السيطرة على نعومة الاسطح المشغلة بطريقة ECM

تحسين علي الحطاب — جامعة بابل- كلية الهندسة
سعد شذر — شركة حطين العامة
علاء محمد حسين — جامعة بابل- كلية الهندسة
قاسم سمير — شركة حطين العامة

الخلاصة

لقد شهد العالم تطوراً كبيراً في مجال قطع المعادن وخاصة الاجزاء ذات الاستخدام الواسع النطاق كالمكائن واجزاء المحركات والتوربينات وغيرها في السنوات الاخيرة تدل الاتجاه نحو استخدام طرق غير تقليدية لعمليات التشغيل لتكون بمثابة بديل لعمليات التشغيل الميكانيكي والتي تهدف إلى قطع المعادن دون حدوث اجهادات ودون استهلاك في العدد المستخدمة لهذا الغرض ، واحدى هذه الطرق هي طريقة التشغيل الالكتروكيميائي Electro Chemical Machining أو ما يعرف اختصاراً (ECM) والتي تبنى على مبدأ التحلل الانوذي.

لقد تناول هذا البحث دراسة نظرية للعوامل المؤثرة على التشغيل بطريقة (ECM) كالتيار الكهربائي، المحلول الالكتروليتي ودرجة تركيزها، عرض الفجوة الحاصلة من جراء التشغيل أما الجانب العملي فقد تضمن تشغيل عينات ثلاثية ومقارنتها مع عينات من نفس نوعية الفولاذ التي تم تشغيلها بطريقة التشغيل الميكانيكي ومن ثم قياس خشونة السطح (Roughness) المشغل حيث امكن الحصول على نعومة سطح عالية تصل إلى (V8) بعد السيطرة على عرض الفجوة للحصول على تغذية ثابتة ومتوازنة في حين لم تتجاوز النعومة بالطريقة التقليدية عن (V6).

قائمة الرموز و المصطلحات

V	فرق الجهد (فولت)
R	المقاومة
I	التيار.
ρ	المقاومة النسبية.
L	المسافة
λ	مسافة القطع.
ε	المكافئ الالكتروكيميائي
Mw_{eq}	الوزن الذري المكافئ.
m	كمية المادة المارة (المترسبة)
g	الوزن الذري (gm)
t	زمن التفاعل (min)
n	تكافؤ المادة
F	ثابت فراداي 7.496×10^6
V_{sp}	الحجم النوعي
V_A	سرعة التغذية

المقدمة

لقد شهد العالم تطوراً كبيراً في مجال الصناعة بخصوص تشغيل المعادن باستخدام طرق غير تقليدية وكانت احدى هذه الطرق هو طريقة التشغيل بواسطة (Electro Chemical Machining) أو ما تعرف اختصاراً (ECM) وكان الغاية من ذلك بالدرجة الاولى هو امكانية تشغيل الاشكال المعقدة التي يصعب تشغيلها بالطرق التقليدية كالخراطة والتفريز وغيرها من طرق التشغيل الميكانيكي وقد تم استخدام هذه الطريقة باعتماد مبدأ الانحلال الانودي للشغلة أو للجزء المراد تشغيله داخل حوض يمثل خلية الكتروليتية تحتوي على انود وكاثود حيث تمثل العدة القطب السالب (الكاثود) وتمثل الشغلة المراد تشغيلها الانود (القطب الموجب) وبأستخدام محلول الكتروليتي من ملح الطعام (NaCl).

وقد تضمن البحث الجانب النظري الذي تناول دراسة للعوامل المؤثرة على عملية التشغيل بطريقة (ECM) اضافة إلى الجانب العملي والى النتائج والاستنتاجات ومناقشتها.

الجانب النظري

يعتمد مبدأ التشغيل بواسطة (ECM) على مبدأ الانحلال الانودي لمعدن الشغلة ويكون قطب موجب بينما تكون العدة قطب سالب ويتضمن جميع المواد الموصلة ويلعب المحلول الالكتروليتي دوراً كبيراً في عملية التشغيل وقد يكون المحلول حامضي أو قاعدي أو متعادل وهذا يتوقف على مقدار (PH).*

وهناك عدة عوامل تدخل في عملية التشغيل وهي[1] :

اولاً: التيار الكهربائي: حيث انه وكما هو معروف فان توليد تيار كهربائي يصاحبه مجال مغناطيسي وان التيار يخضع لقانون اوم وكما في المعادلة التالية.

$$V = I.R$$

وان قيمة المقاومة (R) للمحلول التي تعتمد على المسافة (L) ومساحة المقطع (A) والمقاومة النسبية للمحلول (ρ) تمثل بالمعادلة التالية :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

من المعروف ان المقاومة النسبية للسائل التي تكون اقل من المقاومة النسبية للفلزات الصلبة الموصلة مثل النحاس فعلى سبيل المثال تكون المقاومة النسبية للماء المقطر اصغر من مقاومة النحاس بحوالي 10^{17} مرة[2].

ثانياً الموصلية: ان موصلية الماء المقطر النقي (PH - 7) ليست عالية وهذا يعني بأن مقاومته النسبية عالية وان الماء المالح موصليته اعلى وقد يكون أما حامضي أو قاعدي وهذا يرفع من قيمة التوصيل الكهربائي بشكل كبير جداً. وتعرف الموصلية على انها مقلوب المقاومة

وهكذا فان مرور التيار في المحلول يولد حرارة (q) بالامكان حسابها حسب المعادلة التالية :

$$q = R.I^2.t$$

---

* $PH = -\log([H^+])$

ان المحلول المتعادل هو الذي يكون فيه PH=7.وعندما تكون PH>7 يكون المحلول قاعدي.PH<7 يكون المحلول حامضي

ثالثاً المكافئ الاليكتروكيميائي: يؤثر المكافئ الاليكتروكيميائي في عملية التشغيل الالكتروكيميائي حيث ان مرور تيار بشدة معينة يؤدي إلى ترسيب مادة في زمن معين بمقدار معين وكما هو الحال في الفضة.

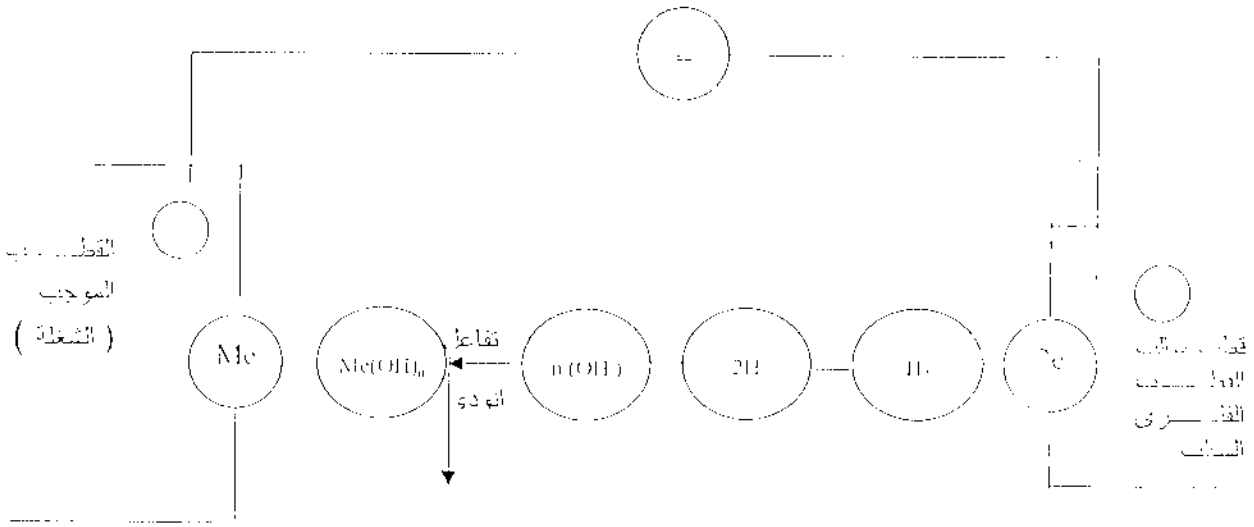
$$Ag \quad \alpha = 1.182 \text{ mg/A.s}$$

وهذا يعني ان تيار شدته ١ امبير يرسب في زمن مقداره ١ ثانية (1.182mg) من الفضة والتكافؤ يعني نسبة تحول الذرات إلى الجزيئات.

وهنا نعودنا إلى قانون فراداي الثاني والذي ينص على انه تتناسب كمية المادة المترسبة من نفس الشحنة الكهربائية مع الوزن المكافئ الكيميائي للالكتروليتات المستعملة

$$\alpha = I\,Mw_{eq}$$

ويمكن تمثيل الخلية الالكتروليتية بالشكل رقم (١) [٤]



شكل رقم (١)

التفاعل الكاثودي $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2\uparrow$

التفاعل الانودي $Me^{n+} + n(OH^-) \rightarrow Me(OH)_n\downarrow$

واعتماداً على نص قانون فراداي فان كمية المادة المزالة (m) تعتمد على كمية الشحنة المارة في المحلول ($m \propto Q$) فان :

$$m = \alpha.I.t$$

حيث $\alpha = n.F$

وبالامكان حساب حجم وسرعة ازالة طبقة المعدن اثناء عملية التشغيل بطريقة ECM اعتمادا على المعادلات السابقة وكالاتي :

$$V_{ol} = \frac{m}{\rho_f}$$

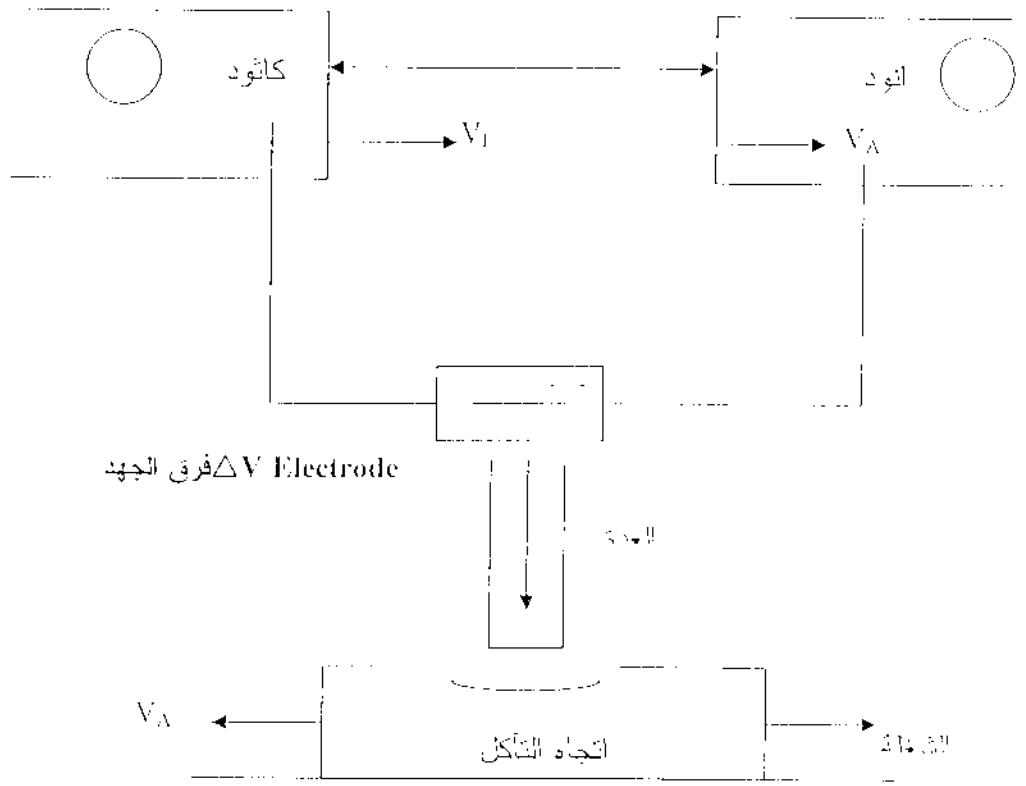
$$V_{ol} = \frac{a}{n.f.\rho_f}.l.t$$

وعليه فان الحجم النوعي(V_{sp}) للمادة المزالة تكون :

$$\frac{V_{ol}}{l.t} = \frac{a}{n.f.\rho_f} = V_{sp}$$

حساب عرض الفجوة (S):

كما موضح في شكل رقم (٢) فان الحالة المثلى هنا هو ما مقدار (S) عرض الفجوة (gap) بين العدة والشغلة لتحصل على سرعة تغذية ثابتة وموازنة أي مقدار (S) لتصل إلى حالة الاتزان من حيث سرعة التغذية.



شكل رقم (٢)

كما ذكر سابقا ان مقاومة المحلول (R) تعتمد على الموصلية (K) بالشكل التالي

$$R = S/A.K$$

حيث ان (S) المسافة بين القطبين الموجب والسالب (عرض الفجوة) وان (A) مساحة مقطع الاقطاب.

وعليه فان فولتية القطب (V_{ol}) ستكون :

$$V_{el} = I.R$$

وهكذا فان (S)

$$S = \frac{A.K.V_{el}}{I}$$

وبالتعويض عن قيمة (J) كثافة التيار ($J=I/A$) فان :

$$S = \frac{V_{el}.K}{J}$$

$$V_{el} = V - \Delta V$$

$$V_A = V_{sp} .J$$

$$J = \frac{V_A}{V_{sp}}$$

وللحصول على الاتزان يجب ان يكون :

$$V_f = V_A$$

وعليه فان عرض الفجوة (S) يعتمد على قيمة الجهد المسلط (علاقة طردية) وعلى سرعة التغذية (VA) وعلى ثوابت المادة مثل V_{sp} ، ΔV فرق الجهد بين الاقطاب و K قابلية التوصيل التي تعتمد على الحرارة وكمية التركيز.

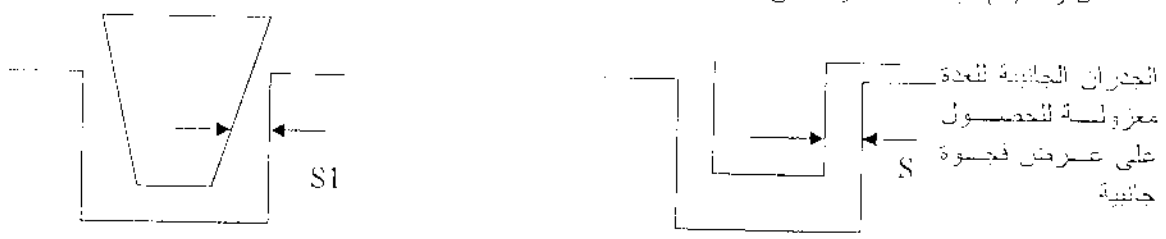
الان نلاحظ ان عرض الفجوة يتناسب عكسياً مع كثافة التيار (J) من المعادلة اعلاه كذلك فان (S) لمحلول ($NaCl$) اقل من (S) لمحلول ($NaNO_3$) وكذلك سرعة توغل (بانكل) باستخدام المحلول الالكتروليتي $NaCl$ اكبر من $NaNO_3$ وان استعمال المحلول الالكتروليتي $NaCl$ وبالقيم المبينة يحتاج إلى عرض فجوة اكبر من $NaNO_3$ وتكون سرعة التآكل لهذا المحلول داخل المعدن اكبر.

قابلية التشغيل بطريقة ECM تعتمد على الخواص الالكتروكيميائية لمعدن الشغلة ولا تتأثر على الشغلة والعدة والالكتروليت وعلى الخواص الميكانيكية مثل الشد والصلادة .

يكون الفجوة عندما يتعرض الاقطاب إلى فرق جهد (V) اكبر من فرق الجهد بين الاقطاب

$$V > \Delta V + V_{el}$$

والحصول على اشكال اسطوانية او لتقريب الشكل ذات بعدين (يجب ان تعزل الجدران الجانبية للعدة) بشكل رقم (٣)، وذلك للحصول على عرض فجوة جانبية ثابتة.

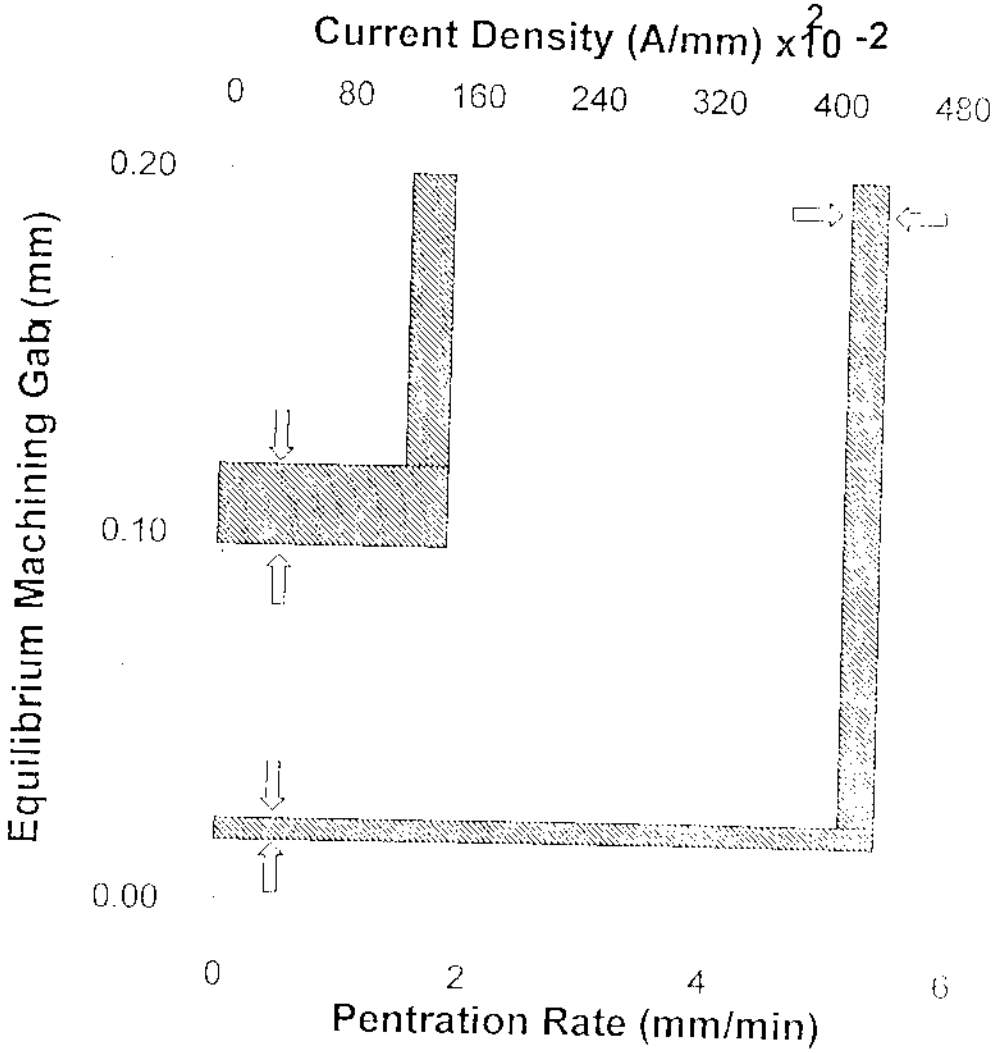


شكل رقم (٣)

واذا لم تعزل الجدران الجانبية للعدة سوف تزداد عرض الفجوة وتصبح العدة مسلوبة وتؤدي إلى بلى العدة ويصحح شكل العدة بتصغيره بمقدار الفجوة الجانبية الذي يمكن الحصول عليه من تجارب عديدة بالعلاقة مع ظروف التشغيل وشكل العدة.

رابعاً معدل ازالة المعدن:

يعتمد معدل ازالة المعدن ، شكل رقم (٤)، وبصورة رئيسية على معدل التغذية وان معدل التغذية يحدد المقدار المار بين الشغلة والعدة (٤).



شكل رقم (٤)

خامساً العدة:

تمثل العدة القطب السالب وتتكون من ناحية المبدأ من المواد الموصلة للكهربائية وهنالك عدة شروط يجب توفرها في معدن العدة.

١. قابلية التوصيل الكهربائي.
٢. مقاومة ميكانيكية عالية.
٣. قابلية تشغيل عالية.

وأكثر المعادن استخداماً هي النحاس (النحاس – كرافيت) ، (النحاس – تنكستن) ، (النحاس – ...
التيتانيوم و (فولاذ Stainless Steel). جدول رقم (١) يمثل المواصفات (الفيزيائية) لبعض المعادن المستخدمة في تصنيع العدد المستخدمة بهذه الطريقة.

وهناك جهاز تثبيت العدة يقوم بالعمل التالي

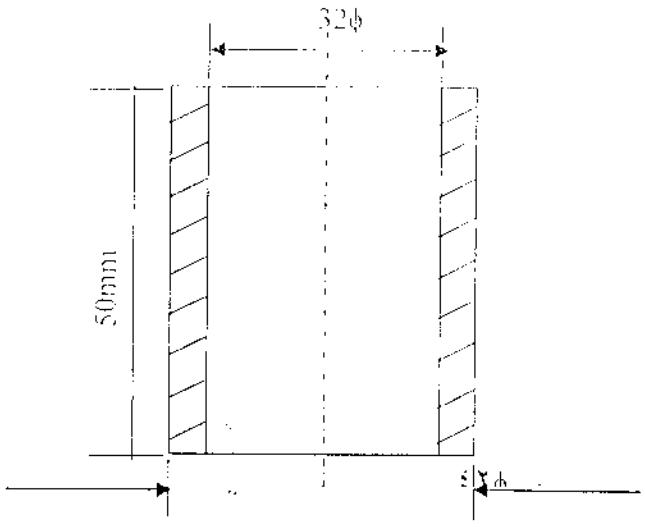
١. تثبيت العدة أو الشغلة
٢. توجيه الشغلة باتجاه العدة
٣. القيام بتوصيل الشغلة بمصدر التيار الكهربائي ويجب المحافظة على نقاط التوصيل وذلك لتقليل المقاومة وكذلك تقليل الحرارة المتولدة والتي بدورها تؤدي إلى تمدد الجهاز وتغير ابعاده وابعاد الشغلة ويؤثر على دقة العملية والقياس.
٤. القيام بايصال المحلول الالكتروليتي لذلك يجب ان يكون جهاز التثبيت مصنوع من مادة مقاومة للتآكل.
٥. عادة ما تكون العدة مشغلة جيداً بشكل وذات نعومة عالية لكي يتم الحصول على منتج ذات مواصفات جيدة وشكل متجانس ويجب ان يؤدي إلى تأمين الحصول على معدل تدفق متلائم[٥] .

جدول (١) يبين المعادن المستخدمة كعدد Tool material

Properties	Copper	Brass	St.St	Titanium
Electrical resistivity	1	4	53	48
Stiffness	1.1	1	1.9	1.8
Machinability	6	8	2.5	1
Thermal Conductivity	25	7.8	1	2.6

الجانب العملي

تم اختيار احد المصانع التابعة إلى هيئة التصنيع العسكري لاكمال الجانب العملي حيث تم تصنيع اربعة اجزاء من الـSteel من نوع (C45) على شكل (Bush) وحسب القياسات الموضحة بالشكل رقم (٥).



الشكل رقم (٥)

وكان المطلوب هو تشغيل القطر الداخلي لها من القطر 32 Φ إلى القطر الداخلي Φ 34 أي ازالة 2mm بطريقتي (ECM) و الخراطة .

المعدات المستخدمة في التجربة

خلية تحليل الكتروكيميائي عبارة عن حوض حديدي بالابعاد 2x1.5x1.5 m

المرتل من مادة القطن

القاطود من النحاس (Cu)

الانبوب المراد تشغيلها من الفولاذ (Steel) نوع (C45)

المحلول الالكتروليتي من ملح الطعام

ان بالنسبة لتيار المستخدم في هذه التجربة فهو (600- 700A) امبير ودرجة الحرارة للمحلول هي درجة حرارة الماء العادي وقد تم تصنيع مثبت يتناسب مع المنتج المراد تشغيله لغرض استمرار العمل بصورة جيدة واثناء التشغيل يتم الحصول على التفاعل التالي

$$Fe^{++} + 2Cl \rightarrow FeCl_2$$
$$FeCl_2 + 2NaOH \rightarrow 2NaCl + Fe(OH)_2$$
$$4\,Fe(OH)_2 + O_2 + H_2O \rightarrow 4\,Fe(OH)_3 \downarrow$$
$$H_3O^{++} \rightarrow H_2O + 0.5H_2$$

نقطة التعادل لغرض الوسط الحامض بالتفاعل هي (PH < 7) .

خشونة السطح

يمكن اعتبار خشونة السطح النهائية الناتجة من عمليات القطع المختلفة مساوية لمجموع الخشونتين التاليتين

أ. الخشونة المثالية

وهي الخشونة الناتجة من شكل عدة ومقدار التغذية.

ب. الخشونة الشاذة

وهي الخشونة الناتجة من عدم انتظام عملية القطع.

والخشونة المثالية هي افضل خشونة يمكن الحصول عليها بشكل عدة ومقدار تغذية معينين ويمكن الحصول عليها عند توفر الشروط التالية [5]

أ. عدم وجود حد تلقي

ب. عدم وجود صدمة اثناء التشغيل

ت. حركات آلة القطع مضبوطة جداً

وعند ملاحظة خشونة السطح الناتج من عمليات القطع بطريقة (ECM) ومقارنته مع الطريقة التقليدية (الخراطة) نلاحظ عدم وجود صدمة اثناء التشغيل أو القطع وعدم وجود حركة لآلة القطع وانه يحصل التجاوز لمادة المعدن المذاب عبر الـ(gap) التي تم التطرق اليها وذلك لعدم وجود تلامس بين العدة والقطعة المراد تشغيلها .

الاستنتاجات

نستنتج مما تقدم في البحث ومن خلال ملاحظة النتائج التي تم الحصول عليها في الجدول المرفق وعند تشغيل القطر الداخلي $\phi 32^{+0.02}$ للنموذج تم الحصول على خشونة سطح (Ra = 2.08) والتي تعادل 6V والتي تم تشغيلها بالطرق التقليدية وهي ما تدعى (ECM) كما في الصورة رقم (١) أما بالنسبة للقطعة الثانية الموضحة في الصورة رقم (٢) والتي تم تشغيلها بطريقة تقليدية (الخراطة) فقد تم الحصول على خشونة سطح (Ra = 4.70) أي ما تعادل 5V وهذا يعني امكانية الحصول على مواصفات عالية للأسطح المشغلة بطريقة (ECM). وعليه فبالاضافة الى النعومة العالية للاسطح فان النقاط التالية تشير الى ترجيح كفة طريقة ECM على الطريقة التقليدية من ناحية الاداء بالاضافة الجانب الاقتصادي :

١. المواد التي استخدمت في التجربة هي مواد رخيصة التكاليف ولبست باهضة الثمن ومثال على ذلك ملح الطعام (NaCl) والنحاس (Cu) المستخدم في خلية التحليل.
٢. عدم وجود أي اجهادات في منطقة التشغيل لعدم وجود تلامس بين اداة القطع والقطعة المراد تشغيلها مما يؤدي إلى عدم استهلاك العدد.
٣. لا تؤثر عملية التشغيل بواسطة (ECM) على التركيب البلوري للمعادن المشغلة لعدم ارتفاع درجة الحرارة اثناء التشغيل.

References

1- Betrohi, Moscow, 1991 P.215" Production technology and metals design".

2- Yankee, Herbent " Manufacturing process" publish by prentic hall, inc, Engkwood America 1979 P. 326-339.

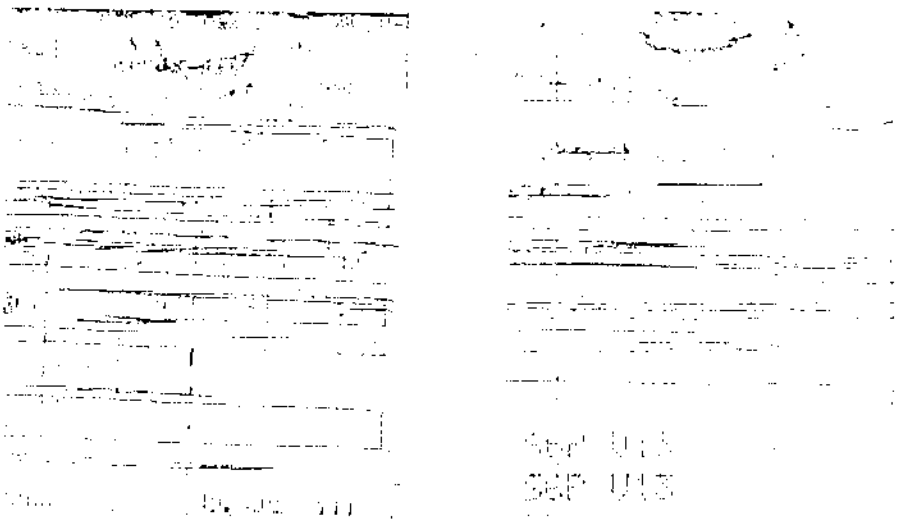
3- DOYLE/KEYSER/LEACH

Manufacturing Processes and Materials for Engineering / second Edition, 1969,P.744-747.

4- chanana, charanjit "Production technology " Published by tatam craustill publishing company limited, printed in new Delhi, 1980, P. 475-479.

5- Hand metal vol3 machining

٦ دكتور محمد كاظم القرنجي- د.ضياء شنشل -قطع المعادن



خشونة السطح للعينات

(١) العينة المشغلة بطريقة ECM (٢) العينة المشغلة بطريقة الخراطة