

القطع علي خشونة وجودة حافة سطح القطع لألواح النحاس الأحمر سمك 1 مم باستخدام قوس البلازما فحص تأثير سرعة

Investigating the Effect of cutting Speed on Roughness & Quality of the Cutting Surface Edge of 1 mm Copper Sheets Using Plasma Arc

د/ عبدالرحمن أبو زيد.

أستاذ مساعد بقسم المنتجات المعدنية والحلي، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر، abdelrahman169@hotmail.com

كلمات دالة Keywords:

القطع بقوس البلازما
PAC
سرعة القطع
Cutting Speed
خشونة السطح
Surface Roughness
جودة القطع
Cutting Quality
حافة القطع
Cutting Edge
النحاس
Copper.

ملخص البحث Abstract:

تهدف الدراسة إلي بحث تأثير سرعة القطع على كلا من خشونة وجودة حافة سطح القطع لألواح النحاس الأحمر Cu سمك 1 مم باستخدام التشغيل بقوس البلازما، وذلك لضبط جودة القطع للأسطح. استخدمت قيم سرعات قطع مختلفة وأمبير ذو قدرة 30 أمبير للقطع كعوامل تحكم في قراءات خشونة السطح. واتبعت الدراسة المنهج التجريبي في تشغيل عينات الـ Cu، تم تسجيل القيم المستخدمة في التجارب لكل من سرعة القطع والأمبير، وتم تنفيذ عدد ثلاثة عشر تجربة قطع بسرعات مختلفة متفاوتة بدأت من 500 مم/د وانتهت عند 12000 مم/د. تم فحص الأنواع المختلفة لخشونة حافة سطح القطع للعينتين 1، و 13 حيث العينه 1 عند أدنى سرعة قطع والعيه 13 عند أقصى سرعة قطع. واستخدمت جميع العينات قدرة 30 أمبير. تم تقييم نتائج الأنواع المختلفة التالية لخشونة السطح الـ (Ra, Ry, Rz), Rq. تم رصد جودة القطع من خلال فحص وقياس الخشونة عند 2 من النقاط مختلفة على حافة سطح القطع لكل نوع من أنواع الخشونة. وذلك لتحديد قيم عوامل التحكم التي يمكن استخدامها في الحصول على جودة قطع أفضل، تم مناقشة تأثير سرعة القطع على خشونة وجودة سطح القطع، كما تم عرض نتائج خشونة السطح للتجارب بيانياً. من خلال فحص تأثير سرعة القطع على الخشونة وجودة سطح القطع توصلت الدراسة إلى النتائج التالية: أن متوسط الخشونة أو ما يسمى بالـ (Ra) كان أقل وكانت جودة القطع عند أعلى مستوى لها عند سرعة القطع 500مم/د، بينما كان متوسط الخشونة الـ (Ra) أعلى وكانت جودة القطع عند أقل مستوى لها عند سرعة القطع 12000مم/د. وأن خشونة السطح أو ما يسمى بالـ (Ry, Rz) كانت أعلى عند السرعة الأقصى 12000 مم/د وكانت جودة سطح القطع عند أقل مستوى لها عند أقل سرعة قطع، وكانت خشونة السطح الـ (Ry, Rz) أقل عند السرعة الأدنى 500مم/د وعليه كانت جودة سطح القطع أعلى. وأن انحرافات خشونة السطح أو ما يسمى بالـ (Rq) عند السرعة الأدنى أقل من انحرافات خشونة السطح عند السرعة الأعلى للعينتين 1، و 13. وأن جميع قراءات نفاذ العينة 1 ذات السرعة الأدنى ذات قيم صغيرة عند النقطتين 1، 2 وأنتجت قراءات خشونة سطح أقل وجودة سطح قطع أعلى، وأن قيم قراءات نفاذ العينة 13 ذات السرعة الأقصى كانت كبيرة وأنتجت خشونة سطح أعلى. وأن أقل قراءة لجميع أنواع الخشونة للعينة 1 عند النقطة 2 كانت 2.5µm وهي الأفضل لتحقيق جودة القطع الأعلى وكانت عند سرعة القطع الأدنى. وأن أنواع خشونة حافة سطح القطع كانت في الحد الأدنى عند سرعات القطع المنخفضة 500مم/د وأنتجت جودة قطع أعلى، وكانت جميع أنواع الخشونة في الحد الأقصى عند سرعات القطع الأعلى 12000مم/د وأنتجت جودة قطع أقل وذلك عند جميع النقاط، والعينتين وجميع العينات كانت عند قدرة تيار 30 أمبير. وأن جميع قراءات قياسات الخشونة كانت إلى حد ما متفاوتة من الأصغر إلى الأكبر من واقع التمثيل البياني من أقل سرعة قطع إلى أعلى سرعة، وبالتالي فإن العلاقة بين سرعة القطع والخشونة طردية.

Paper received 29th July 2019, Accepted 11th September 2020, Published 1st of October 2020

مقدمة Introduction

تستخدم الطرق غير العادية في تصنيع العديد من التطبيقات الهندسية حيث تفشل العمليات العادية في أن تكون فعالة في حيث التكلفة [Allen, D. M. et al. 2009. P. 647]. فنستخدم الطرق المختلفة في الصناعات الإنتاجية لتقديم الحلول الأسرع والأرخص والأكثر فعالية من ناحية التكلفة وتسهيل عمليات القطع في أقل تشويه للسطح. فبخلاف الطرق التقليدية، تُستخدم الطرق غير التقليدية Non-traditional Methods مثل الليزر والبلازما والبلازما تحت الماء والتآكل بقوة السلك والقذف النفاث بالماء والحبيبات (AWJ) لقطع المواد والمنتجات التي يصعب قطعها بالطرق العادية الأخرى. كما تُستخدم خامات النحاس على نطاق واسع في الصناعة [Akkurt, A. 2014. P. 725]. أيضاً تتطلب التكنولوجيا اليوم في عمليات تشغيل المعادن بالقطع أسطح قطع عالية الجودة ودقة أبعاد جيدة دون الحاجة إلى مزيداً من التشغيل. وتعمل عملية القطع بقوس البلازما في درجات حرارة وسرعة عاليتان ويكون القوس مهياً عبر كمية من الغاز بين القطب ومواد العمل التي سيتم تشغيلها [Senthilkumar, N. et al. 2018. P. 212]. كما تُعد تكنولوجيا القطع بالـ PAM اليوم حلاً متقدماً للغاية للمواد الموصلة للحرارة [Kudrna, L. and Merta, M., 2017 P. 949]. وتستخدم عملية القطع بالبلازما على نطاق واسع في

وحدات التصنيع لقطع الألواح المعدنية.

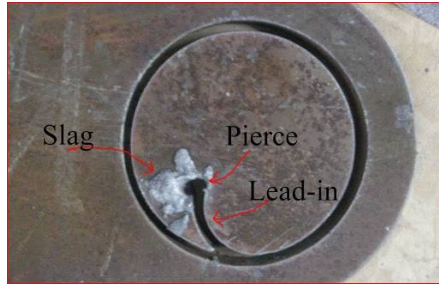
ويُعرف القطع بقوس البلازما على أنه عملية القطع الكهروحراري غير العادية التي تستخدم القذف النفاث المُقيد من قبل غاز البلازما ذو درجات الحرارة العالية لإذابة وفصل المعدن [Parthiban, A., et al. 2018. P. 907 & Patel, K., & Agarwal, P. 2017. P. 608].

فُتستخدم عملية الـ PACM على نطاق واسع لتصنيع أجزاء معقدة لمختلف المواد الموصلة كهربائياً بما في ذلك السباتك الفائقة والمواد المركبة. وتُعد دقة الأبعاد وجودة السطح من العوامل الحاسمة لتطبيقات محددة كصناعة أجزاء الطائرات وفي الصناعات التحويلية. وإلى حد كبير يُعد الـ MRR من الخصائص الهامة ويؤثر بدوره على جودة وأداء الأسطح المشغلة بالقطع بالـ PAM [Ananthakumar, K. et al 2019. p.725].

فتقوم عملية الـ PAM بإجراء عمليات مختلفة كالقطع واللحام والمعالجة وما إلى ذلك. وفي السنوات الأخيرة، تم إجراء فحوصات تجريبية كبيرة تهدف إلى تحسين وضبط أداء عملية القطع بالبلازما [Parthiban, A., et al. 2018].

و(شكل 1) يُوضح رسم تخطيطي للقطع بقوس البلازما والقطبية الموجبة ولها قطبية سالبة مع قوس محول محدود [Patel, K., & Agarwal, P. 2017. P. 608]. كما يُوضح شكل (2) عرض فتحة الـ Pierce height بداية مسار القطع لقوس البلازما

والخبث وما يؤدي إلى المسار المراد قطعه | [http://frednelsonfabrication.com].



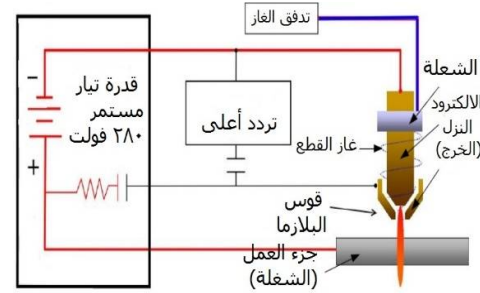
شكل (2) يوضح عرض فتحة بداية مسار القطع لقوس البلازما Pierce hieght والخبث والمؤدي إلى المسار المراد قطعه.

والبعد البؤري من أجل الحصول على خشونة السطح مع أقصى سرعة قطع. وتم فحص خشونة السطح لمعرفة مدى قوة الليزر الذي يتراوح بين 1000 و 1500 واط والبعد البؤري 122-132، وضغط الغاز 7 بار ثابت للمواد النحاسية. وتم دراسة تأثير البعد البؤري على خشونة السطح على الألواح الرقيقة من النحاس سمك 1 مم باستخدام الأكسجين كغاز مساعد. تم قياس خشونة سطح المقطع العرضي لسطح القطع. وتم تحليل الاختلاف بواسطة قوة الليزر والبعد البؤري. وتم استخدام طريقة العامل الكامل لخفض كلا من سرعة القطع وخشونة السطح [Madia, M.N & Patel, D.M. 2013. P. 4539].

وفي دراسة حول الضبط متعدد العوامل لمؤشرات جودة عملية القطع بقوس البلازما باستخدام تصميم تاجوشي للتجارب. بحثت الدراسة الحالية في تحسين عوامل القطع أثناء القطع بقوس البلازما باستخدام الحاسب الآلي للألواح الفولاذية الخفيفة St37 باستخدام تصميم قوي. تضمنت عوامل العملية التي تم اختبارها سرعة القطع، والأمبير، وعرض ثقب بداية مسار القطع pierce hieght أو ما يُسمى بالـ key holl، والمسافة الفاصلة للشعلة باستخدام مجموعة (34) Taguchi L9. وتم فحص تأثير كل عامل من حيث تحليل الرسومات البيانية للوسائل Analysis of Means (ANOM). تم اقتراح المستويات المثلى لكل عامل منها وفقاً لمقاييس الأداء. وتم إجراء الـ ANOVA بهدف تحديد أهمية كل تباين للعوامل على مقياس الأداء كنسبة مئوية. وأشارت النتائج إلى أن الأمبير له تأثير رئيسي على الزاوية المائلة "الانحدار" (58.7%)، كما أن سرعة القطع والمسافة الفاصلة للشعلة تأثير 19% و 15.7% على التوالي. ولفتحه بداية مسار القطع تأثير على حوالي 6.6%. وبالتالي لا تؤثر اختلافاتها بشكل كبير عن زاوية الانحدار في التجربة. [Kechagias, J., et al. 2014. P. 128]. كما تم دراسة تأثير الجوانب الهيكلية الدقيقة على تصميم عوامل الـ CNC على ألواح الصلب الكربوني في الـ PAC. تم اختبار عوامل سرعة القطع، والأمبير، والمسافة الفاصلة [Kountouras, D., et al. 2014. P. 790].

وتم دراسة تأثير عوامل عملية القطع باستخدام قوس البلازما للفولاذ الإنشائي: مراجعة. تم بحث تأثير عوامل العملية كالتيار وسرعة القطع وضغط الغاز والمسافة الفاصلة على عوامل الاستجابة كمعدل إزالة المواد وعرض القطع والزاوية المائلة والقائمة من خلال تصميم وتنفيذ التجارب التفصيلية باستخدام مجموعة متعامدة OA. تم تحليل بيانات أداء العملية لمختلف العوامل باستخدام الـ ANOVA. كما تم في هذه الورقة مراجعة البحث والتقدم في عوامل عملية القطع بقوس البلازما للمواد الفولاذية المختلفة بشكل ناقد من وجهات نظر مختلفة [Patel, K., & Agarwal, P. 2017. P. 608].

أيضاً تم دراسة تأثير عوامل القطع بقوس البلازما على جودة قطع الصلب الغير قابل للصدأ باستخدام المنهج المؤلف "الهجين". وتم تنفيذ مفهوم ضبط عوامل القطع المختلفة في إجراءات القطع



شكل (1) يوضح رسم تخطيطي للقطع بقوس البلازما.

تم مناقشة التطورات المختلفة في تكنولوجيا الـ PAM مثل القطع بقوس البلازما عالي التحمل HTPAC، والقطع بقوس البلازما المحجوز مغناطيسياً HMCPAC، والتشغيل بقوس البلازما باستخدام شعلة البلازما المولدة PAMHPT، والقطع بقوس البلازما بالـ CNC والقطع بالبلازما تحت الماء Underwater Plasma Cutting (UPC) وغير ذلك [Bhattacharyya, B., & Doloi, B. 2019. P. 161].

وفي ورقة بحثية كان هدفها ضبط عوامل التشغيل بالقطع بالتفريغ الكهربائي لسبائك Nimonic-75 باستخدام تحليل المكون الرئيسي المتكامل بطريقة تاجوشي Taguchi. تم استخدام الـ WEDM لسبائك Nimonic-75 لاستكشاف أهمية عوامل التشغيل مثل النبض في الوقت المحدد، الجهد الكهربائي المضاعف، النبض خارج الوقت، ذروة التيار، ومعدل تغذية السلك وتوتر الكابل على ميزات الأداء مثل خشونة السطح الـ SR ومعدل إزالة المعدن الـ MRR. وتم إجراء التجارب وفقاً لمجموعة L27 المتعامدة في تاجوشي Taguchi. وأستخدم تحليل المكون الرئيسي لتحسين عوامل التشغيل. وكانت الإعدادات المثلى لمتغيرات التشغيل والتي تم الحصول عليها هي وقت النبض 110 µs والوقت خارج النبض 51 µs، ومضاعفات الجهد 40 فولت، وذروة التيار 230 أمبير، ومعدل تغذية السلك 5 م/ دقيقة وتوتر الكابل 8 جرام. وكشفت نتائج تحليل التباين الـ Analysis of Variance (ANOVA) عن أن الوقت النبضي المساهم بنسبة 52.90% هو العامل الرئيسي المؤثر في خصائص الأداء. وتشير نتائج تجارب التأكيد إلى أن عوامل التشغيل المثلى أدت إلى تحسين قيمة المكون الأساسي المركب Composite Primary Component CPC من 1.2013 إلى 1.2443 للاستجابات المتعددة [Sonawane, S.A. & Kulkarni, M.L. 2018].

أيضاً تم معالجة مكان تكون طبقة من النحاس النقي بواسطة الليزر المتناسك الطول بالأشعة السينية. وتم استخدام أشعة ليزر متعددة وتم تطوير نظام لترسيب معدن النحاس لتحقيق طبقة طلاء عالية الجودة بكثافة، وذات هيكل ناعم ونقاوة عالية. وأوضحت الدراسة آلية تكوين طبقة النحاس النقي، فتمت معالجة عملية التكوين في المكان باستخدام نظام الليزر المتناسك الطول باستخدام الأشعة السينية. فعند ذوبان ركيزة من الفولاذ المقاوم للصدأ 304، تولدت فقاعات في المصهور عند كثافة قدرة ليزر 7.2 × 103 واط/سم² وسرعة معالجة 3 م/ث. وعند سرعة معالجة بالليزر 9 م/ث اختفت الفقاعات حيث تجمع مصهور قليل على سطح الركيزة. واعتمد عمق اختراق ومقدار الفقاعة على طاقة إدخال الليزر. وعن طريق التحكم في كمية الطاقة المدخلة تم إنتاج طلاء نحاسي بشكل دقيق ودون اختراق للحام [Sato, Y., et al. 2019. P. 861].

كما تم دراسة تأثير البعد البؤري على خشونة السطح للألواح النحاسية الرقيقة سمك 1 مم باستخدام الغاز المساعد O2. وتم التحقق من خصائص القطع بالليزر بما في ذلك مستوى الطاقة

للحصول على جودة قطع مناسبة دون رايش [Abouzaid, A., et al. 2018. P. 1].

كما تم استعراض موجز لماكينه قوس البلازما. وذكرت الدراسة أن مجموعة متنوعة من عوامل تشغيل العملية مثل جهد وتيار القوس وضغط الغاز وسرعة القطع والمسافة الفاصلة ومعدل تدفق الغاز، أثرت على تميز جودة القطع بالبلازما مثل عرض القطع الناتج. في هذه الورقة، أوضح الـ PAC تأثير كلاً من سرعة القطع بالم/ث، والتيار بالأمبير، والضغط بالبار على مادة الـ SS304 ذات الكثافة 8.03 جم/سم³. وفي هذه التجربة، تم القيام باستخدام طريقة تصميم كاملة العوامل ومعادلة تحليل الانحدار لخشونة السطح من خلال إجراء القطع لمجموعات تشغيل مختلفة من صفوف متعامدة L27 لمعرفة مجموعة التشغيل المثلى للسرعة والتيار والضغط التي تعطي السطح الأملس. وقُيِّمت أيضاً عوامل تشغيل قطع التحول الساخن للفولاذ المقاوم للصدأ بتطبيق منهجية شبكة الأعصاب الصناعية الـ ANN ومنهجية استجابة السطح الـ RSM ووجدت أن الجزء المحول تم دمجها في حزمة برمجيات زكية وخبيرة بالتصميم معتمدة على منهجية الـ ANN. كما تم تحديد قيم التدرج الأحادي باستخدام تحليل العلاقة الأحادية [Senthilkumar, N. et al. 2018. P. 212].

وفي دراسة بحثت أثر المعالجة بالتبريد العميق على خشونة السطح وقوة القطع للصلب C45، هدفت الدراسة إلى توقع توليفة مُحسنة من عوامل التصنيع لإنتاج الحد الأدنى من قوة القطع وخشونة السطح أثناء خراطة الفولاذ C45، مع أداة M2 HSS المعالجة بالتبريد العميق تحت الظروف الجافة. وعن الطريقة تم استخدام تصميم التجارب الـ DOE مع الصيغ المتعامد L9 في الـ OA للتنبؤ بالمجموعات المثلى من عوامل التشغيل لاستخدام قوة القطع وإنتاج خشونة سطح في الحد الأدنى. أُجريت نسبة S/N والـ ANOVA لإظهار التحكم في ثلاث عوامل على قوة القطع وخشونة السطح. وعن النتائج أن عوامل المعالجة هي أهم العوامل في عملية الخراطة. وتضمن الاختيار التأكيدي عوامل توليف مُثلى. ومن نتائج الـ ANOVA أن سرعة القطع كانت من أهم تأثيرات العوامل على حد سواء خشونة السطح غير المعالجة وغير المبردة الـ $Vc = 52.87\%$ ، والـ $Depth\ of\ cut\ (ap) = 7.59\%$ ، والـ $f = 29.20\%$ ، والـ $Vc = 37.93\%$ ، والـ $f = 29.20\%$ ، والـ $ap = 0.11\%$ على التوالي من السطح المشكل. أداة القطع غير المعالجة، عمق القطع كان الأكثر تأثيراً $ap = 86.75\%$ يليه معدل التغذية 8.80% وسرعة القطع 3.37% . بينما معدل تغذية الأداة المعالجة هو العامل المسيطر على $f = 56.76\%$ يليه $ap = 19.73\%$ ، و $Vc = 10.10\%$. تقنية Taguchi هي الطريقة الفعالة لتحسين عوامل المعالجة لقوة القطع المنخفضة وخشونة السطح. وكانت التطبيقات: أداة M2 HSS هي ثاني أكثر فولاذ صلابه في الصناعات الصغيرة وتطبيقاتها الواسعة في قواطع الطحن، المثاقيب الملتوية، المثاقيب، الصنابير، المناشير، الأسلحة البيضاء والقواطع [Ahmed, M. R., et al. 2020. P. 1190].

2 مشكلة البحث Statement of the problem:

- هل تم دراسة تأثير سرعة القطع علي خشونة حافة السطح لضبط جودة القطع لأسطح ألواح الـ Cu سمك 1مم باستخدام الـ PA؟

3 هدف البحث Objective

- دراسة تأثير سرعة القطع علي خشونة حافة سطح وجودة القطع للأسطح من الـ Cu سمك 1مم باستخدام الـ PAC.
- تعيين القيم المثلى لسرعة القطع والأمبير للحصول علي أسطح قطع في الحد الأدنى من الخشونة ولضبط جودة القطع.

4 أهمية البحث Significance

- الحاجة إلى إيضاح تأثير سرعة القطع علي خشونة وجودة سطح ألواح الـ Cu سمك 1مم باستخدام الـ PAC.

بالقوس للفولاذ AISI 316 الذي أُجري له طريقة تحسين مولفة. وتم اقتراح تكوين جديد لمنهجية سطح الاستجابة وتحليل العلاقة الأحادي إلى جانب تحليل المكون الرئيسي لتقييم وتقدير تأثير عوامل التشغيل على الاستجابات. وكانت الاستجابات الرئيسية المختارة لهذه التحليلات هي عرض القطع، الشطب "الشطف"، الرايش، خشونة السطح ومعدل إزالة المواد، وعوامل التشغيل المقابلة المركزة عليها في هذه الدراسة هي معدل التغذية والتيار والجهد وارتفاع الشعلة. وأجريت ثلاثون تجربة على مواد التشغيل مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ AISI 316 على أساس التصميم المركب المركزي الذي يركز على الوجه. تم تطبيق النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها في تحليل العلاقة الأحادي، وتم تقييم أوزان الاستجابات من خلال تحليل المكون الرئيسي وتم تقييمها باستخدام طريقة سطح الاستجابة. أظهرت النتائج أن درجة العلاقة الأحادية تأثرت بشكل كبير بعوامل المعالجة بشكل مباشر وكذلك مع بعض التفاعلات وأن هذه الطريقة بسيطة وسهلة التشغيل، وقد تم تحديد النتائج أيضاً من خلال تشغيل اختبارات تأكيد. وتغزو الفرضية المعرفة المفيدة لإدارة عوامل التشغيل إلى تعزيز دقة الأجزاء المجهزة عن طريق قطع قوس البلازما [Maity, K. P., & Bagal, D. K. 2015. P. 161].

كما تم ضبط خصائص مواد الفضاء الجوي من سبائك النيكل من خلال التشغيل بالـ WEDM بسبب خصائصها من قوة ومقاومة جيدة للتآكل والحرارة، وعلية أمكن استخدامها في تصنيع مكونات الطيران والفضاء المختلفة. هذا بالإضافة إلى أن استخدام الـ WEDM على نطاق واسع في تشغيل سبائك مختلفة لأنها طريقة موثوقة من حيث الدقة والاحكام. وفي هذه الورقة، تم تجريب تشغيل ثلاثة خلانط فضائية مختلفة من النيكل هي

1. Inconel

Inconel 825: Carbon 0.05, Silicon 0.5, Manganese 1.0, Sulphur 0.03, Fe 22.0, Copper 3.0, Ni 38.

2. Monel

Monel 400: Carbon 0.3 max, Silicon 0.5 max, Mn 2.0 max, Sulphur 0.024 max, Iron 2.5 max, Copper 28.0- 34.0, Nickel [plus Cobalt 63.0 min.

3. Incoloy

Incoloy 800: C 0.096, Cr 20.096, Mn 0.501, Al 0.302, Fe 42.821, Ni 34.991, Ti 0.006

بالـ WEDM. تمت عملية الضبط باستخدام طريقة Taguchi وأُخذ في الاعتبار أربعة عوامل هي وقت تشغيل النبض، ووقت إيقاف النبض، ومعدل تغذية السلك والتيار في ثلاثة مستويات مختلفة لكل منهما. وتم قياس معدل التشغيل وخشونة السطح لكل عينة على حدة. كما تم مقارنة النتائج ومن ثم بناءً على المقارنة، تم تحديد العوامل المثلى لتشغيل كل سبيكة، كما تم استنتاج أن السبائك الأكثر ملاءمة للتشغيل باستخدام الـ WEDM هي لتطبيقات الفضاء [Ajay, B.T., et al. 2017.P. 9107].

أيضاً تم دراسة تأثير عوامل قطع ألواح النحاس الأصفر سمك 0.8مم بقوس البلازما على ضبط جودة القطع للأسطح من خلال خشونة السطح، وكان هدف الدراسة تحديد العوامل التي يجب أخذها في الحسبان للحصول علي جودة قطع أعلى. تم فحص خشونة الحواف للأسطح المقطوعة وذلك للوقوف علي أفضل النتائج التي تعطي جودة قطع أعلى وخشونة في الحد الأدنى. تم مناقشة تأثير كل من الأمبير المستخدم وسرعة القطع علي كل من خشونة السطح وجودة القطع. ومن أهم النتائج التي تم التوصل إليها أن كمية الرايش الناتجة عن القطع تقل بزيادة الأمبير المستخدم عند سرعات القطع الأعلى. كما أن خشونة السطح تزداد بزيادة سرعة القطع. وأوضح البحث تأثيراً كبيراً لسرعة القطع علي كل من جودة القطع وخشونة السطح. وتم التوصل إلي أن استخدام قدرة 30 أمبير مع سرعة 1500سم/د هي القيم الأفضل

- تستخدم الدراسة المنهج التجريبي في فحص تأثير سرعة القطع على خشونة وجودة سطح القطع لكـ Cu سمك 1مـ في الـ PA.

7- الدراسة التجريبية:-

تم استخدام ماكينة الـ PAC من نوع HyPertherm-HyPerformance Plasma Loyal Mak Max 130XD automated gas control [https://www.hypertherm.com] في إجراء عدد 13 تجربة قطع لعدد 13 عينة من خامة الـ Cu بسمك 1مـم بعوامل التشغيل الموضحة في الجدول (1) أدناه والذي يعرض القيم

- تزويد الدعم للفنيين والمتخصصين بالخبرة التجريبية في مجال التشغيل بالقطع لألواح الـ Cu بالـ PA.
- إمداد الجهات الأكاديمية والأقسام العلمية ذات الارتباط بالمادة العلمية والعملية في مجال قطع ألواح الـ Cu بالـ PA.
- نقل نتائج التجارب العلمية الي قطاع الصناعة وذلك للحد من خشونة القطع لأسطح الـ Cu في التشغيل بالـ PA.
- الحاجة إلي ضبط جودة خشونة السطح وجودة القطع لأسطح المنتجات من الـ Cu سمك 1مـم.

5 فروض البحث Hypothesis

رقم التجربة/ العينة	تيار القطع بالبلازما بالأمبير (Amp)	جهد القوس الكهربائي بالفولت (Volt)	ضغط الغاز بالبار (Bar)	ضغط الغاز (Pound/ si)	سرعة القطع (mm/min)	سرعة القطع (cm/min)
13-1	30	130	3	60	3000، 2000، 1000، 500، 7000، 6000، 5000، 4000، 10000، 9000، 8000، 12000، 11000	300، 200، 100، 50، 700، 600، 500، 400، 800، 900، 1000، 1200، 1100

المُستخدمة لكلاً من قدرة التيار بالأمبير 30، والسرعات من 500 إلي 12000 بالـ مم/د، وكذلك الجهد الثابت للقوس عند 130 فولت، وضغط الهواء المستخدم كغاز للقطع عند 60 باوند/ بوصة مربعة أو 3 بار.

- استخدام قيم محددة سرعات قطع معينة في تشغيل أسطح ألواح الـ Cu بالـ PA سمك 1مـم ينتج خشونة سطح ورائش في الحد الأدنى ويحقق جودة قطع أعلى.

6منهج البحث Methodology

جدول (1) يوضح القيم المُستخدمة في إجراء القطع لعينات التجارب من الـ Cu سمك 1مـم من سرعات القطع بالـ مم/د أو بالـ سم/د، و تيار القطع بالأمبير، والجهد بالفولت، وضغط الغاز بالباوند أو البار.

رقم التجربة/ العينة	تيار القطع بالبلازما بالأمبير (Amp)	جهد القوس الكهربائي بالفولت (Volt)	ضغط الغاز بالبار (Bar)	ضغط الغاز (Pound/ si)	سرعة القطع (mm/min)	سرعة القطع (cm/min)
13-1	30	130	3	60	3000، 2000، 1000، 500، 6000، 5000، 4000، 9000، 8000، 7000، 12000، 1000، 10000	300، 200، 100، 50، 700، 600، 500، 400، 800، 900، 1000، 1200

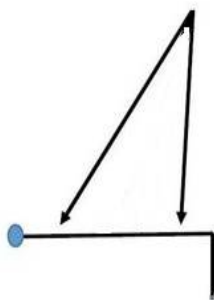
للعينات

وعن التركيب الكيميائي أيضاً يُوضح الجدول (2) إلى الأسفل التركيب الكيميائي للسبيكة الـ Cu_050 المستخدمة في تجارب القطع

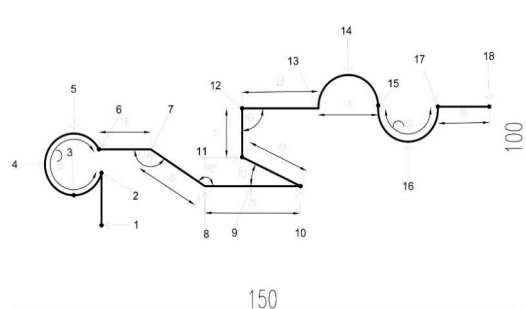
جدول (2) يوضح التركيب الكيميائي لخامة الـ Cu_050 المُستخدمة في إجراء قطع مسار عينات التجارب

العنصر	النحاس Cu	الزئبق Zn	الرصاص Pb	الانتيمون Sn	الفوسفور P	المنجنيز Mn	الحديد Fe
النسبة	99.90	0.0075	0.0005	0.0071	0.0001	0.0002	0.0005

وقد تم تنظيم جميع عينات التجارب في مجموعة واحدة مكونة من 13 عينة، واستخدمت الدراسة ثلاثة عشر سرعة قطع متدرجة من الأدنى إلى الأعلى فكانت من 500مم/د إلى 12000مم/د على التوالي، وتم استخدام قدرة تيار قطع ثابتة لجميع التجارب وكانت القيم كالتالي 500، 1000، 2000، 3000، 4000، 5000، 6000، 7000، 8000، 9000، 10000، 11000، و12000مم/د وجميعها استخدمت 30 أمبير. ويوضح شكل (2) تصميم مسار القطع المُستخدم للعينات التي تم تشغيلها بالقطع بالـ PA. ويوضح الملحق أ) قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما والمُستخدمة للعينتين 1، و 13 واللتين تم عنديهما فحص وقياس خشونة حافة سطح القطع.



شكل (3) منظر مكبر للنقطتين اللتين تم عنديهما فحص وقياس خشونة حافة سطح القطع للعينتين 1، و 13.



شكل (2) يوضح تصميم للمسار المُستخدم في العينات التي تم تشغيلها بالـ PAC.

وقد تم اختيار العينتين 1، و13 عند قدرة تيار 30 أمبير وسرعة قطع منخفضة عند 500م/د وأخرى وعند سرعة قطع مرتفعة عند 12000م/د، وتم تسجيل القراءات للنقاط 1، و2 لكل عينة على التوالي.

وسجل الجهاز 4 أنواع من قراءات الخشونة السطحية وهي الـ Ra وتسمى بالقيمة الوسطية للانحرافات المسجلة لمنحنى خشونة السطح وهي النوع الأكثر انتشاراً واستعمالاً ويسمى بمتوسط قراءة خشونة السطح، أما النوع الـ Ry والـ Rz فهما يُشيران إلى قراءة أقصى نقطة في الخشونة ويُسميان أيضاً بالـ Rt، أما النوع الـ Rq فهي متوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح [https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_roughness].

كما يوضح جدول 3 نتائج قراءات قياسات الخشونة على حافة سطح القطع للنقطتين 1، و2 على الخط المستقيم للعينتين 1، و13 لجميع أنواع الخشونة Ra، Rz، Ry، Rq.

كما يوضح شكل 3 منظر مكبر للنقطتين اللتين التي تم عنديهما فحص وقياس الخشونة عند حافة سطح القطع للعينتين 1، و13 وتم أخذ القراءات على نقاط ممثلة لـ2 من الأماكن المتباعدة على حافة سطح قطع عينتين من التجارب وتم تسجيل القراءات لأربع أنواع من الخشونة والتي نتجت مباشرة عن استخدام جهاز قياس الخشونة.

وأستخدم جهاز قياس من نوع -Surftest- Model SJ-201- Mitutoyo Manufacturing Company لفحص خشونة حافة سطح القطع Surface Roughness Inspection المستخدم للعينتين 1، و13 والمعروف أن الجهاز يقيس ارتفاع الرابيش في خط مستقيم لتسجيل القراءات المطلوبة للخشونة على النقاط الموضحة في شكل 5). ويوضح شكل 5 منظر أفقي لحافة سطح القطع ومبين عليها النقطتين اللتين تم عنديهما فحص الخشونة للعينتين 1، و13.

جدول 3 يوضح نتائج قراءات قياسات الخشونة على حافة سطح القطع للنقطتين 1، و2 على الخط المستقيم للعينتين 1، و13 لجميع أنواع الخشونة Ra، Rz، Ry، Rq.

Specimen roughness No.		Roughness typs			
		Ra(mμ)	Ry(mμ)	Rz(mμ)	Rq(mμ)
Cu	Surface	0.33	1.44	1.44	0.39
	(1)	2.82	14.12	14.12	3.42
	2	2.5	13.93	13.93	3.3
	Surface	0.33	1.44	1.44	0.39
	(13)	4.08	21.22	21.22	5.11
	2	8.9	46.37	46.37	11.04

للخشونة الـ Rz، Ry، ومتوسط الجذر التربيعي لانحرافات الخشونة الـ Rq لسطح الخامة قبل القطع لجميع أنواع الخشونة للعينتين 1، و13 على التوالي وكانت القراءات كالتالي: Ra = 0.33، وRz = 1.44، وRy = 1.44، وRq = 0.39، وبعد استخدام سرعتنا القطع 500، و12000م/د للعينتين 1، و13 على التوالي عند قدرة تيار 30 أمبير وبإجراء الفحص لهما تبين التالي:

أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة حافة سطح القطع للعينة 1 عند 30 أمبير و500م/د كانت الـ Ra = 2.82 mμ وذلك عند النقطة 1، وكانت أدنى قراءة للـ Ra = 2.5 mμ عند النقطة 2 الواقعة أيضاً على حافة سطح القطع للعينة 1 وهي الأقل قراءة بالمقارنة بجميع قراءات العينة 13 والتي كانت أقصى قراءة لمتوسط خشونة حافة سطح القطع لها عند 30 أمبير و12000م/د هي Ra = 8.9 mμ عند النقطة 2 بينما كانت أقل قراءة لمتوسط خشونة حافة سطح القطع لنفس العينة 13 هي Ra = 4.08 mμ عند النقطة 1.

وعليه يمكن أن نقرر أن متوسط الخشونة أو ما يُسمى بالـ (Ra) كان أقل وكانت جودة القطع عند أعلى مستوى لها عند سرعة القطع 500م/د، بينما كان متوسط الخشونة الـ (Ra) أعلى وكانت الجودة عند أقل مستوى لها عند سرعة القطع 12000م/د. وعند النقطة 1 أيضاً الواقعة على حافة سطح القطع للعينة 1 كانت القراءات الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي Ry، Rz = 14.12 mμ، وعند النقطة 2 لنفس العينة 1 كانت أقل قراءة لارتفاع الخشونة للـ Rz = 13.93 mμ، Ry، عند سرعة قطع 500م/د، وبالمقارنة كانت أقصى قراءة لارتفاع الخشونة عند النقطة 2 للعينة 13 هي Rz = 46.37 mμ، Ry، وكانت أقل قراءة لارتفاع الخشونة لنفس العينة 13 عند النقطة 1 هي Rz = Ry،



شكل 5) يوضح منظر أفقي لحافة سطح القطع ومبين عليها النقطتين اللتين تم عنديهما فحص الخشونة للعينتين 1، و13. وبعد الانتهاء من تشغيل العينات بالقطع، تم إجراء القياسات وتم أخذ قراءات خشونة عرض حافة سطح القطع للعينتين 1، و13 عند النقاط الموضحة على حافة سطح القطع كل عينة شكل 5. كما تم تسجيل القراءات وتم إدراج جميع قراءات الخشونة في الجدول 3. كما تم تمثيل نتائج قراءات قياسات خشونة حافة سطح القطع على المحور الرأسي والنقاط التي تم عندها القياس على المحور الأفقي وذلك عند سرعات قطع مختلفة وقدرة أمبير واحدة ويوضح ذلك الشكل البياني 8.

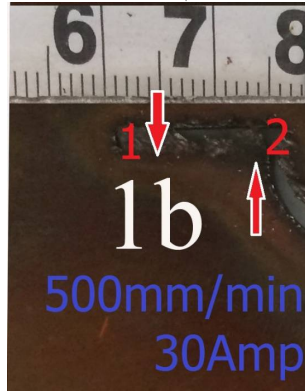
8 - نتائج البحث Results

8-1- سرعة القطع والأمبير و خشونة حافة سطح القطع وجودة القطع:-

تم أخذ متوسط قراءات الخشونة الـ Ra، وأقصى ارتفاع

النقطة 1، وبمقارنة قراءات العينة 1 بقراءات العينة 13 وجد أن أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح عند النقطة 2 هي $Rq=11.04$ وأقل قراءة كانت عند النقطة 1 هي $Rq=5.11$ ، وعليه يمكن أن نقرر أن انحرافات خشونة السطح أو ما يُسمى بالـ (Rq) عند السرعة الأدنى أقل من انحرافات خشونة السطح عند السرعة الأعلى للعينتين 1، و13.

كما أن جميع أنواع الخشونة عند جميع نقاط القياس للعينة 1 هي الأفضل لتحقيق جودة قطع أعلى، ويوضح شكل 6 منظر القطع للعينة 1 من الأمام والخلف.



21.22 μm عند سرعة قطع 12000م/د، وعليه نجد أن خشونة السطح أو ما يُسمى بالـ (Ry, Rz) كانت أعلى عند السرعة الأقصى 12000م/د وكانت جودة سطح القطع عند أقل مستوى لها عند أقل سرعة قطع، وكانت خشونة السطح (Ry, Rz) أقل عند السرعة الأدنى 500م/د وعليه كانت جودة سطح القطع أعلى.

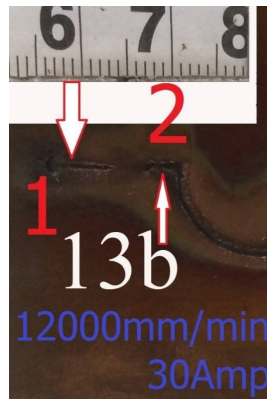
كما كانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح عند النقطة 2 للعينة 1 هي $Rq=3.3 \mu m$ عند سرعة 500م/د وكانت أقل قراءة للـ $Rq=3.42 \mu m$ وذلك عند



الشكل (6) يوضح منظر (1a,b) مسار القطع من الأمام والخلف للعينة 1 عند قدرة تيار 30 أمبير وسرعة قطع 500م/د.

من الأمام والخلف.

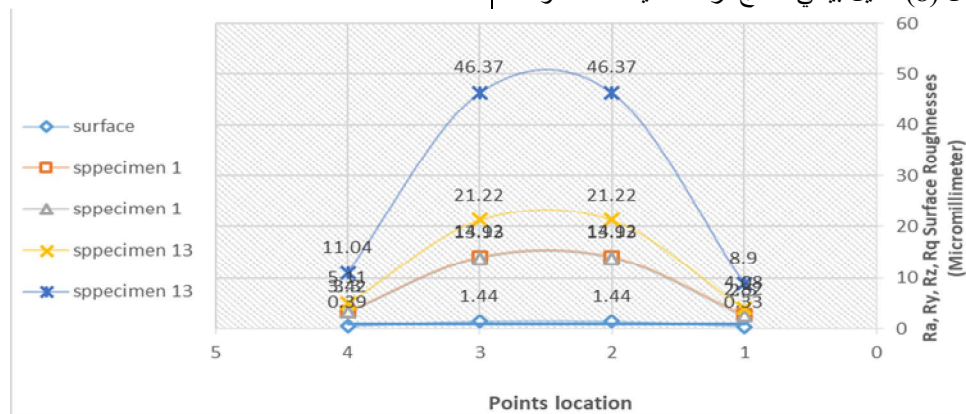
وأن جميع أنواع الخشونة عند جميع نقاط القياس للعينة 13 هي الأسوأ لجودة قطع أقل، ويوضح شكل 7 منظر القطع للعينة 13



الشكل (7) يوضح منظر (13a,b) مسار القطع من الأمام والخلف للعينة 13 عند قدرة تيار 30 أمبير وسرعة قطع 12000م/د.

حافة سطح القطع لأنواع الخشونة Ra, Rz, Ry, و Rq للعينتين 1، و 13 بالرسم البياني:-

2-8- التمثيل البياني لنتائج قراءات قياسات أنواع خشونة حافة سطح القطع للعينتين:-
يوضح الشكل (8) تمثيل بياني لنتائج قراءات قياسات خشونة



شكل (8) يوضح تمثيل بالرسم البياني لقياسات خشونة حافة سطح القطع للعينتين 1، و 13 عند النقطة 1، 2 من الأمام عند سرعة قطع 500، 12000م/د على التوالي وقدرة تيار 30 أمبير لكل منهما.

- ROMJ: *International Design Journal*.
5. Ahmed, M. R., Loksha, M., & Manjunath, L. H. (2020). Investigating the Impact of Deep Cryogenic Treatment on Surface Roughness and Cutting Force in Turning C45 Steel. *ICOnAMMA. Materials Today: Proceedings*, 24, 1190-1198. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.433>
 6. Ajay, B. T., Vitthal, P. M., & Rajyalakshmi, G. (2017). WEDM machining on Aerospace Materials for improving Material Properties. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 9107-9116. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.266>
 7. Akkurt, A. (2014). Experimental investigation of the surface properties obtained by cutting brass-353 (alpha+ beta) with an abrasive water jet and other cutting methods. *MATERIALI IN TEHNOLOGIJE*, 48(5), 725-734. Received: 2013-10-26; accepted for publication: 2013-11-18. https://www.researchgate.net/profile/A_Akkurt/publication/266595900_akkurt/links/543508d50cf294006f737d73.pdf
 8. Allen, D. M., Shore, P., Evans, R. W., Fanara, C., O'Brien, W., Marson, S., & O'Neill, W. (2009). Ion beam, focused ion beam, and plasma discharge machining. *CIRP annals*, 58(2), 647-662. From ScienceDirect database. [10.1016/j.cirp.2009.09.007](https://doi.org/10.1016/j.cirp.2009.09.007)
 9. Ananthakumar, K., Rajamani, D., Balasubramanian, E. and Davim, J.P., 2019. Measurement and optimization of multi-response characteristics in plasma arc cutting of Monel 400™ using RSM and TOPSIS. *Measurement*, 135, pp.725-737. Received on 14 May 2018, Revised 30 October 2018, Accepted 1 December 2018, from ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.010>
 10. Bhattacharyya, B., & Doloi, B. (2019). *Modern Machining Technology: Advanced, Hybrid, Micro Machining and Super Finishing Technology*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812894-7.00004-9>
 11. Kechagias, J., Stavropoulos, P., Maropoulos, S., & Salonitis, K. (2014). On the multi-parameter optimization of CNC plasma-arc cutting process quality indicators using Taguchi Design of Experiments. *Recent Advances in Electrical Engineering*, 6, 128-133.
 12. Kountouras, D., Papanikolaou, S., Intzevidou, P., Kechagias, J., & Maropoulos, S. (2014).

وبتفسير رسومات المنحنى البياني وُجد أن جميع قراءات نقاط العينة 1 ذات السرعة الأدنى ذات قيم صغيرة عند النقطتين 1، 2 وأنتجت قراءات خشونة سطح أقل وجودة سطح قطع أعلى، وأن قيم قراءات نقاط العينة 13 ذات السرعة الأقصى كانت كبيرة وأنتجت خشونة سطح أعلى.

وأن أقل قراءة لجميع أنواع الخشونة للعينة 1 عند النقطة 2 كانت $2.5 \mu\text{m}$ وهي الأفضل لتحقيق جودة القطع الأعلى وكانت عند سرعة القطع الأدنى.

وأن أنواع خشونة حافة سطح القطع كانت في الحد الأدنى عند سرعات القطع المنخفضة 500 م/د وأنتجت جودة قطع أعلى، وكانت جميع أنواع الخشونة في الحد الأقصى عند سرعات القطع الأعلى 12000 م/د وأنتجت جودة قطع أقل وذلك عند جميع النقاط والعينتين وجميع العينات كانت عند قدرة تيار 30 أمبير.

كما أوضح التمثيل البياني أن جميع قراءات قياسات الخشونة كانت إلى حد ما متفاوتة من الأصغر إلى الأكبر ومن أقل سرعة قطع إلى أعلى سرعة، وبالتالي فإن العلاقة بين سرعة القطع والخشونة طردية.

الخلاصة Conclusion

من خلال فحص تأثير سرعة القطع على الخشونة وجودة سطح القطع لألواح من الـ Cu سمك 1مم توصلت الدراسة إلى النتائج التالية:

- أن متوسط الخشونة أو ما يُسمى بالـ (Ra) كان أقل وكانت جودة القطع عند أعلى مستوى لها عند سرعة القطع 500 م/د ، بينما كان متوسط الخشونة الـ (Ra) أعلى وكانت جودة القطع عند أقل مستوى لها عند سرعة القطع 12000 م/د .

- أن خشونة السطح أو ما يُسمى بالـ (Ry, Rz) كانت أعلى عند السرعة الأقصى 12000 م/د وكانت جودة سطح القطع عند أقل مستوى لها عند أقل سرعة قطع، وكانت خشونة السطح (Ry, Rz) أقل عند السرعة الأدنى 500 م/د وعليه كانت جودة سطح القطع أعلى.

- أن انحرافات خشونة السطح أو ما يُسمى بالـ (Rq) عند السرعة الأدنى أقل من انحرافات خشونة السطح عند السرعة الأعلى للعينتين 1، و13.

- أن جميع قراءات نقاط العينة 1 ذات السرعة الأدنى ذات قيم صغيرة عند النقطتين 1، 2 وأنتجت قراءات خشونة سطح أقل وجودة سطح قطع أعلى، وأن قيم قراءات نقاط العينة 13 ذات السرعة الأقصى كانت كبيرة وأنتجت خشونة سطح أعلى.

- أن أقل قراءة لجميع أنواع الخشونة للعينة 1 عند النقطة 2 كانت $2.5 \mu\text{m}$ وهي الأفضل لتحقيق جودة القطع الأعلى وكانت عند سرعة القطع الأدنى.

- أن أنواع خشونة حافة سطح القطع كانت في الحد الأدنى عند سرعات القطع المنخفضة 500 م/د وأنتجت جودة قطع أعلى، وكانت جميع أنواع الخشونة في الحد الأقصى عند سرعات القطع الأعلى 12000 م/د وأنتجت جودة قطع أقل وذلك عند جميع النقاط والعينتين وجميع العينات كانت عند قدرة تيار 30 أمبير.

- أوضح التمثيل البياني أن جميع قراءات قياسات الخشونة كانت إلى حد ما متفاوتة من الأصغر إلى الأكبر ومن أقل سرعة قطع إلى أعلى سرعة، وبالتالي فإن العلاقة بين سرعة القطع والخشونة طردية.

المراجع References

4. Abouzaid, A., Newishy, M., & AlQotari, I. (2018). The effect of machining parameters on 0.8 mm thickness brass thin sheets using plasma arc technique for optimizing cutting quality of metal products. In *The 5 th international conference of Applied Arts [CD*

revised form 10 February 2019; Accepted 5 March 2019; Available online 06 March 2019, from SinceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.03.057>

17. Senthilkumar, N., MohamedWasim, Z., Prashanth, V., Ranjithkumar, R., & Saisubramanian, S. (2018). A BRIEF REVIEW ON PLASMA ARC MACHINING. *International Journal of Engineering, Science and*, 7, 212-221. https://www.ijesm.co.in/abstract.php?article_id=5213&title=A%20BRIEF%20REVIEW%20ON%20PLASMA%20ARC%20MACHINING

18. Sonawane, S.A. & Kulkarni, M.L. (2018). Optimization of machining parameters of WEDM for Nimonic-75 alloy using principal component analysis integrated with Taguchi method. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, received 23 January 2018, accepted 5 April 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2018.04.001>

19. <https://www.hypertherm.com/hypertherm/hyperformance/hyperformance-hpr130xd/>

20. https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_roughness

21. <http://frednelsonfabrication.com/Plasma/pierce%20Capture.JPG>

The influence of micro structural aspects on a parameter design of carbon steel plate CNC plasma arc-cutting. *scientific works of university of food technologies*, 11, 790- 796.

13. Madia, M.N & Patel, D.M. (2013). Effect of Focal length on surface roughness of 1mm thin Brass sheet by using assist gas O₂. *Gas*, 1, 16. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(9) 4539- 4543.

14. Maity, K. P., & Bagal, D. K. (2015). Effect of process parameters on cut quality of stainless steel of plasma arc cutting using hybrid approach. *ICOnAMMA 20. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(1-4), 161-175. doi:10.1504/IJMATEI.2012.049254

15. Patel, K., & Agarwal, P. (2017). Effect of process parameters on structural steel using plasma arc cutting: a review. *International Journal of Advanced Engineering and Research Development*, 4(4) 608- 611. DOI:10.21090/IJAERD.12849

16. Sato, Y., Tsukamoto, M., Shobu, T., Funada, Y., Yamashita, Y., Hara, T., & Abe, N. (2019). In situ X-ray observations of pure-copper layer formation with blue direct diode lasers. *Applied Surface Science*, 480, 861-867. Received 14 October 2018; Received in

12- ملحق الدراسة:-

12-1- ملحق أ): ويوضح قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما والمستخدمة للعينتين 1، و 13 واللتين تم عندهما فحص وقياس خشونة حافة سطح القطع.

Exp/Spic men. NO.	Current (Amp)	Arc Voltage	Gas Pressure (Bar)	Gas Pressure (Psi)	Cutting speed mm/min	Cutting speed cm/min	Remarks
1	30	130	3	60	500	110	خشونة أقل وجوده سطح قطع أعلى
13	30	130	3	60	12000	80	خشونة أعلى وجوده سطح قطع أدنى

ملحق أ) يوضح قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما والمستخدمة للعينتين 1، و 13 واللتين تم عندهما فحص وقياس خشونة حافة سطح القطع.

12-2- ملحق ب): رموز ومصطلحات:-

PA	Plasma Arc	قوس البلازما
PAC	Plasma Arc Cutting	القطع بقوس البلازما
PAM	Plasma Arc Maching	التشغيل بقوس البلازما
MRR	Material Remval Rate	معدل إزالة الخامة
DOE	Design of Experiments	تصميم التجارب
OA	Orthogonal Array	الصفيف المتعامد
ANOVA	Analysis of Variance	اختبار تحليل التباين أحادي الجانب
ANN	Artificial Neural Network	شبكة الأعصاب الصناعية
WEDM	Wire Electric Discharge Machining	التشغيل بالتفريغ الكهربائي بالسلك
HMCPAC	Hydro-Magnetically Confined Plasma Arc Cutting	القطع بقوس البلازما المحجوز مغناطيسياً
PAMHPT	Hydro-Magnetically Confined Plasma Arc Cutting	والتشغيل بقوس البلازما باستخدام شعلة البلازما المولفة
UPC	Underwater Plasma Cutting	القطع بالبلازما تحت الماء
RSM	Response Surface Methodology	منهجية استجابة السطح
Ra	Roughness Average	متوسط قراءات خشونة السطح
Ry, Rz	Maximum Height of the Profile (Ry, Rz= Rt)	أعلى نقطة في الخشونة
Rq	Root Mean Squared	متوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح