مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

تشكيل المعادن باستخدام القوة الكهرطيسية

الدكتور نوفل الأحمد*

(قبل للنشر في 1996/5/13)

□ الملخّص □

إن تشكيل المعادن يمكن أن يتم بعدة طرق، الطرق القديمة التقليدية المتمثلة في تطبيق قوة على المعدن ميكانيكياً أو هيدروليكياً إلى أن يتم التشكيل أو الطرق الحديثة ومنها هذه الطريقة وهي استخدام قوة ناتجة عن الصدمة من جراء تفجير شحنة في وسط ملائم أو تفجير سلك أو تفريغ شحنة كهربائية في وشيعة.

إن هذا البحث يتناول طريقة الحصول على قوة التشكيل من تفريغ شحنة كهربائية مخزنة في مكثف كبير في وشيعة فولانية متينة حيث تتكون ساحة مغناطيسية وهذه الساحة تسبب تياراً كهربائياً ينتج عنها القوة اللازمة.

يتضمن البحث وصفاً دقيقاً لهذه الطريقة وأنواع الوشائع المستخدمة مع شرح مبدأ عمل آلة التشغيل المغناطيسية مع ذكر العلاقات الهندسية المستخدمة واشتقاق معادلة الضغط اللازم للتشكيل عندما يعرف إجهاد خضوع المادة وأبعاد قطعة التشغيل مع التنويه على تأثير بعض الخواص الفيزيائية على هذه الطريقة.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (18) No (4) 1996

THE METAL FORMING WITH ELECTRO-MAGNETIC FORCE

Dr. Nofal AL-AHMAD*

(Accepted 13/5/1996)

❐ ABSTRACT ❐

The metal formation could be done in several ways. The conventional methods depended on the use of the mechanical or hydraulic forces on the work piece until forming. But the new methods such as explosive-forming or magnetic-forming use the force produced from explosion-shock or explosive material or discharge an electrical impuls in a coil.

This paper discusses how man can get the forming force from discharging of electrical energy, which is stored in capacitor and in a steel coil. This current produces the forming force.

* Associate Professor at Design and Production Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- مقدمة:

يعتبر استخدام القوة الكهرطيسية في مجال تشكيل القطع المعدنية على مختلف أنواعها من أحدث الطرق التي ظهرت في الآونة الأخيرة (في أوائل الستينات). وقد ظهرت بشكل مواز لها تقريباً طريقة التشكيل بوساطة قوة التفجير. إن هاتين الطريقتين تتشابهان من حيث المبدأ الذي هو عبارة عن تفريغ طاقة مختزنة في العدة التي تقوم بتشكيل المعدن. والطاقة إما أن تكون طاقة متفجرات معروفة، أو طاقة كهربائية مختزنة في مكثفات خاصة.

أثناء تفريغ الطاقة الكهربائية في سلك ناقل فانه يتفجر وينشأ عن التفجير قوة يمكن استخدامها في مجالات مختلفة. وإذا فرغت الطاقة الكهربائية في وشيعة فتنشأ عن ذلك ساحة مغناطيسية هائلة تستعمل في إنتاج قوة التشكيل المطلوبة.

وسيتعرض هذا البحث لاستخدام القوة الكهرطيسية، حيث يمكن بهذه الطريقة تشكيل المعادن، ووصلها، ودمجها، وقطعها، والتحكم بها حسب قالب خاص، سواء كانت قطع التشكيل دائرية محورية أو مسطحة "ويفضل أن تكون قطع التشغيل جيدة النقل للكهرباء أو الساحات المغناطيسية" فبهذه الطريقة يجري تخزين الطاقة الكهربائية كما ذكرنا في مكثفات يتم تفريغها في وشائع ملائمة، عندما تتحول الشحنة الكهربائية إلى نبضة مغناطيسية كبيرة تنتج عنها قوة كهرطيسية متسارعة إذا أثبتت على قطعة معدنية فانها تسبب تشكيلها.

ولقد طبقت هذه الطريقة في مجالات متعددة، على سبيل المثال، في عملية الدمع (وصل قطعتين معاً) "ودلت التجارب التي أجريت[1] أنه يمكن الاستعاضة بهذه الطريقة عن عملية لحام قطعتين في حالة عدم قابلية اللحام" ويمكن استعمال هذه الطريقة بصورة رئيسية لوصل معادن مختلفة لا تقبل اللحام كالفولاذ مع الألمنيوم أو النحاس..الخ.

2- المبدأ الأساسي للطريقة:

إذا فرغ مكثف ذو سعة معينة مشحون بالطاقة الكهربائية في وشيعة، وفي وقت قصير جداً، فإنه يتكون حقل مغناطيسي باتجاه محور الوشيعة. فإذا كانت داخل هذه الوشيعة قطعة معدنية فانه، وحسب تغير الساحة المغناطيسية المتشكلة، يتحرض في الأنبوبة جهد كهربائي، ينتج عنه سريان تيار كهربائي معاكس، وهذا التيار الذي يسري في الأنبوبة يكون ساحة مغناطيسية تتفق في جهتها مع الأولى في الفراغ بين الوشيعة وقطعة التشغيل، وتختلف معها داخل الأنبوبة (الشكل 1)، إن الساحات المختلفة بالجهة تفني بعضها بعضاً والمتفقة بالجهة تتدافع. ومن هذه الخاصية نرى أن الفراغ داخل الأنبوبة يبقى خالياً من القوى، بينما ينتج في الفراغ بين الوشيعة وقطعة التشغيل قوة قطرية محيطية متجانسة تؤثر على الوشيعة وعلى قطعة التشغيل في آن واحد.

إن هذه القوة تسبب على سطح قطعة التشغيل اجهادات مماسية وقطرية ومحورية، ويمكن الاستعاضة عن هذه الاجهادات بإجهاد واحد يسمى الإجهاد المكافئ (σ_V) ويعطى بالعلاقة:

$$\sigma_v = \sigma_t + \sigma_r + \sigma_z \qquad (1)$$

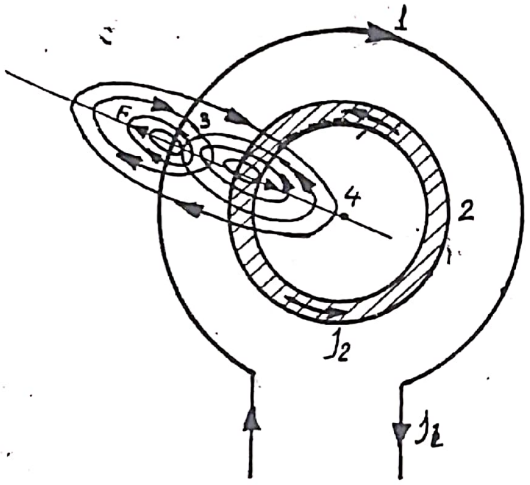
حيث:

(σ_t): الإجهاد المماسي.

(σ_r): الإجهاد القطري.

(σ_z): الإجهاد المحوري.

فطالما أن (σ_v) أصغر من الإجهاد الأعظمي الذي يبدأ به المعدن بالخضوع (σ_s) فإن التشكيل يبقى مرناً، وإذا ازدادت قيمة (σ_v) عن قيمة (σ_s) فإن المعدن يبدأ بالتشكيل اللدن، وتبقى آثار التشكيل على قطعة التشغيل.



الشكل (1): خطوط الساحة المغناطيسية

1- وشيعة

2- قطعة تشغيل

3- خطوط الساحة حول الوشيعة

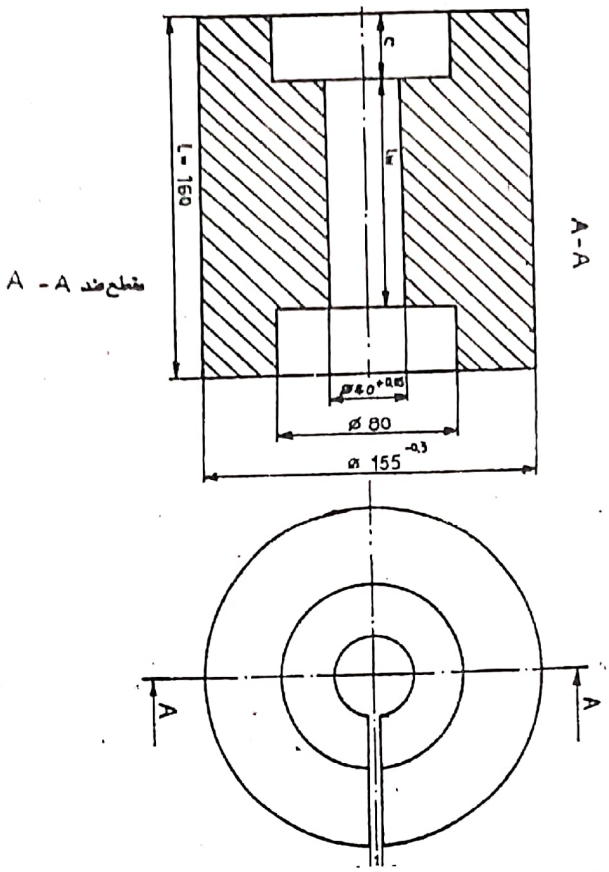
4- خطوط الساحة حول قطعة التشغيل

I_1- التيار البدائي

I_2- التيار الثانوي

3- التحكم بالحقول المغناطيسية:

إن عملية التحكم بالحقل المغناطيسي المنبثق من الوشيعة، تجري في ما يسمى مركز الساحة المغناطيسية. وهذا المركز عبارة عن جسم محوري أسطواني من الألمنيوم، أو النحاس، أو من خلائطهما، مشقوق طولياً لنقل الساحة المغناطيسية من محيط القطعة الخارجي إلى محيطيها الداخلي (الشكل 2).



الشكل (2): مركز الساحة المغناطيسية (الأبعاد بالمليمتر)

إن المركز يصمم بحيث يكون الطول الفعال L_W وقطر المركز d، يتناسبان مع قطعة التشغيل المراد تشكيلها لأن الساحة المغناطيسية المؤثرة على المحيط الخارجي يجري تجميعها من الطول L، وتركزها على قطعة التشغيل بالطول L_W، فتزيد كثافتها ويكبر مردود الآلة.

ولقد أجريت تجارب على أطوال مختلفة فتبين أنه كلما صغرت L_W كلما حصلنا على قوة كهرطيسية أكبر وكذلك بالنسبة إلى القطر d.

4- أنواع الوشائع المستعملة:

هناك ثلاثة أنواع من الوشائع المستعملة:

1- وشائع داخلية.

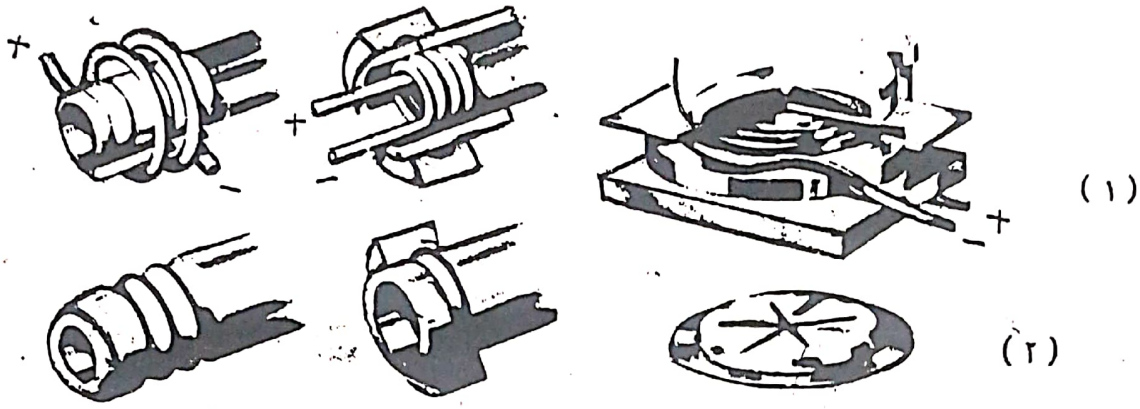
2- وشائع خارجية.

3- وشائع مسطحة.

إن الوشائع الداخلية توضع داخل مركز الساحة المغناطيسية الذي يوضع بدوره داخل قطعة التشغيل، وتنتشر خطوط الساحة المغناطيسية بدءاً من الوشيعة إلى الخارج. أما الوشائع الخارجية فيوضع مركز الساحة المغناطيسية في داخلها، وتوضع قطعة التشغيل داخل المركز، وتتجه خطوط الساحة المغناطيسية هنا من الوشيعة باتجاه المركز فقطعة التشغيل.

أما الوشائع المسطحة فتصمم بشكل حلزوني (الشكل 3) وغالباً ما تستعمل هذه الوشائع بدون مركز للساحة المغناطيسية. وأثناء استعمال هذا المنوع من الوشائع توضع بشكل

مواز لقطعة التشغيل وتقوم الساحة المغناطيسية الناتجة عن الوشيعة بخلق قوة تضـــغط علـــى صفيحة مقابلة لتشكيلها حسب قالب معين موضوعة عليه.



الشكل (3)

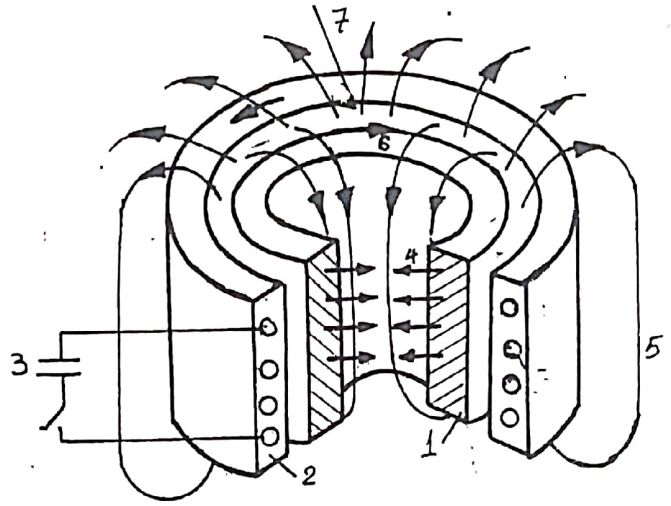
1- أنواع الوشائع ووضعها بالنسبة لقطعة التشغيل.

2- الشغلة المنتجة.

ويمكن، بوساطة الوشائع المحورية التي تحيط بقطعة التشغيل، التأثير علـــى الأجســـام المحورية مثل الأنابيب وتشكلها بشكل متجانس، ولهذا تسمى الوشائع الضاغطة، أما الوشـــائع التي تحيط بها قطعة التشغيل والتي تؤثر على هذه القطع وتمددها خارجيـــاً فتســـمى وشـــائع طاردة. والجدير بالذكر أن الوشائع الضاغطة تتمتع بعدة مزايا منها أنها ذات مـــردود عـــالي بسبب أن الحقل المغناطيسي يتجمع بعكس الوشـــائع الطـــاردة التـــي تتنـــاثر فيهـــا الأشـــعة المغناطيسية في اللانهاية.

5- مبدأ عمل آلية التشغيل المغناطيسي:

إن الشكل (4) يبين المخطط المبسط لآلة التشغيل المغناطيسية، فهـــي تتـــألف بشـــكل رئيسي من محول كهربائي، وموحد لجهة التيار، ومجموعة من المكثفـــات، وقاطعـــة، وآليـــة تحكم، ووشيعة. ويتوقف فرق كمون المكثفات على هدف التشغيل، ومقدار الطاقـــة اللازمـــة لقطعة التشغيل وهذا ما يمكن تعييره مسبقاً بحيث إذا ما بلغ حداً معيناً يقـــوم جهـــاز المراقبـــة والشحن المسمى (Ignitroen) بفصل التيار (تيار الشحن) عن الشبكة العامة، ووصـــله مـــع الوشيعة، حيث يمكن القيام بعملية التشغيل.



الشكل (4): نشوء القوة المغناطيسية

1- قطعة التشغيل (ماسورة) 2- وشيعة

3- مكثفة (سعة) 4- القوة المغناطيسية

5- الساحة المغناطيسية 6- التيار الثانوي

7- التيار البدائي

وتتلخص عملية التشغيل بالخطوات التالية:

1- تعيير طاقة الآلة حسب ما تتطلبه قطعة التشغيل. وهذا ما يتعلق بقياسات قطعة التشغيل وخواصها الميكانيكية والكهربائية، لن هذه الطاقة تتحول فيما بعد إلى قوة تؤثر على سطح قطعة التشغيل. ويجب معرفة القوة اللازمة لتبلغ بها قطعت التشغيل حد المرونة.

2- وضع قطعة التشغيل في مركز الساحة المغناطيسية المتواجدة في الوشيعة.

3- تشغيل جهاز الشحن. وهذا الجهاز يقوم بشحن المكثفات، ويفصل أوتوماتيكياً بمجرد ملئها.

4- تفريغ الشحنة في الوشيعة بالضغط على زر التشغيل.

5- انتزاع قطعة التشغيل من الوشيعة بعد أن تكون قد أصبحت جاهزة.

6- عملية تفريغ الشحنة في الوشيعة:

إن عملية تفريغ الشحنة المختزنة في الوشيعة تتم خلال زمن قدره 1 من 100000 من الثانية. وبذلك يبلغ التيار اللحظي الناشئ:

$$i_s = I_0 . e^{-t/T} . \sin(wt) \qquad (2)$$

وكما يظهر من المنحني البياني أن هذا التيار دوري جيبي ومخمد (الشكل 5).

والضغط المغناطيسي الذي يسببه هذا التيار يبلغ قيمته العظمى حسب المعادلة التالية:

$$p_m = \frac{\mu}{2} H_z^2(r_a, t) - H_z^2(r_i, t) \qquad (3)$$

حيث الرموز في المعادلة (2) و(3) تعني:

(p_m) الضغط المغناطيسي الوسطي Kp/cm^2

(H) الساحة المغناطيسية $A.m^{-1}$

(r_a) نصف القطر الخارجي للأنبوبة cm

(r_i) نصف القطر الداخلي للأنبوبة cm

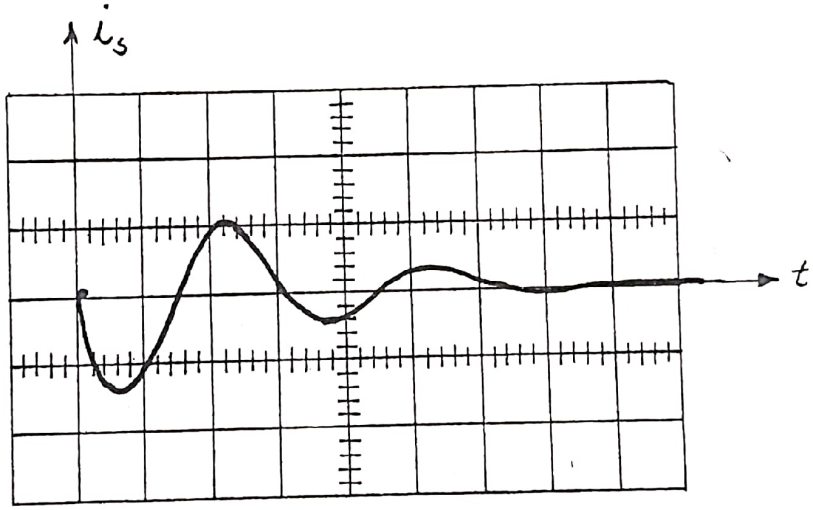
(t) الزمن s

(T) الدور s

(i_s) التيار اللحظي (الأعظمي) A

(I_0) التيار الكهربائي المشغل A

(μ) النفوذية المغناطيسية في الهواء: ($\mu = 1.256637.10^{-6}\ N.A^{-2}$)

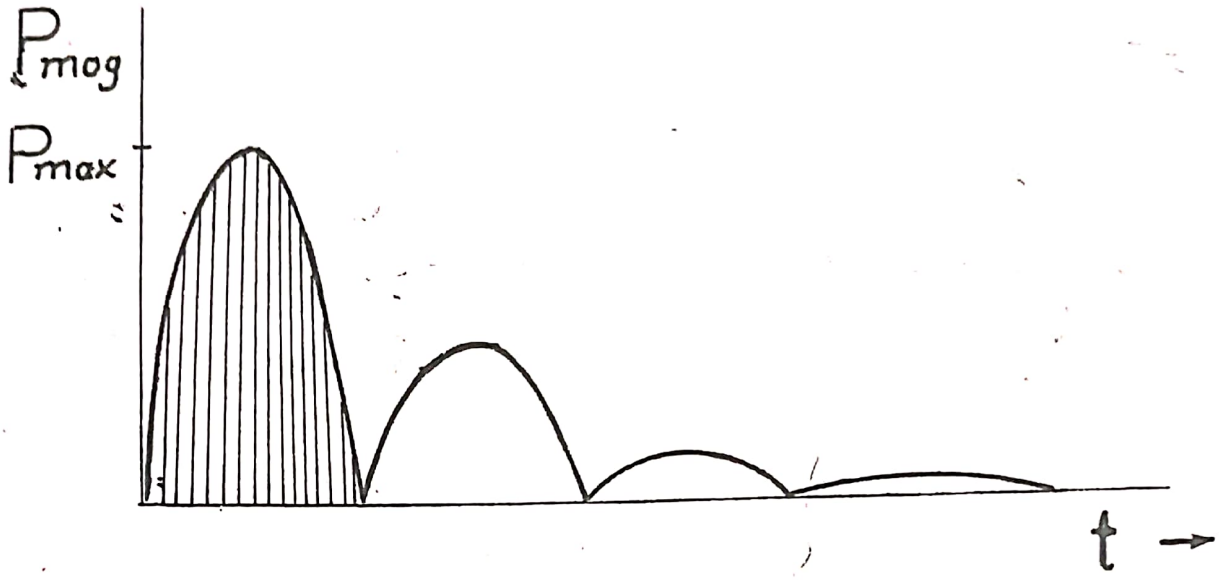


الشكل (5)

إن النبضة الفعالة يبينها الشكل (6) في الجزء المهشر. ويكون الضغط هنـــا أعظميـــاً، أما النبضات المتتالية فتكون أقل تأثيراً.

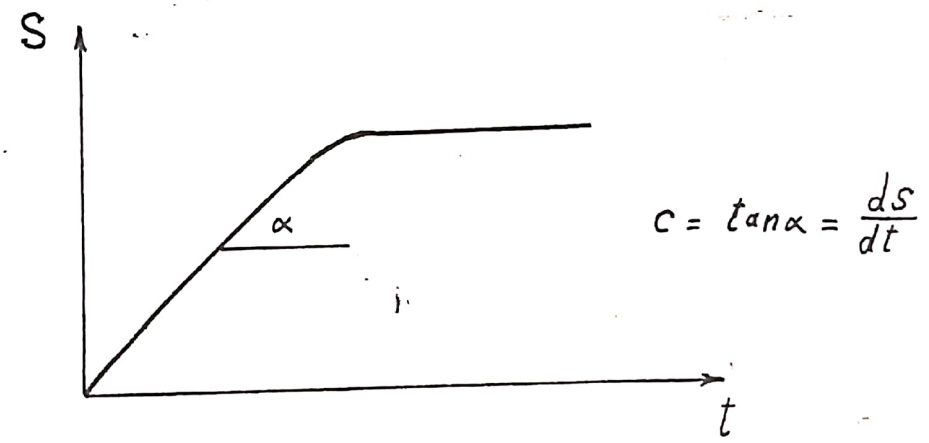
إن سرعة التشكيل تعطى بالعلاقة التالية:

$$C = \tan\alpha = \frac{ds}{dt}$$



الشكل (6)

وتبلغ هذه السرعة حوالي 300 م/ثا الشكل (7).



الشكل (7)

إن قيمة الحقل المغناطيسي اللازم لتلدين قطعة التشغيل يعطى بالعلاقة:

$$H_z(r_a, r_i) = \sqrt{\frac{\frac{2}{\mu}\sigma_s \ln\frac{r_a}{r_i}}{1 - H_z^2(r_i,t)/H_z^2(r_a,t)}} \qquad (4)$$

إن قيمة المخرج في المعادلة أعلاه تعادل الواحد تقريباً، وخاصة إذا كانت سماكة الأنبوبة صغيرة لأن الحقل المغناطيسي على السطح الخارجي $H_z(r_a,t)$ يساوي تقريباً الحقل الذي على سطحها الداخلي $H_z(r_i,t)$ وبهذا تتبسط العلاقة السابقة فتصبح:

$$H_z = \sqrt{\frac{2}{\mu}\sigma_s \ln\frac{r_a}{r_i}} \qquad (5)$$

وبالتعويض في المعادلة (3) وإهمال $H_z(r_i)$ يصبح الضغط اللازم لتشكيل القطعة إلى حد الخضوع (σ_s):

$$P = \frac{2}{\mu}\sigma_s \ln\frac{r_a}{r_i}$$

7- خواص الطريقة وتأثيرها على قطعة التشغيل:

نتيجة تشكل القطعة بهذه السرعة الفائقة وبعد فحصها نستنتج ما يلي:

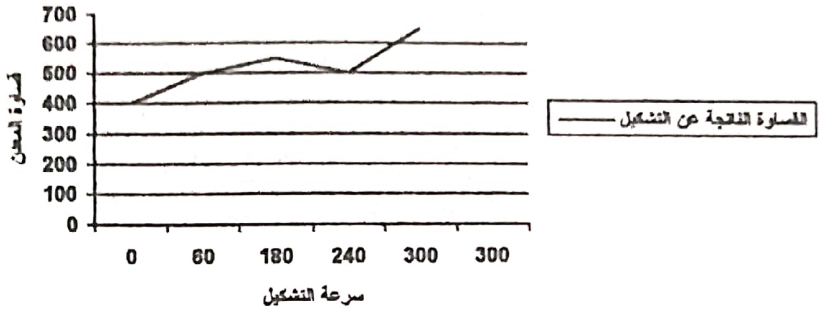
أ- تسارع الكتلة المعرضة للأشعة المغناطيسية:

تتسارع الكتلة المعرضة للأشعة نتيجة سرعة التشغيل، فإذا كان المعدن الذي تتألف منه قطعة التشغيل ذا مقاومة نوعية صغيرة، وكانت قطعة التشغيل عبارة عن أنبوبة سماكتها صغيرة، فإنها تتشكل بسرعة أكبر من التي معدنها ذو وزن نوعي كبير أو ذات مقاييس أكبر. وللحصول على تشكيل مناسب يجب الالتزام بالجدول المرفق:

المعدن	نسبة القطر الخارجي إلى السماكة	المقاومة النوعية
نحاس	أكبر من 10	أقل من 2 ميكروأوم سم
ألمنيوم	أكبر من 20	أقل من 5 ميكروأوم سم
ألمنيوم – نحاس	أكبر من 30	أقل من 5 ميكروأوم سم
حديد طري	أكبر من 40	أقل من 15 ميكروأوم سم

ب- القساوة الناتجة عن التشكيل:

نتيجة للسرعة الهائلة التي يحدث فيها التشكيل، والتي تعادل أجزاء من الميكروثانية، فإن قساوة المعدن تزداد حسب ما يبينه الشكل التقريبي. إن قساوة المعدن تتناسب طرداً مع سرعة التشكيل (الشكل8). انظر الجدول في الملحق (1).



الشكل (8)

جـ- التشوه:

ويسمى أيضاً التشوه النسبي، فكما هو معلوم في الطرق الكلاسيكية ان التمدد يقل كلما كبرت سرعة التشكيل، إلا أنه في التشكيل المغناطيسي لا يظهر ذلك.

إن القطعة المتشكلة بوساطة القوة الكهرطيسية تظهر عليها آثار التمدد متمثلاً بالتشوه اللدن على الأنبوبة في موضع التأثير المغناطيسي، إضافة للتمدد المرن الذي يمتص قسماً من الطاقة الحركية المغناطيسية. وتدل المعلومات المكتسبة في هذه المضمار على أن التشوه بواسطة القوة الكهرطيسية يكون أكبر بمرة ونصف عنه في الطرق الكلاسيكية والميكانيكية الأخرى.

د- عامل المرونة:

في التشغيل المغناطيسي يشترط، في حالة وصل أنبوبين ببعضهما بعضاً أن يكون عامل المرونة للقطعة الداخلية أكبر منه في القطعة الخارجية لكي ينتج لدينا قوة ترابط إضافية من جراء محاولة ارتداد القسم المرن من التمدد إلى وضعه الأولي. ويمكن إجراء هذا الوصل بدون أي تشغيل أو تحضير لموضع الربط، وهذا يعبر عن السهولة وقلة التكاليف. وتستعمل هذه المنتوجات في الأنابيب المحملة باتجاه محورها كأنابيب نقل السوائل والمواد الغازية. أما إذا كان هدف الوصلة نقل حركات، أي إذا كانت الوصلات معرضة لقوى الفتل، فيمكن في هذه الحالة تحضير مكان الوصل بجعل نابات طولية على موضع الربط. وفي حالة استعمال الأنابيب في أماكن تعرضها لقوى محورية يمكن إجراء نابات قطرية لتعزيز قوة الشد الوصلة إذا أريد لها أن تبقى سليمة المظهر من الخارج.

هـ- المقاومة الكهربائية:

إذا كانت قطعة التشغيل من مادة مقاومة كهربائية عالية، أو كان سطحها يحوي تجاويف وثقوباً، فإنه يعيق تولد الحقل المغناطيسي، وبالتالي لا تكون القوة المغناطيسية كافية.

ولتشغيل مثل هذه المعادن يجري تغليف المعدن المراد تشكيله بطبقة من معدن جيد النقل للكهرباء كغلاف من النحاس أو الألمنيوم الرقيق. إن هذا الغشاء يساعد على توليد الساحة المغناطيسية وبالتالي إنتاج القوة المطلوبة.

8- مقارنة مع الطرق الكلاسيكية:

تتمتع طريقة التشغيل بالقوة الكهرطيسية بالنقاط الأربع التالية:

1- إن الضغط والقوة ينتقلان إلى قطعة التشغيل بدون وسيط. فلا يتخرش سطح قطعة التشغيل في حالة الاحتكاك ولا حاجة لاستعمال مانعات الزيت في حالة استعمال الزيت كوسيلة لإنتاج الضغط ولا حاجة إلى التسخين والتزييت أو إلى أي عمليات إضافية أخرى بعد التشغيل كالمسح والحك ...الخ

2- إن الحقل المغناطيسي يخترق العوازل، وهذا يمكن من تشكيل المعادن المغلفة بمطاط أو بمواد عازلة.

3- إن المواد المرنة مثل المطاط أو النيوبرن لا تقبل الصدمات المفاجئة، وهكذا فهي لا تقبل الانضغاط، وهذه خاصية يمكن الاستفادة منها في تشكيل حلقة تثبيت معدنية على جسم مغطى بالجسم المطاطي الذي يؤثر بدوره على الجسم المعدني ويسبب فتح نتوء على محيط الجسم المعدني.

4- إن الآلة وعدة التشغيل (الوشيعة) تعملان كل على حدة، لأنهما مربوطتان بأسلاك كهربائية يمكن تطويلها. وبهذا يمكن استعمال هذه الطريقة في الأماكن الخطرة مثل المتفجرات أو الاستعمال النووية ذات الإشعاعات الخطرة.

ملحق (1) تزايد القساوة مع سرعة التشكيل

سرعة التشكيل m/s	القساوة الناتجة HB
300	650
240	500
180	550
60	500
0	400

REFERENCES المراجع

[1]- الأحمد، نوفل: استخدام أمواج الصدمة من العمليات التكنولوجية. مجلة باسل الأسد للعلوم الهندسية، العدد الثالث أيلول 1995. دمشق.

[2]- الأحمد، نوفل "طريقة جديدة لترابط الأجسام المحورية المتناظرة بالاعتماد على القوة الكهرطيسية" محاضرة ألقيت في أسبوع العلم الحادي والعشرين، اللاذقية 7-13 تشرين الثاني 1981.

[3]- Al-Ahmad. Nawfal – Das fugen rotatition ssymertrischer rorm elemente durch umformen mit impuls magnet feldern. Dissertation. IHZ Zwichau DDR 1980.

[4]- Idelberger, G. – New ideas an magnetforming. Metal prod. 1962. 18 p.50/53.

[5]- Larrimer W.H./K.G. Hinks – Magneting takes on bigger metal forming fobs metal W. Prod. March 24/1965 p.63/66.

[6]- Weimer G. – Hochgeschwindigkeitsbearbeitung III. Umformen von blechen und rohren durch magnetische krafte. Werkstatt und belrieb69 1963/12/ p.893/900.

[7]- Buhler H. & D. Bauer – Ein beitrag sur magnetumformung rohreformiger wirkstuche. Werkstatt und betrieb 69 1968/9 p.513/516.

[8]- Szilas M. – magnettformverfahren neuste industriele anwendungen. Technische rundschau 22/1969 p.6/16.