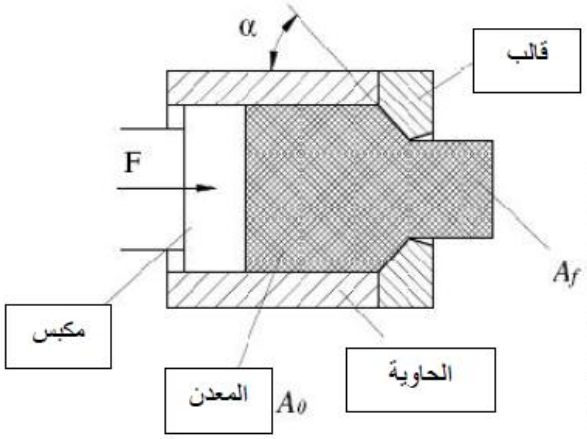
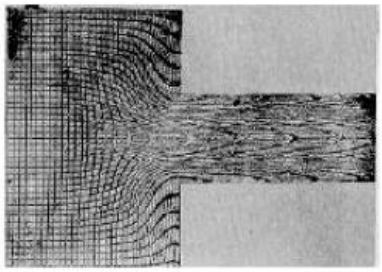
٥-١ البثق Extrusion :-

البثق:- هو عبارة عن تسليط قوة على كتلة من المعدن ذات مساحة مقطع قيمتها A_o لتمر خلال قالب لتشكيل منتج بمساحة مقطع اقل قيمتها A_f . شكل المقطع النهائي للمنتج شبيه بمقطع القالب. المنتجات المبثوقة لها مقطع حبيبي طولي ، شكل(٥-١). يستعمل البثق لانتاج المقاطع المنتظمة الشكل مع خصائص ميكانيكية جيدة تدخل في المواد الانشائية و هياكل المركبات كما في الاشكال (٥-٢، ٥-٣ ، ٥-٤)



المتغيرات في عملية البثق المباشر



جريان المعدن في البثق المباشر

شكل (٥-١) شكل يوضح عملية البثق وتأثيه على بلورات المعدن

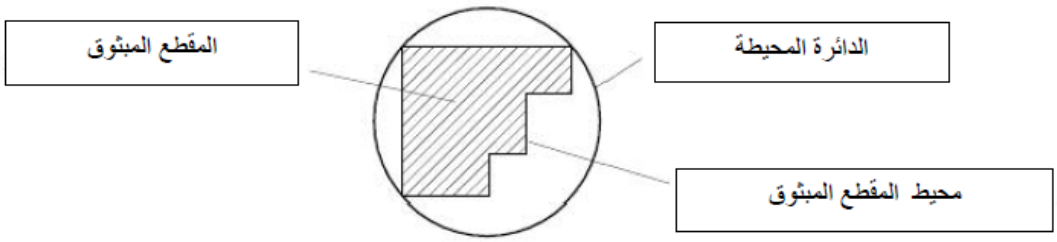
شكل (٥-٢) بعض استعمالات الاجزاء الالمنيوم المصنوعة

٥-٢ متغيرات العملية:-

- نسبة البثق (Extrusion Ratio) :- هي نسبة مساحة المقطع الابتدائي الى مساحة المقطع النهائي للمادة $\frac{A_o}{A_f}$.

  ويكون مدى هذه النسبة هو 10: 1 ومن الممكن ان تصل الى 1:400 للمواد المطيلية جداً.

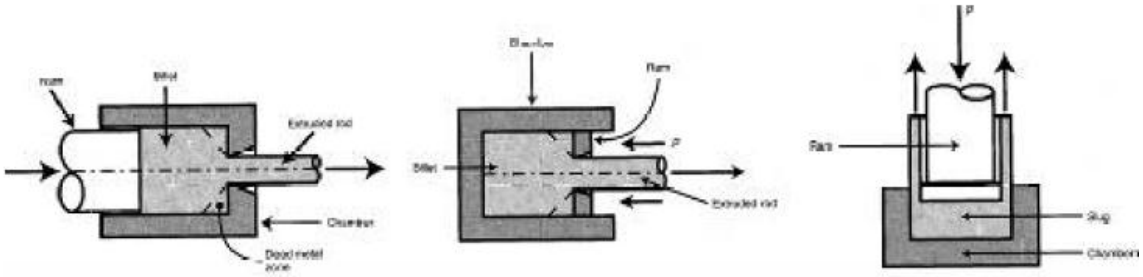
- عامل الشكل (Shape factor) :- عامل تعقيد الشكل. هو نسبة طول محيط الشكل (Perimeter) المبثوق الى طول محيط الدائرة المحيطة بالمقطع (Circumscribed circle) (اصغر دائرة يستطيع ان يمر من خلالها مقطع الشكل). شكل (٥-٥).



شكل (٥-٥) عامل تعقيد الشكل

- زاوية القالب (α):- تعريف لزاوية القالب.
- قوة البثق (F) :- تعتمد على : مقاومة المادة ، نسبة البثق ، الاحتكاك بين المعدن والقالب ، عامل الشكل ، درجة الحرارة ، سرعة البثق.
- سرعة الذراع:- وتصل إلى 0.5m/s . تستعمل اقل سرع للألمنيوم والمغنسيوم والنحاس والسرع الأعلى للفولاذ.
- سماحات الشكل المبثوق:- عادة من (± 0.25) الى (± 2.5) ملم (تزداد مع زيادة مساحة المقطع المبثوق).

اعتمادا على آلية البثق من الممكن تصنيف عمليات البثق إلى إمامي (Forward) وخلفي (Back ward) وصدمي (Impact) . شكل (٥-٦).



شكل (٥-٦) انواع عمليات البثق

٥-٣ البثق الأمامي (المباشر Direct):-

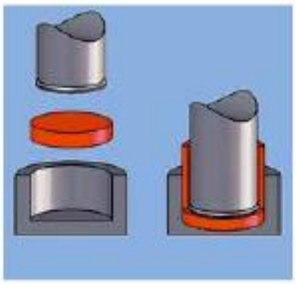
توضع كتلة المعدن في حاوية ومن ثم تدفع إلى الإمام بواسطة مكبس من خلال فتحة الحاوية (أو من خلال فتحة القالب المثبت في الحاوية).

٥-٤ البثق الخلفي (غير مباشر Indirect):-

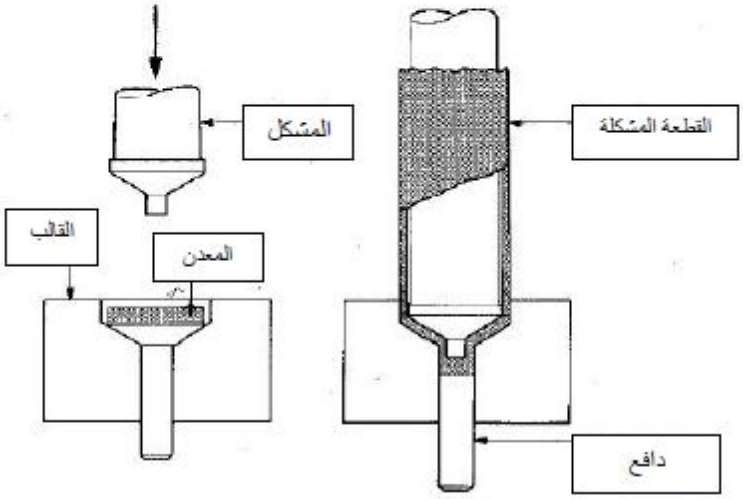
في هذه الطريقة تكون حركة المكبس في اتجاه معاكس لاتجاه حركة المعدن المثبوق. تقلل هذه الطريقة الاحتكاك بين كتلة المعدن وجدار القالب وبالتالي تقلل الطاقة المبذولة. تكون المعدات هنا اعقد من معدات البثق الأمامي كما إن طول المنتج المبثوق يكون محدود مقارنة بطول المنتج في الطريقة الأمامية.

٥-٥ البثق الصدمي (Impact) :-

يتم عادة على البارد. حيث يصدم المُشكّل (مثبت على المكبس) كتلة المعدن بسرعة وقوة نسبياً عالية مسبباً جريان المعدن بمعدل انفعال عالي حول المشكّل ، ويكون سمك المنتج المبثوق معادل للفراغ الموجود بين المشكّل ، والقالب (الحاوية Chamber). تستعمل هذه الطريقة لإنتاج أنابيب معجون الأسنان و المستحضرات الطبية. ويكون معدل الإنتاج عالي (ضربتان للمكبس في الثانية). شكل (٥-٧) شكل(٥-٨).



شكل (٥-٧) البثق الصدمي

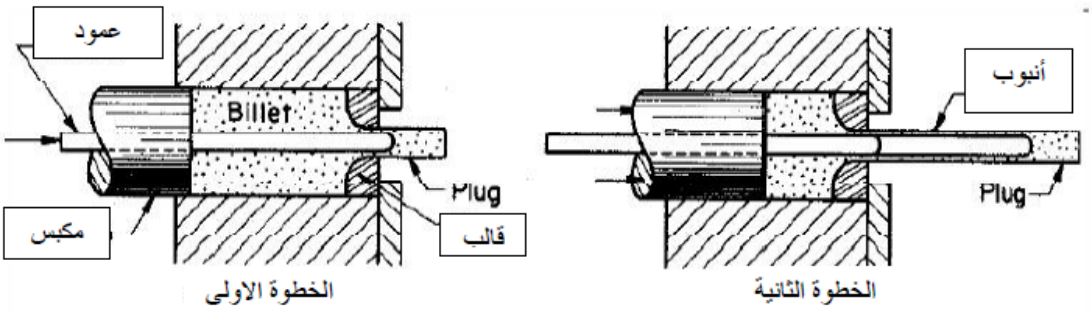


شكل (٥-٨) البثق الصدمي لإنتاج أنبوبة معجون

٥-٦ بثق الأشكال المجوفة Hollow shapes :-

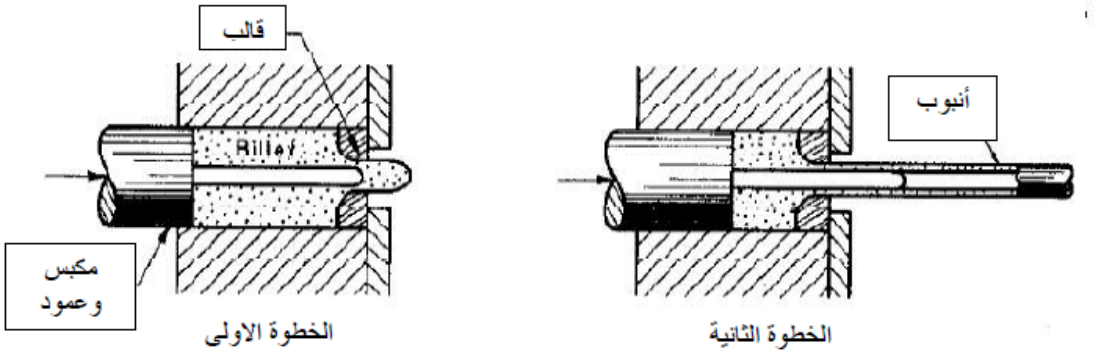
تبثق الإشكال المجوفة بالطرق الآتية :-

١. عمود موقعي Stationary mandrel :- ينزلق المكبس على طول عمود ثابت. سمك المنتج المبثوق ينتج ويعادل الفراغ بين العمود والقالب و يمكن استعماله لإنتاج الأجزاء الأنبوبية. شكل (٥-٩).



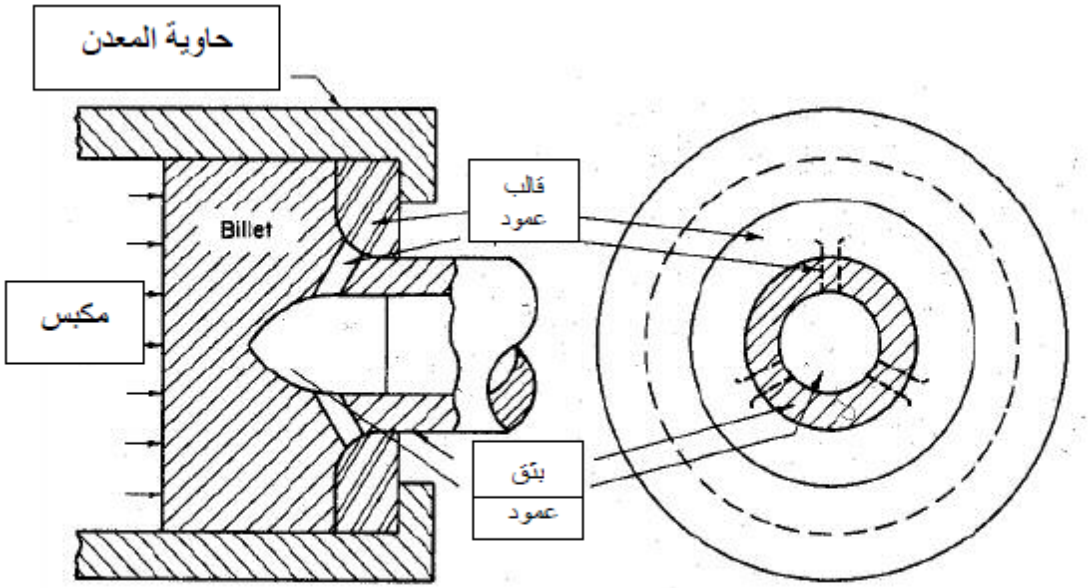
شكل (٥-٩) طريقة استعمال العمود الموقعي

٢. العمود المتحرك:- يثبت العمود إلى المكبس (يتحركان معاً). شكل (٥-١٠).



شكل (٥-١٠) طريقة العمود المتحرك.

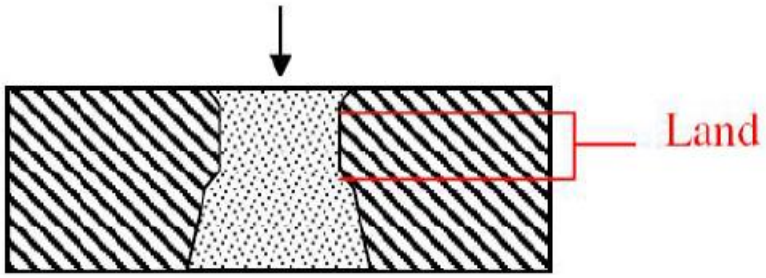
٣. العمود العنكبوتي:- يستعمل لبثق أجزاء تحوي تجاويف داخلية معقدة. يثبت العمود إلى القالب بواسطة أضلاع عنكبوتية. تقوم هذه الأضلاع فعليا بتقطيع المعدن فينساب المعدن ويجري حولها. ولكن بعد عبور المعدن للأضلاع يعاني انضغاط إضافي نتيجة تقلص الفراغ بين العمود والقالب. وتعمل القوى الناتجة من هذا التشوه على المعدن معاً مرة ثانية. تبلى هذه الإضلاع بسرعة وكلفتها كبيرة و تستعمل للألمنيوم فقط (بسبب قابليته على تكوين لحام قوي تحت الضغط). لا تستعمل المزيتات هنا لأنها تمنع إعادة التحام المعدن في القالب. شكل(٥-١١).



شكل(٥-١١) عمود عنكبوتي

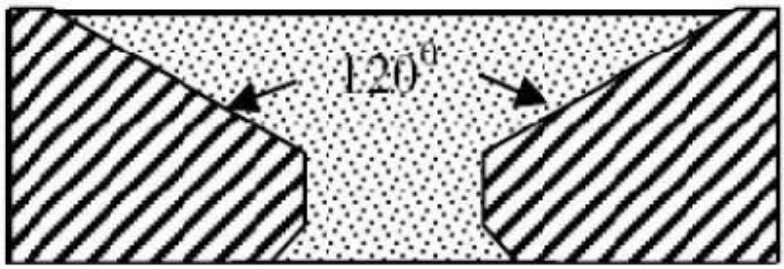
٥-٧ ملاحظات عن تصميم القالب:-

- لبثق المعادن غير الحديدية (خاصة الألمنيوم) تستعمل القوالب المربعة (زاوية البثق $\alpha = 90^{\circ}$) فيتكّون حيز من المعدن الميت (Dead metal zone) في زاويا القالب حيث تحسن من مواصفات المنتج النهائي المبثوق. شكل (٥-١٢).



شكل (٥-١٢) زاوية ٩٠ درجة.

- يكون مدخل القالب للمعادن الحديدية ذا زاوية مفتوحة كبيرة لمنع حدوث نطاق المعدن الميت. شكل (٥-١٣).

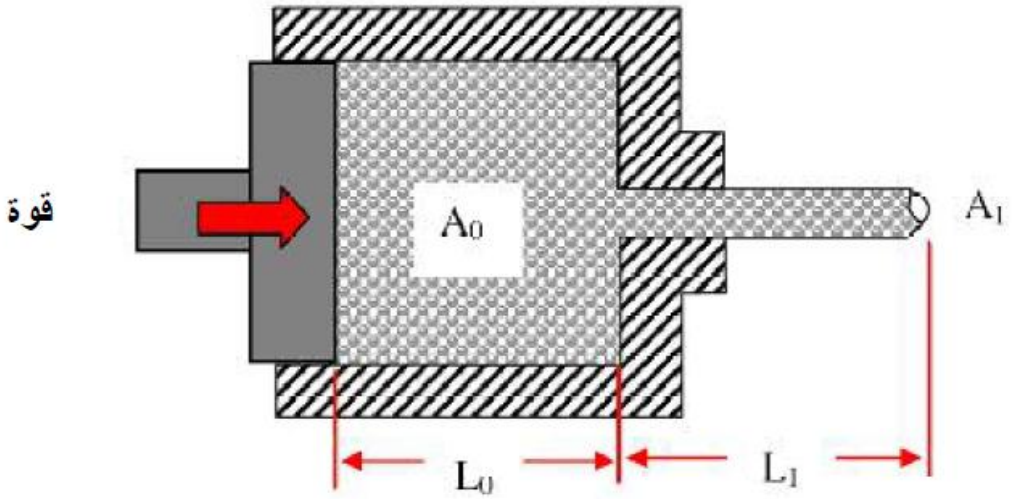


شكل (٥-١٣) معدن بزاوية ١٢٠ درجة.

- يجب تجنب الزوايا والحافات الحادة في القالب.

٥-٨ تحليل القوى في عمليات البثق:-

نحاول في المثال الآتي إيجاد صيغة تمثل الشغل التقريبي المطلوب أو تخمين الضغط أو القوة المطلوبة لانجاز عملية البثق. شكل (٥-١٤).



شكل (٥-١٤)

بما ان الحجم قبل البثق مساوي للحجم بعد البثق :-

إذن :

$$A_0.L_0 = A_1.L_1$$

$$\frac{A_0}{A_1} = \frac{L_1}{L_0}$$

وبما ان نسبة البثق R هي :

$$R = \frac{A_0}{A_1} = \frac{L_1}{L_0}$$

و بتطبيق نظرية التشويه المتجانس (احتكاك يساوي صفر) الشغل المطلوب يساوي حاصل ضرب كل من القوة و المسافة:-

$$W = F.L$$

لكن

$$F = \sigma.Area$$

إذن $$W = \sigma.Area.L = \sigma.Vol.$$

الجهد المسلط يحسب عن طريق جهد الخضوع مضروباً بالانفعال الحقيقي.

$$\sigma = \bar{Y} \ln \frac{L_1}{L_0}$$

وهكذا $$W = Vol.\bar{Y} \ln \frac{L_1}{L_0} = Vol.\bar{Y} \ln \frac{A_0}{A_1}$$

لكن كما يظهر في عملية البثق فان الشغل المبذول:-

$$W = F_{Ext}.L_0 = (P_{Ext}.A_0).L_0 = P_{Ext}.Vol$$

وبالتعويض بقيمة ضغط P_{Ext} في المعادلتين السابقتين.

$$P_{Ext} = \bar{Y} \ln \frac{A_0}{A_1} = \bar{Y} \ln(R)$$

هذه الصيغة تعطي تخمين ضعيف جداً لضغط البثق بسبب إهمال الاحتكاك او الشغل الزائد (بسبب جهود القص الداخلية). لذلك من الممكن تعديل هذه الصيغة لتأخذ في الاعتبار الجهود الداخلية حيث ستصبح بالشكل الآتي:-

$$P_{Ext} = \bar{Y} [a + b.\ln(R)]$$

حيث (a):- معامل الشغل الزائد (Redundant work) بينما الحد ($b.\ln(R)$) هو تعبير عن الشغل المفيد ولكن تبقى هذه المعادلة في حالة اهمال للاحتكاك.

أما بالنسبة للمواد التي لا تتصلد بالاجهاد مثل الرصاص (Lead) وبعض سبائك الالمنيوم وبعض سبائك الفولاذ فان الثوابت في المعادلة تأخذ القيم الآتية : (اشتقت من قبل العـــالم Johnson 1957).

ومن خلال التجارب فان قيم a و b هي :

$$a= 0.8 , \quad b=1.5$$

$$\frac{P_{Ext}}{\overline{Y}} = 0.8 + 1.5 \ln(R)$$

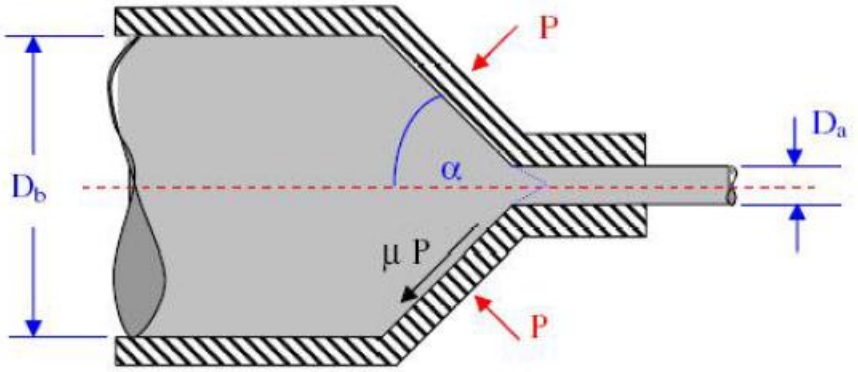
, وبتحوير هذه المعادلة لتتضمن الاحتكاك تصبح :-

$$\frac{P_{Ext}}{\overline{Y}} = [0.8 + 1.5 \ln(R)].\exp^{4\mu L/D}$$

حيث L يمثل طول كتلة المعدن قبل البثق ، D يمثل قطر الكتلة ، μ هو معامل الاحتكاك

٥-٩ البثق في القالب المخروطي Tapered Die :-

$\beta = \mu.\text{Cot}\ \alpha$



شكل (٥-١٥) القالب المخروطي

عند استعمال القالب المخروط نحتاج الى معرفة تأثير زاوية مخروط القالب.

والمعادلة المستعملة هي:-

$$\frac{P}{\overline{Y}} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_b}{D_a}\right]^{2\beta}\right)$$

مثال:- احسب ضغط البثق للعملية الآتية (شكل ٥-١٦) مستعملاً:-

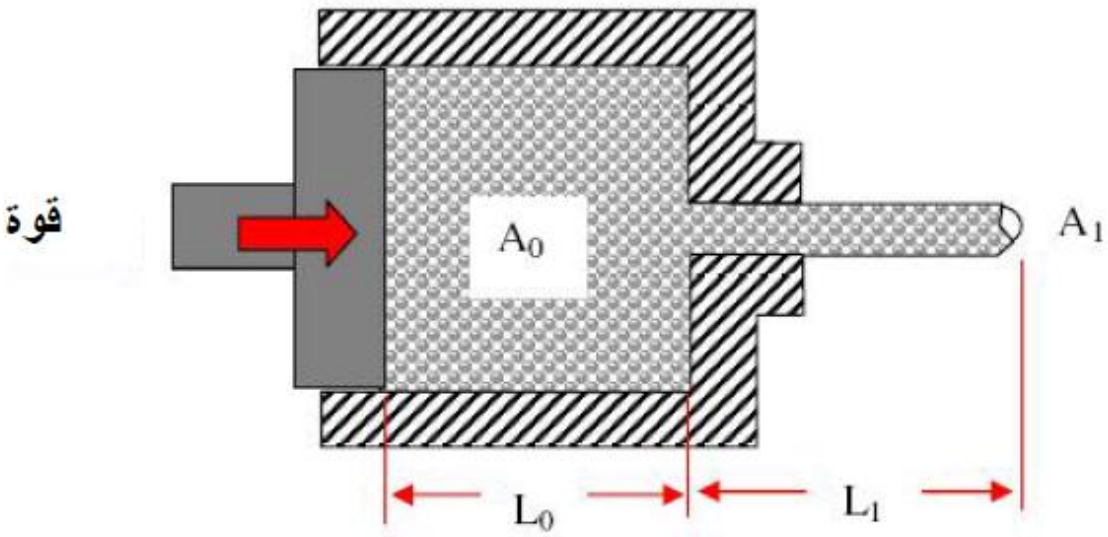
١) نظرية الحد الأسفل Lower Bound

٢) صيغة الشغل مع حساب القص الداخلي كما اشتق من قبل جونسن Johnson حيث $\overline{Y} = 120 N.mm^{-2}$ ، مساحة كتلة المعدن 400mm² وتبثق إلى مساحة قيمتهـا 64mm².

٣) إذا كان الطول الأولي لخامة المعدن هو 40mm ومعامل الاحتكاك يعـادل 20%. احسب الضغط الجديد المطلوب للتغلب على ألاحتكاك ؟

٤) اذا كانت الزاوية الكلية 50° ما هو ضغط البثق المطلوب.

٥) اشرح النتائج الظاهرة في كل حالة.



شكل (٥-١٦) عملية بثق في قالب مربع

الجواب:-

١) باهمال الاحتكاك والشغل الزائد نستعمل المعادلة الآتية :

$$P_{Ext} = \bar{Y} \ln(R) = \bar{Y} \ln\frac{A_0}{A_1} = (120).\ln\frac{400}{64} = 120 \text{ x } 1.83 = 219.9 \text{ N.mm}^{-2}$$

٢) نستعمل المعادلة التالية :

$$P_{Ext} = \bar{Y}\,[a + b.\ln(R)], \text{ where by Johnson a} = 0.8 \text{ and b} = 1.5$$

حيث

$$P_{Ext} = (120).[0.8 + 1.5 \ln\frac{400}{64}] = 120 \text{ x } 3.55 = 425.86 \text{ N.mm}^{-2}$$

٣) وباحتساب الاحتكاك نستعمل المعادلة الآتية:

$$P_{Ext} = \bar{Y}\ [0.8 + 1.5 \ln(R)].\exp^{4\mu L/D}$$

وبما ان المساحة الأولية معروفة فاننا نستطيع حساب القطر حيث المساحة تساوي πr^2

$$= (120).[0.8 + 1.5 \ln\frac{400}{64}] \exp^{4(0.2)(40)/(22.56)} = 120 \text{ x } 14.66 = 1759.67 \text{ N.mm}^{-2}$$

٤) وفي حال كان القاب مخروطي الشكل نستعمل المعادلة الآتية:

$$P = \overline{Y} \cdot \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_b}{D_a}\right]^{2\beta}\right)$$

حيث $\beta = 0.2\text{Cot}(25) = 0.43$

$$P = 120.\frac{1+0.43}{0.43}\left(1-\left[\frac{400}{64}\right]^{0.86}\right)$$

لاحظ إننا استعملنا نسبة المساحة داخل الاقواس.

٥) بدون حساب الشغل الإضافي والاحتكاك (تشويه متجانس) نحتاج لتسليط قوة تعـــادل 1.83 بقدر مقاومة الخضوع.

- بإهمال الاحتكاك مع حساب تأثير القص الداخلي نحتاج لتسليط 3.55 بقدر مقاومة الخضوع.
- بحساب الشغل الإضافي والاحتكاك في القالب بدون زاوية سنحتاج تسليط 14.66