

أثر السرعة والأمبير علي خشونة عمق حافة سطح القطع لد Al سمك 10م باستخدام قوس البلازما

The Effect of Speed and Amper on Roughness of the Cutting Surface
Edge Depth of 10 mm Al Using PAM

د/ عبدالرحمن أبو زيد.

(1) أستاذ مساعد بقسم المنتجات المعدنية والحلي، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر.

كلمات دالة Keywords :

سرعة القطع
Cutting Speed
أمبير تيار القطع
Cutting Current
Ampere
جودة القطع
Kerf Quality
تحسين
Optimization

ملخص البحث Abstract :

تهدف الدراسة التجريبية إلي بحث تأثير كلا من سرعة القطع والأمبير علي خصائص خشونة عمق حافة سطح القطع لد Al سمك 10م باستخدام القطع بقوس البلازما، وذلك لضبط جودة القطع للأسطح. استخدمت قيم مختلفة للسرعة والأمبير للقطع كعوامل تحكم في هذه الخصائص. واتبعت الدراسة المنهج التجريبي في تشغيل عينات الـ Al، تم تسجيل القيم المستخدمة في التجارب لكل من سرعة القطع والأمبير، وتم فحص الأنواع المختلفة لخشونة عمق حافة سطح القطع لثلاث عينات محددة. تم اختيار العينة ذات السرعة الأقل والمتوسطة والأعلى واستخدمت جميعها قدرة 150 أمبير. تم تقييم نتائج الأنواع المختلفة لخشونة السطح (Ra, Ry, Rz). تم رصد جودة القطع من خلال فحص وقياس الخشونة عند 4 نقاط مختلفة عند عمق حافة سطح القطع لكل نوع من أنواع الخشونة. ولتحديد قيم عوامل التحكم التي يمكن استخدامها في الحصول على جودة قطع أفضل، فقد تم مناقشة تأثير كلا من سرعة القطع والأمبير علي خشونة السطح، كما تم عرض نتائج خشونة السطح للتجارب بيانياً. ومن أهم النتائج تبين أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 10 عند 150 أمبير و800م/د كانت $Ra = 21.28 \mu m$ وأدنى قراءة كانت $3.91 \mu m$ وهي الأقل مقارنة بالعينتان 1، و19 عند النقطة 1 الأقرب إلى حافة القطع من أعلى، والنقطة 4 الأقرب إلى حافة سطح القطع من أسفل على التوالي. وكانت الجودة عند أعلى مستوى لها عند أقل سرعة قطع، وكانت جميع قراءات أنواع الخشونة هي الأقل والأفضل لتحقيق جودة قطع أعلى مقارنة بالعينتان 1، و19. عند النقطتين 2، و3 للعينة 10 كانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz = 102.3 \mu m$ وكانت أقل قراءة $25.71 \mu m$. عند النقطتين 2، و3 كانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح هي $Rq = 26.49 \mu m$ وكانت أقل قراءة $5.38 \mu m$ وذلك عند النقطة 4، وبمقارنة جميع قراءات العينة 10 بقراءات العينات 1، و19 لوحظ أنها أقل قراءات لجميع أنواع الخشونة عند جميع نقاط القياس وهي الأفضل لتحقيق جودة قطع أعلى. أيضاً تبين أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 1 كانت $Ra = 33.37 \mu m$ وأدنى قراءة كانت $19.91 \mu m$ وهي أعلى قراءات مقارنة بالعينتان 10، و19 عند النقطة 1، و2 على التوالي عند 150 أمبير وسرعة 1100م/د. وكانت الجودة منخفضة وفي أدنى مستوى لها عند أقل أمبير وعند سرعة قطع متوسطة وتلاحظ أعلى قراءات للخشونة وتعد الأكبر وأعطت جودة قطع سيئة. عند النقطتين 2، و1 للعينة 10 كانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz = 141.4 \mu m$ وكانت أقل قراءة $83.06 \mu m$ على التوالي. وكانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح $Rq = 39.3 \mu m$ وكانت أقل قراءة $23.16 \mu m$ وذلك عند النقطتين 2، و1 وبمقارنة قراءات العينة 1 لوحظ أنها أعلى قراءات للخشونة مقارنة بقراءات العينات 10، و19 وهي الأسوأ لجودة قطع أقل. كما تبين أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة القطع لسطح العينة 19 كانت $Ra = 21.01 \mu m$ وأدنى قراءة كانت $8.29 \mu m$ وهي قراءات متوسطة مقارنة بالعينتان 10، و1 عند النقطتين 2، و1 على التوالي عند 150 أمبير وسرعة 1400م/د وعليه كانت الجودة عند مستوى متوسط لها عند أقل أمبير وعند أعلى سرعة قطع. وعند النقطتين 2، و1 للعينة 19 كانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz = 104.6 \mu m$ وكانت أقل قراءة $38.42 \mu m$. وكانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات السطح $Rq = 26.15 \mu m$ وكانت أقل قراءة $9.93 \mu m$ وذلك عند نفس النقاط 2، و1 وبمقارنة جميع قراءات العينة 19 بالعينتان 10، و1 لوحظ أن جميع قراءات الخشونة متوسطة وبعضها كقيم تقترب من جودة قطع متوسطة. كانت جودة القطع في مستوى متوسط لها عند أقل أمبير وعند أعلى سرعة قطع ولوحظ أن قراءات الخشونة متوسطة وبعض قيمها يقترب من جودة القطع المتوسطة. وتبين أن أنواع خشونة عمق حافة سطح القطع كانت في الحد الأدنى عند سرعات القطع المنخفضة 800م/د، وكانت في الحد الأقصى عند سرعات القطع المتوسطة 1100م/د عند نفس قدرة التيار المستخدمة 150 أمبير في الحالتين. وتدرجت جميع قراءات قياسات الخشونة لجميع العينات إلى حد ما من الأقل إلى الأكبر من أعلى حافة القطع إلى أسفلها من النقطة 1 إلى 4 الأقرب إلى حافة سطح القطع من أسفل حيث أن النقطة 4 بعيدة عن حافة سطح القطع وهي النقطة الأبعد عن حزمة قوس البلازما. وكانت أقل قراءات للخشونة لجميع العينات عند النقطة 1 لأنها الأقرب إلى حافة سطح القطع من أعلى والأقرب مواجهة لحزمة قوس البلازما.

Paper received 13th July 2020, Accepted 17th November 2020, Published 1st of January 2021

مقدمة Introduction :

القدرة والقطب الكهربائي وأنبوب مياه التبريد وقناة غاز البلازما [Ghosh, A. et al. p. 42]. وفي السنوات الأخيرة لم يتطلب المنتج الصناعي دقة وجودة عالية فحسب، بل استوجب أن يكون إنتاجه أيضاً في أقل وقت ممكن للمحافظة عليه في السوق شديدة المنافسة. وبالتالي، استلزم ذلك تحقيق المخرجات المطلوبة من خلال تنظيم عوامل تشغيل عملية Plasma Arc Cutting Machining (PACM) وفقاً للمتطلبات. وعليه فإن العوامل المستخدمة في التشغيل تقوم بدوراً هاماً في تحديد جودة السطح وأيضاً في معدل إزالة المواد [Gangil, M. et al. Material removal rate (MRR) 2017. 2048]

يُشكل قطع المعادن أساس الصناعة وتكمن أهميته في منتجات الحياة اليومية بسبب التطبيقات الواسعة في الإنشاءات وأغراض الطيران والفضاء والمجالات العسكرية والبحرية [Rana, R.S. et al. 2018. p. 19191]. كما تتنوع التطبيقات أيضاً من المنتجات الاستهلاكية اليومية والحياتية في مجال المنتجات المعدنية. ويُعد الاختيار الأمثل لعوامل التشغيل في العملية أمراً ضرورياً للقطع الأكثر سلاسة والأسرع [kumar Naik, D., & Maity, K. P. 2018. P. 13157]. ويوضح شكل (1) منظر تصويري لقوس البلازما ويتكون من القوس التجريبي ومصدر

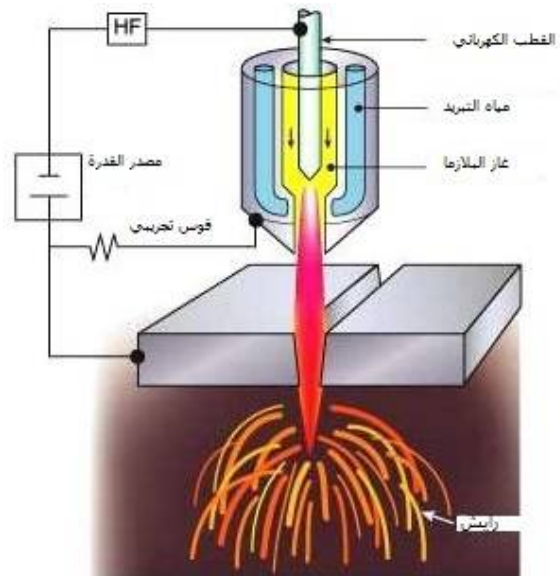
بالبلازما مع الطاقة الكافية وكثافة قوى الدفع لإذابة وتبخير وإزالة المعدن من منطقة الصدم. وأتاح نموذج الدراسة بحث تفاصيل توزيع الحرارة ووضع تنبؤات حول اختيار درجة الحرارة الأخذ في الزيادة على سطح المعدن، ونقل الحرارة إلى قطعة العمل، والقوى التي تعمل على الذوبان (السحب الديناميكي الهوائي، والجاذبية واللزوجة والتوتر السطحي) أثناء الـ PAC، ويُعتقد أن القوى الرئيسية التي تعمل على الذوبان هي قوى السحب الأيروديناميكية والجاذبية وتقتصر أهميتهما على الألواح المعدنية السميكة. بمساعدة هذه الافتراضات وقطر حجم مصدر الحرارة الغوسي، تم حساب قطر الفوهة لقطعة العمل الرقيقة. وقد تبين تطابق نتائج النموذج مع البيانات التجريبية الناتجة [Ghosh, A. et al. p. 42]

أيضاً تم ضبط وقياس خصائص الاستجابة المتعددة في قطع سبيكة Monel 400 باستخدام الـ PAC (منهجية استجابة السطح) والـ TOPSIS (تقنية ترتيب الأفضلية عن طريق التشابه مع الحل المثالي). تم بحث تأثير عوامل التشغيل بالـ PAC كالأمبير والسرعة والمسافة الفاصلة وضغط الغاز على خصائص جودة القطع للمشغولة كالـ MRR وحافة القطع Cutting Edge لسبيكة الـ Monel 400. تم دمج نهج تصميم Box-behnken. تم عمل تحليل احصائي لتحديد العوامل الأكثر تأثيراً. وتم عمل دراسات متعددة الأهداف لوضع منهجية باستخدام قرار متعدد المعايير (Multi-Criteria Decision Making) [Ananthakumar, K. et al 2019. p.725.]

وفي دراسة بعنوان استراتيجيات تحكم ذكية لتقنية القطع بقوس البلازما، تم اعتماد منصة رقمية لقوى الـ PAC، وتم التركيز على قوة الخصائص اللاخطية والمتغيرة. وقدمت الورقة خوارزمية متناهية الصغر متغيرة بإستعمال شبكة نيورونات لمشتق التكاملي النسبي (PID) Proportional Integral Derivative (عامل فصل لمتغيرات اقتران بعوامل متعددة لعملية القطع). وقللت الخوارزمية من نمذجة النظام غير الخطي المعقد، وحققت تحكم لحظي وفعال لعملية القطع عبر الإنترنت من خلال الجمع بين مزايا التحكم الضبابي والتحكم بشبكة مشتق التكاملي النسبي الـ PID. وعمل التحكم المُطور على تحسين دقة الحالة الثابتة والأداء الديناميكي للنظام في وقت واحد وأظهرت النتائج التجريبية أن عنصر التحكم هذا طور من الدقة، ومن موجات القطع، والتشطيب وغيرها لقطعة العمل مقارنة بتحكم التكاملي النسبي التقليدي (PI) Proportional Integral، وتبين أن إمدادات طاقة الـ PAC بشبكة النيورونات الضبابية (أي الأنظمة الاصطناعية القائمة على المنطق الضبابي) تتمتع بتحكم مثالي الأداء [Deli, J., & Bo, Y. 2011. p 1]

وفي دراسة بعنوان تطوير طلاء مركب الألومنيوم المدمج T-ZnOw @ Al₂O₃ في درجات الحرارة المنخفضة لمعالجة فوسفات الألومنيوم لسبائك Ti-6Al-4V. تم تطوير طلاء فوسفات الألومنيوم بالمعالجة لفترة طويلة. تم إنتاج عامل المعالجة T-ZnOw @ Al₂O₃ عن طريق مسارات هلامية، وتم فحص آلية المعالجة للطلاء في وجود T-ZnOw @ Al₂O₃. ذلك جعل طلاء الفوسفات مناسباً للتطبيقات العملية تم عمل حشو الـ Al عن طريق تحسين خشونة السطح. [Liu, F. et al. 2019. P. 18406]

وفي دراسة بحثت أحدث ما توصلت إليه سلامة السطح في تصنيع مركبات المصفوفة المعدنية Metal Matrix Composites (MMC) كبديل متقدمة للمواد المعدنية المتجانسة. وحصولها على اتجاه متزايد من الدراسات البحثية بسبب خصائصها الميكانيكية المحسنة وخفة الوزن نسبياً. فبالرغم من أن معظم أجزاء الورقة البحثية ركزت على الاختبارات والتحليلات، فقد تركز العمل المحدد على سلامة سطح الـ MMC. وتم مناقشة مساهمة كل من المواد الميكانيكية بالإضافة إلى آلية إزالة المواد



شكل (1) يوضح منظر تصويري لقوس البلازما.

وأجرت دراسة مقارنة لعمليات قطع المعادن بكلا من القذف النفاث بالماء Abrasive Water Jet (AWJ)، والتشغيل بحزمة الليزر Laser Beam Maching (LBM)، والقطع بقوس البلازما Plasma Cutting (PC)، وكان هدف الدراسة إختيار أفضل التقنيات في قطع المعادن. وناقشت الدراسة بإيجاز الطرق المختلفة لقطع المعادن كالقطع بالـ AWJ والقطع بالـ LBM والـ PAC. وتم إيضاح هذه التقنيات وتمت مقارنتها في جدول لتبسيط الضوء على الاختلافات بين كل منها، ثم تم تقديم مزيداً من المناقشات حول الجوانب الرئيسية لطريقة المقارنة، وأدى ذلك إلى استنتاجات مناسبة أجابت بدورها على التساؤل الذي قد يبدو بسيطاً: ماهي التكنولوجيا الأنسب لقطع المعادن؟ [Krajcarz, D. 2014. P. 838]

وفي دراسة بعنوان التطوير والتحليل التجريبي في القطع بقوس البلازما للفولاذ عالي المقاومة Hardox-400 باستخدام تقنية Taguchi، تم إجراء فحص للقطع بقوس البلازما، وتم تناول مادة الفولاذ التي تتميز بخاصية الانحناء الجيد، والصلابة العالية والقابلية للحام. أيضاً تتعدد أشكال استخدامات الفولاذ Hardox 400 في تصنيع حاويات قلابات الشاحنات، والوادر الأمامية، والصنادل. تم استخدام الأرجون كغاز حامل والأكسجين كغاز حماية في التجربة، كما تنوعت عوامل التشغيل المستخدمة من تيار القطع وضغط غاز الإمداد وسرعة القطع والمسافة الفاصلة أثناء عملية القطع، وتعتبر الـ MRR وخشونة السطح Surface roughness وعرض القطع Kerf Width بمثابة نتائج التشغيل، كما تم وصف تأثير الفردي لعوامل القطع المتعلقة بمخرجات نتائج التشغيل، وتم تطبيق تحليل Taguchi based desirability analysis (TDA) لإيجاد ظروف القطع المثلى، وتحسين خصائص الجودة لعملية الـ PAC. وهدفت التجربة إلى زيادة الـ MRR وتقليل نتائج التشغيل الأخرى إلى الحد الأدنى. تم إجراء اختبار للتأكد من النتائج التي تم الحصول عليها وفقاً للإعداد الأمثل لعوامل التشغيل لتحقيق الكفاءة المثلى لماكينة الـ PAC. ووفرت نتيجة التحليل قاعدة بيانات أفضل للصناعات. كما أظهرت نتائج الفحص أن النطاق المحدد لعوامل التشغيل المدخلة في الـ PC حقق بوضوح تحسين القدرة على التشغيل. [kumar Naik, D., & Maity, K. P. 2018. P. 13157]

وفي دراسة بعنوان التنبؤ بقطر الفوهة للـ PAC. تم تطوير كلاً من نموذج توزيع الحرارة الغوسي النظري ثلاثي الأبعاد للتدفق المعقد للحرارة وخصائص البلازما بشعلات بلازما القطع. ولقطع الألواح المعدنية، يجب أن نستخدم القذف بالشعلات الدقيقة فوق الصوتية

القيم المتوقعة لعوامل عملية التشغيل [Bhowmick, S. et al. 2018. p. 4541]. وفي دراسة هدفت إلى التحقق من تأثير عوامل التشغيل بـ PA في قطع خامات الـ Quard-400 باستخدام تحليل التباين. تم الأخذ في الاعتبار لعاملين هما، سرعة القطع وضغط الغاز وأجريت التجارب بناءً على التصميم الكامل للتجارب. تم قياس متوسط خشونة ومعدل إزالة الخامة للسطح المشغل لكل تجربة. كما أن ارتفاع معدل إزالة الخامة يعني أن العملية يمكنها قطع المزيد من المعدن في نفس الفترة الزمنية مما يؤدي في النهاية إلى المزيد من الأرباح. والخشونة الأقل للسطح تجعل المنتج النهائي أكثر ملاءمة للتجميع وسهل التعامل. وللحصول على الحد الأدنى لمتوسط خشونة السطح ومعدل الإزالة الأقصى للمواد، تم تحسين عوامل تشغيل العملية بمساعدة تصميم مضروب كامل إلى جانب طريقة سطح الاستجابة. تم إجراء اختبار تحليل التباين أحادي الجانب ANOVA للحصول على مساهمة عوامل العملية في الاستجابات. ووجد أن سرعة القطع لها أهمية قصوى [Patel, P. et al. 2018. P. 6023]. وفي دراسة بعنوان التحليل التجريبي للقطع بـ ليزر Nd-YAG للخامات من الألواح. بعد قطع الخامات من الألواح عملية هامة بسبب أهميتها في منتجات الحياة اليومية مثل الطائرات والسفن والسيارات والأثاث إلخ. من بين عمليات قطع الألواح المتعددة بالـ ASCPs، بعد القطع بحزمة الليزر أحد أكثر الـ ASCP قدرة على إنشاء أشكال هندسية معقدة مع متطلبات تصميم غير مألوفة في الخامات من الألواح الصعبة القطع. واستناداً إلى هذا العمل البحثي في مجال تقطيع الألواح، وجد أن الليزر Nd-YAG يستخدم لقطع المواد من الألواح بشكل عام والمواد من الألواح العاكسة بشكل خاص استعرضت هذه الورقة التحليل التجريبي لعملية القطع بـ ليزر Nd-YAG النيودنيوم ياج (بوتيريم ألومنيوم جارنت)، التي أجريت لدراسة تأثير عوامل القطع بالليزر على مؤشر أداء العملية. وتمت مناقشة أهمية النمذجة التجريبية ومناهج التحسين المختلفة المستخدمة من قبل مختلف الباحثين في هذه الدراسة [Sharma, A. & Yadava, V. 2018. P. 264]. وفي دراسة كان هدفها تعظيم الاستفادة من عوامل التشغيل في القطع بقوس البلازما للصلب EN 31 على أساس الـ MRR وخصائص خشونة متعددة باستخدام تحليل العلاقة الأحادي. بحثت الورقة في التأثير والتحسين البارامترية لعوامل التشغيل الخاصة بالـ PAC للفولاذ EN 31 باستخدام تحليل العلاقة الأحادي. تم النظر بعين الاعتبار إلى عوامل العملية الثلاثة ضغط الغاز وتيار القوس والشعلة العالية وتم إجراء التجارب على أساس مصفوفة متعامدة (OA) L27. تم قياس الـ MRR وعوامل خشونة السطح (متوسط خشونة خط الوسط Ra، مربع الجذر التربيعي Rq، الانحراف Rsk، التلغاز Rsk، وتعني تباعد الذروة Rsm) السطح الميكانيكي لكل عمليات التشغيل التجريبية للحصول على الحد الأقصى من الـ MRR والحد الأدنى لخصائص خشونة السطح، تم تحسين عوامل العملية وفقاً لطريقة Taguchi إلى جانب اختبار تحليل التباين احادي الجانب (ANOVA)، من خلال التطبيق تم الحصول على مساهمة كل عوامل العملية على خصائص الأداء وتلاحظ أن ضغط الغاز عامل هام أثر على الاستجابات. أظهر اختبار التأكيد باستخدام الإعداد الأمثل موافقة جيدة على القيمة الأصلية. أشار هذا إلى فائدة تقنية grey-Taguchi كمحسن متعدد الأهداف في مجال PAC. Das, M. K. et al. 2014. P. 1550]

2- مشكلة البحث:

- هل تم دراسة تأثير سرعة القطع والأمبير علي خشونة عمق حافة سطح القطع لضبط جودة القطع لأسطح الـ AI سمك 10م باستخدام الـ PAC؟

على جودة أسطح قطع العمل/ السطح تحت السطح مع تأثيرها على أداء الكلال للجزء المُشكل. [Liao, Z. et al. 2019. P. 63]. أيضاً دراسة بعنوان تعظيم الاستفادة من عوامل التشغيل في القطع بحزمة الليزر CO2 للفولاذ عالي القوة: مراجعة. تبين أن العديد من الفولاذ عالي الصلابة تم قطعه باستخدام الليزر وأنه أعطى نتيجة استثنائية مقارنة بعمليات التشغيل غير التقليدية الأخرى، فمن المهم معرفة كيفية تأثير القطع على خواص المواد وعوامل التحكم المسؤولة عن هذا التغيير. كما تم عرض المواد والسمك وتقنيات التحسين المختلفة من قبل باحثين مختلفين. [Rana, R.S. et al. 2018. p. 1919]

وفي دراسة بعنوان القطع بقوس البلازما عالي التحمل للنيوتانيوم النقي التجاري. تم فحص جودة القطع الذي تم إجراؤها على ألواح النيوتانيوم باستخدام عملية القطع بقوس البلازما HTPAC عالي التحمل تحت ظروف عملية مختلفة. تم قطع ألواح بسمك 5 مم من النيوتانيوم النقي التجاري من الدرجة الثانية باستخدام عدة معدلات تغذية في نطاق معدل التغذية الخالي من الرايش ومع اعتماد الأكسجين أو النيتروجين كغازات قطع وحماية. فعندما تم استخدام الأكسجين كغاز قطع، تم تحقيق معدل تغذية وخصائص هندسية أعلى (من حيث السماحية وعرض القطع) وكانت ذات جودة أفضل بسبب تفاعل الأكسدة. تم استيفاء مميزات جودة الحافة المقطوعة بالـ HTPAC للنيوتانيوم النقي التجاري. عرضت جميع حواف القطع طبقة خارجية من الأكسيد، ولُوحظ وجود طبقة رقيقة بسبب التخفيضات التي أجريت باستخدام الأكسجين.

[Gariboldi, E., & Previtali, B. 2005. p. 77]

وفي دراسة تحت عنوان تأثير عوامل التشغيل على ثبات القوس وجودة القطع في القطع بالقوس المغطى بالفلكس الرطب تحت المياه الرائدة. تميزت عملية ثبات القوس وجودة القطع في عملية القطع بتدفق القوس FCAC باستخدام سلك التشكيل بالغاز والسلك الطارد للحرارة. تتقلب القيم المقاسة للجهد والتيار بشكل كبير أثناء عملية القطع. كانت ظاهرة انقراض القوس شائعة جداً لعملية FCAC تحت الماء. كان معامل التباين وشكل الرسم البياني لجهد القوس أفضل مؤشرات على تقييم عملية القطع. عمل سلك تشكيل الغاز والأسلاك الطاردة للحرارة بشكل مختلف في عملية الـ FCAC مع زيادة الجهد القوسي، أصبحت عملية القطع غير مستقرة في حين تحسنت جودة القطع. زيادة سرعة تغذية الأسلاك زاد من استهلاكها، والنسبة العالية من انقراض القوس قللت من استقرار عملية القطع. وبانخفاض سرعة القطع تدهور استقرار قوس القطع. وأمكن تحقيق قطع ناجح عند جميع عوامل القطع التي تم التحقق منها. وتم تقييم جودة القطع باستخدام فهارس تشمل عرض القطع، وزاوية ميل القطع، واستقامة حواف القطع، وعرض القطع (درجة الجسر)، والمعادن المتبقية على الجزء الخلفي من القطع. [Liu, D. et al. 2018. P. 24]

أيضاً تم فحص عملية الـ PAC من خلال دراسة تجريبية لتقييم جودة القطع وخشونة حافة القطع، وكان الهدف من الدراسة هو تقييم عوامل التشغيل مثل قدرة القطع والسرعة وارتفاع رأس القطع وضغط غاز البلازما. تم عمل تحليل إحصائي للنتائج من أجل بيان تأثير كل عامل على جودة القطع التي تم تحديدها [Salonitis, K. & Vatousianos, S. 2012].

ومن خلال دراسة تجريبية لقطع الفولاذ المقاوم للصدأ AISI 304 بالـ PA. تم تصميم التجارب بشكل وافي وكان عددها 27 شوط تجريبي. وتم تحديد العوامل، فتم استخدام ضغط الغاز، وسرعة القطع، وسمك الخامة كعوامل تشغيل وتم مراعاة ثلاث مستويات لكل عامل. بعد إجراء التجارب، تم قياس قيمة كلاً من الـ MRR وخشونة السطح. وبالنظر إلى هذين المتغيرين للاستجابات، تم إجراء تحليل التباين لتحديد تأثير كل عوامل عملية التشغيل على الـ MRR وخشونة السطح. أيضاً تم إجراء تحسين متعدد الأهداف للتوصل للقيمة المثلى للـ MRR ولخشونة السطح لمجموعة من

الـAl بالـ PAC سمك 10مم ينتج رايش أسطح في الحد الأدنى ويحد من خشونة السطح ويحقق جودة قطع أعلى.

6- منهجية البحث:

- تستخدم الدراسة المنهج التجريبي في بحث تأثير سرعة القطع والأمبير علي خشونة سطح الـ Al سمك 10مم في الـ PAC.

7- الدراسة التجريبية:

استخدمت الدراسة ماكينة الـ PAC من نوع HyPertherm- HyPerformance Plasma Loyal Mak Max 130XD automated gas control [https://www.hypertherm.com] في إجراء عدد 27 تجربة قطع لعدد 27 عينة من خامة الـ Al بسمك 10مم بعوامل تشغيل مبينة إلى الأسفل، ويبين جدول (1) القيم المستخدمة لكلاً من قدرة التيار بالأمبير والسرعة بالـ م/د، وكذلك الجهد الثابت للقوس عند 130 فولت، وكان ضغط الهواء المستخدم كغاز عند 84 باسكال أو 4,2 بار.

8- التركيب الكيميائي:

أيضاً إلى الأسفل جدول (2) ويوضح التركيب الكيميائي للسبيكة AI_100 المستخدمة في تجارب القطع للعينات:

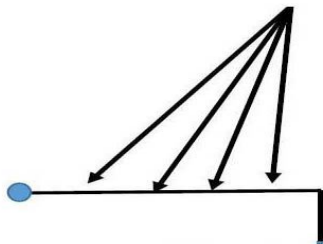
جدول (1) يوضح قيم قدرة تيار البلازما بالـ Amp وجهد القوس بالـ Volt وضغط الهواء بالبار والباسكال وسرعة القطع بالـ م/د المستخدمة في إجراء القطع للعينات من الـ Al سمك 10مم.

رقم التجربة/ العينة	قدرة تيار البلازما (Amp) (الأمبير)	جهد قوس البلازما بالفولت (Volt)	ضغط الغاز (Bar) (الهواء بالبار)	ضغط الغاز (Psi) (الهواء بالباسكال)	سرعة القطع (mm/min) (م/دقيقة)	سرعة القطع (cm/min) (سم/دقيقة)
1-9					1100	110
10-18	150, 160, 170, 180, 190, 200,				800	80
19-27	250, 300, 350	130	4.2	84	1400	140

جدول (2) يوضح التركيب الكيميائي لخامة الـ AI_100 المستخدمة في إجراء قطع خامة عينات التجارب

Element	Al	Si	Fe	Cu	Mo	Mg	Zn
Average	99.5	0.0805	0.238	0.0002	0.0036	0.0057	0.0079

وتم استخدام قدرات تيار القطع مع كل عينة من عينات كل مجموعة مع القيم 150، 160، 170، 180، 190، 200، 250، 300، و350 أمبير. ويوضح شكل (2) تصميم للمسار المستخدم في العينات التي تم تشغيلها بالـ PAC.



شكل (3) منظر مكبر للنقاط التي تم عندها فحص خشونة عمق حافة سطح القطع للعينات أرقام 10، 1، و19.

ويوضح شكل (4) جهاز قياس - Surftest- Model SJ-201 Mitutoyo Manufacturing Company لفحص خشونة عمق حافة سطح القطع المستخدم للعينات أرقام 10، 1، و19 ويقبس الجهاز ارتفاع الرايش في خط مستقيم لإجراء قياسات الخشونة المطلوبة على النقاط الموضحة في شكل (5).

3- الهدف:

- دراسة تأثير سرعة القطع والأمبير علي خشونة وجودة السطح للأسطح من الـ Al سمك 10مم باستخدام الـ PAC.
- تحديد القيم المثلى سرعة القطع والأمبير للحصول علي أسطح قطع خالية من الرايش وضبط جودة القطع.

4- أهمية البحث:

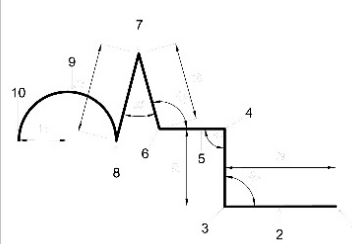
- بيان تأثير سرعة القطع والأمبير علي خشونة وجودة سطح الـ Al سمك 10مم باستخدام الـ PAC.
- توفير الدعم للفنيين والمتخصصين في مجال التشغيل بالقطع للـ Al بالـ PAC.
- تزويد الأقسام العلمية بالجهات الأكاديمية ذات الصلة بالمادة العلمية في مجال القطع بالـ PAC.
- نقل نتائج التجارب العلمية الي قطاع الصناعة للحد من خشونة القطع لأسطح الـ Al في التشغيل بالـ PAC.
- الحاجة إلي تطوير جودة خشونة السطح في المنتجات من الـ Al سمك 10مم.

5- فرض البحث:

- استخدام قيم محددة لسرعة القطع والأمبير في تشغيل أسطح

جدول (1) يوضح قيم قدرة تيار البلازما بالـ Amp وجهد القوس بالـ Volt وضغط الهواء بالبار والباسكال وسرعة القطع بالـ م/د المستخدمة في إجراء القطع للعينات من الـ Al سمك 10مم.

وقد تم تنظيم جميع عينات التجارب في ثلاث مجموعات كل مجموعة مكونة من 9 عينات، واستخدمت الدراسة ثلاث سرعات قطع سرعة متوسطة وكانت 1100م/د للمجموعة الأولى، وسرعة منخفضة وكانت 800م/د للمجموعة الثانية، وسرعة أعلى وكانت 1400م/د للمجموعة الثالثة بإجمالي عدد 27 تجربة قطع،



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

كما يوضح شكل (3) منظر مكبر للنقاط التي تم عندها فحص الخشونة عند عمق حافة سطح القطع للعينات أرقام 10، 1، و19، وتم أخذ القراءات علي نقاط ممثلة لـ 4 أماكن متفرقة لعرض العمق لعينات الثلاث تجارب وتم تسجيل القراءات لأربع أنواع من الخشونة والتي نتجت مباشرة عن استخدام الجهاز في القياس.

من 1: 4 على التوالي، وكانت النقطة 1 الأقرب إلى سطح القطع من أعلى والنقطة 4 الأقرب إلى سطح القطع من أسفل. ويمكننا أخذ متوسط القراءة لكل نقطة علي حدة عند 1، أو 2، أو 3، أو 4، كما أمكن استنتاج قراءات الخشونة الخاصة بالخطأ للعينة 1 من خلال متوسط القراءات لباقي النقاط الأخرى. سجل الجهاز قراءات 4 أنواع لخشونة السطح هي: الـ Ra وهي القيمة الوسطية للانحرافات المسجلة لمنحنى خشونة السطح والنوع الأكثر شيوعاً واستخداماً ويسمى بمتوسط قراءة خشونة السطح، أما الـ Ry، والـ Rz فهما يشيران إلى قراءة أعلى نقطة في الخشونة وتسمى أيضاً بالـ Rt، أما الـ Rq وهي متوسط الجذر التربيعي لإنحرافات خشونة السطح

[https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_roughness]



شكل (4) جهاز قياس فحص خشونة السطح.

وقد تم اختيار العينات 1، و10، و19 عند أقل قدرة قطع 150م/د وتم استخدامها مع ثلاث سرعات مختلفة منخفضة 800م/د، ومتوسطة 1100م/د، ومرتفعة 1400م/د، وتم مراعاة تسجيل القراءات بالترتيب من الخشونة الأقل إلى الخشونة الأعلى للنقاط

Specimen roughness No.	Ra(μm)	Ry(μm)	Rz(μm)	Rq(μm)
Surface	0.76	4.19	4.19	0.93
1	3.91	25.71	25.71	5.38
(10) 2	10.61	59.63	59.63	13.79
3	11.24	62.5	62.5	14.79
4	21.28	102.3	102.3	26.49
Surface	0.76	4.19	4.19	0.93
(1) 1	19.91	83.06	83.06	23.16
2	33.37	141.4	141.4	39.3
error 3	27.04	114.29	114.29	31.89
(1) 4	27.84	118.4	118.4	33.19
Surface	0.76	4.19	4.19	0.93
1	8.29	38.42	38.42	9.93
(19) 2	21.01	104.6	104.6	26.15
3	9.35	49.65	49.65	11.89
4	13.13	87.83	87.83	18.86



شكل (5) قطاع عرضي ومبين عليه الـ 4 نقاط التي تم عندها فحص خشونة عرض حافة سطح القطع.

جدول رقم (3) يوضح نتائج قراءات قياسات خشونة عرض حافة سطح القطع للأربع نقاط عند العمق في اتجاه عمودي هلى الخط المستقيم للعينات 1، 10، 19 لجميع أنواع الخشونة Ra، Ry، Rz، Rq.

800، 1100، 1400م/د على التوالي وعند أقل قدرة للتيتار 150 أمبير تبين أن:

أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 10 عند 150 أمبير و800م/د كانت Ra= 21.28 μm وأدنى قراءة كانت 3.91μm وهي الأقل مقارنة بالعينتان 1، 19 عند النقطة 1 الأقرب إلى حافة سطح القطع من أعلى، وعند النقطة 4 الأقرب إلى حافة سطح القطع من أسفل على التوالي، وعليه كانت الجودة عند أعلى مستوى لها عند أقل أمبير وأقل سرعة قطع، أما عند النقطتين 2، و3 فكانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي Ry، Rz=102.3 μm وكانت أقل قراءة 25.71μm، كما كانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح هي Rq=26.49 μm وكانت أقل قراءة 5.38 μm وذلك عند النقطة 4، وبمقارنة جميع قراءات العينة 10 بقراءات العينتان 1، و19 لوحظ أنها أقل قراءات لجميع أنواع الخشونة عند جميع نقاط القياس وهي الأفضل لتحقيق جودة قطع أعلى، ويوضح شكل (6) منظر القطع للعينة 10 من أعلى ومن أسفل.

ويوضح الملحق (أ) قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما للعينات الثلاث 10، و1، و19 التي تم عندها فحص وقياس خشونة عمق حافة سطح القطع.

بعد الانتهاء من تشغيل العينات بالقطع، تم إجراء القياسات وتم أخذ قراءات خشونة عرض حافة سطح القطع عند النقاط الموضحة علي عرض القطع لكل عينة. تم تسجيل القراءات لعدد الـ 4 نقاط وذلك عن طريق الجهاز المبين أعلاه في الشكل (4). وتم إدراج جميع قراءات الخشونة في الجدول رقم (3)، وتم تمثيل نتائج قراءات قياسات خشونة عرض حافة سطح القطع علي المحور الرأسي والنقاط التي تم عندها القياس علي المحور الأفقي وذلك عند سرعات قطع مختلفة وقدرة أمبير واحدة ويوضح ذلك الأشكال البيانية من (9-11).

8- مناقشة النتائج:-

8-1- سرعة القطع والأمبير و خشونة عمق حافة سطح القطع

وجودة القطع:-

تم أخذ متوسط قراءات سطح الخامة لجميع أنواع الخشونة للعينات فكانت كالتالي: Ra = 0.76، و Rz = 4.19، و Ry، Rq = 0.93، وبإجراء الفحص للعينات 1، 10، 19 عند سرعات قطع



الشكل (6) يوضح منظر مسار القطع من أعلى ومن أسفل للعينة 10 عند قدرة تيار 150 أمبير وسرعة قطع 800م/د.

لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 1 كانت $Ra=33.37 \mu m$ وأدنى قراءة كانت $19.91 \mu m$ وهي أعلى قراءات مقارنة بالعينتان 10، 19 عند النقطتان 1، و 2 على التوالي عند 150 أمبير و1100م/د، وعليه كانت الجودة منخفضة وفي أدنى مستوى لها عند أقل أمبير وعند سرعة قطع متوسطة، أيضاً عند النقطتان 2، و 1 كانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz=141.4 \mu m$ وكانت أقل قراءة $83.06 \mu m$ على التوالي، كما كانت أعلى قراءة

كما تبين أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 1 كانت $Ra=33.37 \mu m$ وأدنى قراءة كانت $19.91 \mu m$ وهي أعلى قراءات مقارنة بالعينتان 10، 19 عند النقطتان 1، و 2 على التوالي عند 150 أمبير و1100م/د، وعليه كانت الجودة منخفضة وفي أدنى مستوى لها عند أقل أمبير وعند سرعة قطع متوسطة، أيضاً عند النقطتان 2، و 1 كانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz=141.4 \mu m$ وكانت أقل قراءة $83.06 \mu m$ على التوالي، كما كانت أعلى قراءة



الشكل (7) يوضح منظر لمسار القطع من أعلى ومن أسفل للعينة 1 عند قدرة تيار 150 أمبير وسرعة قطع 1100م/د.

قراءة $38.42 \mu m$ وكانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح $Rq=26.15 \mu m$ وكانت أقل قراءة $9.93 \mu m$ وذلك عند نفس النقاط وبمقارنة جميع قراءات العينة 19 بالعينتان 10، و 1 لوحظ أن جميع قراءات الخشونة متوسطة وبعضها كقيم تقترب من جودة قطع متوسطة، ويوضح شكل (8) أيضاً منظر القطع للعينة 19 من أعلى ومن أسفل.

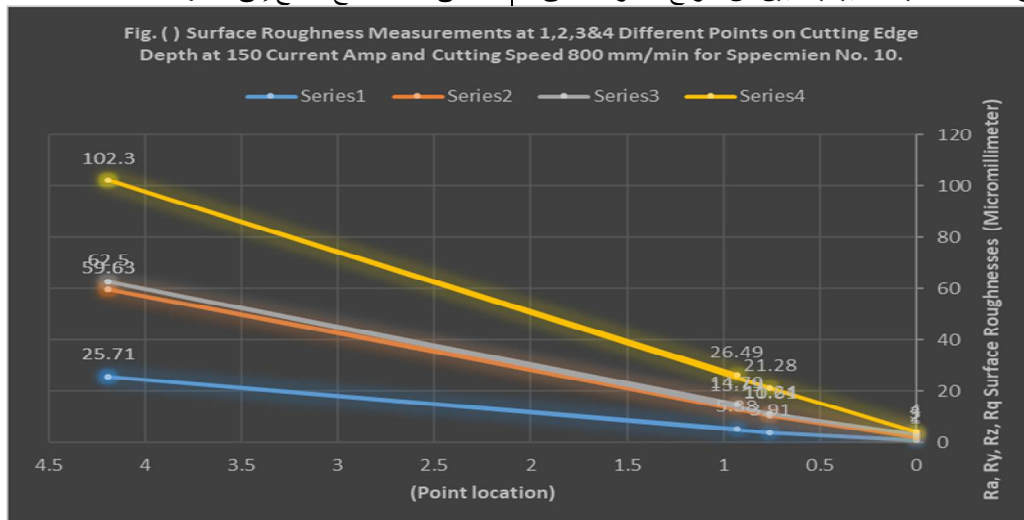
كما تبين أيضاً أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 19 كانت $Ra=21.01 \mu m$ وأدنى قراءة كانت $8.29 \mu m$ وهي قراءات متوسطة مقارنة بالعينتان 10، 1 عند النقطتان 2، و 1 على التوالي عند 150 أمبير و1400م/د، وعليه كانت الجودة عند مستوى متوسط لها عند أقل أمبير وعند أعلى سرعة قطع، أما عند النقطتان 2، و 1 فكانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz=104.6 \mu m$ وكانت أقل



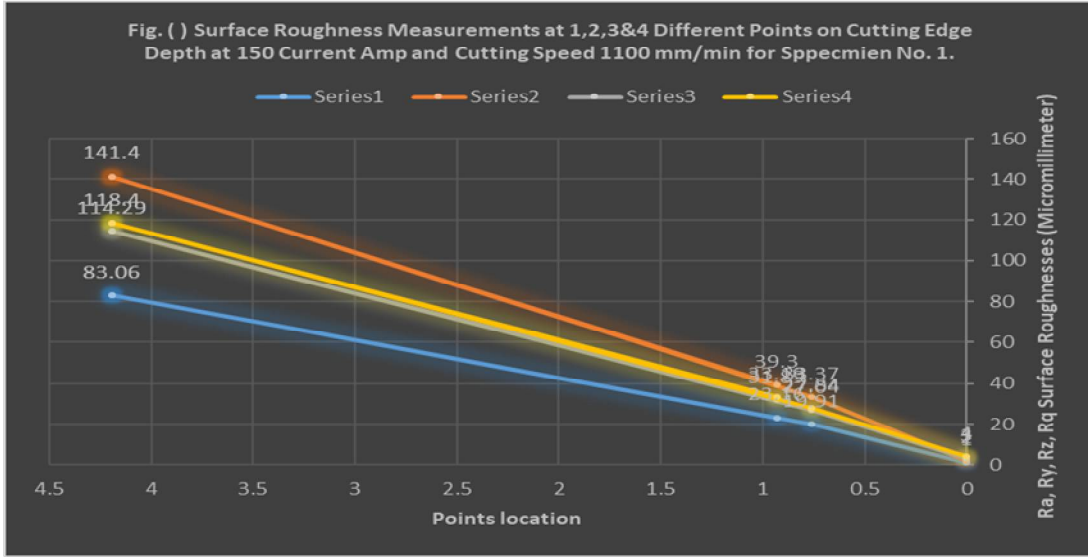
الشكل (8) يوضح منظر لمسار القطع من أعلى ومن أسفل للعينة 19 عند قدرة تيار 150 أمبير وسرعة قطع 1400م/د.

حافة سطح القطع كانت في الحد الأدنى عند سرعات القطع المنخفضة 800م/د، وكانت في الحد الأقصى عند سرعات القطع المتوسطة والأعلى 1100، 1400م/د عند نفس قدرة التيار المستخدمة 150 أمبير. وجميع قراءات قياسات الخشونة كانت إلى حد ما متدرجة من الأقل إلى الأكبر من واقع التمثيل البياني من أعلى حافة سطح القطع إلى أسفلها.

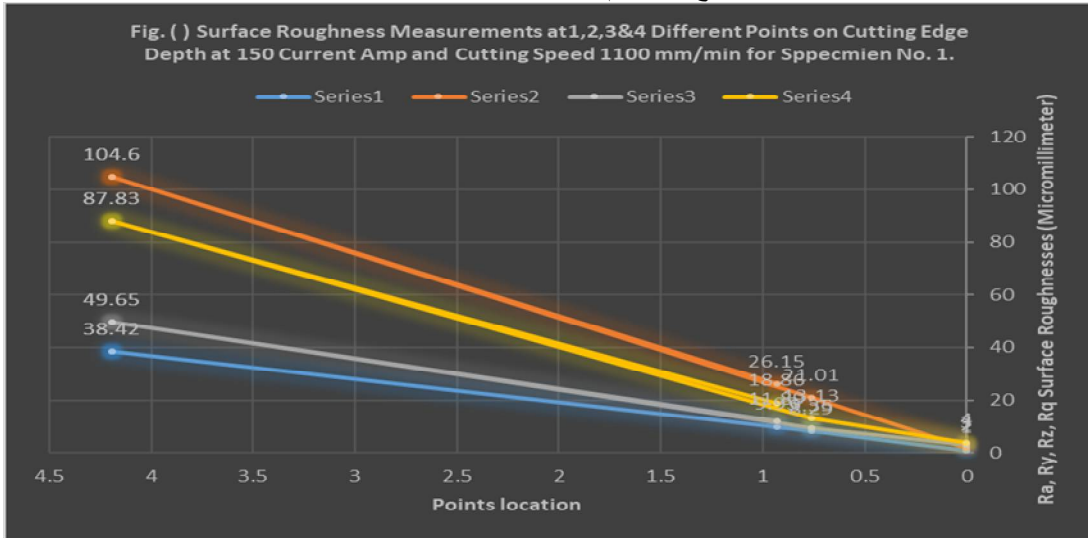
2-8- التمثيل البياني لنتائج قراءات قياسات أنواع خشونة عمق حافة سطح القطع للعينات:-
توضح الأشكال من (9-11) تمثيل بياني لنتائج قراءات قياسات خشونة حافة سطح القطع Ra, Rz, Ry ، و Rq لجميع العينات بالرسومات البيانية:-
وبتفسير رسومات المنحنيات البيانية تبين أن أنواع خشونة عمق



شكل (9) يوضح تمثيل بالرسم البياني لقياسات خشونة عمق حافة سطح القطع عند النقاط 1، 2، 3، 4 من أعلى إلى أسفل عند سرعة قطع 800م/د وقدرة تيار 150 أمبير للعينة 10.



شكل (10) يوضح تمثيل بالرسم البياني لقياسات خشونة عمق حافة سطح القطع عند النقاط 1، 2، 3، 4 من أعلى إلى أسفل عند سرعة قطع 1100 مم/د وقدرة تيار 150 أمبير للعينة 1.



شكل (11) يوضح تمثيل بالرسم البياني لقياسات خشونة عمق حافة سطح القطع عند النقاط 1، 2، 3، 4 من أعلى إلى أسفل عند سرعة قطع 1400 مم/د وقدرة تيار 150 أمبير للعينة 19.

وهي أعلى قراءات مقارنة بالعينتان 10، 19 عند النقطتان 1، و 2 على التوالي عند 150 أمبير و1100 مم/د.
 - كانت الجودة منخفضة وفي أدنى مستوى لها عند أقل أمبير وعند سرعة قطع المتوسطة والأعلى وتلاحظ أعلى قراءات للخشونة وتعد الأكبر وأعطت جودة قطع سيئة.
 - عند النقطتان 2، و 1 للعينة 10 كانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz=141.4 \mu m$ وكانت أقل قراءة $83.06 \mu m$ على التوالي.
 - كانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح $Rq=39.3 \mu m$ وكانت أقل قراءة $23.16 \mu m$ وذلك عند النقطتان 2، و 1 وبمقارنة قراءات العينة 1 لوحظ أنها أعلى قراءات للخشونة مقارنة بقراءات العينتان 10، و 19 وهي الأسوأ لجودة قطع أقل.
 - تبين أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 19 كانت $Ra=21.01 \mu m$ وأدنى قراءة كانت $8.29 \mu m$ وهي قراءات متوسطة مقارنة بالعينتان 10، و 1 عند النقطتان 2، و 1 على التوالي عند 150 أمبير و1400 مم/د وعليه كانت الجودة عند مستوى متوسط لها عند أقل أمبير وعند أعلى سرعة قطع.
 - عند النقطتان 2، و 1 للعينة 19 كانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz=104.6 \mu m$ وكانت أقل قراءة $38.42 \mu m$.

الخلاصة Conclusion:

- تبين أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 10 عند 150 أمبير و800 مم/د كانت $Ra=21.28 \mu m$ وأدنى قراءة كان $3.91 \mu m$ وهي الأقل مقارنة بالعينتان 1، و 19 عند النقطة 1 الأقرب إلى حافة سطح القطع من أعلى، والنقطة 4 الأقرب إلى حافة سطح القطع من أسفل على التوالي.
 - كانت الجودة عند أعلى مستوى لها عند أقل أمبير وأقل سرعة قطع، وعليه كانت جميع قراءات أنواع الخشونة هي الأقل والأفضل لتحقيق جودة قطع أعلى مقارنة بالعينتان 1، و 19.
 - عند النقطتان 2، و 3 للعينة 10 كانت القراءة الأعلى لأقصى ارتفاع للخشونة هي $Ry, Rz=102.3 \mu m$ وكانت أقل قراءة $25.71 \mu m$ عند النقطتان 2، و 3 كانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح هي $Rq=26.49 \mu m$ وكانت أقل قراءة $5.38 \mu m$ وذلك عند النقطة 4، وبمقارنة جميع قراءات العينة 10 بقراءات العينتان 1، و 19 لوحظ أنها أقل قراءات لجميع أنواع الخشونة عند جميع نقاط القياس وهي الأفضل لتحقيق جودة قطع أعلى.
 - تبين أن أقصى قراءة لمتوسط خشونة عمق حافة سطح القطع للعينة 1 كانت $Ra=33.37 \mu m$ وأدنى قراءة كانت $19.91 \mu m$.

26 September 2010, from ScienceDirect database. <https://doi.org/sdl.idm.oclc.org/10.1016/j.jmapro.2010.08.003>

[5] Gariboldi, E., & Previtali, B. (2005). High tolerance plasma arc cutting of commercially pure titanium. *Journal of Materials Processing Technology*, 160(1), 77-89. received 30 June 2003, accepted 20 April 2004, from ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.366>

[6] Gangil, M., Pradhan, M. K., & Purohit, R. (2017). Review on modelling and optimization of electrical discharge machining process using modern Techniques. *Conference Committee Members of 5th International Conference of Materials Processing and Characterization. Mater. Today Proc.*, 4(2), 2048-2057, from ScienceDirect database. <https://doi.org/sdl.idm.oclc.org/10.1016/j.matpr.2017.02.050>

[7] Ghosh, A., Bhatia, S., & Chattopadhyaya, S. Nozzle Diameter Prediction of Plasma Arc Cutter. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0119-2>

[8] Krajcarz, D. (2014). Comparison metal water jet cutting with laser and plasma cutting. 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013. *Procedia Engineering*, 69, 838-843. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.061>

[9] kumar Naik, D., & Maity, K. P. (2018). An optimization and experimental analysis of plasma arc cutting of Hardox-400 using Taguchi based desirability analysis. *International Conference on Materials Manufacturing and Modelling. Materials Today: Proceedings*, 5(5), 13157-13165, from ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.306>

[10] Liao, Z., Abdelhafeez, A., Li, H., Yang, Y., Diaz, O. G., & Axinte, D. (2019). State-of-the-art of surface integrity in machining of metal matrix composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 143, 63-91. Received 16 February 2019, received in revised form 16 May 2019, accepted 27 May 2019, available online 31 May 2019, from ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2019.05.006>

[11] Liu, D., Li, H., Yan, Y., Guo, N., Song, X., & Feng, J. (2018). Effects of processing parameters on arc stability and cutting quality in underwater wet flux-cored arc cutting at

- كانت أعلى قراءة لمتوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح $R_q=26.15 \mu m$ وكانت أقل قراءة $9.93 \mu m$ وذلك عند نفس النقطتان 2، و 1 وبمقارنة جميع قراءات العينة 19 بالعينتان 10، و 1.

- كانت جودة القطع في مستوى متوسط لها عند أقل أمبير وعند أعلى سرعة قطع ولوحظ أن قراءات الخشونة متوسطة وبعض قيمها يقترب من جودة القطع المتوسطة.

- تبين أن أنواع خشونة عمق حافة سطح القطع كانت في الحد الأدنى عند سرعات القطع المنخفضة 800م/د، وكانت في الحد الأقصى عند سرعات القطع المتوسطة والعالية 1100، و 1400م/د عند نفس قدرة التيار المستخدمة 150 أمبير في الحالتين.

- من واقع التمثيل البياني، تدرجت جميع قراءات قياسات الخشونة لجميع العينات إلى حد ما من الأقل إلى الأكبر من أعلى حافة سطح القطع إلى أسفلها من النقطة 1 إلى 4 الأقرب إلى حافة سطح القطع من أسفل حيث أن النقطة 4 بعيدة عن حافة سطح القطع وهي النقطة الأبعد عن حزمة قوس البلازما.

- أقل قراءات للخشونة لجميع العينات كانت عند النقطة 1 لأنها الأقرب إلى حافة سطح القطع من أعلى والأقرب مواجهة لحزمة قوس البلازما.

المراجع

[1] 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>

[2] Bhowmick, S., Basu, J., Majumdar, G. and Bandyopadhyay, A., 2018. Experimental study of plasma arc cutting of AISI 304 stainless steel. 7th International Conference of Materials Processing and Characterization. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), pp.4541-4550, from ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.024>.

[3] Das, M. K., Kumar, K., Barman, T. K., & Sahoo, P. (2014). Optimization of process parameters in plasma arc cutting of EN 31 steel based on MRR and multiple roughness characteristics using grey relational analysis. *International Conference on Advances in Manufacturing and Materials Engineering [CD ROM].India: Elsevier Science. Procedia Materials Science*, 5, 1550-1559. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.342>

[4] Deli, J., & Bo, Y. (2011). An intelligent control strategy for plasma arc cutting technology. *Journal of Manufacturing Processes*, 13(1), 1-7. Received 1 February 2009 Received in revised form 13 April 2010 Accepted 17 August 2010 Available online

strength steels: a review. Materials today: proceedings, Vol. (5), 19191-19199, from ScienceDirect

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.274G> et rights and content

- [15] Salonitis, K., & Vatousianos, S. (2012). Experimental investigation of the plasma arc cutting process. Procedia cirp, 3, 287-292, from ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.050>
- [16] Sharma, A., & Yadava, V. (2018). Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials–A review. Optics & Laser Technology, 98, 264-280. received 19 November 2016. Received in revised form 2 July 2017, accepted 7 August 2017, from ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.08.002>
- [17] <https://www.hypertherm.com/hypertherm/hyperperformance/hyperperformance-hpr130xd/>
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_roughness

shallow water. Journal of Manufacturing Processes, 33, 24-34. Received 2 February 2018, received in revised form 10 April 2018, accepted 26 April 2018, from ScienceDirect database.

<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.04.021>

- [12] Liu, F., Yang, M., Han, B., & Long, J. (2019). Development of T-ZnOw@ Al₂O₃-incorporated low-temperature curing aluminium phosphate coating on Ti–6Al–4V alloy. Ceramics International, 45(15), 18406-18412. 1- 7, received 15 April 2019, received in revised form 4 June 2019, accepted 6 June 2019, from ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.06.056>
- [13] Patel, P., Soni, S., Kotkunde, N., & Khanna, N. (2018). Study the effect of process parameters in plasma arc cutting on Quard-400 material using analysis of variance. Materials Today: Proceedings, 5(2), 6023-6029, from ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.206>
- [14] Rana, R.S., Rajatchouksey., Dhakad, K.K. & Paliwal, D.(2018) .Optimization of process parameter of Laser beam machining of high

12- ملاحق الدراسة:-

12-أ- ملحق (أ): رموز ومصطلحات:-

ألومنيوم	Alluminium	Al
حزمة قوس البلازما	Plasma Arc Beam	PAB
معدل إزالة الخامة	Material Remval Rate	MRR
القطع بقوس البلازما عالي التحمل	High Tolerance Plasma Arc Cutting	HTPAC
القطع بقوس المغطى بالفلكس	Flux-Cored Arc Cutting	FCAC
اختبار تحليل التباين أحادي الجانب	Analysis of Variance	ANOVA
متوسط قراءات خشونة السطح	Roughness Average	Ra
أعلى نقطة في الخشونة	Maximum Height of the Profile (Ry, Rz= Rt)	Ry, Rz
متوسط الجذر التربيعي لانحرافات خشونة السطح	Root Mean Squared	Rq
العمليات المختلفة لقطع الألواح المعدنية	Among various Sheet Cutting Processes	ASCP
التشغيل بحزمة الليزر	Laser Beam Cutting	LBC
100000 باسكال= 1 بار	0.000001 Bar	Psi

12-ب- ملحق (ب): إلي الأسفل الملحق (أ) ويوضح قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما للعينات 10، و 1، و 19 والمستخدم في فحص خشونة عمق حافة سطح القطع.

Remarks	Cutting speed cm/min	Cutting speed mm/min	Gas Pressure (Psi)	Gas Pressure (Bar)	Arc Voltage	Current (Amp)	Exp/Sppic men. NO.
خشونة أقل وجودة قطع أعلى	110	1100	84	4.2	130	150	1
خشونة أعلى وجودة قطع أدنى	80	800	84	4.2	130	150	10
خشونة وجودة قطع متوسطتين	140	1400	84	4.2	130	150	19

ملحق (أ) يوضح قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما والمستخدم عيناتها في فحص خشونة عمق حافة سطح القطع 10، 1، 19.