

تأثير السرعة علي عرض القطع باستخدام قوس البلازما لضبط جودة ألواح النحاس الأحمر سمك 1 مم

The Influence of Speed on kerf width using PA to Optimize the Quality of 1mm Copper Sheets

د/ عبدالرحمن أبو زيد.

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

كلمات دالة Keywords:

سرعة القطع
Cutting Speed
عرض القطع
kerf width
التشغيل بالقطع بقوس البلازما
Plasma Arc Cutting
Machining
جودة القطع
Kerf (Cutting) Quality
النحاس
Copper.

ملخص البحث Abstract:

تتعدد استخدامات النحاس الأحمر على نطاق واسع في الصناعة وتتنوع تطبيقاته. وتستخدم اليوم طرق مختلفة في الصناعات الإنتاجية لتقديم الحلول الأسرع والأرخص والأكثر فعالية من حيث الوقت والجهد والتكلفة والجودة في تسهيل عمليات القطع وبأقل تشويه للسطح. وتهدف الدراسة إلي فحص تأثير السرعة علي عرض القطع لضبط جودة أسطح الـ Cu سمك 1 مم وذلك باستخدام التشغيل بقوس البلازما. استخدمت الدراسة المنهج التجريبي في إجراء التشغيل بالقطع لـ 13 عينة بسرعات قطع مختلفة من الأدنى إلى الأعلى ونفس الأمبير لجميع التجارب وذلك للحصول علي تأثير السرعة علي جودة القطع. واشتمل تصميم مسار القطع علي الخط المستقيم والزوايا الناتجة عن تقابل الخط الراسي مع منحنى الدائرة والزوايا المنفرجة والقائمة والحادة والخط المنحني والزوايا الناتجة عن تقابل الخط الأفقي مع منحنى الدائرة. تم تعيين 18 نقطة وتم قياسها وتم تسجيل قراءات عرض القطع لجميع النقاط على المسار. تم مقارنة نتائج قراءات القياس للعينات وتم مناقشتها وتم تمثيلها بيانياً لتحديد السرعات التي يمكن استخدامها في الحصول على جودة قطع جيدة. ومن أهم نتائج الدراسة: زادت سرعة القطع عند بداية مسار القطع وأنتجت عرض قطع أقل وكان لها تأثير واضح وزادت من جودة القطع. وعند الزوايا الناتجة عن تقابل الخط الراسي ومنحنى الدائرة أنتج القطع عرض قطع أكبر ومع خفض سرعة القطع زاد ذلك من عرض القطع وقل معه جودة القطع. كما سجلت النقاط الواقعة على محيط الدائرة على مسار القطع قيم عرض أقل ودون المتوسطة عند السرعات الأعلى. عند النقطة 7 الممثلة للزوايا المنفرجة كان عرض القطع في الحد الأدنى بقيمة 1,316 مم وهي أقل قيمة تم تسجيلها للقياس وكذلك كانت جميع القراءات لباقي العينات أقل. وعند النقطتان 8، 11 الممثلتان للزوايا المنفرجة أيضاً كانت معظم القراءات للعينات دون المتوسطة وأكد هذا على أن عرض القطع عند الزوايا المنفرجة زاد أيضاً بخفض سرعة القطع وقل معه جودة القطع. وعند الخط المستقيم سجلت السرعات الأدنى قراءات دون المتوسطة وسجلت السرعات الأعلى قراءات أقل وأنتجت قطع غير مكتمل لبعض أجزاء من مسار القطع. عند الزوايا الحادة سجلت معظم العينات قراءات كبيرة وفوق المتوسطة وزاد عرض القطع زيادة كبيرة مع خفض سرعة القطع وكانت جودة القطع في الحد الأدنى وأنتجت كل السرعات المستخدمة أكبر عرض قطع وكان سيئاً عند جميع الزوايا الحادة على مسار القطع. وزاد عرض القطع عند الزوايا القائمة زيادة بسيطة مع خفض سرعة القطع وقل معه جودة القطع وأنتج عرض قطع متوسط عند جميع الزوايا القائمة على مسار القطع. وعند النقطة 13 الناتجة عن تقابل الخط الأفقي مع منحنى الدائرة على مسار القطع كانت جميع قراءات العينات متوسطة ومتقاربة ولم يحدث نوع السرعة المستخدمة إلى حد ما تفاوت كبير. كما أشارت معظم القراءات عند النقاط 14، 15، و16 الواقعة على الخط المنحني لجميع العينات إلى أدنى عرض قطع مع سرعات القطع الأعلى وقراءات عرض قطع أقل من متوسط مع سرعات القطع الأقل وكانت جودة القطع جيدة. وسجلت النقطة 17 الممثلة للزوايا الناتجة عن تقابل منحنى الدائرة مع الخط الأفقي قراءة أقل لعرض القطع وكانت جميع قراءات باقي العينات أقل من متوسطة. وعند نهاية مسار القطع كانت جميع قراءات عرض القطع للعينات متوسطة. ولجميع العينات أنتجت السرعات الأعلى عرض قطع في الحد الأدنى وكانت جيدة عند بداية المسار وعلى الخط المستقيم والمنحني وللزوايا المنفرجة والقائمة، لكن أعطت عرض قطع في الحد الأعلى مع الزوايا الناتجة عن تقابل الخط الراسي مع منحنى الدائرة وعند الزوايا الحادة، وتعتبر السرعات الأعلى مناسبة لتوفير وقت وتكلفة التشغيل. أما سرعات القطع الأدنى أنتجت عرض قطع أكبر قليلاً لجميع العينات باستثناء الزوايا الناتجة عن تقابل الخط الراسي مع منحنى الدائرة وعند الزوايا الحادة كان العرض في الحد الأقصى. وأن القطع الغير مكتمل نتج عن سرعات القطع الأعلى بالإضافة إلى اللدونة العالية للنحاس الأحمر. ووجد أن العلاقة بين كلا من سرعة القطع وعرض مسار القطع عكسية فكلما زادت سرعة القطع قل عرض القطع وزادت جودة القطع عند أقصى سرعة 12000 مم/د، وكلما قلت سرعة القطع زاد عرض القطع وقلت معه جودة القطع عند أدنى سرعة 500 مم/د.

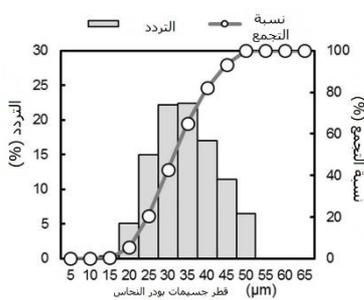
Paper received 15th July 2019, Accepted 10th September 2020, Published 1st of October 2020

مقدمة Introduction

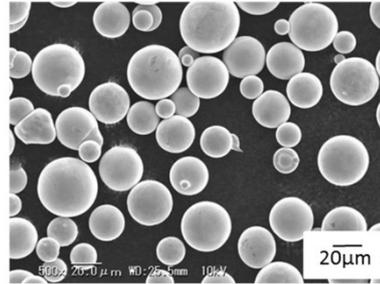
وفي 6000 ق. م قام الإنسان بصهر الـ Cu وأعتبر ذلك فناً من الفنون ونتيجة لذلك صُنعت الأدوات المعدنية بصب الفلز المصهور في قوالب مكونة أو مصنوعة من الحجر، وقام باستعماله في مهن وحرف كصناعة النقود وأواني الطعام والحلي، وكذلك قام باستغلاله في لحام الحديد، وأستعمل بعد ذلك بشكل واسع في تصفيح السفن الخشبية. كما دخل في صناعة العديد من السبائك فإذا أفرغنا الـ Cu المذاب على الحديد فيصير مضاعف القوة والصلابة وأستخدمت هذه الطريقة حديثاً في تقوية الـ Fe، حيث وُجد أن إضافة الـ Cu (القطر) إلى الـ Fe يُضاعف من قوة السبائك. كما يمكن إضافته إلى الذهب Au بكميات قليلة لإعطاء الـ Au الصلابة الكافية في تصنيع المصاغ، كما تُصنع

يُعد النحاس Cu من أول المعادن الذي تم استخدامه من قبل الإنسان وثاني المعادن تعدداً للمنافع بعد الحديد. وقد تم اكتشافه منذ أكثر من 10000 عام ق. م، ويرجع اشتقاق اسم الـ Cu للأصل اللاتيني لجزيرة قبرص Cyprus والنحاس الأحمر Copper فلز محمر اللون وعنصر كيميائي رقمه الذري 29 وتوزيعة المداري 1-8-2-18، ووزنه الذري 63,546 وكثافته 8,94 جم/سم³ ودرجة انصهاره 1083.4°م ودرجة غليانه 2567م وتتراوح صلابته ما بين 2.5-3، وهو موصل جيد للحرارة وسهل في كل عمليات الطرق والسحب ويُعتبر أشد المعادن توصيلاً للكهرباء بعد الفضة.

يوضح منظر لمظهر النحاس الأحمر البرتقالي صورة التصوير بالمجهر الالكتوني SEM لحجم جسيمات النحاس النقي من 15: 50 ميكرون وشكل (ج-1) متوسط حجم الجسيمات 35 ميكرون [Sato, Y., et al. 2019. P. 862].



شكـل 1-ب) صورة الـ SEM لحجم جسيمات النحاس النقي من 15: 50 ميكرون



شكـل 1-ب) صورة الـ SEM لحجم جسيمات النحاس النقي من 15: 50 ميكرون



شكـل 1-أ) يوضح منظر لمظهر النحاس الأحمر البرتقالي

حواف قطع قريبة من الأمثل مع الحد الأدنى من العيوب الحادة. [Thomas, D.J. 2011. P. 120]. كما تم بحث أثر البعد البؤري على سطح الألواح الرقيقة من النحاس سمك 1 مم باستخدام O₂ كغاز مساعد. تم استخدام تحليل التباين كلاً من طاقة الليزر والبعد البؤري، وجهاز استشعار الكشف بالبلازما عن سرعة قطع المحددة سلفاً. تم استخدام طريقة العامل الكامل لخفض سرعة القطع [Madia, M.N & Patel, D.M. 2013. P. 4539].

وتم دراسة تأثير الجوانب الهيكلية الدقيقة على تصميم عوامل التحكم الرقمي بالحاسب على لوح الصلب الكربوني في القطع بقوس البلازما. تم عمل محاولة لضبط عوامل التشغيل أثناء القطع بقوس البلازما باستخدام الحاسب الآلي للوحة الصلب الكربوني St37 باستخدام تصميم قوي. وكانت العوامل التي تم اختبارها هي سرعة القطع، وأمبير القوس، وارتفاع المسافة الفاصلة للشعلة والقطع. وأُجريت تجربة لمصفوفة متعامدة وزاوية انحدار قائمة. حددت النتائج القيم والتي تتضمن العوامل المثلى التي تقلل من زاوية الانحدار [Kountouras, D., et al. 2014. P. 790].

كما تم فحص خصائص السطح الناتجة عن طريق قطع النحاس-353 (∞ + β) تجريبياً باستخدام كلاً من الفذف النفاث بالماء والحبيبات وطرق القطع الأخرى. وقد استخدم البحث طريقة الـ AWJ، وتم التحقق من نتائج عملية القطع لحامات النحاس باستخدام الـ AWJ. وبناءً على النتائج، تم تحديد طريقة القطع المثلى للمادة التي تم فحصها لتكون الـ AWJ [Akkurt, A. 2014. P. 725].

وتم دراسة تأثير عوامل تشغيل الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم بقوس البلازما لضبط جودة القطع في المنتجات المعدنية. وكان الهدف تحديد العوامل التي يجب مراعاتها للحصول على جودة قطع جيدة من خلال ضبط عوامل التشغيل المستخدمة في القطع بالبلازما. وأستخدم المنهج التجريبي حيث تم تشغيل 24 عينة مقياس 100×150 مم لمسار يشمل أنواع الخطوط والزوايا في اتجاه واحد. تم استخدام وتسجيل قيم أمبير وسرعات قطع مختلفة. وتم فحص جودة القطع من خلال قياس عرض القطع في أماكن مختلفة من المسار. أيضاً استخدام أمبير أعلى يرفع الدخل الحراري للخامة ولتحسين جودة القطع يلزم لذلك استخدام سرعات قطع أعلى مع أمبير أقل. كما أن زيادة الدخل الحراري أدى إلى زيادة عرض مسار القطع. واستخدام سرعات قطع منخفضة مع الأمبير المرتفع نتج عنه طاقة حرارية أعلى للسطح، وبالتالي تزداد المنطقة المنصهرة. أيضاً التركيز الحراري الأعلى عند الزوايا الحادة أنتج عرض قطع أكبر عند جميع الأمبيرات المستخدمة. كما أن جودة القطع للأركان والزوايا رديئة مقارنة بقطع الخطوط المستقيمة، أما القطع عند

منه سبيكة الـ Brass النحاس الأصفر بخلطه مع الزنك Zn، كما صُنِع منه في العصور الوسطى الدروع الحربية، وبعض الأجهزة والمعدات الموسيقية بسبب كونه موصلًا جيدًا للكهرباء. ويُستخدم الـ Cu اليوم في صناعة الأسلاك والكابلات الكهربائية والأجهزة الإلكترونية، ويستخدم في مواد البناء بسبب مقاومته للتآكل، كما يدخل أيضاً في صناعة النقود المعدنية والمجوهرات. وشكل (1-أ)

والتشغيل بالقطع بقوس البلازما عملية قطع حرارية غير تقليدية، وتُستخدم على نطاق واسع في قطع المعادن وتُطبق لإجراء عمليات مختلفة كالقطع واللحام والمعالجة وما إلى ذلك. وفي السنوات الأخيرة، تم إجراء اختبارات تجريبية كبيرة تهدف إلى تحسين أداء عملية القطع بالبلازما [Hamid, A., et al. 2019. P. 7], [Parthiban, A., et al. 2018. P. 907]. وفي دراسة للتشغيل بالتفريغ بالبلازما، والحزمة الأيونية، والأيونية المركزة. تم الإشارة إلى هذه العمليات وشملت التشغيل بالحزمة الالكترونية (IBM) Ion Beam Machining والتشغيل بالحزمة الأيونية المركزة Focused Ion Beam Machining (FIBM)، والتشغيل بالتفريغ بالبلازما Plasma Discharge Machining (PDM). وآليات إزالة المواد والأجهزة المرتبطة والبرامج المتقدمة للتطبيقات الصناعية لهذه الفيزياء الكهربائية الرائعة كما تم مراجعة عمليات التشغيل الكيميائي جنباً إلى جنب مع أحدث نتائج البحوث [Allen, D. M. et al. 2009. P. 647].

كما تم دراسة قطع السيراميك بقوس البلازما وكان الهدف منه إنقاص عرض القطع وتحسين جودة القطع، تم استخدام قوس البلازما ذو الصمام الكهرومغناطيسي في قطع الألواح الخزفية الهندسية، ومن خلال التجارب والتحليلات تم استكشاف خصائص قوس البلازما، وتم تحديد تأثيرات الصمام الثانوي على كلاً من جودة القطع وخصائص القوس وعوامل العملية المثلى. فباستخدام هذه الأساليب الجديدة، حقق الباحثون جودة قطع أفضل وسرعات قطع أعلى. أيضاً، تم دراسة إمكانية تقليل الحمل الحراري للفوهة وبالتالي تحسين عمر الخدمة واستقرار العملية، فعندما كان قطر الفوهة 3 مم كان عرض القطع للوحة الخزفية Al₂O₃ ذات السمك 6 مم أقل من 4.6 مم، وكانت سرعة القطع إلى 0.9-1.2 م/دقيقة. [Xu, W.J. et al. 2002. P. 152].

وتم دراسة تأثير سرعة القطع بالبلازما والليزر على خصائص كلاً من حافة القطع والمتانة لتطبيقات المركبات الصفراء (معدات التشييد). تبين تأثر متانة المكونات الفولاذية المنتجة لتطبيقات المركبات Yellow Goods في المقام الأول بطوروف الحواف المقطوعة حرارياً. ففي مثل هذه التطبيقات الصعبة تم تشغيل حواف هياكل الشاسيهات بالقطع باستخدام الليزر والبلازما متروكة مكتشوفة بعد التشغيل النهائي. وعلى مدار فترات الخدمة الطويلة، تشكلت عيوب أثناء عمليات القطع كما يمكن بدء لشقوق الاجهاد، مما أدى إلى فشل الهيكل النهائي للتطبيق. وكان التلف الناتج عن كل عملية قطع مؤثراً بشكل مباشر على عمر اجهاد حواف القطع الناتجة. وأنتجت معالجة عامل سرعة القطع الفائقة الحرجة للعملية

الاستجابة التي تمت دراستها كانت زاوية التخريم. وتم مقارنة نتائج البحث بالبيانات الميدانية الفعلية. حصلت نتائج الدراسة على مزيج من العوامل المثلى 90 أمبير، 1800م/د، 3 قضبان ، وسمك 3 مم. أثر تيار القطع بنسبة 79.42٪ حالية وتلاه سرعة القطع. ازداد الفرق بين البيانات الفعلية والمزيج الأمثل. في حين تم تقليل وقت الانتهاء بمقدار 2.16 ثانية، وتم تقليل تكاليف التشطيب إلى 25.11 روبية لكل 100 مم [Hamid, A., et al. 2019. P. 7].

كما أمكن استغلال عوامل القطع بأشعة ليزر CO₂ للحديد العالي القوة: مراجعة قطع عدة أنواع عالية الصلابة، وكانت النتائج على غير العادة بالإيجاب بالمقارنة بالعمليات غير العادية الأخرى، كما أوضحت الدراسة أهمية التعرف على أثر القطع على خواص المادة وعوامل التشغيل المسؤولة عن التغيير. وتم عرض مواد وسماعات وتقنيات تطوير متباينة عن طريق باحثين آخرين.

[Rana, R.S. et al. 2018. p. 19191]

وأستخدم تحليل تجريبي للتشغيل بليزر Nd-YAG لقطع الخامات من الألواح عامة والخامات من الألواح العاكسة بشكل خاص [Sharma, A. & Yadava, V. 2018. P. 264]. ومن المعلوم أن النحاس الأحمر من أهم الخامات العاكسة.

2 مشكلة البحث Statement of the problem:

- هل تم دراسة تأثير السرعة على عرض القطع للـ Cu سمك 1 مم باستخدام PAM وعلى جودة القطع.

3 هدف البحث Objective

- دراسة تأثير السرعة على عرض القطع لضبط جودة أسطح الـ Cu سمك 1 مم.

- تحديد قيم سرعة القطع المثلى للحصول على عرض قطع في الحد الأدنى وجودة قطع أعلى.

4 أهمية البحث Significance

- مسح الدراسات البحثية في مجال قطع النحاس الأحمر بالـ PAM.

- الاحتياج إلى تطوير جودة القطع والتعرف على ضوابط تصميم مسار القطع في مجال تشغيل النحاس الأحمر بالـ PAM.

- دعم العاملين في مجال الـ PACM فنياً وتقنياً.

- نقل المعلومات العلمية والتجريبية في مجال قطع الـ Cu بالـ PA الي الصناعة كونها عملية غير تقليدية.

5 فروض البحث Hypothesis

- استخدام سرعات القطع معينة في مجال قطع أسطح الـ Cu سمك 1 مم بالـ PAM يُنتج عرض قطع في الحد الأدنى ويحقق جودة قطع أعلى.

6 منهج البحث Methodology

- استخدمت الدراسة المنهج التجريبي لبحث تأثير السرعة على عرض قطع أسطح الـ Cu سمك 1 مم بالـ PAM.

7- الدراسة التجريبية :-

تم إجراء تجارب الدراسة بماكينته تشغيل البلازما من نوع HyPertherm-HyPerformance Plasma Loyal Mak Max 130XD automated gas control [https://www.hypertherm.com] وبمنضدة تشغيل بمساحة 6 × 2م لقطع عينات التجارب 1م Cu بمساحة 100 × 150م لكل عينة.

ويوضح جدول 1 قيم سرعات القطع البلازما بالـ م/د، وبالـ سم/د، وتيار القطع بالأمبير، وجهد قوس البلازما بالفولت، وضغط الغاز بالبار/بوصة² أو بالبار المُستخدمة في إجراء القطع لجميع عينات التجارب من الـ Cu سمك 1م.

الزوايا المنفرجة فكان أفضل قليلاً من القطع عند الزوايا الحادة بسبب التركيز الحراري [Abouzaid, A., et al. 2018. P. 1]. كما تم دراسة عرض القطع ومعدل إزالة المواد في التشغيل بالسلك بالتفريغ الكهربائي للـ Ti-6Al-4V: ضبط متعدد الأهداف. قدمت الورقة استقصاء حول تأثير وضبط عوامل التشغيل على كلاً من عرض القطع والـ MRR لسبائك التيتانيوم (TI-6AL-4V) باستخدام الـ WEDM بسلك نحاس قطر 0.5 مم. أُجريت دراسات تجريبية على فترات بالشرر النبضي المتقطع والمتغير وفي ذروة التيار وفي تغذية وشد للسلك. وتم تعيين إعدادات عوامل التشغيل باستخدام طريقة التصميم التجريبي Taguchi. وتم عمل تجربة باستخدام خصائص الأداء المتعدد والمستند على التحليل الإحصائي للتباين (ANOVA) وتحليل الارتباط الأحادي (GRA). تم استخدام تحليل التباين لدراسة أهمية عوامل التشغيل بواسطة درجة العلاقة الأحادية (GRG) والتي أظهرت العامل الأكثر أهمية. وتم استخدام درجة العلاقة الأحادية التي تم الحصول عليها من تحليل الارتباط الأحادي لتحسين عملية الـ WEDM. تم تحديد العوامل المثلى بواسطة درجة العلاقة الأحادية كمؤشر للأداء العام. للتحقق من صحة النتائج، تم تنفيذ تجربة تأكيد في المجموعة المثلى من العوامل، ووجد أن النتائج المتوقعة متفقة جيداً مع النتائج التجريبية. ومن ثم تم تحسين أداء المعالجة المُطور في عملية الـ WEDM باستخدام هذا النهج [Saedon, J. B., et al. 2014. P. 111].

وتم مراجعة نمذجة وتطوير عملية التشغيل بالتفريغ الكهربائي EDM باستخدام التقنيات الحديثة. قُدمت مراجعة مسحية شاملة لمختلف عمليات التشغيل الحديثة. وتم التركيز بشكل رئيسي على جوانب التطوير للعوامل المختلفة لعمليات الـ EDM، وتضمنت الدراسة الأعمال البحثية التي تم فيها استخدام تقنيات التطوير المتقدمة. وامتدت فترة الدراسة المسحية من عام 2006 إلى 2015. وتم تصنيف الدراسة المسحية وفقاً لعمليات مختلفة كالتشغيل بالتفريغ الكهربائي، وتشكيل تجويف Die Sinking EDM بالتشغيل بالتفريغ الكهربائي بالسلك WEDM، والتشغيل بالبلازما بالتفريغ الكهربائي PMEDM، والتشغيل الدقيق Micro-Machining. وبالنظر في العديد من الدراسات تبين أنه لم يتم سابقاً محاولة إجراء مثل هذه المراجعة على نطاق واسع، وبالتالي قد يصبح عمل مراجعة هذه المعلومات وجاهزتها في مكان واحد من المفيد للغاية للباحثين اللاحقين لتقرير اتجاهات بحوثهم [Gangil, M. et al. 2017. P. 2048].

كما تم دراسة عوامل القطع بالبلازما للفولاذ المقاوم للصدأ L 316 بسمك 2 مم. اعتمدت جودة القطع على عملية اختيار العوامل المناسبة، وتم التحقق منها. تشمل العوامل التي تم أخذها في الاعتبار تيار قوس البلازما، وسرعة القطع والمسافة الفاصلة. تم بحث تأثير عوامل القطع على جودة القطع بشكل أكبر من خلال قياس عرض القطع العلوي وعرض القطع السفلي، وحافة القطع باستخدام تصميم عاملي كامل وأخيراً تم التوصل إلى أفضل عوامل مثلى للقطع [Parthiban, A., et al. 2018. P. 907]. وتم ضبط عوامل التشغيل ونتائج الجودة باستخدام القطع بقوس البلازما في سبائك الألومنيوم. وتم عمل دراسة ميدانية، وُجدت العديد من المشاكل بما في ذلك جودة القطع وتكلفة التشطيب لمعدن الألمنيوم. وللتغلب على هذه المشكلة، قام الباحث بتطبيق طريقة تحسين عملية العوامل من خلال الجمع بين طريقة Taguchi وتحليل العلاقة الأحادي مع اختيار تصميم المجموعة المتعامد L9 (34). وكانت المادة المستخدمة هي الألومنيوم 5083، وعوامل

جدول (1) قيم سرعات القطع بالـمم/د أو بالـسم/د، وتيار القطع بالأمبير، والجهد بالفولت، وضغط الغاز بالباوند أو البار المستخدمة في إجراء القطع لجميع عينات التجارب من الـ Cu سمك 1مم.

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

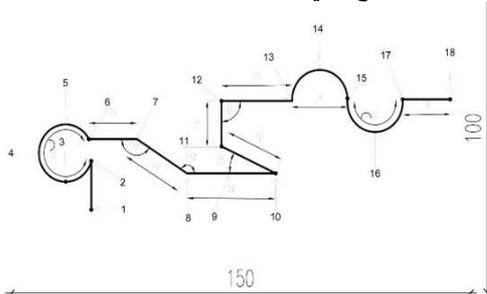
Cu:

بينما يوضح جدول 2 تركيب مادة العينات من خلال التكوين الكيميائي للسبيكة Cu_050 المستخدمة في تجهيز عينات التجارب للـ

جدول (2) يوضح التكوين الكيميائي لمادة Cu_050 المستخدمة في تجهيز عينات التجارب.

| Element | Cu | Zn | Pb | Sn | P | Mn | Fe |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Average | 99.90 | 0.0075 | 0.0005 | 0.0071 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0005 |

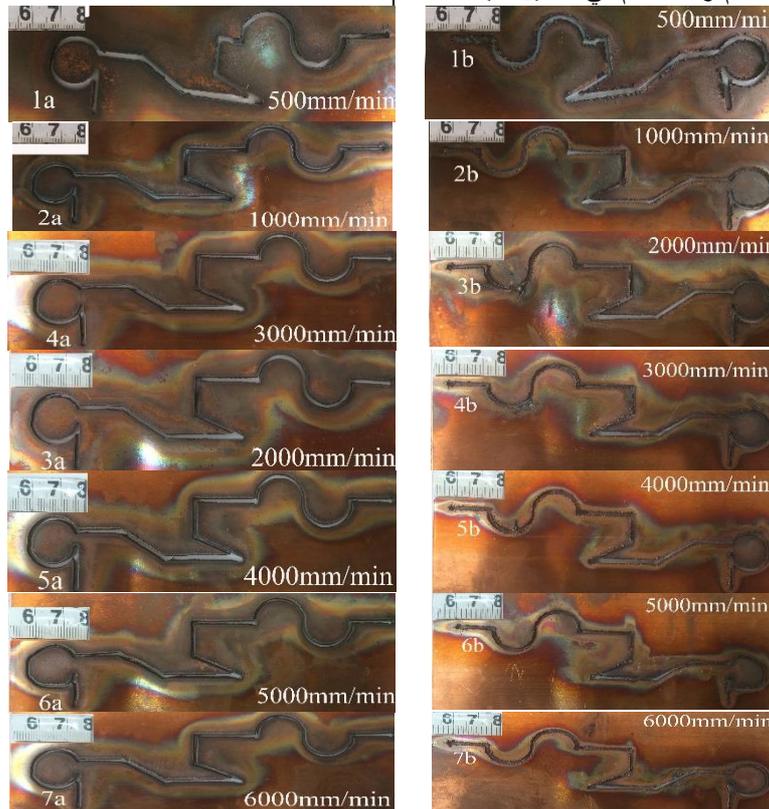
Cu بالقطع بالإضافة إلى النقاط المُشار إليها والتي تم عندها أخذ قياسات عرض القطع علي طول المسار.

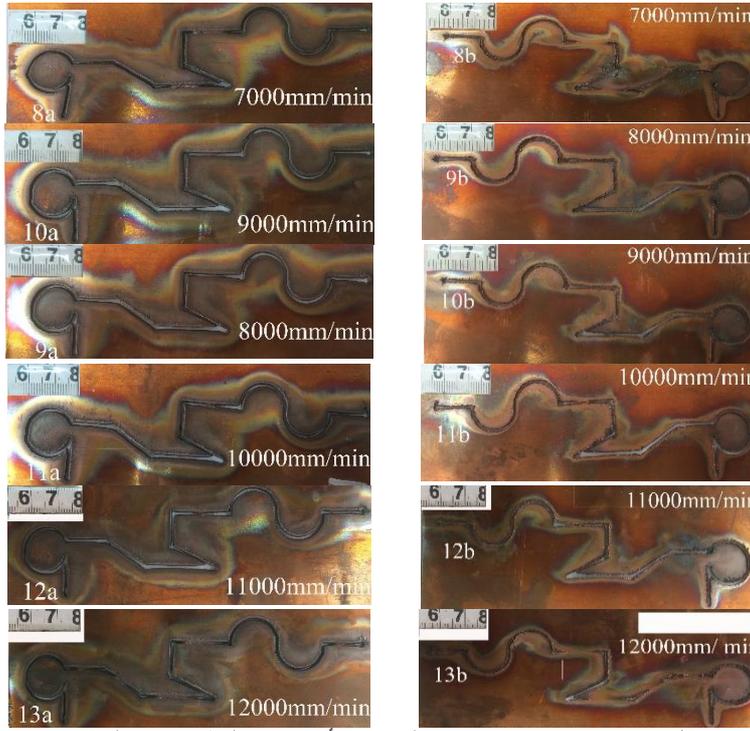


شكل (2) تصميم مسار القطع المُستخدم في تشغيل عينات قطع الـ Cu بقوس البلازما مع الإشارة إلى نقاط قياس عرض القطع. كما يوضح شكل 3 عينات التجارب بعد القطع بالبلازما مرتبة حسب السرعات المُستخدمة من الأدنى إلى الأعلى.

كما يوضح الملحق أ الوارد في آخر الدراسة القيم المُستخدمة لعوامل تشغيل القطع بقوس البلازما في تجارب الدراسة للعينات من 1- 13. وقد تم ترتيب سرعات القطع للعينات في عدد 13 تجربة بواقع 13 سرعة قطع تدرجت من السرعة الأدنى وحتى السرعة الأقصى بداية من 500مم/د وحتى 12000مم/د على التوالي. وتم تثبيت تيار القطع لكل العينات على السواء بقيمة 30 أمبير. تم تقييم الجودة من خلال قياس عرض مسار القطع عند النقاط الموضحة بواقع 18 نقطة على خط مسار القطع لكل عينة على حدة بإجمالي عدد 234 قراءة وتم تسجيل جميع القراءات. وقد تم الأخذ في الاعتبار أن تعالج نقاط القياس التي تم اختيارها معظم الأشكال التي يتعرض لها تصميم خط القطع بداية من الخط المستقيم وزاوية تقابل الخط الرأسي مع منحنى الدائرة والزوايا المنفرجة والقائمة والحادة وزاوية تقابل الخط الأفقي مع منحنى الدائرة والخط المنحني لعينات التجارب. وأشارت الدراسة إلى كل نقطة برقم على مسار القطع. ونتج عن القياس قراءات عرض القطع التي تم الحصول عليها وتم تسجيلها بالملحق (ب)، وتم تمثيل نتائج القياسات بالرسم البياني بالشكل 8.

وشكل 2 يوضح المسار المُصمم والمُستخدم في تشغيل عينات الـ





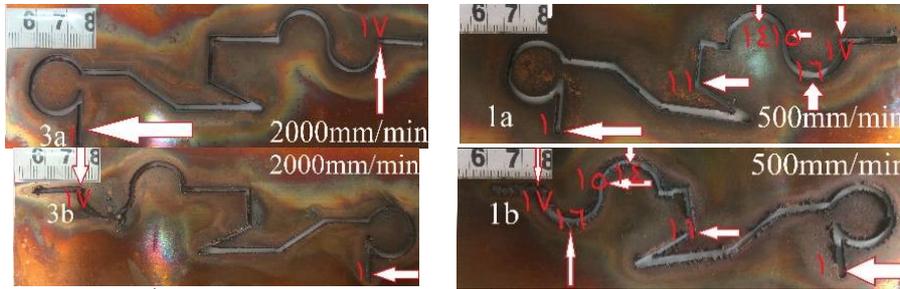
شكل (3) يوضح عينات تجارب النحاس الأحمر بعد القطع بقوس البلازما.

(راجع شكل 2) كانت أكبر قراءة لعرض القطع 2,212 مم (قيمة عرض قطع أقل من متوسطة) عند سرعة 500 مم/د، وبالمقارنة بالعينة 3، ب سجل عرض القطع عند نفس النقطة قراءة مقدارها 1,453 مم عند سرعة 2000 مم/د، ونجد أن زيادة سرعة القطع قلل من عرض القطع وكان لها تأثير واضح وزاد ذلك من جودة القطع.

8 نتائج البحث - Results

1-8- عرض مسار القطع وجودة القطع:-

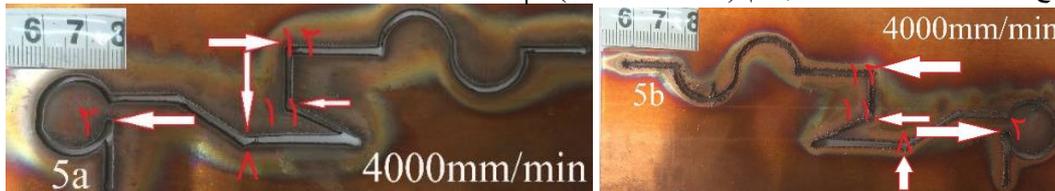
تم إجراء القطع لجميع العينات عند 30 أمبير وتمت الإشارة بأسهم إلى النقاط التي تم عندها إجراء القياس. إلى الأسفل شكل 4 وبيين عرض مسار القطع للعينة 1أ، ب من الجهتين من الأمام والخلف فعند بداية مسار القطع ويمثله النقطة 1 "ثقب المفتاح Key Hall"



شكل (4) يوضح عرض مسار قطع العينة 1أ، ب عند سرعة 500 مم/د وعند 30 أمبير للنقطة 1 مقارنة بعرض مسار قطع العينة 3أ، ب عند سرعة 2000 مم/د.

عند سرعة قطع 500 مم/د، نجد أن خفض سرعة القطع زاد من عرض القطع عند نفس النقطة وبالتالي قلت معه جودة القطع ونلاحظ أن القطع عند الزاوية الناتجة عن تقابل الخط الرأسي ومنحنى الدائرة أنتج عرض قطع أكبر.

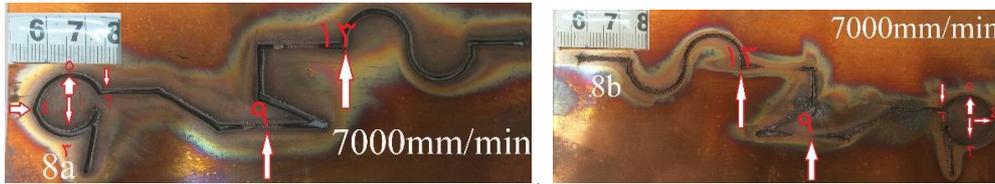
أيضاً يعرض شكل 5 مقارنة للعينة 5أ، ب عند الزاوية الناتجة عن تقابل الخط الرأسي مع منحنى الدائرة على المسار ويمثله النقطة 2 (راجع شكل 2) حيث سجلت أقل عرض لمسار قطع 2,819 مم عند سرعة 4000 مم/د، بينما سجلت نفس النقطة أعلى عرض للقطع للعينة 1أ، ب بقيمة 5,695 مم (قيمة عرض أكبر)



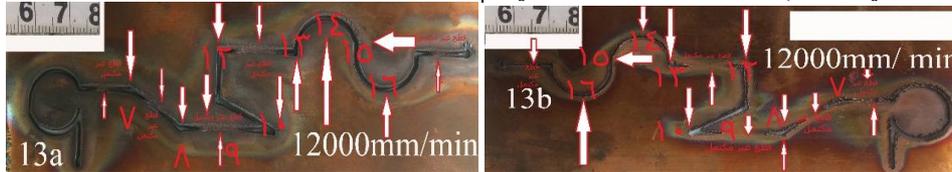
شكل (5) يوضح عرض مسار قطع العينة 5أ، ب عند سرعة 4000 مم/د للنقطة 2

و 2,327، 2,331 مم (قيم عرض أقل ودون المتوسط) عند السرعة الأدنى 500 مم/د على التوالي وأكد ذلك على زيادة في عرض القطع نتيجة خفض السرعة وقلت معه جودة القطع، كما أن القطع الغير منتظم لمحيط الدائرة سببه عدم توفر تقنية True Hole Technology في الماكينة وليس بسبب تقنية البلازما.

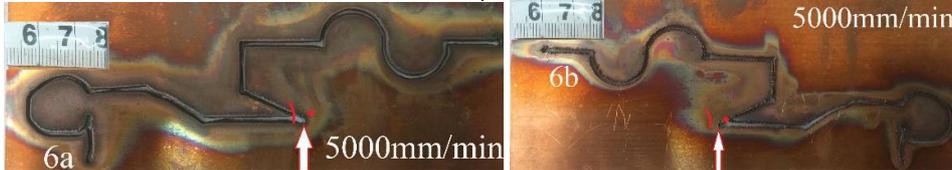
كما سجلت النقاط 3، 4، و 5، و 6 راجع شكل (2) والواقعة على محيط الدائرة على مسار القطع عروض قطع للعينة 8أ، ب قراءات بقيم 1,286، و 1,666، و 1,404، و 1,521 مم عند سرعة 7000 مم/د وشكل 6، بينما سجلت نفس النقاط للعينة 1أ، ب قراءات عرض قطع أعلى بقيم 1,605، و 2,293،



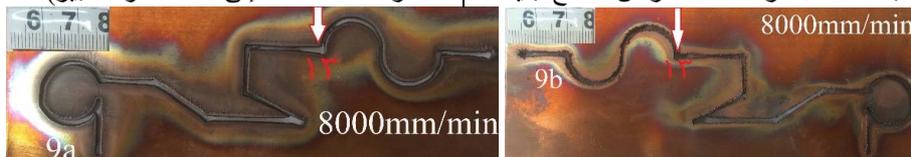
شكل 6) يوضح عرض مسار قطع العينة 8، ب عند سرعة 7000م/د للنقاط 3، و4، و5، و6 و كان عرض القطع عندها أعلى قراءة بقيمة 2,117مم شكل 7 نجد أن السرعة في الحد الأقصى أنتجت عرض قطع في الحد الأدنى وجودة قطع أعلى.



شكل 7) يوضح عرض مسار قطع العينة 13، ب عند سرعة 12000م/د للنقطة 7، 8، 9. أيضاً سجلت النقطة 8 (راجع شكل 2) ممثلة للزاوية المنفرجة على مسار القطع للعينة 13، ب شكل 7 عرض قطع أقل بقيمة 1,754مم عند سرعة 12000م/د، بينما سجلت نفس النقطة للعينة 5، ب شكل 5 قراءة متوسطة لعرض القطع بقيمة 2,591مم عند سرعة 4000م/د (وكانت معظم القراءات لباقي العينات دون المتوسطة) أكد هذا أيضاً على أن عرض القطع عند الزاوية المنفرجة زاد بخفض سرعة القطع وقل معه جودة القطع. كما سجل عرض القطع للنقطة 9 (راجع شكل 2) الواقعة على الخط المستقيم على مسار القطع للعينة 13، ب شكل 7 عرض قطع أقل بقيمة 1,504مم عند سرعة 12000م/د، بينما سجلت نفس النقطة للعينة 8، ب شكل 6 قراءة أقل لعرض القطع بقيمة 1,665مم عند سرعة 7000م/د هذا دل على أن عرض قطع الخط المستقيم زاد زيادة بسيطة بخفض سرعة القطع وقل معه

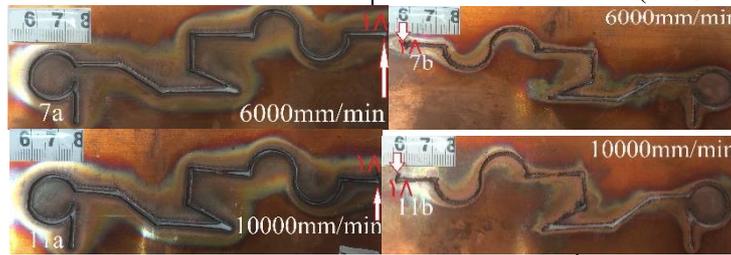


شكل 8) يوضح عرض مسار قطع العينة 6، ب عند سرعة 5000م/د للنقطة 10 كما سجلت النقطة 11 (راجع شكل 2) ممثلة للزاوية المنفرجة على مسار القطع للعينة 1، ب شكل 4 عرض قطع أقل بقيمة 1,494مم عند سرعة 500م/د، وبالمقارنة سجلت نفس النقطة للعينة 5، ب شكل 5 قراءة أقل من متوسطة لعرض القطع بقيمة 2,023مم عند سرعة 4000م/د أكد هذا على أن عرض قطع الزاوية المنفرجة زاد قليلاً بخفض سرعة القطع وقل معه جودة القطع ولكن سجلت باقي العينات قراءات أقل لعرض القطع. أيضاً سجلت النقطة 12 (راجع شكل 2) ممثلة للزاوية القائمة على مسار القطع للعينة 5، ب شكل 5 عرض قطع في الحد الأقصى بقيمة 2,718مم عند سرعة 4000م/د، بينما سجلت نفس النقطة للعينة 13، ب شكل 7 قراءة أقل لعرض القطع بقيمة



شكل 9) يوضح عرض مسار قطع العينة 9، ب عند سرعة 8000م/د للنقطة 13. أيضاً سجلت النقاط 14، و15، و16 (راجع شكل 2) الواقعة على الخط المنحني على مسار القطع أدنى قراءات بقيم 1,403، و1,14، و1,49م/د و عند سرعة 12000م للعينة رقم 13، ب شكل 7، ومقارنة بالعينة 1، ب شكل 4 سجلت نفس النقاط قراءات أعلى عند سرعة أقل 500م/د بقيم 2,247، و1,659، و

وسجلت النقطة 18 ممثلة في نهاية مسار القطع أقل قراءة لعرض القطع بقيمة 2.068 مم عند سرعة قطع 10000 مم/د للعيينة 11، ب، وبالمقارنة سجلت نفس النقطة أعلى قراءة لعرض القطع بقيمة 2.675 مم عند سرعة قطع 6000 مم/د للعيينة 7، ب شكل 10 (وكانت جميع القراءات متوسطة لباقي العينات).



شكل 10) يوضح عرض مسار قطع العينة 11، ب عند سرعة 10000 مم/د للنقطة 18 مقارنة بعرض مسار قطع العينة 7، ب عند سرعة 6000 مم/د.

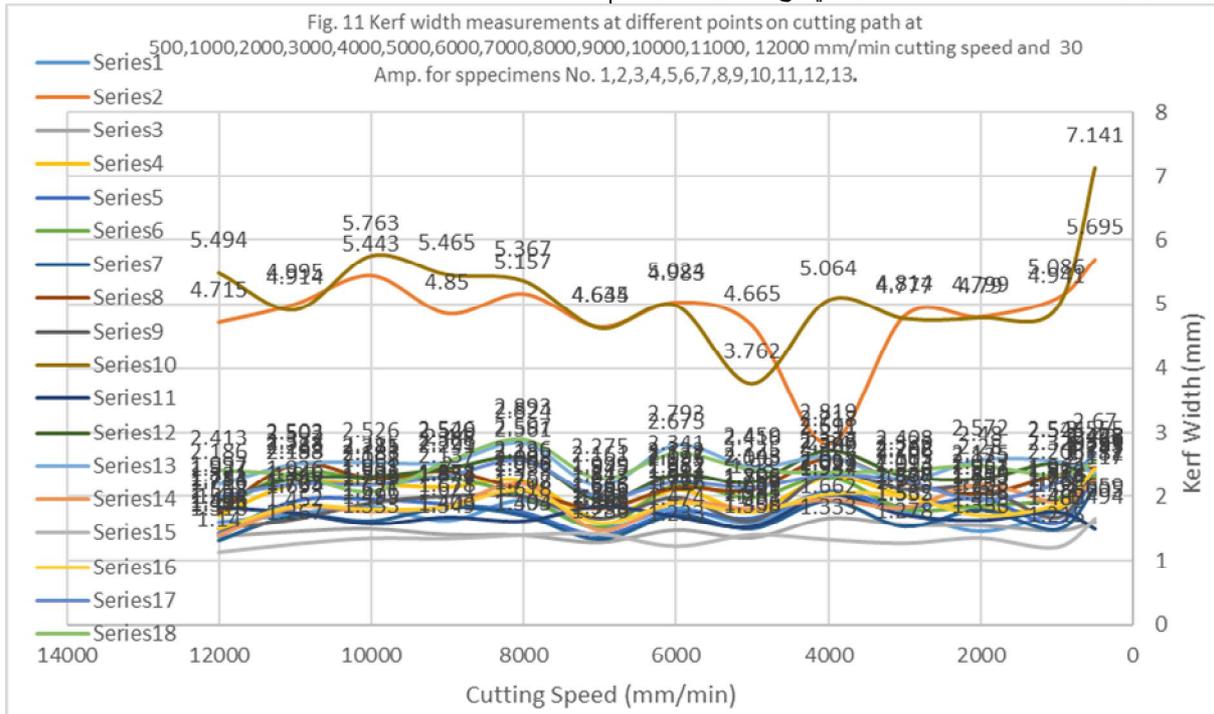
وعند الزاوية الحادة كان العرض في الحد الأقصى. وأن القطع غير المكتمل الناتج عن سرعات القطع الأعلى والمتوسطة سببه لدونة النحاس الأحمر لارتفاع درجة انصهاره.

2-8- التمثيل البياني لنتائج قياسات عرض مسار القطع:

الشكل 11 يوضح التمثيل البياني لنتائج قراءات قياسات عرض مسار القطع لعيّنات جميع التجارب عند سرعات قطع متدرجة عند 30 أمبير.

تقابل منحنى الدائرة مع الخط الأفقي على مسار القطع أقل قراءة لعرض القطع بقيمة 1,951 مم للعيينة 3، أ، ب عند سرعة قطع 2000 مم/د شكل 4، وبالمقارنة بالعيينة 1، أ، ب شكل 4 زادت القراءات لعرض القطع عند نفس النقطة بقيمة 2,67 مم عند خفض السرعة إلى 500 مم/د وبالتالي قل معه جودة القطع (وكانت جميع القراءات لباقي العينات أقل من متوسطة).

مما سبق تقرر الدراسة أن السرعات الأعلى أنتجت عرض قطع في الحد الأدنى وكانت جيدة عند بداية المسار وعلى الخط المستقيم والمنحني وللزاوية المنفرجة والقائمة وعند تقابل الخط الأفقي مع منحنى الدائرة، لكن أعطت عرض قطع في الحد الأعلى مع الزاوية الناتجة عن تقابل الخط الرأسي مع منحنى الدائرة وعند الزاوية الحادة، والسرعات الأعلى مناسبة لتوفير وقت وتكلفة التشغيل. كما أنتجت سرعات القطع الأدنى عرض قطع أكبر قليلاً باستثناء الزاوية الناتجة عن تقابل الخط الرأسي مع منحنى الدائرة



شكل 11) يوضح التمثيل البياني لجميع قراءات قياسات عرض القطع على مسار القطع عند سرعات قطع متدرجة و30 أمبير لجميع عينات التجارب 1: 13.

السرعات العالية أنتجت قطع غير مكتمل عند بعض الأجزاء على مسار القطع [Abouzaid, A. et al. 2018] & [Abouzaid, A. Oct. 2020] واتفقت الدراسة الحالية مع نتائج دراسة [Akkurt, A. 2014. P. 725] في أن البلازما ليست التقنية الأمثل في قطع النحاس الأحمر ويمكن استخدام تقنية الـ ووتر جيت.

9 الخلاصة Conclusion

أثرت سرعة القطع في الـ PACM على عرض وجودة قطع أسطح الـ Cu سمك 1 مم وتوصلت الدراسة إلى ما يلي:-
- زيادة سرعة القطع عند بداية مسار القطع أنتج عرض قطع أقل

ويتضح من منحنيات السلسلتان 2، 10 على الرسم البياني شكل 11 أن أكبر قيم لعرض القطع كانت عند النقطتين 2، 10 على مسار القطع على التوالي عند أدنى سرعة 500 مم/د، وأن أقل قيم لعرض القطع كانت عند منحنيات السلسلتان 3، 7، 15 عند النقاط 3، 7، 15 عند أقصى سرعة 12000 مم/د.

ثبوت العلاقة العكسية بين كلا من سرعة القطع وعرض مسار القطع كلما زادت سرعة القطع قل عرض القطع وزادت جودة القطع، وكلما قلت سرعة القطع زاد عرض القطع وقلت معه جودة القطع. أيضاً السمك الرقيق للنحاس وارتفاع درجة انصهاره وكبر الدخل الحراري Heat input المكتسب من قوس البلازما كونه مادة موصلة جيداً ساهمت جميعها في حدوث تليدين للمعدن ومع

- mm Al Using PAM for Optimizing Cutting Quality of Metal Surfaces. Unpublished.
- [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] 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: 2013-11-11-18. https://www.researchgate.net/profile/A_Akkurt/publication/266595900_akkurt/links/543508d50cf294006f737d73.pdf
- [4] 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
- [5] 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>
- [6] Hamid, A., Novareza, O., & Widodo, T (2019). Optimization of process parameters and quality results using plasma arc cutting in aluminum alloy. *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 7(1), 7-14. Submitted Dec, 18th 2018, Published May, 29th 2019. DOI: ub.jemis.2019.007.01.2
- [7] 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. http://uft-plovdiv.bg/site_files/file/scienwork/scienworks_2014/docs/part_1/5_%D0%9C%D0%A5%D0%92%D0%9F/161_Kountouras_Maropoulos.pdf
- [8] Madia, M.N & Patel, D.M. (2013). Effect of Focal length on surface roughness of 1mm

- وكان له تأثير واضح وزاد من جودة القطع.
- عند الزاوية الناتجة عن تقابل الخط الرأسي ومنحنى الدائرة أنتج القطع عرض قطع أكبر ومع خفض سرعة القطع زاد ذلك من عرض القطع وقل معه جودة القطع.
- سجلت النقاط الواقعة على محيط الدائرة على مسار القطع قيم عرض أقل ودون المتوسط عند السرعات الأعلى.
- عند النقطة 7 الممثلة للزاوية المنفرجة كان عرض القطع في الحد الأدنى بقيمة 1,316 مم وهي أقل قيمة تم تسجيلها للقياس وكذلك كانت جميع القراءات لباقي العينات أقل.
- عند النقطتان 8، 11 الممثلتان للزاوية المنفرجة كانت معظم القراءات للعينات دون المتوسطه وأكد هذا على أن عرض القطع عند الزاوية المنفرجة زاد أيضاً بخفض سرعة القطع وقل معه جودة القطع.
- عند الخط المستقيم سجلت السرعات الأدنى قراءات دون المتوسطه وسجلت السرعات الأعلى قراءات أقل وأنتجت قطع غير مكتمل لبعض أجزاء من مسار القطع.
- عند الزوايا الحادة سجلت معظم العينات قراءات كبيرة وفوق المتوسطه وزاد عرض القطع زيادة كبيرة مع خفض سرعة القطع وكانت جودة القطع في الحد الأدنى وأنتجت كل السرعات المستخدمة أكبر عرض قطع وكان سييء عند جميع الزوايا الحادة على مسار القطع.
- زاد عرض القطع عند الزاوية القائمة زيادة بسيطة مع خفض سرعة القطع وقل معه جودة القطع وأنتج عرض قطع متوسط عند جميع الزوايا القائمة على مسار القطع.
- عند النقطة 13 الناتجة عن تقابل الخط الأفقي مع منحنى الدائرة على مسار القطع كانت جميع قراءات العينات متوسطة ومقاربة ولم يُحدث نوع السرعة المستخدمة إلى حد ما تفاوت كبير.
- أشارت معظم القراءات عند النقاط 14، 15، و16 الواقعة على الخط المنحني لجميع العينات إلى أدنى عرض قطع مع سرعات القطع الأعلى وقراءات عرض قطع أقل من متوسط مع سرعات القطع الأقل وكانت جودة القطع جيدة.
- سجلت النقطة 17 الممثلة للزاوية الناتجة عن تقابل منحنى الدائرة مع الخط الأفقي قراءة أقل لعرض القطع وكانت جميع قراءات باقي العينات أقل من متوسطة.
- عند نهاية مسار القطع كانت جميع قراءات عرض القطع للعينات متوسطة.
- السرعات الأعلى أنتجت عرض قطع في الحد الأدنى لجميع العينات وكانت جيدة عند بداية المسار وعلى الخط المستقيم والمنحني وللزوايا المنفرجة والقائمة وعند تقابل الخط الأفقي مع منحنى الدائرة، لكن أعطت عرض قطع في الحد الأعلى مع الزاوية الناتجة عن تقابل الخط الرأسي مع منحنى الدائرة وعند الزاوية الحادة، وتعتبر السرعات الأعلى مناسبة لتوفير وقت وتكلفة التشغيل.
- أن سرعات القطع الأدنى أنتجت عرض قطع أكبر قليلاً لجميع العينات باستثناء الزاوية الناتجة عن تقابل الخط الرأسي مع منحنى الدائرة وعند الزاوية الحادة كان العرض في الحد الأقصى. وأن القطع غير المكتمل الناتج سببه سرعات القطع الأعلى بالإضافة إلى اللدونة العالية للنحاس الأحمر.
- العلاقة العكسية بين كلا من سرعة القطع وعرض مسار القطع كلما زادت سرعة القطع قل عرض القطع وزادت جودة القطع عند أقصى سرعة 12000 مم/د، وكلما قلت سرعة القطع زاد عرض القطع وقلت معه جودة القطع عند أدنى سرعة 500 مم/د.

المراجع References

- [1] Abouzaid, A. (2020). Investigating the Effect of Amper and Cutting Speed on KW of 10

multi-objectives optimization. In *2014 2nd International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment* (pp. 111-116). IEEE.

DOI: 10.1109/TIME-E.2014.7011602

- [13] 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>
- [14] Thomas, D.J. (2011). The influence of the laser and plasma traverse cutting speed process parameter on the cut-edge characteristics and durability of Yellow Goods vehicle applications. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. (13), 120–132, received 15 March 2010, received in revised form 14 December 2010, accepted 2 February 2011, available online 6 April 2011, from ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2011.02.002>
- [15] Xu, W.J., Fang, J.C. & Lu, Y.S. (2002). Study on ceramic cutting by plasma arc. *Journal of Materials Technology*, (129) 152-156. From Elsevier Science. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00600-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00600-3)
- [16] <https://en.wikipedia.org/wiki/Copper>
- [17] <https://www.hypertherm.com/hypertherm/hyperperformance/hyperperformance-hpr130xd/>

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.

- [9] Parthiban, A., Prasath, J. P., Vivek, P., & Pugazhenth, R. (2018). Experimental Investigation of plasma arc cutting for stainless steel sheet, ' *International journal of mechanical and production engineering research and development*, 8(1), 907-914. Received: Dec 07, 2017; accepted: Dec 27, 2017; published: Jan 31, 2018. DOI:10.24247/ijmperdfeb2018110
- [10] Rana, R.S., Rajatchouksey., Dhakad, K.K. & Paliwal, D.(2018) .Optimization of process parameter of Laser beam machining of high strength steels: a review. *Materials today: proceedings*, Vol. (5), 19191-19199, from ScienceDirect <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.274> et rights and content
- [11] 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 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>
- [12] Saedon, J. B., Jaafar, N., Yahaya, M. A., Nor, N. M., & Husain, H. (2014, August). A study on kerf and material removal rate in wire electrical discharge machining of Ti-6Al-4V:

12- ملاحق الدراسة:-

12-1- ملحق أ): إلي الأسفل الملحق أ ويوضح قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما المستخدمة في تجارب الدراسة للعينات من 1-13.

| Exp/Sppicme n. NO. | Current (Amp) | Arc Voltage | Gas Pressure (Bar) | Gas Pressure (Psi) | Cutting speed mm/min | Cutting speed cm/min | Remarks |
|--------------------|---------------|-------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|
| 1 | 130 | 130 | 3 | 60 | 500 | 50 | |
| 2 | 130 | 130 | 3 | 60 | 1000 | 100 | |
| 3 | 130 | 130 | 3 | 60 | 2000 | 200 | |
| 4 | 130 | 130 | 3 | 60 | 3000 | 300 | عرض قطع أعلى عند السرعات الأدنى وعرض |
| 5 | 130 | 130 | 3 | 60 | 4000 | 400 | قطع أدنى عند السرعات الأعلى |
| 6 | 130 | 130 | 3 | 60 | 5000 | 500 | |
| 7 | 130 | 130 | 3 | 60 | 6000 | 600 | |
| 8 | 130 | 130 | 3 | 60 | 7000 | 700 | |
| 9 | 130 | 130 | 3 | 60 | 8000 | 800 | |
| 10 | 130 | 130 | 3 | 60 | 9000 | 900 | |
| 11 | 130 | 130 | 3 | 60 | 10000 | 1000 | |
| 12 | 130 | 130 | 3 | 60 | 11000 | 1100 | |
| 13 | 130 | 130 | 3 | 60 | 12000 | 1200 | |

ملحق أ) يوضح قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما المستخدمة في تجارب الدراسة للعينات أرقام من 1-13.

12-2- ملحق ب): إلي الأسفل الملحق ب ويوضح قراءات عرض مسار القطع الناتجة عن قياسات قطع العينات من خلال قيم التشغيل المستخدمة في تجارب القطع بقوس البلازما للـ Cu.

| KW (mm) Specimen No. | Cu KW- Thickness 1 mm. Measurement locations | | | | | | | | | | | | | | | | | | Cutting speed | Amp |
|----------------------------|--|--------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|---------------|--------------|---------|------------|------------|------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | |
| 1 | 2.21 | 5.69 | 1.60 | 2.293 | 2.327 | 2.331 | 2.117 | 2.448 | 2.42 | 7.141 | 1.494 | 2.182 | 2.36 | 2.247 | 1.659 | 2.43 | 2.67 | 2.555 | 500 | 30 |
| 2 | 1.74 | 5.08 | 1.46 | 1.816 | 1.586 | 1.964 | 1.485 | 2.329 | 1.68 | 4.941 | 1.762 | 2.525 | 2.54 | 1.912 | 1.215 | 1.878 | 2.20 | 2.323 | 1000 | 30 |
| 3 | 1.43 | 4.79 | 1.54 | 1.819 | 1.962 | 1.859 | 1.795 | 2.037 | 2.12 | 4.79 | 1.63 | 2.28 | 2.57 | 2.175 | 1.356 | 1.703 | 1.95 | 2.48 | 2000 | 30 |
| 4 | 1.77 | 4.81 | 1.56 | 2.013 | 1.839 | 1.807 | 1.535 | 2.206 | 2.10 | 4.777 | 1.715 | 2.323 | 2026 | 1.828 | 1.278 | 1.994 | 2.23 | 2.408 | 3000 | 30 |
| 5 | 2.08 | 2.81 | 1.66 | 2.289 | 2.067 | 2.302 | 1.934 | 2.591 | 2.34 | 5.064 | 2.023 | 2.718 | 2.61 | 1.947 | 1.333 | 2.031 | 2.34 | 2.377 | 4000 | 30 |
| 6 | 1.58 | 4.66 | 1.35 | 1.788 | 1.669 | 1.98 | 1.5 | 2.095 | 1.63 | 3.762 | 1.531 | 2.225 | 2.45 | 1.806 | 1.406 | 1.752 | 2.14 | 2.416 | 5000 | 30 |
| 7 | 1.81 | 5.02 | 1.47 | 2.095 | 1.767 | 2.172 | 1.716 | 2.127 | 1.98 | 4.983 | 1.69 | 2.341 | 2.79 | 1.917 | 1.233 | 1.891 | 2.22 | 2.675 | 6000 | 30 |
| 8 | 1.48 | 4.64 | 1.28 | 1.666 | 1.404 | 1.521 | 1.336 | 1.813 | 1.66 | 4.634 | 1.847 | 1.945 | 2.16 | 1.48 | 1.42 | 1.579 | 1.99 | 2.275 | 7000 | 30 |
| 9 | 1.92 | 5.15 | 1.39 | 2.236 | 1.757 | 2.006 | 1.708 | 2.088 | 1.99 | 5.367 | 1.618 | 2.597 | 2.82 | 2.185 | 1.404 | 2.098 | 2.56 | 2.893 | 8000 | 30 |
| 10 | 1.61 | 4.85 | 1.40 | 2.137 | 1.878 | 2.291 | 1.834 | 2.388 | 2 | 5.465 | 1.678 | 2.44 | 2.52 | 1.852 | 1.349 | 1.832 | 2.32 | 2.546 | 9000 | 30 |
| 11 | 1.83 | 5.44 | 1.49 | 2.181 | 1.951 | 2.275 | 1.621 | 2.281 | 1.90 | 5.763 | 1.576 | 2.315 | 2.52 | 1.769 | 1.353 | 1.793 | 2.18 | 2.068 | 10000 | 30 |
| 12 | 1.75 | 4.95 | 1.45 | 2.188 | 1.926 | 2.377 | 1.703 | 2.503 | 1.65 | 4.914 | 1.747 | 2.283 | 2.50 | 1.83 | 1.267 | 1.846 | 2.19 | 2.328 | 11000 | 30 |
| 13 | 1.58 | 4.71 | 1.37 | 1.716 | 1.436 | 1.783 | 1.316 | 1.754 | 1.50 | 5.494 | 1.831 | 1.937 | 2.18 | 1.403 | 1.14 | 1.49 | 1.99 | 2.413 | 12000 | 30 |
| ملاحظات على القطع | قيم أقل من متوسط القطع | أكبر عرض قطع | أقل عرض قطع | قيم أقل من متوسطة | قيم أقل من متوسطة | قيم أقل من متوسطة | عرض قطع في الحد الأدنى | قطع غير مكتمل | أكبر عرض قطع | أقل عرض | قيم متوسطة | قيم متوسطة | قيم متوسطة | أقل عرض قطع | قيم أقل من متوسط | قيم أقل من متوسط | قيم أقل من متوسط | قيم متوسطة | | |

الرموز ومصطلحاتها:-

| الرمز | المصطلح | التشغيل |
|-------|----------------------------------|--|
| PACM | Plasma Arc Cutting Machining | التشغيل بالقطع بقوس البلازما |
| Cu | Copper | النحاس |
| AWJ | Abrasive Water Jet | القذف النفاث بالماء والحبيبات |
| MMR | Material Removal Rate | معدل إزالة المواد |
| EDM | Electro-Discharge Machining | التشغيل التفريغ الكهربائي |
| WEDM | Wire Electro Discharge Machining | التشغيل بالقطع بالسلك بالتفريغ الكهربائي |
| PAM | Plasma Arc Machining | التشغيل بقوس البلازما |
| EBM | Electron Beam Machining | التشغيل بالحزمة الإلكترونية |