international DESIGN JOURNAL
Print ISSN 2090-9632
Online ISSN 2090-9640

تأثير سرعة القطع على الصلادة والبنية المجهرية للنحاس الأحمر باستخدام قوس البلازما

Effect of The Cutting Speed on Hardness and Micro-structure of Copper Using Plasma Arc Machining (PAM)

د/ عبدالرحمن أبوزيد

أستاذ مشارك بقسم الفنون التطبيقية، كلية التصميم والعمارة، جامعة جازان، جازان، المملكة العربية السعودية،
aabouzaid@jazanu.edu.sa

أسامة السر على أحمد

محاضر بقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة جازان، جازان، المملكة العربية السعودية
oeahmed@jazanu.edu.sa

ملخص البحث: Abstract

تهدف الدراسة إلى بحث تأثير سرعة القطع على كلاً من الصلادة والبنية المجهرية لأسطح ألواح النحاس الأحمر Cu سمك 1مم والمُشغلة بالقطع باستخدام قوس البلازما، وذلك لفحص التغيرات الناجمة ومدى أثرها على جودة السطح المقطوع. واتبعت الدراسة المنهج التجريبي في تشغيل أسطح العينات بالقطع. وتم استخدام قيم متباينة لسرعة القطع مع ثبات أمبير التيار كعوامل في أداء القطع. وتم رصد وقياس تأثر صلادة السطح للعينة Cu-1 قبل وبعد إجراء القطع ذات السرعة الأقل عند 500مم/ د وقدرة تيار عند 30 أمبير. كما تم تدوين القياسات، وتم تمثيل نتائج الصلادة بيانياً. كما تم الكشف عن البنية المجهرية لسطح القطع للعينة. وتم تصوير عرض حافة سطح قطع العينة بالميكروسكوب الالكتروني، وتم عرضها. ومن أهم النتائج التي توصلت إليها الدراسة:- تبين أن الصلادة لسطح النحاس الأحمر قبل القطع لم تتغير عن الصلادة بعد القطع بقوس البلازما. وسجلت قياسات الصلادة قبل القطع القراءات 66,05، و 68,02، و 71,35، و 70,64 برنل لعدد 4 اختبارات. كما سجلت قياسات الصلادة بعد القطع القراءات 69,28، و 71,65، و 70,15، و 60,09 برنل لعدد 4 اختبارات وذلك للعينة 1 التى استخدمت أدنى سرعة قطع 500مم/ د وقدرة للتيار 30 أمبير. وتبين أن الفروق في قراءات القياسات في الحالتين قبل وبعد القطع كانت صغيرة للغاية ويمكن إهمالها. وبالتالي لم تتأثر جودة سطح القطع. كما لم تتغير البنية المجهرية لمنطقة القطع المتأثرة حرارياً للـ Cu بعد القطع بقوس البلازما. وأنتج التشغيل بقوس البلازما للـ Cu صهر عند حافة سطح القطع. وكان التلدين عند حافة سطح القطع في الحد الأعلى عند سرعة القطع المنخفضة. كما أنتج القطع بقوس البلازما مساحة صهر بعرض سمك المعدن 1000ميكرون أسفل حافة القطع.

كلمات دالة: Keywords

القطع بقوس بالبلازما، تغيرات الصلادة، تغيرات البنية المجهرية، المناطق المتأثرة بالحرارة، النحاس الأحمر، جودة القطع.
Plasma Arc Cutting, Hardness Changes, Microstructure Changes, Heat Affected Zones, Copper, Kerf Quality

Paper received July 30, 2024, Accepted November 25, 2024, Published on line January 1, 2025

المقدمة: Introduction

في الأربعين سنة الماضية كانت الأبحاث هائلة في مجال تكنولوجيا التشغيل والتطوير. ومع زيادة المنافسة في السوق والاحتياج للحصول على دقة عالية في الوقت الحالي، أصبحت الآلات غير العادية شريان الحياة لأي صناعة. والتشغيل بقوس البلازما واحداً من أهم طرق التصنيع غير التقليدية. إن الدقة العالية والتشطيب والقدرة على تشغيل المواد الصلدة وإنتاج أشكال معقدة كل ذلك يُزيد من الطلب عليها في السوق، ذلك وُضح بواسطة (Gautam & Gupta, 2019, p. 2395).

أيضاً أشار Ananthakumar et al. (2019) إلى أن البلازما عملية تشغيل غير تقليدية تُستخدم لتصنيع الأجزاء المعقدة لمختلف المواد الموصلة كهربائياً بما في ذلك المواد المركبة والسبائك الفائقة (p. 725).

كما عرف Ranjan & Hiremath (2019) التشغيل بأنه عملية إزالة للمواد المُستخدمة تدريجيا لتشطيب المواد ذات النهاية السطحية المطلوبة وبدقة في الأبعاد. ولتحقيق التشطيب المطلوب للسطح ودقة الأبعاد تواجه كل عملية تشغيل العديد من الصعوبات، كالتركيز الحراري في منطقة القطع، مما ينتج عنه العديد من المشكلات مثل تآكل أدوات التشغيل، وزيادة خشونة السطح (p. 47). أيضاً عرف Masoudi et al. (2019) القطع بالبلازما بأنه طريقة فعالة لقطع المعادن الصلبة (p. 345).

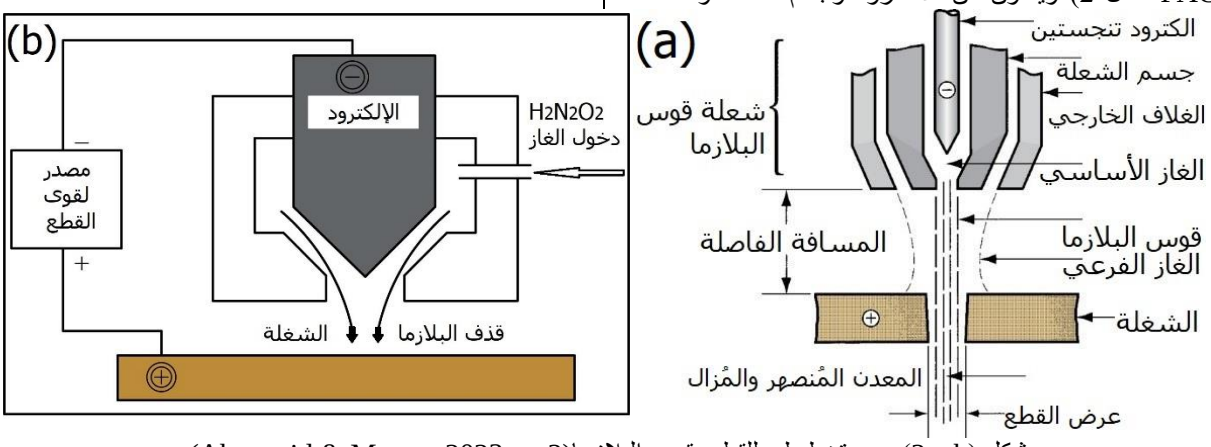
كما ذكر Patel & Agarwal (2017) بأن الـ PAC هو عملية القطع الكهروحراري الذي يجعل استخدام القذف النفاث مُقيد بغاز البلازما ذا الدرجة العالية الحرارة لصهر وفصل المعادن (p. 608)

شكل (1) يوضح منظر ماكينة القطع بقوس البلازما باستخدام التحكم الرقمي بالكمبيوتر.

CITATION
Abdelrahman Abouzaid, Osama Ahmed (2025), Effect of The Cutting Speed on Hardness and Micro-structure of Copper Using Plasma Arc Machining (PAM), International Design Journal, Vol. 15 No. 1 (Jan 2025) pp 567-578

أيضاً ذكر kumar & Maity (2018) أن الـ PAC أُستخدم في قطع الألواح المعدنية على نطاق واسع في وحدات التصنيع. وإن اختيار عوامل التشغيل في الـ PAC أمر ضروري ويُعد الأهم للقطع الأكثر سهولة وفي سرعة (p. 13157). كما بَيّنَ Ananthakumar et al. (2019) أن دقة الأبعاد وجودة السطح تُعد من العوامل الفاصلة لتطبيقات محددة في الصناعات التحويلية وصناعة أجزاء الطائرات. أيضاً يُعتبر الـ MRR، والـ HAZ من السمات الهامة للغاية ويتأثرُ بها جودة وأداء الأسطح المشغلة بالقطع بالـ PAM (p.725). وأوضح Patel et al. (2018) تخطيط لمكونات عملية الـ PAC شكل 2) ويتكون من الالكترود وجسم الشعلة والغلاف الخارجي وأماكن كلاً من الغاز الأساسي والثانوي وقوس البلازما وجزء العمل ومصهور المعدن المُزال وعرض القطع (p. 6023).

أيضاً بَيَّنَ Ananthakumar et al. (2019) أن الـ HAZ من الخصائص الهامة إلى حد كبير وتؤثر بدورها علي جودة وأداء الأسطح المقطوعة بالـ PAM (p.725). كما قرر Sonawane & Kulkarni (2018) ضبط عوامل التشغيل بالقطع بالتفريغ الكهربي لسبائك Nimonic-75 باستخدام تحليل المكون الرئيسي المتكامل بطريقة Taguchi. وتم إجراء المسح الإلكتروني المجهري SEM لتحليل البنية المجهرية للأسطح المُشغلة (p. 250).



شكل (2a, b) رسم تخطيطي للقطع بقوس البلازما(Abouzaid & Mousa, 2023, p. 2).

أيضاً قدم Senthilkumar et al. (2018) عرض موجز لماكينة القطع بقوس البلازما. وأوضحت الورقة البحثية تأثير عوامل التشغيل بالقطع بالقوس كالجهد الكهربي والتيار وضغط الغاز والسرعة والمسافة الفاصلة ومعدل تدفق الغاز على تميز جودة القطع من خلال عرض القطع والزاوية المائلة والـ HAZ وإنهاء السطح. أيضاً أوضحت الدراسة أن للـ PAC تأثير على كلاً من السرعة، والأمبير، والضغط على مادة الـ Stainless Steel (SS304). وتم تجريبياً القيام باستعمال تصميم كامل للعوامل من خلال إجراء القطع لمجموعات تشغيل مختلفة من مصفوفة متعامدة L27لمعرفة مجموعة التشغيل المثلى للسرعة والتيار والضغط. تم استخدام تحليل الانحدار لتطوير نماذج تجريبية قادرة على وصف تأثير عوامل تشغيل العملية على جودة القطع (p. 212).

أيضاً بَحَثَ Ramakrishnan et al. (2018) خصائص جودة القطع لـSS321 تجريبياً باستخدام القطع بقوس البلازما. حيث يغطي SS321 مجموعة واسعة من التطبيقات كما هو الحال في التخزين الكيميائي، لفتحات عادم السيارات والطائرات. وحيث يصعب تماماً قطع الأشكال المُعقدة لمادة الـ SS321 باستخدام عملية قطع تقليدية. وبالتالي، تم استخدام القطع بقوس البلازما. سرعة القطع، التيار، المسافة الفاصلة وضغط الغاز كانت بمثابة عوامل القطع المُدخلة. تم استخدام ثلاثة مستويات لكل عامل مُدخل، وبالتالي فإن إجمالي عدد التجارب كان 3× 3× 3× 3 =81. وللحد من عدد مرات التشغيل، تم اقتراح المصفوفة المتعامدة لتاجوشي L9 والتي تتسم بمزايا التشغيل التجريبي الأدنى والأقصى. خشونة السطح، عرض القطع، والمنطقة المتاثرة حرارياً كانت هي العوامل المُخرجة. كما أُجريت تجارب التشغيل بالـ PACM في Micro Step spol S.R.O. ولإيجاد أفضل عوامل للقطع، تم إعطاء نماذج الانحدار كمدخل لخوارزمية الـ Matlab الجينية. وقد أظهرت نتائج الاختبار أن نماذج الـ ANOVA هامة. واستُنتِجَ أن القيم الأدنى للمسافة الفاصلة أعطت خشونة سطح أفضل وأقل منطقة تأثر حراري (p. 3).

ودَرَسَ Patel et al. (2018) تأثير عوامل التشغيل بالـ PA على قطع الـفولاذ Quard-400 المقاوم للتآكل Martensitic والمتوسط صلابة HBW 400 حيث تتعدد استخداماته من حيث المتانة العالية، وقابلية التشكيل الممتازة على البارد، واللحام الجيد، ويجمع Quard 400 بين الأداء المتميز في ورشة العمل ومقاومته للتآكل طويلة الأمد. [https://jolasteel.com/] فقد تم استعمال الـ ANOVA وتم الأخذ في الاعتبار لسرعة القطع وضغط الغاز، وتم عمل تصميم كافي للتجارب. كما تم فحص الـ MRR للسطح المقطوع لكل تجربة. ودلل ارتفاع نسبة الـ MRR على أن العملية قطعت مزيداً من المعدن في نفس الوقت الزمني وأدى إلى مزيداً من الأرباح. وللوصول إلى الحد الأدنى لأقصى متوسط للـ MRR، تم تحسين عوامل التشغيل. وتم إجراء الـ ANOVA للوصول إلى مساهمة العوامل في النتائج وتبينت الأهمية البالغة لسرعة القطع (p. 6023).

أيضاً دَرَسَ Das et al. (2014) تعظيم الاستفادة من عوامل التشغيل في القطع بقوس البلازما للصلب EN 31 على أساس الـ MRR وخواص الخشونة المتعددة باستخدام الـ ANOVA. بحثت الورقة التأثير والتحسين البارامتري لعوامل التشغيل الخاصة بالـ PAC للفولاذ EN 31. تم النظر بعين الاعتبار إلى عوامل العملية الثلاث ضغط الغاز وتيار القوس والشعلة العالية، وتم إجراء التجارب على أساس مصفوفة متعامدة Orthogonal Array (OA) L27. تم قياس الـ MRR وعوامل خشونة السطح، تم تحسين عوامل العملية وفقًا لطريقة Taguchi إلى جانب الـ ANOVA. ومن خلال التطبيق تم الحصول على مساهمة كل عوامل العملية على خواص 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 كمحسّن متعدد الأهداف في مجال PAC. أخيرًا وباستخدام المجهر الإلكتروني للمسح الضوئي، تم دراسة مورفولوجيا السطح (p. 1550).

كما دَرَسَ Kountouras et al. (2014) تأثير الجوانب الهيكلية الدقيقة على تصميم عوامل الـ CNC لألواح الـ Carbon Steel في الـ PAC. وتم قياس الصلابة الدقيقة على مسافات محددة من حافة القطع. وأظهرت النتائج أن القيم والتي تتضمن العوامل المثلى التي تم الحصول عليها من جوانب ميتالوغرافية محددة سلفا، على أساس الصلابة الدقيقة والبنية المجهرية للخامة (p. 790).

وأثرت عملية القطع على الصلادة والبنية المجهرية لسطح الألومنيوم النقي وسبائكه Al 6061، حيث تم تشغيلهم بالقطع بالمنشار، والتفريز، والبلازما المغمورة، وقوس البلازما، والليزر، والتشغيل بالسلك بالتفريغ الكهربي، والأكسي فويل، والقذف النفاث بالماء والحبيبات. وفحص تغيرات الصلادة والبنية المجهرية للأسطح المقطوعة بعمليات القطع المختلفة، وأوضح تأثُر الصلادة وجودة السطح للأسطح المقطوعة بنوع القطع من خلال النتائج، كما تأثرت أيضاً البنية المجهرية ووُجدت تغيرات مجهرية أثناء قطع المواد مع كل عملية قطع عدا القذف النفاث بالماء. وأمكن استنتاج استخدام القذف النفاث بالماء والحبيبات بفعالية في التطبيقات الصناعية حيث لا توجد تغيرات جوهرية في كلٍّ من البنية المجهرية والحد من الصلادة. دُرِسَ ذلك بواسطة (Akkurt, 2015, p. 303).

أيضاً بحث Tingaev et al. (2016) تأثير القطع بالحرارة على البنية المجهرية والتكوين الكيميائي لحافة التشغيل المُصنعة من الصلب التجاري S345، S390. وعرض نتائج التقييم التجريبي لاستجابات الصلب ذو السبائك المنخفضة في الدورة الحرارية للقطع بالبلازما والأكسي استيلين وذلك لتحديد مدى قابليتها للتطبيق لإعداد حواف الشغلة دون تشغيل آلي لاحق. وبَيّن أن تغير التركيب الكيميائي للمعدن في منطقة القطع حدث بسبب زيادة محتوى الكربون وتقليل محتوى السيليكون والمنجنيز والكروم. وحدث ذلك بشكل كبير أثناء القطع بالأكسي إستيلين للفولاذ S390. ولا يختلف محتوى عناصر صناعة السبائك الرئيسية في قطع الصلب بالبلازما باستثناء الكربون عملياً عن المتطلبات التنظيمية لكلتا الماركات، بحيث لا تتجاوز قيمة مكافئ الكربون بهم 0.4 ٪ وقد توفر تغيرات هيكلية في منطقة الحافة ولكنها ليست حرجة من حيث قابليتها للحام. وأوضح أن عمق الـ HAZ كان ما بين 0.54 إلى 2.3 مم على أساس العلامة التجارية للصلب وطريقة القطع. كما أوضح أن أعلى صلابة في الـ HAZ من الحافة كانت 325-380 HV10. وأكد من خلال النتائج التي تم الحصول عليها على إمكانية مراجعة المتطلبات التنظيمية المحلية لصناعة الإنشاءات الفولاذية. وذلك في جزء من تجهيز الحواف للحام باستخدام تقنيات القطع الحرارية والتي تُعتبر شديدة التحفظ في الوقت الحالي (p. 1783).

كما فحص Lazarevic, A. & Lazarevic, D. (2017) صلادة المواد وتغيرات البنية في المنطقة المتأثرة بالحرارة أثناء القطع بالبلازما. وأمكن أن يسهم الفحص من المنطقة المتأثرة بالحرارة أثناء القطع بالبلازما بشكل كبير في فهم أفضل للخصائص الميكانيكية والهيكلية والكيميائية للمادة في منطقة عرض القطع. واهتم البحث التجريبي في هذه الورقة بالتأثير الحراري المكثف للقذف بالبلازما على الطبقات السطحية للفولاذ المقاوم للصدأ. كما فحص المنطقة المتأثرة بالحرارة من خلال قياس عرضها التقريبي، وحلل محتوى الطور، والتحولات أثناء عملية تبريد المواد، وكذلك قياسات الصلادة الدقيقة بالقرب من حافة القطع. وارتبطت التغييرات الهيكلية المادية بالصلادة الدقيقة وبتوزيع درجة الحرارة على قطعة العمل. ووفر هذا البحث معلومات مفيدة حول المنطقة المتأثرة بالحرارة، وتأثيرها على خصائص مواد الشغل، والحاجة إلى العمليات الثانوية. وأنتجت المنطقة القريبة المتأثرة بالحرارة وبجودة واتساق القطع الجيد خواص ميكانيكية وفيزيائية حرارية مواتية للفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ (p. 1069).

ودرس Newishy & Abouzaid (2018) حرارة القطع بقوس البلازما وأثرها علي صلادة سطح النحاس الأصفر فكانت 150 فيكرز، زادت الصلادة زيادة ضئيلة وأمكن تجاهل تأثيرها لعمق أقل من 150ملي ميكرون. أيضاً تم دراسة التأثير على البنية المجهرية وأظهرت الحافة المنصهرة طبقة رقيقة من البنية الشجرية (p. 10, 11). كما دَرَسَ Mittal & Mahajan (2018) تحسين العامل المتعدد الاستجابة بالتحكم الرقمي بالكمبيوتر CNC للبلازما باستخدام طريقة Taguchi. وركز هذا البحث على اكتشاف أفضل مزيج ممكن من عوامل العملية المُثلى في نظام القطع بقوس البلازما أثناء تشغيل لوح من الحديد الكربوني سمك 12مم. واستخدمت ماكينة القطع بقوس البلازما عوامل عملية مختلفة مثل سرعة القطع، وتيار القوس، والمسافة الفاصلة للشعلة لإجراء أي متغيرات لعملية القطع والاستجابة مثل الـ MRR. وحصل عرض القطع على تغييرات تتوافق مع عوامل الإدخال. ولتحسين جميع عوامل العملية هذه، تم تحليل الاستجابات المتعددة من خلال البيانات التجريبية التي تم الحصول عليها باستخدام مجموعة متعامدة من طراز Taguchi's L9كتصميم للتجارب وتم تحليل جميع البيانات عن طريق تحليل المدى Analysis of mean (ANOM) والإشارة إلى الضوضاء باستخدام الرسوم البيانية ببرنامج Minitab18 لمراقبة أي عامل إدخال له تأثير كبير على متغيرات الاستجابة (p. 1).

كما دَرَسَ Cinar et al. (2018) التطورات في الـ PAC لسبائك الصلب: مراجعة. حيث طور عملية الـPAC للمواد التي كان من الصعب تشغيلها بسبب عدم التغلب على كفاءة عدم فعالية طرق الشغيل التقليدية عندما تعلق الأمر بالأشكال المعقدة وبتآكل الأداة بسبب الاتصال بين الأداة وقطعة العمل. ويستهلك الـ PAC الغاز المتأين، والمعروف باسم مصدر الحرارة، والتيار العالي الطاقة، والمعروف باسم البلازما. وقد قام العديد من الباحثين بفحص الـ PACلسبائك الصلب من خلال الأخذ فى الاعتبار لقوة القطع وسرعة المسح، ارتفاع القطع وضغط غاز البلازما كعوامل للعملية، وتحليل التأثيرات على خشونة الحافة، زاوية حافة القطع المخروطية، تشكيل الرايش، المنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ، معدل إزالة المواد (MRR)، جودة السطح بعد القطع، والتأثيرات الميتالورجية للقطع. كما كان لمعدل التغذية وخشونة الحافة تأثير كبير على خصائص التشغيل؛ ومع ذلك، أعطى الباحث القليل من الاعتبار لهذه المعايير. بالإضافة إلى ذلك، فقد تم إجراء مقارنة نقدية لكلا من عوامل العملية المستخدمة وطرق التحليل المستخدمة، بهدف تعيين (توفير) حالة البحث الحالي وتوجيه البحوث المستقبلية (p. 7).

وفحص كلاً من Pitayachaval & Sato (2018) (p. 01010) & Pittayachaval et al. (2020) (p. 171) العوامل التي تؤثر على تآكل فوهة خرج البلازما، حيث أن عرض القطع هو قاعدة مفصلة لقطر فوهة الخرج، في حين تم تقديم الكترود قوس البلازما. وحيث استخدام ماكينة القطع بالبلازما على نطاق واسع في التوصيلية الكهربائية الصناعية وفقًا لدقة الأبعاد والحد الأدنى من استهلاك الوقت فقد تم فحص تآكل فوهة الخرج بناءً على أمبير التيار ووقت التشغيل. واعتمدت جودة العملية على سطح وعرض القطع من خلال التحكم في قطر فوهة الخرج وحجم الالكترود. وكانت المتغيرات التي تم التحكم فيها هي ماكينة القطع بالبلازما Hypertherm powermax 45 xp، وماكينة الـ CNC بتحكم الـ Bindeeومسار القطع كعينة من الفولاذ المنخفض الكربون. وأُعتبر سطح وعرض القطع عوامل أساسية لتحديد جودة العملية عن طريق التحكم في قطر الفوهة وحجم الالكترود. وقدمت الورقة استقصاءً لثلاثة عوامل قطع هي: سرعة القطع، وضغط الغاز، وأمبير التيار الذي يؤثر على تآكل فوهة خرج البلازما. وتم التعامل مع التيار عند الأمبيرات 35، 40، 42، 45. وتم التحكم في وقت التشغيل في الدقائق 1، 2، 3، 4، 5. وتم القطع عند السرعات 200، 300، 400مم/ د. وتم التحكم في ضغط الغاز عند 6، 7، 8 بار. وتم قياس أقطار فوهة الخرج باستخدام المجهر الرقمي. وأُجريت التجارب على أساس الـ ANOVA للتحقق من علاقة العوامل. واعتمد تآكل فوهة الخرج على أمبير التيار، ووقت التشغيل الذي تم فيه عرض معادلة الانحدار نتيجة لذلك، والضغط العالي للغاز بينما لم تؤثر سرعة القطع على تآكل فوهة الخرج (p. 01010) & (p.

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

.171)

كما طور Masoudi et al. (2019) نموذج ذكي لضبط المنطقة المتأثرة بالحرارة وعرض القطع والخشونة في القطع بالبلازما للفولاذ المقاوم للصدأ 309 باستخدام النتائج التجريبية. واعتبر عرض القطع وخشونة السطح Ra والمنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ ثلاث عوامل مُخَرجَة كعوامل حاسمة تؤثر على جودة وكفاءة القطع. أجرى دراسة تجريبية للتحقق من جودة القطع من حيث عرض القطع والـ Ra والـ HAZ لقطع الفولاذ المقاوم للصدأ 309 بالبلازما. واختبرت الدراسة تأثير العوامل المُدخلة بما في ذلك التيار وضغط الغاز وسرعة القطع على مخرجات العملية. وتم استخدام النتائج لتطوير ثلاثة نماذج تنبؤية بواسطة أنظمة ذكية تعتمد على الخوارزمية الجينية GA والشبكة العصبية الاصطناعية ANN. وأخيرًا، تم تصميم تقنية مركبة من أنظمة الشبكات العصبية المُحسنة وراثيًا Genetically Optimized Neural Network Systems (GONNs) وتم توظيفها لتحسين مخرجات العملية في وقت واحد. وأظهرت النتائج أن الاستراتيجية المُنفذة طريقة فعالة لتحسين العوامل المُخَرَجَة في عملية القطع بالبلازما (p. 345).

كما دَرَسَ Kumar (2019) الصلادة المُثلى كعامل متعدد الاستجابة وتأثير التفاوت على لوح الصلب المقطوع بـ HTPAC. وتم قطع ألواح من الـ Hardox بسمك 12مم بواسطة ماكينة القطع بالبلازما عالية التحمل وتم التحقق من تفاوت القطع. ووفقًا للنتائج التجريبية، فقد لُوحظ أن حرق جزيئات ومقدار التوزيع قد زاد عندما تم إجراء القطع عند السرعات المُحدد قياساتها. علاوة على ذلك، فقد لُوحظ أن تغيير السرعة أثر على عرض القطع للشريحة وغير أيضًا إلى عدم انتظام الشريحة مع سرعة القطع. كما أمكن في هذه الدراسة، تحسين جودة القطع عن طريق الاختيار المناسب لسرعة القطع. وكان الهدف هو معرفة كيف أثر نظام القطع والسرعة على بنية المواد وحتى أي عمق، وتقرر أن الصلادة تقل من السطح الخارجي إلى اللب، في حين زادت الصلادة بالقرب من السطح الخارجي والتي تأثرت بارتفاع درجة الحرارة أثناء القطع (p. 2456).

كما ضبط Najm (2019) تأثير عوامل القطع بقوس البلازما على الـ HAZ وزاوية الميل للصلب المنخفض الكربون باستخدام منهجية سطح الإستجابة. وكان الهدف من الورقة دراسة تأثيرات عوامل القطع على الـ HAZ وعلى زاوية ميل مادة الصلب منخفض الكربون 1010 سمك 4 مم، والمُستخدمة في الصناعات المُشغلة لتؤدي إلى خفض التكلفة وإلى أفضل قوى ميكانيكية واستُخدمت في الحياة اليومية مثل لوحات التركيب، ومجموعات الأدوات والقوالب، وأجزاء الآلات، والمسامير الخاصة. العوامل الثلاثة للقطع المختارة هي تيار القوس، سرعة القطع ومسافة القوس للعمل التجريبي. أُجري 12 اختباراً وتم تغيير عامل واحد بأربعة مستويات مختلفة في كل اختبار وكانت العوامل الأخرى ثابتة. واعتمد تأثير عوامل القطع والمعادلة المتوقعة باستخدام نموذج الدرجة الثانية على النتائج التجريبية المدروسة بناءً على نتائج استجابة الـ HAZ وزاوية الميل) باستخدام منهجية استجابة السطح الـ RSM. تم تحليل بيانات مدخلات الأداء لعوامل مختلفة وأنتج ذلك مؤثر ذو تأثير رئيسي لكل العوامل على نتائج الاستجابة باستخدام الـ ANOVA المعتمدة على نتائج منهجية سطح الاستجابة. وأظهرت نتائج طريقة سطح الاستجابة أن عوامل التأثير الرئيسية كانت سرعة القطع وتيار القوس على الـ HAZ، بينما كانت مسافة القوس ذات تأثير رئيسي على زاوية الميل. وأظهرت نتائج طريقة سطح الاستجابة توافقاً جيداً بين النموذج الإحصائي والمعلومات التجريبية، وأن الظروف المثلى لعوامل القطع للحصول على الحد الأدنى من الـ HAZ كانت عند تيار قطع 90 أمبير، وسرعة قطع 4000 مم/ د، ومسافة فاصلة 3 مم والحصول على أقل زاوية ميل كانت عند تيار قطع 90 أمبير، وسرعة 1000 مم/ د، ومسافة فاصلة 3 مم (p. 020019).

وفحص Çelik (2013) تأثير عوامل القطع على الخامات المقطوعة بالتحكم الرقمي بالبلازما. ففي هذه الدراسة تم قطع الأسطح المُعقدة، التي ليس لدقة قياساها أهمية، بشكل متسلسل باستخدام الـ CNC بالبلازما. تم تجميع هذه المواد المقطوعة باستخدام التحكم الرقمي بالبلازما بتقنيات التصنيع المختلفة. كما تم أيضًا تشغيل هذه المواد تحت الضغط العالي والمقاومة. في هذه الدراسة، تم استخدام صفائح مواد S235JR بسمك 4، و6، و 8 مم المستخدمة في أوعية الضغط، تم قطعها باستخدام ماكينة القطع بالبلازما CNC بسرعات قطع، وأمبيرات، وفولتية قوس مختلفة. تم قياس التوزيع الحراري، وسمك المنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ، وخشونة السطح، وصلادة قطع المواد عند هذه القيم المختلفة. بناءً على القيم التي تم الحصول عليها من القياسات، تم تحديد ظروف القطع المثالية للمواد المُعرضة لإجراءات القطع (p. 1053).

وحلل Gautam & Gupta (2019) عوامل عملية القطع بقوس البلازما باستخدام تصميم التجربة. ففي هذه الأطروحة تم عمل مسح دراسي في سياق التحسين البارامتري لماكينة القطع بقوس البلازما. واستخدمت طريقة Taguchi، من أجل تحقيق النتائج المستهدفة والنتائج المثلى. وتم اختيار المصفوفة المتعامدة المناسبة حسب عدد العوامل وكان هناك مستويات لإجراء الحد الأدنى من التجارب. وتم استخدام قطع العمل من مواد الفولاذ المقاوم للصدأ 316 L لغرض التجربة. كما تم تحديد القيمة المثلى بمساعدة مؤثر ذو تأثير رئيسي وجدول الـ ANOVA . تم تطوير معادلة الانحدار للـ MRR وخشونة السطح Ra بمساعدة برنامج Minitab 15 . وتم إجراء اختبار تأكيد للتأكد من القيمة المقدرة من خلال هذا البرنامج. تم تأكيد تشغيل الـ MRR باستخدام إعداد ضغط غاز 5 بار، ومعدل تدفق حالي150 أمبير، وسرعة قطع600 مم/ د وفجوة قوس 4 مم. وكان مستوى العامل الأمثل لخشونة السطح 6 بار ضغط غاز، وتيار 150 أمبير، وسرعة قطع400 مم/ د وفجوة قوس 2 مم. وتم توفير النتائج التجريبية لتأكيد فعالية هذا النهج. وبعد التأكيد، بلغت قيمة الـ MRR= 0.8331gm/s، والـ Ra= 2.635µm وخطأ في حدود 10٪ (p. 2395).

أيضاً دَرَسَ Ananthakumar et al. (2019) ضبط وقياس خواص الاستجابة المتعددة في قطع سبيكة الـ Monel 400 بالـ PC باستخدام الـ RSM (منهجية استجابة السطح) والـ TOPSIS (تقنية ترتيب الأفضلية عن طريق التشابه مع الحل المثالي) بحثت الدراسة تأثير عوامل التشغيل على تقييم خواص الـ CQ للمشغولة كالـ HAZ لسبيكة الـ Monel 400. كما تم إجراء تحليل البنية المجهرية للتأكد من تشكل سطح القطع في ظروف القطع المختلفة (p.725).

بحث Abu Zeid (2020) تأثير السرعة علي عرض القطع لضبط جودة القطع لألواح الـ Cu سمك 1مم. زادت سرعة القطع عند بداية مسار القطع وأنتجت عرض قطع أقل وكان لها تأثير واضح وزادت من جودة القطع. وكان لها تأثير واضح وزادت من جودة القطع. وزاد عرض القطع زيادة كبيرة مع خفض سرعة القطع وكانت جودة القطع في الحد الأدنى (p. 289).

كما فحص Abu Zeid (Oct. 2020) تأثير سرعة القطع على الخشونة وجودة حافة سطح القطع لألواح النحاس الأحمر سمك 1مم وكانت جودة سطح القطع عند أقل مستوى لها عند أقل سرعة قطع، وكانت خشونة السطح Rs أقل عند السرعة الأدنى 500مم/د وعليه كانت جودة سطح القطع أعلى (p. 253).

أيضاً فحص Abu Zeid (Mar. 2021) تأثير الأمبير وسرعة القطع علي عرض القطع لضبط جودة قطع أسطح الـ Al سمك 10مم وذلك باستخدام التشغيل بقوس البلازما، وتبين أن العلاقة عكسية بين سرعة القطع وعرض القطع فكلما زادت السرعة قل عرض القطع وزادت جودة القطع، وكلما قلت سرعة القطع زاد عرض القطع وقلت معه جودة القطع، وكانت أقل قراءة 2,217مم

عند الزاوية القائمة نتيجة استخدام القيم 190أمبير مع سرعة قطع 1100مم/د وجهد القوس 130 فولت وضغط غاز4,2 بار وتعد الأمثل للحصول علي عرض قطع في الحد الأدني وجودة قطع أعلي (p. 515). كما بحث Abu Zeid (Jan. 2021) تأثير سرعة القطع والأمبير علي خصائص خشونة عمق حافة سطح القطع للـ Alسمك 10مم بقوس البلازما كانت جودة القطع عند أعلى مستوى لها عند أقل أمبير وأقل سرعة قطع، جميع قراءات أنواع الخشونة كانت الأقل لجودة قطع أعلى. وكانت الجودة منخفضة وعند أدنى مستوى لها عند الأمبير الأقل وسرعات قطع متوسطة. ولوُحظ أيضاً قراءات أعلى للخشونة أعطت جودة قطع رديئة (p. 257).

مشكلة البحث: Statement of the Problem

- هل تم فحص تأثير استخدام سرعة القطع في تشغيل الـ Cu سمك 1مم بالـ PA على تغييرات الصلادة والبنية المجهرية؟

هدف البحث: Research Objectives

- فحص تأثير استخدام سرعة القطع في تشغيل الـ Cu سمك 1مم بالـ PA على تغييرات الصلادة والبنية المجهرية.

أهمية البحث: Research Significance

1- الاستفادة من التغييرات التي قد تطرأ على الصلادة والبنية المجهرية في مجال التشغيل بالـ PA للـ Cu سمك 1مم نتيجة استخدام قيم متباينة من سرعات القطع.
2- معاونة الفنيين وذوي الإختصاص في تزويدهم بالتغييرات التي تحدث للصلادة والبنية في مجال التشغيل بالقطع بالـ PA للـ Cu.
3- دعم الجهات الأكاديمية والأقسام العلمية ذات الصلة بالمادة العلمية في الصلادة والبنية للـ Cu في مجال القطع بالـ PA.
4- تزويد قطاع الصناعة بنتائج التجارب المعملية للحد من تغييرات الصلادة والبنية والتي قد تؤثر على جودة سطح القطع بالـ PA للـ Cu.
5- الاحتياج إلي تحسين جودة سطح المنتجات المُشغلة بالـ PA للـ Cu.

فروض البحث: Research Hypothesis

إن إستخدام قيم مختلفة لسرعة القطع في تشغيل الـ Cu سمك 1مم بالـ PAC ينتج عنه تغييرات في الصلادة والبنية تؤثر على جودة الأسطح.

منهج البحث: Research Methodology

تستخدم الدراسة المنهج التجريبي في بحث تغييرات الصلادة والبنية المجهرية الناتجة عن تأثير سرعة القطع علي الـ Cu سمك 1مم في مجال التشغيل بالـ PAC.

الدراسة التجريبية:

جدول (1) يُوضح التركيب الكيميائي لعينات خامة الـ Cu المُستخدمة في إجراء تجارب القطع. والذي تم تعيينه بواسطة جهاز Foundry-Master Pro للتحليل الكيميائي.

جدول (1) التركيب الكيميائي للنحاس المُستخدم في مسار القطع لعينات التجارب

الشركة المصنعة:		النحاس المصرية		بلد المنشأ:		مصر	
السبيكة	Cu	الحالة:	Zn	PA	3 July 2019	11:16:54	
العنصر	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe
1	99.90	0.0078	0.0005	0.0071	0.0001	0.0002	0.0005
2	99.91	0.0073	0.0005	0.0072	0.0001	0.0002	0.0005
Average	99.90	0.0075	0.0005	0.0071	0.0001	0.0002	0.0005
	Ni	Si	Mg	Cr	Al	S	As
1	0.0005	0.0004	0.0010	0.0001	0.0661	0.0001	0.0004
2	0.0005	0.0004	0.0005	0.0001	0.0652	0.0002	0.0017
Average	0.0005	0.0004	0.0006	0.0001	0.0657	0.0001	0.0010
	Be	Ag	Co	Bi	Cd	Sb	Zr
1	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	0.0066	0.0002
2	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	0.0017	0.0002
Average	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	380.00	0.0002
	B	Se	Te	Au			
1	0.0001	0.0001	0.0005	0.0057			
2	0.0001	0.0001	0.0005	0.0060			
Average	0.0001	0.0001	0.0005	0.0058			

وإستخدمت الدراسة ماكينة الـ PAC من نوع (Hypertherm, HyPerformance® Plasma Loyal Mak Max 130XD) في إجراء عدد 13 شوط تجريبي لقطع 13 عينة من الـ Cu سمك 1مم، ويوضح جدول 2) قيم عوامل التشغيل المُستخدمة من قدرة التيار بالأمبير 30، وسرعات القطع من 500 إلي 12000بالـ مم/د، وكذلك الجهد الثابت للقوس عند 130 فولت، وضغط الهواء المستخدم كغاز للقطع عند 60 باسكال.

جدول (2) يوضح القيم المُستخدمة في الدراسة لعوامل تشغيل النحاس بالبلازما لتجارب القطع للعينات من 1 إلى 13 عند سرعات قطع بالمم/د، وتيار قطع بالأمبير، وجهد كهربي بالفولت، وضغط غاز بالباسكال

رقم التجربة/ العينة	تيار القطع بالبلازما (الأمبير)	جهد القوس الكهربي (الفولت)	ضغط الغاز (باسكال)	سرعة القطع (مم/د)
1	30	130	60	500
2	30	130	60	1000
3	30	130	60	2000
4	30	130	60	3000
5	30	130	60	4000
6	30	130	60	5000

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

رقم التجربة/ العينة	تيار القطع بالبلازما (الأمبير)	جهد القوس الكهربي (الفولت)	ضغط الغاز (باسكال)	سرعة القطع (مم/د)
7	30	130	60	6000
8	30	130	60	7000
9	30	130	60	8000
10	30	130	60	9000
11	30	130	60	10,000
12	30	130	60	11,000
13	30	130	60	12,000

تم تنظيم جميع عينات التجارب فى 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 جميعها عند 30 أمبير.

أجرت الدراسة اختبار الصلادة في معمل مسبك المواد بمركز بحوث وتطوير الفلزات (CMRDI) بالتبين، وتم تطبيق صلادة برنل Hardness Brinell على العينة رقم 1 من ناحية الأمام (1a) والخلف (1b) عند سرعة القطع الأقل 500مم/د وقدرة القطع 30 أمبير. وحيث أن برنل صلادة مُوصى بها، فإن جهاز the Instron Wolpert GmbH (UK) أُستخدم لإختبار وقياس أماكن متفرقة من سطح العينة.

وتوضح الأشكال (3a-g) الخطوات المتبعة في استخدام الجهاز، كما يوضح شكل 4) بطاقة تعريف جهاز صلادة برنل.

شكل (3–a) منظر جهاز الصلادة.

شكل (3–b) سطح منضدة الجهاز.

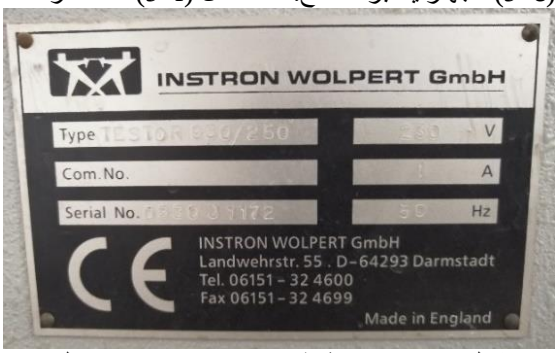
شكل (3–c) العينة أعلى المنضدة.

شكل (3–d) رأس جهاز الصلادة.

شكل (3–e) الجهاز يختبر السطح.

شكل (3–f) شاشة قراءة الصلادة.

شكل (3–g) قياس صلادة السطح.



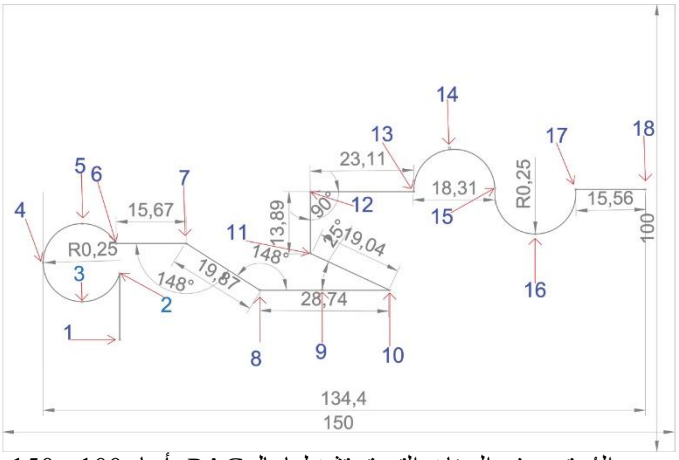
شكل (4) يوضح بطاقة تعريف جهاز صلادة برنل.

الأشكال (3a-g) توضح الخطوات المتبعة في استخدام جهاز صلادة برنل في فحص صلادة أماكن متفرقة من سطح العينة.

كما تم إجراء تصوير البنية المجهرية بمعمل ماسح الميكرسكوب الإلكتروني SEM التابع لمكتب الخدمات بالمركز باستخدام جهاز A FEG-SEM microscope (Quanta FEG 250). ويوضح شكل 3) تصميم مسار القطع المُستخدم للعينات التي تم تشغيلها بالقطع بالـ PA.

ويوضح شكل (5a, b) منظران أمامي وجانبي للميكروسكوب الالكتروني والذي استخدمته الدراسة في تصوير عرض حافة سطح قطع العينة.

الشكل (5a, b) يوضح منظران أمامي وجانبي للميكرسكوب الإلكتروني المُستخدم في تصوير العينة 1 المقطوعة عند سرعة 500مم/ د وقدرة تيار30 أمبير.

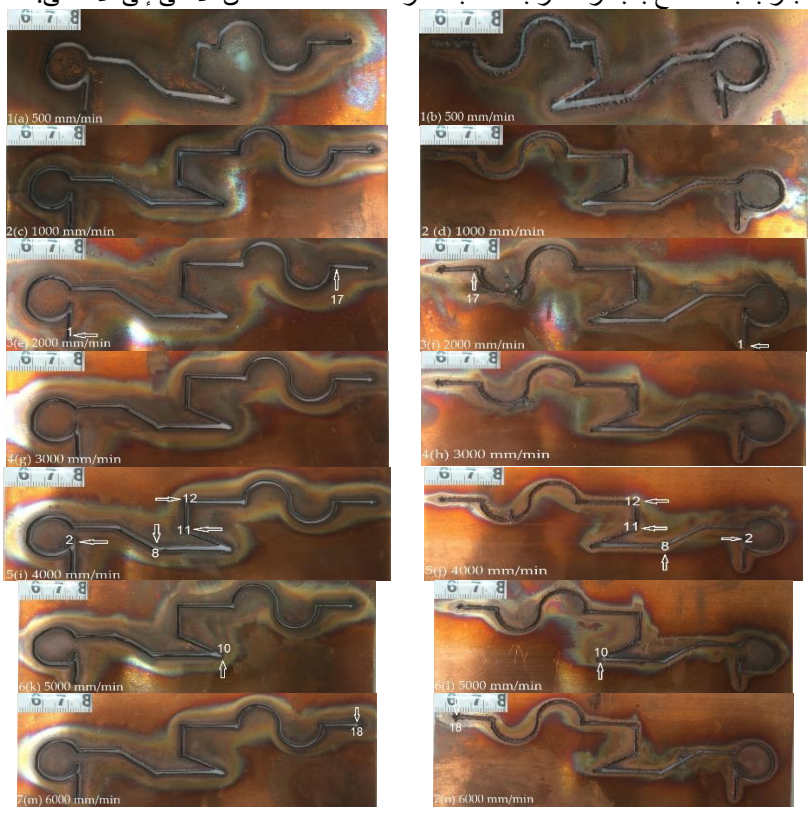


شكل (6) يوضح مسار القطع المُصمم والمُستخدم في العينات التي تم تشغيلها بالـ PAC بأبعاد 100× 150×1مم. النقاط التي تم عندها قياس الصلادة مُشار إليها بالأرقام من 1 إلى 18(Abouzaid & Mousa, 2023. p. 5)

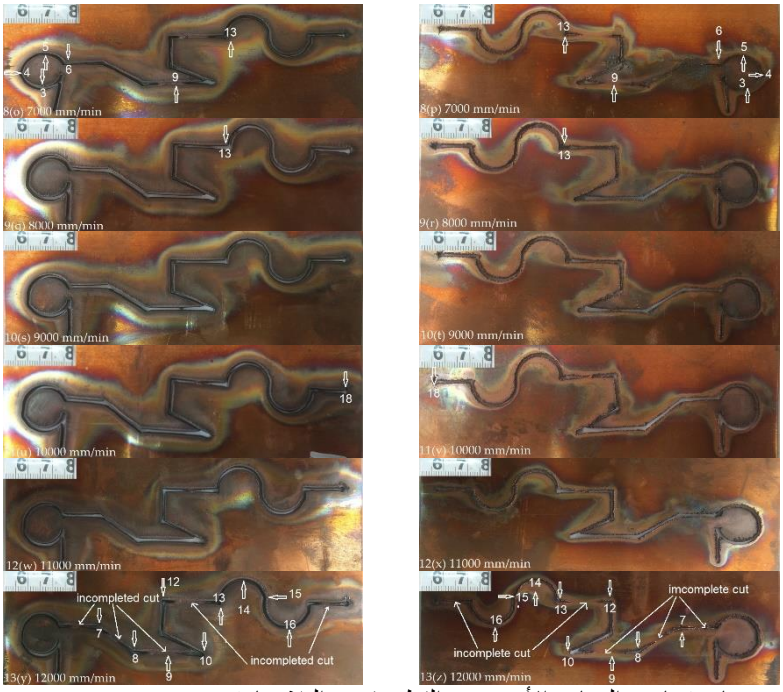
مناقشة النتائج :

سرعة القطع والصلادة وجودة السطح:

يُوضح شكل (7) عينات التجارب بعد القطع بالبلازما مرتبة حسب السرعات المُستخدمة من الأدنى إلى الأقصى.



This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.



شكل (7) يوضح عينات تجارب النحاس الأحمر بعد القطع بقوس البلازما (Abu Zeid, 2020, p. 292 & 293).

ولما كان من شأن قوس البلازما إحداث تأثير حراري عند المنطقة المحيطة بمسار القطع والمتأثرة حرارياً، وجب علينا قياس الصلادة قبل القطع وقياس التغيير الحادث في الصلادة بعد القطع، وعليه تم أخذ قياسات العينة Cu-1 قبل إجراء القطع بالبلازما وفي أماكن بعيدة عن حافة القطع بالمعادلة القطرية التالية 32.25 كجم/ 2.5مم حيث أن قطر الكرة Φ بالمم من المصنوع من كربيد التنجستين Tungstun Carbide والحمل بالكجم علي الترتيب وكانت قراءات القياسات كالتالي:

يوضح جدول (3) قراءات القياسات قبل القطع بقوس البلازما والانحراف المعياري والاحصائيات. أيضاً قراءات قياسات العينة Cu-1 بعد القطع بقوس البلازما وفي أماكن قريبة إلي جانب حافة القطع ومع إستخدام نفس القطر والحمل والانحراف المعياري والاحصائيات مُوضحة في جدول (4).

جدول (3) يوضح الانحراف المعياري (SD)، والاحصائيات، وقراءات الصلادة قبل القطع.

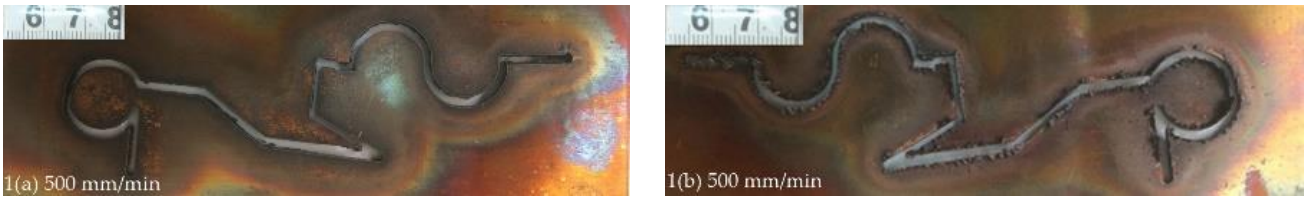
جدول قياسات الصلادة قبل القطع					
النموذج: 1					
القياسات	النتائج				
1	66.05 HB5/750				
2	68.02 HB5/750				
3	71.35 HB5/750				
4	70.64 HB5/750				
الاحصائيات					
النموذج	الوسط	المتوسط	القراءة الأدنى	القراءة الأقصى	الانحراف المعياري
1	.305	69.01	66.05	71.35	2.44

جدول (4) يوضح الانحراف المعياري (SD)، والاحصائيات، وقراءات الصلادة بعد القطع

جدول قياسات الصلادة بعد القطع					
النموذج: 2					
القياسات	النتائج				
1	69.28 HB5/750				
2	71.65 HB5/750				
3	70.15 HB5/750				
4	60.09 HB5/750				
الاحصائيات					
النموذج	الوسط	المتوسط	القراءة الأدنى	القراءة الأقصى	الانحراف المعياري
2	11.56	67.79	60.09	71.65	5.23

وقد تبين أن فروق القراءات في الحالتين صغيرة ويرجع ذلك إلي أن القطع بقوس البلازما بسرعة منخفضة وأمبير أقل لم تتغير معه صلادة النحاس إلا تغير طفيف للغاية ولا يذكر بل ويمكن إهماله.

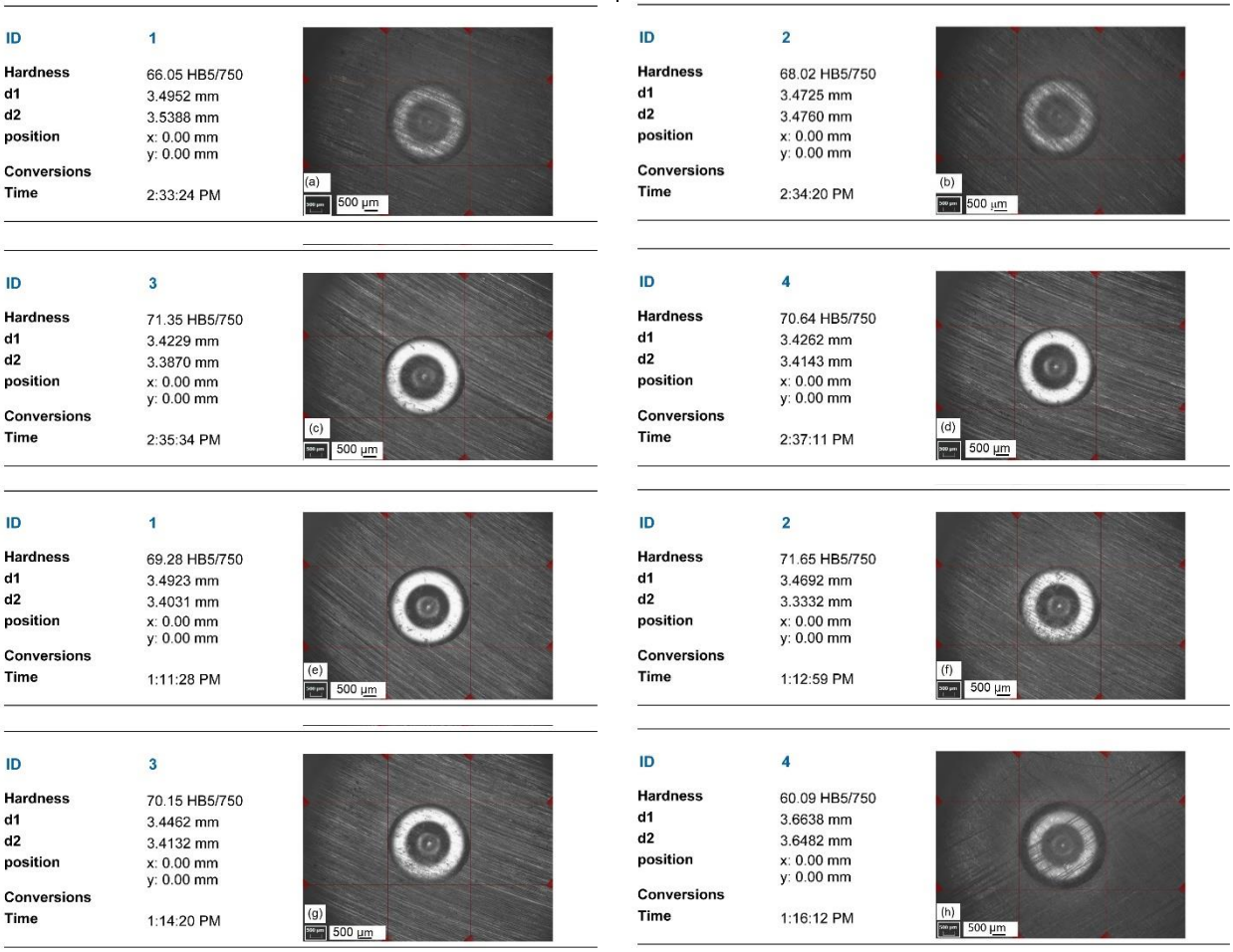
ومن خلال القراءات أعلاه للعينة 1 بالجدولين (3, 4) تبين أن الصلادة لم تتغير عند سرعة القطع الأدنى وعند قدرة التيار المُستخدمة وبالتالي فإن ذلك لم يؤثر على جودة سطح القطع. كما تبين أيضاً عدم تأثر البنية المجهرية للـ Cu بعد القطع بقوس البلازما ويوضح شكل (8) منظر القطع بقوس البلازما للعينة 1 من الـ Cu من الأمام 1(a) ومن الخلف 1(b)عند سرعة 500مم/ د وبقدرة تيار 30 أمبير.



شكل (8) يوضح منظر القطع بقوس البلازما للعينة 1 من الـ Cu من الأمام 1(a) ومن الخلف 1(b)عند سرعة 500مم/ د وبقدرة تيار 30 أمبير.

تم أخذ اختبار الصلادة عند سرعة القطع الأدنى 500مم/د بسبب الدخل الحراري الأعلى عند هذه السرعة. كانت الاختلافات في قراءات الصلادة ضئيلة قبل وبعد القطع. تم تقسيم العينة 1(a, b) إلى أربع أجزاء وتم أخذ 9 قياسات عند كل جزء. قياسات الصلادة كانت عند نقاط مختلفة على مسار القطع (تم ترميز النقاط من 1 إلى 18 شكل 6) المُقسم لأربع أجزاء للعينة. تم تنفيذ اختبار الصلادة على واحد من الأربع أجزاء بعد تجهيزها. تم تنفيذ الاختبار عند نقاط متفرقة وعلى أكثر من نقطة واحدة. هذه النقاط كانت على جميع أنواع الخطوط على مسار القطع في المنطقة المتأثرة حرارياً بالقرب من حافة القطع. كانت نتائج القياسات تقريباً لسطح العينة. وُجد أن القراءات كانت متقاربة للغاية من حيث القيم. تم تحديد نتائج العينات المُميزة عن طريق حساب المتوسط: يُمثل كل جزء اختبار صلادة على سطح القطع بالكامل.

بناء على القرءات المأخوذة إلى الأسفل للعينة 1 شكل (9a-h). وجدت الدراسة أن الصلادة لم تتغير عند أدنى سرعة قطع وعند تيار البلازما الذي تم استخدامه.



شكل (9a-h) يُوضح صور وبيانات اختبار الصلادة الناتجة عن علام كرة الاختبار على العينة 1 من النحاس الأحمر.

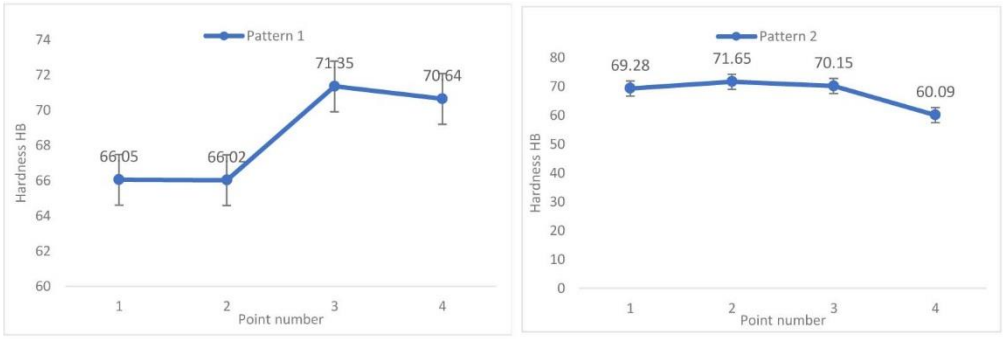
تم اختيار العينة بناء على سرعة القطع الأدنى 500مم/د وتيار 30 قطع أمبير. تجهيز لمعدن الأساس من النحاس تم أخذه في الاعتبار. تم عمل القياسات قبل القطع. تم تسجيل القراءات لأماكن متفرقة قبل القطع بالمعادلة التالية حيث قطر كرة برنل بالمم والحمل بالكجم: 20كجم/ 2مم. كانت المعادلة المُستخدمة لحساب صلادة برنل مُوضحة في المعادلة (1) التالية:

$$BHN = \frac{2p}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \quad (1)$$

التمثيل البياني لنتائج الصلادة وسرعة القطع:

يوضح الشكل (10a, b) التمثيل البياني للعلاقة بين صلادة برنل للعينة Cu-1 وسرعة القطع والأمبير المُستخدمين لعدد ثلاث اختبارات قبل وبعد القطع بقوس البلازما عند نقاط على سطح حافة القطع.

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.



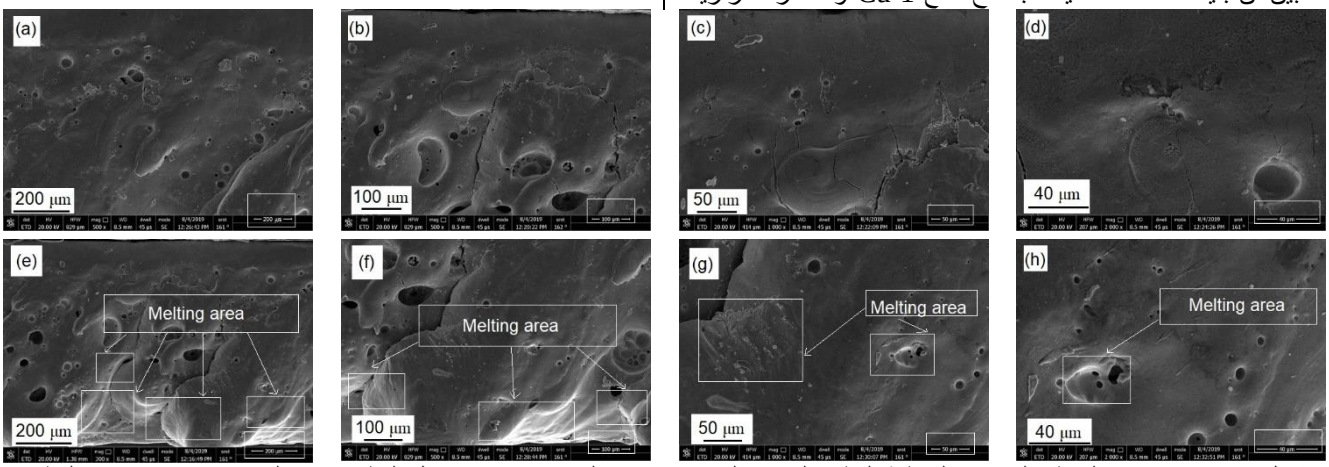
(a) (b)

شكل (10a, b) يوضح التمثيل البياني للعلاقة بين صلادة برنل للعينة Cu-1 وسرعة القطع والأمبير المستخدمين لعدد أربع اختبارات قبل وبعد القطع بقوس البلازما. (a) يمثل قراءات الصلادة قبل القطع، (b) قراءات الصلادة بعد القطع.

بالإضافة إلى التمثيل البياني تأكد الدراسة على أن فروق القراءات في الحالتين منعدمة تماماً عند الاختبار 3 وضئيلة للغاية عند الاختبار 1، 2، 4 وبما أنه يمكننا إهمال الفرق في القراءة حيث لم يطرأ أي تغيير يُذكر على الصلادة قبل وبعد القطع وبالتالي فإن جودة سطح القطع لم تتغير نتيجة التشغيل بالقطع بقوس البلازما. أثبت (Abouzaid et al, 2018, p. 10) أن الصلادة قلت بالقرب من حافة القطع بسبب النمو الشجري. هذه الزيادة ضئيلة تماماً، وهذا التأثير أمكن تجاهله لأن عمق الصلادة المتأثرة كانت أقل من 150 ميكرون. المنطقة المتأثرة حرارياً ذات خصائص هامة ومؤثرة في أداء وجودة الأسطح المقطوعة بالبلازما (Ananthakumar et al. 2019, p. 725 & Ramakrishnan, et al. 2018, p. 3). زادت الصلادة بالقرب من السطح الخارجي لتأثرها بالحرارة العالية التي حدثت بسبب القطع بالبلازما (Kumar, 2019, p. 2456).

سرعة القطع والبنية المجهرية وجودة القطع:-

تبين أن بنية المنطقة المحيطة بسطح قطع Cu-1 والمتأثرة حرارياً لم يحدث لها تغيير يذكر ولكن ما حدث عند حافة سطح القطع هو صهر Melting لسطح الخامة. وتظهر جلياً منطقة الصهر الناتجة عند عرض حافة سطح القطع على طول مسار القطع. وعليه فإن التشغيل بقوس البلازما للـ Cu أنتج صهراً عند حافة سطح القطع. كما هو مُبين في شكل (11a-h) تدرج تصوير سطح المنطقة المتأثرة حرارياً لعرض المقطع العرضي حافة سطح القطع للعينة قبل وبعد القطع عند 500مم/د بمناطق متباينة من 200، و 100، و 50، و 40 ميكرون، وقد أنتج القطع بقوس البلازما منطقة صهر بعمق سمك المعدن 1000ميكرون أسفل حافة القطع. عند فحص البنية المجهرية لمعدن العينة 1 عند المقطع العرضي قبل وبعد القطع، تبين أنه لم يحدث تغيير في البنية المجهرية للمعدن، وقد تم عرض مساحة المقطع العرضي تحت الـ SEM في شرائح كما هو موضح في شكل 11 إلى الأسفل. لاحظنا أنه لا يُوجد تغيير في شكل بنية النحاس بعد القطع. وعليه فإن جودة السطح لم تتغير.



شكل (11a-h) صور المقطع العرضي لمنطقة القطع بالمسح بالميكرسكوب الإلكتروني: (a-d) قبل القطع بقوس البلازما، و (e-h) بعد القطع. الأحمر بالبلازما أنتجت صهر عند سطح حافة القطع. بَيّنَ (Abouzaid et al., 2018, p. 10) أن الحافة المُنصهرة أظهرت طبقة رقيقة للغاية من البنية الشجرية بعد قطع النحاس الأصفر ونمو الحبيبات بالقرب من حافة القطع.

كما وُجد أن الدخل الحراري للبلازما لم يؤثر على البنية المجهرية بعد القطع. لكن مناطق البنية كانت منصهرة. وبالمقارنة بين الأشكال المُوضحة في (11a-h) باستخدام الملاحظة بالمسح بالميكرسكوب الإلكتروني وُجد أنه لا يُوجد اختلاف بينهم. تعرض الصور شكل (11a-d) البنية المجهرية لمعدن الأساس. بعد استخدام سرعات القطع تم تصوير المقطع العرضي للقطع عند 500مم/د شكل (11e-h). سرعة القطع لم تؤثر بشكل يُذكر على شكل البنية، وسطح القطع لم يتأثر بمعدلات السرعة. الجزء المجاور للقطع تطابق تقريباً في شكله مع معدن الأساس وكذلك المعدن المنصهر. جودة القطع بنفس المعدل الذي تم تقديمه مسبقاً. الصور e و f و g و h شكل 11 كانت الصور الأفضل التي أُخذت للمقطع العرضي للقطع. وُجد أن البنية المجهرية للمنطقة المُحيطة بسطح القطع للعينة 1 والمتأثرة حرارياً لم تتغير بشكل كثيراً. ونتج منطقة منصهرة عند حافة سطح القطع والمُوضحة بطول مسار القطع. لذلك عملية تشغيل للنحاس

الخلاصة:

1- تبين أن صلادة سطح النحاس الأحمر قبل القطع بقوس البلازما لم تتغير عن الصلادة بعد القطع بقوس البلازما.
2- سجلت قياسات الصلادة قبل القطع القراءات 66,05، و 68,02، و 71,35، و 70,64 برنل لعدد 4 اختبارات.
3- سجلت قياسات الصلادة بعد القطع القراءات 69,28، و 71,65، و 70,15، و 60,09 برنل لعدد 4 اختبارات وذلك للعينة 1 التى استخدمت أدنى سرعة قطع 500مم/ د وقدرة للتيار 30 أمبير.

CITATION Abdelrahman Abouzaid, Osama Ahmed (2025), Effect of The Cutting Speed on Hardness and Micro-structure of Copper Using Plasma Arc Machining (PAM), International Design Journal, Vol. 15 No. 1 (Jan 2025) pp 567-578

4- تبين أن الفروق في قراءات القياسات في الحالتين قبل وبعد القطع ضئيلة للغاية ويمكن إهمالها.
5- لم تتأثر جودة سطح القطع وذلك نتيجة عدم تأثر الصلادة للنحاس الأحمر.
6- لم تتغير البنية المجهرية لمنطقة القطع المتأثرة حرارياً للـ Cu بعد القطع بقوس البلازما وذلك من خلال الشرائح التي تم عرضها للمساحة تحت الـ SEM.
7- التشغيل بقوس البلازما للـ Cu أنتج صهر عند حافة سطح القطع بعرض سمك المعدن 1000ميكرون أسفل حافة القطع.
8- كان التلدين عند حافة سطح القطع في الحد الأعلى عند سرعة القطع المنخفضة.

المراجع: References

1- Abouzaid, A., & Mousa, S. (2023). Influence of the Cutting Feed Rate on the Hardness and Microstructure of Copper Using Plasma Arc Machining (PAM). Metals, 13(2), 208. doi.org/10.3390/met13020208
2- 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 ROM]: International Design Journal.
3- Abu Zeid, A. (2021). Investigating the Effect of Ampere and Cutting Speed on KW of 10 mm Al Using PAM for Optimizing Cutting Quality of Metal Surfaces. International Design Journal, 11(2), 515-525. doi.org/10.21608/idj.2021.153639
4- [4] Abu Zeid, A. (2021). The Effect of Speed and Amper on Roughness of the Cutting Surface Edge Depth of 10 mm Al Using PAM. International Design Journal, 11(1), 257-265. doi.org/10.21608/idj.2021.132969
5- Abu Zeid, A. (2020). The Influence of Speed on kerf width using PA to Optimize the Quality of 1mm Copper Sheets. International Design Journal, 10(4), 289-298. doi.org/ 10.21608/idj.2020.113243
6- Abu Zeid, A. (2020). Investigating the Effect of cutting Speed on Roughness & Quality of the Cutting Surface Edge of 1 mm Copper Sheets Using Plasma Arc. International Design Journal, 10(4), 253-260. doi.org/ 10.21608/idj.2020.113241
7- Akkurt, A. (2015). The effect of cutting process on surface microstructure and hardness of pure and Al 6061 aluminium alloy. Engineering Science and Technology, an International Journal, 18(3), 303-308. doi.org/10.1016/S1003-6326(10)60113-6
8- 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. doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.010
9- Çelik, Y. H. (2013). Investigating the effects of cutting parameters on materials cut in CNC plasma. Materials and manufacturing processes, 28(10), 1053-1060. doi.org/10.1080/10426914.2013.773015
10- Cinar, Z., Asmael, M., & Zeeshan, Q. (2018). Developments in Plasma Arc Cutting (PAC) of Steel Alloys: A Review. Jurnal Kejuruteraan, 30(1), 7-16. doi.org/10.17576/jkukm-2018-30(1)
11- 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. doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.342
12- Gautam, P. K., & Gupta, V. (2019). Analysis of Process Parameters of Plasma Arc Cutting Using Design of Experiment. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN, 2395-0056.
13- Kountouras, D., Papanikolaou, S., Intzevidou, P., Kechagias, J., & Maropoulos, S. (2014). 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.
14- 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. doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.306
15- Kumar, P. J. (2019). Multi-Response Parameter Optimization Hardness and Unevenness Effect of Hardox Cutting Plate by High Tolerance Plasma Arc Cutting System. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD) Volume, 3(2) 2456 - 6470.
16- Masoudi, S., Mirabdolahi, M., Dayyani, M., Jafarian, F., Vafadar, A., & Dorali, M. R. (2019). Development of an intelligent model to optimize heat-affected zone, kerf, and roughness in 309 stainless steel plasma cutting by using experimental results. Materials and Manufacturing Processes, 34(3), 345-356.

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

In Materials Science Forum (Vol. 987, pp. 171-176). Trans Tech Publications Ltd. doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.987.171

25- Pitayachaval, P., & Sato, M. (2018). Investigating Parameters That Effect to Wear of Plasma Nozzle. In MATEC Web of Conferences (Vol. 213, p. 01010). EDP Sciences. doi.org/10.1051/matecconf/201821301010

26- Ramakrishnan, H., Balasundaram, R., Ganesh, N., & Karthikeyan, N. (2018). Experimental investigation of cut quality characteristics on SS321 using plasma arc cutting. Journal of the Brazilian society of Mechanical Sciences and Engineering, 40(2), 60. doi.org/10.1007/s40430-018-0997-8

27- 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

28- 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. doi.org/10.1016/j.jksues.2018.04.001

29- Tingaev, A. K., Gubaydulin, R. G., & Ilin, I. A. (2016). Study of the effect of thermal cutting on the microstructure and chemical composition of the edges of workpieces made of steel brands S345, S390. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016. Procedia Engineering, 150, 1783-1790. doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.171

30- https://www.hypertherm.com/hypertherm/hyperformance/hyperformance-hpr130xd/

31- https://jola.nl/wp-content/uploads/2016/05/Quard_400_UK.pdf

doi.org/10.1080/10426914.2018.1532579

17- Mittal, S., & Mahajan, M. D. (2018). Multi-Response Parameter Optimization of CNC Plasma Arc Machining Using Taguchi Methodology. Industrial Engineering Journal, 11(12), 1-10. doi: 10.26488/IEJ.11.12.1153

18- Newishy, M., Abuzaied, A., & Al-Qotari, I. (2017). Optimizing of process parameters in plasma arc cutting of brass thin sheets. The Fifth International Conference at the Faculty of Applied Arts.

19- Najm, V. N. (2019). Optimization of plasma cutting parameters on HAZ and bevel angle for low carbon steel using response surface methodology. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2201, No. 1, p. 020019). AIP Publishing LLC. doi.org/10.1063/1.5141443

20- Lazarevic, A., & Lazarevic, D. (2017). Investigations of material hardness and structural changes in the heat-affected zone during plasma cutting. Welding in the World, 61(6), 1069-1075. doi.org.sdl.idm.oclc.org/10.1007/s40194-017-0510-5

21- Özek, C., Çaydaş, U., & Ünal, E. (2012). A fuzzy model for predicting surface roughness in plasma arc cutting of AISI 4140 steel. Materials and Manufacturing Processes, 27(1), 95-102. doi.org/10.1080/10426914.2011.551952

22- 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

23- 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. doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.206

24- Pittayachaval, P., Aupkaew, Y., Sakhonkhan, S., Sukan, T., & Patchaikhonang, C. (2020). Investigating Plasma-Nozzle Wear Based on Processing Time and Current Ampere.