بمعامل احتكاك معين وبضرب ***قوة الانضغاط*** للدرافيل ***بمعامل الاحتكاك*** ينتج قوة الاحتكاك بين الدرافيل والقطعة المراد درفلتها . يكون اتجاه قوة الاحتكاك باتجاه معين في

جهة الدخول قبل النقطة الحيادية (Neutral point) واتجاه معاكس في الجهة الأخرى بعد هذه النقطة .وهاتين القوتين غير متساويتين حيث تكون قوة الاحتكاك في جهة الدخول اكبر لذا فان محصلة القوتين تؤدي إلى سحب الشغلة خلال الدرافيل وبدون وجود هذه الحالة فان عملية الدرفلة ستكون مستحيلة .

يوجد حد لأقصى فرق سمك (Draft) الذي يمكن الحصول عليه في عملية الدرفلة لمعامل احتكاك معين والذي يعطى بالعلاقة التالية :

$$d_{max} = \mu^2 R$$

حيث d_{max} = أقصى فرق سمك mm و μ = معامل الاحتكاك و R = نصف قطر الدرفيل mm
وتدل المعادلة بأن إذا كان الاحتكاك صفر فان فرق السمك سيكون صفرا وبهذا يستحيل إجراء عملية الدرفلة والحصول على تنقيص بالسمك .

يعتمد معامل الاحتكاك في الدرفلة على التزييت ونوع المعدن المدرفل ودرجة الحرارة : قيم معامل الاحتكاك التقريبية هي:-

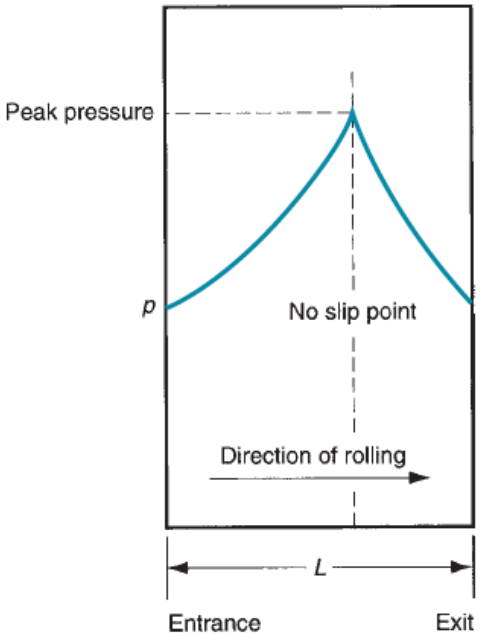
- الدرفلة على البارد μ = 0.1
- الدرفلة على الدافئ μ = 0.2
- الدرفلة على الساخن μ = 0.4

و تتميز الدرفلة على الساخن بحصول الالتصاق sticking وفيه يلتصق سطح القطعة المراد درفلتها بالدرافيل rolls في قوس التماس ويحصل هذا عادة عند درفلة الصلب والسبائك الاخرى في درجة الحرارة العالية .عند حصول الالتصاق فان معامل الاحتكاك قد يصل الى (0.7) . نتيجة الالتصاق تحدد حركة الطبقة السطحية بسرعة الدرفيل *vr* حيث يكون التشوه (Deformation) تحت هذه الطبقة شديد لكي تسمح بمرور القطعة خلال الفسحة بين الدرافيل .

القوة المسلطة من قبل الدرافيل *F* : -

$$F = w \int_0^L p \, dL$$

حيث *F* = قوة الدرفلة N و *w* = عرض القطعة المراد درفلتها mm و *p* = ضغط الدرفيل MPa و *L* = طول منطقة التماس بين كل درفيل والشغلة mm .
إن عملية التكامل تكون لجزئين منفصلين على جانبي نقطة الحياد neutral point . الشكل (11) يوضح التغيير بضغط الدرفيل على طول منطقة التماس .



شكل (11)

يكون أقصى ضغط في نقطة الحياد , وعندما يقل الاحتكاك فان نقطة الحياد تنتقل من الدخول وباتجاه الخروج وذلك للحفاظ على قوة سحب باتجاه الدرفلة وإلا سوف تنزلق الشغلة ولاتمر بين الدرافيل . كتقريب للنتائج التي يتم الحصول عليها من المعادلة أعلاه يمكن حسابها معتمدين على معدل اجهاد الانسياب الحاصل في معدن الشغلة بين الدرفيلين وكما يلي:-

$$F = \overline{Y}_f w L$$

حيث $\overline{Y}_f$ هو معدل إجهاد الانسياب MPa و حاصل ضرب wL هو مساحة منطقة التماس بين الدرفيل والشغلة . ويمكن حساب وبشكل تقريبي طول التماس باستخدام :

$$L = \sqrt{R(t_o - t_f)}$$

يمكن تقدير عزم الدرفلة بافتراض أن قوة الدرفيل تتركز على الشغلة عند مرورها بين الدرافيل وإنها تؤثر بذراع العزم لنصف طول التماس L .
العزم لكل درفيل:

$$T = 0.5FL$$

القدرة اللازمة لتدوير كل درفيل هو ضرب العزم بالسرعة الزاوية (Angular velocity) .
السرعة الزاوية هي $2\pi N$ حيث N = السرعة الدورانية للدرفيل , لذا القدرة *لكل درفيل* هي

$$P = 2\pi NT$$

وبتعويض $T = 0.5FL$ في المعادلة أعلاه *وبمضاعفة القيمة للإدخال بالحسبان القدرة لكلا الدرفيلين* نحصل :-

$$P = 2\pi NFL$$

حيث p = القدرة J/s (أو W) و N = سرعة دورانية 1/s (rev /min) و F = قوة الدرفلة N و L = طول التماس m .

مثال :- قطعة عرضها (300 mm) وسمكها (25 mm) غذيت بين درفيلين ذوات قدرة , كل درفيل له نصف قطر (250 mm) . يراد إلى تقليل السمك إلى (22 mm) بتمريره واحدة (One pass) بحيث سرعة

دوران الدرفيل (50 rev/min) . إذا كان منحني الانسياب للمعدن يعرف بـ (K = 275 Mpa) و n (= 0.15) و معامل الاحتكاك بين الدرافيل و الشغلة هي (0.12) .
أحسب فيما اذا كان الاحتكاك كاف لتحصل عملية الدرفلة , اذا كان كاف أحسب قوة وعزم وقدرة الدرفيل .

الحل:

$$d_{max} = \mu^2 R$$

$$d_{\max} = (0.12)^2 (250) = 3.6mm$$

$$L = \sqrt{250(25-22)} \cdot$$

= 27.4 mm

وتحسب $\bar{Y}_f$ من الانفعال الحقيقي حيث

$$\epsilon = \ln \frac{t_o}{t_f}$$

$$\varepsilon = \ln \frac{25}{22} = 0.128 \cdot$$

$$\bar{Y}_f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n}$$

$$\bar{Y}_f = \frac{275(0.125)^{0.15}}{1.15} = 175.7MPa$$

$$F = \bar{Y}_f w L$$

F= 175.7 (300)(27.4)=1444786 N
F = 0.5 FL

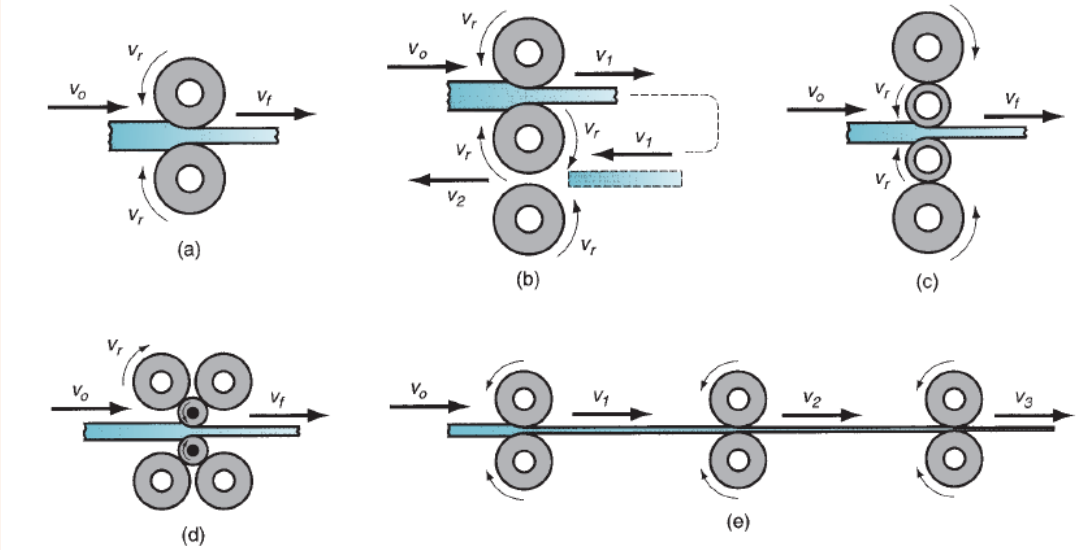
$$T = 0.5(1444786)(27.4)(10^{-3}) = 19786N-m$$

P= 2πNFL

$$P = 2\pi(50)(1444786)(27.4)(10^{-3}) = 12432086N-m/\min = 207201N-m/s(W)$$

يمكن بواسطة الدرفلة الحصول على قضبان (Beams) ذات مقاطع بأشكال مختلفة كـالقضبان ذات مقطع على شكل L (L-beams) وقضبان ذات مقطع على شكل I (I-beams) وعلى شكل U ودائرية ومربعة وقضبان السكة الحديدية ... الخ . مثال كما في شكل (9) .

الشكل بعض أنواع مكائن الدرفلة

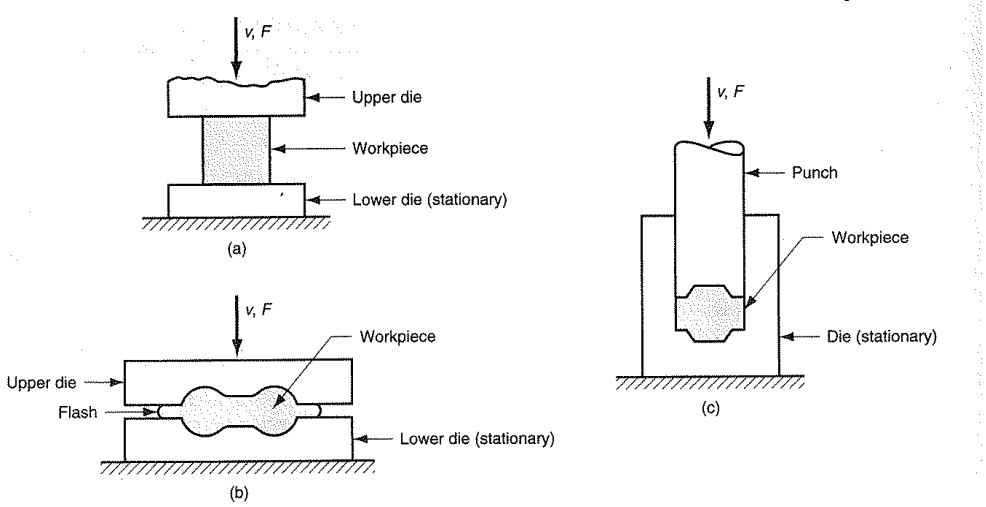


شكل (12)

الحدادة Forging

هي عملية تشويه deformation (تشكيل) وفيها تكبس الشغلة بين قالبين ويتم ذلك أما باستخدام طرق أو ضغط تدريجي وتستخدم لعمل أجزاء مختلفة ذات مقاومة عالية تدخل في صناعة السيارات والطائرات وتطبيقات أخرى كالمحور القلاب crank shaft وذراع التوصيل connecting rod والمسننات gears وعناصر تدخل في بناء الطائرة aircraft structural components وأجزاء التوربين .... و قد تستخدم الحدادة لإنتاج أشكال معينة والتي تشغل فيما بعد إلى الشكل النهائي.
معظم عمليات الحدادة تتم على الدافئ warm أو الساخن hot وذلك لكبر التشويه deformationالمطلوب في العملية وكذلك الحاجة إلى خفض المقاومة strength وزيادة المطيلية ductility لمعدن الشغلة , ومن ناحية أخرى الحدادة على البارد cold forging شائعة الاستخدام لبعض المنتجات . من فائدة الحدادة على البارد هو زيادة المقاومة نتيجة التصلد الانفعالي للجزء المشكل .

تسمى الماكنة التي تستخدم حمل الصدم impact load بمطرقة الحدادة *forging hammer* بينما تسمى الماكنة التي تستخدم الضغط التدريجي بمكبس الحدادة *forging press* .
وتصنف عمليات الحدادة بـ أ- الحدادة بقالب مفتوح *open- die forging* (حدادة حرة) والتي تكبس فيها الشغلة بين قالبين مسطحين two flat dies (أو تقريبا مسطحين) لذا يسمح للمعدن بالانسياب بدون تقييد constrain بالاتجاه الجانبي نسبة إلى سطح القالب . ب – حدادة القالب المغلق *closed–die forging* (حدادة مقيدة) وفيها يحتوي سطح القالب على تجويف ذو شكل ينتقل إلى الشغلة خلال الضغط لذا فان انسياب المعدن يقيد بدرجة كبيرة وفي هذه العملية فان جزء من معدن الشغلة ينساب إلى خارج تجويف القالب ليشكل حافة زائدة *flash* .



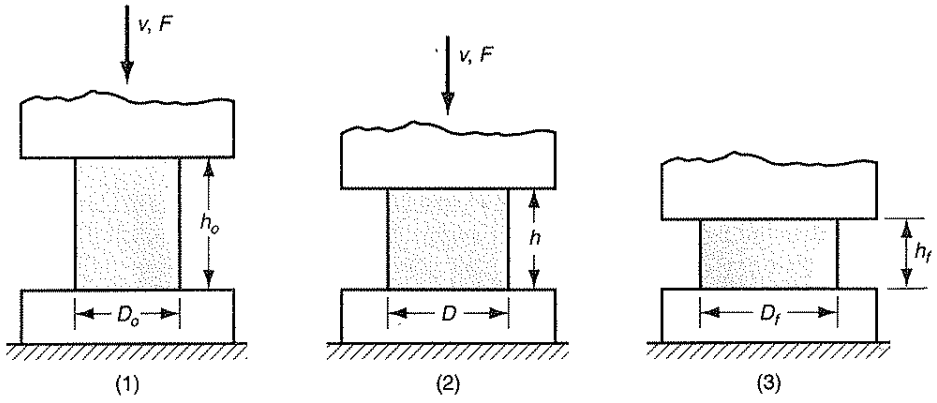
شكل - 6 a- حدادة القالب المفتوح b- حدادة القالب المقيد بحافة معدن زائد c- حدادة بدون حافة المعدن الزائد flash less

ان هذا المعدن الزائد يجب ان يزال فيما بعد. يمكن الحدادة باستخدام قالب بحيث لايوجد حافة زائدة flash less forging . عند البدء يجب ضبط حجم القطعة المراد حدادتها وبشكل دقيق بحيث تساوي حجم لتجويف القالب .

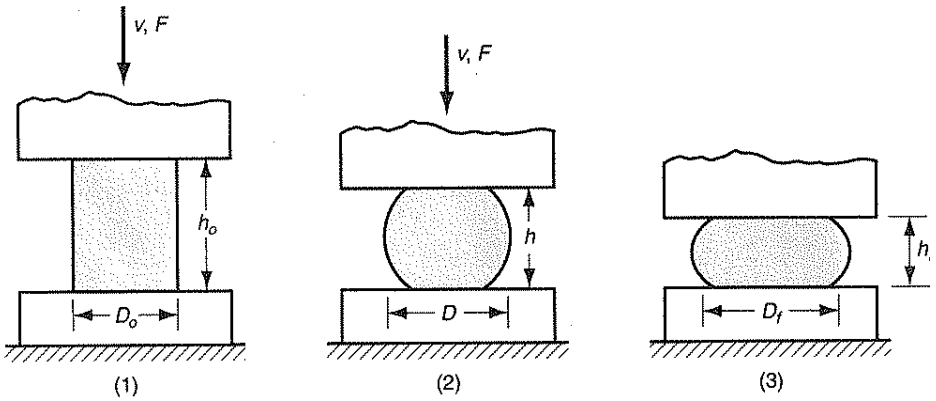
تحليل حدادة القالب المفتوح Open –Die Forging :-
اذا تمت حدادة القالب المفتوح تحت ظروف مثالية أي بدون احتكاك بين الشغلة والقالب فانه يحصل تشويه deformation متجانس وان الانسياب العرضي (الشعاعي) للمعدن يكون منتظم على طول القطعة كما موضح في شكل -7 .
تحت هذه الظروف المثالية يمكن إيجاد الانفعال الحقيقي الذي يحدث في الشغلة خلال العملية كما يلي :-

$$\varepsilon = \ln \frac{h_o}{h} \quad \text{.....(1)}$$

حيث ho = ارتفاع الشغلة عند البدء mm
h = الارتفاع في نقطة وسط ما من العملية mm
hf = الارتفاع النهائي للشغلة في نهاية شوط الانضغاط , وهنا الانفعال الحقيقي تصل إلى أقصى قيمتها



شكل -7 تشكيل متجانس لشغلة اسطوانية تحت ظرف مثالية لعملية حدادة بقالب مفتوح: 1-بداية العملية لشغلة بطولها وقطرها الأصليين. 2- انضغاط جزئي . 3 – الشغلة بأبعادها النهائية .



شكل – 8 تشكيل حقيقي لشغلة اسطوانية لعملية حدادة بقالب مفتوح يوضح البرملةbarreling الواضحة : 1-بداية العملية لشغلة بطولها وقطرها الأصليين. 2- انضغاط جزئي . 3 – الشغلة بشكلها النهائي.

القوة اللازمة لاستمرار الانضغاط في أي ارتفاع h خلال عملية الحدادة يمكن إيجادها بضرب مساحة المقطع المطابق له بإجهاد الانسياب

$$F = Y_f A \text{.....(2)}$$

حيث F = القوة N
و A = مساحة مقطع القطعة المراد حدادتها mm^2
Yf = إجهاد الانسياب المطابق للانفعال المعطى في المعادلة أعلاه MPa
المساحة A تزداد باستمرار خلال العملية بينما الارتفاع يقل.
إن إجهاد الانسياب Yf يزداد نتيجة التصلد الانفعالي ما عدا عندما يكون المعدن تام اللدونة perfectly plastic أي انه لايوجد تصلد انفعالي n = 0 و
Yf = Y (yield strength of metal)
عندما لايكون المعدن تام اللدونة فان القوة تصل إلى أقصى قيمة في نهاية شوط الحدادة عندما كلا المساحة وإجهاد الانسياب في اعلي قيمهم .
إن عملية الحدادة الحقيقية لاتحصل كما في شكل 7 لان الاحتكاك يعرقل الانسياب بين معدن الشغلة وسطح القالب وهذا ينشئ تأثير البرملة كما في شكل 8 . عند تشكيل القطعة وهي ساخنة باستخدام قوالب باردة فان

تأثير البرملة يزداد وهذا ناتج من معامل الاحتكاك الأكبر في التشكيل الساخن وانتقال الحرارة في وقرب سطوح القالب التي تبّرد المعدن وتزيد مقاومته للتشويه . إن المعدن الاسخن في وسط القطعة ينساب بشكل اكبر من المعدم الأبرد في النهايات . وهذه المؤثرات تكون اكبر عندما تزداد نسبة القطر- إلى – الارتفاع بسبب كون مساحة التماس بين القطعة والقالب اكبر .
جميع هذه العوامل تجعل القوة المستخدمة اكبر من تلك المستخدمة في المعادلة 2 . لذا نستخدم العلاقة التالية :

$$F = K_f Y_f A.....(3)$$

حيث

K_f = معامل الشكل يستعمل ليدخل تأثير نسبة D/h والاحتكاك

$$K_f = 1 + \frac{0.4\mu D}{h}.....(4)$$

حيث μ = معامل الاحتكاك و D هي قطر الشغلة او أي أبعاد تمثل طول التماس مع سطح القالب mm و h ارتفاع الشغلة mm .

مثال : قطعة اسطوانية عرضت إلى عملية حدادة على البارد. إذا كان ارتفاع القطعة وقطرها عند البداية هما 75 mm و 50 mm على التوالي . قل الارتفاع بالعملية إلى 36 mm . إذا كان منحني الانسياب للمعدن يعرف بـ K = 350 MPa و n = 0.17 . افترض أن معامل الاحتكاك هو 0.1 . أحسب القوة عند بدء العملية وعند ارتفاع 62 mm و 49 mm وعند ارتفاع نهائي قدره 36 mm.

الحـــل:

الحجم

$$V = 75\pi(50^2/4) = 147{,}262 \text{ mm}^3.$$

عند لحظة تماس القالب العلوي فان

$$h = 75 \text{ mm and the force } F = 0.$$

- عند بدء الخضوع نفترض أن الانفعال

$$\text{strain} = 0.002$$

وفيها إجهاد الانسياب

$$Y_f = K\epsilon^n = 350(0.002)^{0.17} = 121.7 \text{ MPa}$$

وان القطر والمساحة لايزالان تقريبا

$$D = 50 \text{ mm and area } A = \pi(50^2/4) = 1963.5 \text{ mm}^2.$$

في هذه الظروف

$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(50)}{75} = 1.027$$

القوة المستخدمة في الحدادة هي :

$$F = 1.027(121.7)(1963.5) = 245{,}410 \text{ MPa}$$

ـعند الارتفاع

$h = 62$ mm,

$$\epsilon = \ln\frac{75}{62} = \ln(1.21) = 0.190$$

$$Y_f = 350(0.1904)^{.17} = 264.0 \text{ MPa}$$

بافتراض ثبوت الحجم وبافتراض عدم وجود برملة

$$A = 147{,}262/62 = 2375.2 \text{ mm}^2 \text{ and } D = 55.0 \text{ mm}$$

$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(55)}{62} = 1.035$$

$$F = 1.035(264)(2375.2) = 649{,}303 \text{ N}$$

ـ وبنفس الطريقة

at $h = 49$ mm, $F = 955{,}642$ N. And at $h = 36$ mm, $F = 1{,}467{,}422$ N.

منحني الحمل – الشوط موضح في الشكل 9.