

## فحص تأثير الأمبير وسرعة القطع على عرض القطع باستخدام التشغيل بقوس البلازما لضبط جودة قطع الأسطح المعدنية من الـ AI سمك 10 مم

### Investigating the Effect of Ampere and Cutting Speed on KW of 10 mm AI Using PAM for Optimizing Cutting Quality of Metal Surfaces

د/ عبدالرحمن أبو زيد.

(1) أستاذ مساعد بقسم المنتجات المعدنية والحلى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر. abdelrahman169@hotmail.com

#### كلمات دالة : Keywords

التشغيل بقوس البلازما  
Plasma Arc Machining  
أمبير تيار القطع  
Cutting Current Ampere  
سرعة القطع  
Cutting Speed ،  
عرض القطع  
Kerf Width ،  
جودة القطع  
Cutting Quality

#### ملخص البحث : Abstract

تهدف الدراسة إلى فحص تأثير الأمبير وسرعة القطع على عرض القطع لضبط جودة قطع أسطح الـ AI سمك 10 مم وذلك باستخدام التشغيل بقوس البلازما. والبلازما تقنية بديلة متاحة وغير مكلفة وسريعة مقارنة بغيرها من التقنيات الأخرى كالتشغيل بالقذف النفث والماء والحيبيات والتشغيل بحزمة الليزر. تم الأخذ في الاعتبار لقيم الأمبير وسرعة القطع للحصول على تأثير هذه العوامل على جودة القطع. تم استخدام المنهج التجريبي لتشغيل 27 عينة بالقطع موزعة في ثلاثة مجموعات وتم استخدام سرعة قطع مختلفة لكل مجموعة على حدة، و 9 قيم متدرجة من الأمبير. واشتمل تصميم مسار القطع على الخط المستقيم والزوايا الحادة والقائمة والمنفرجة وزاوية تقابل الخط المائل مع قوس المنحنى، والخط المنحني. تم فحص وتسجيل قراءات قياسات عرض القطع لجميع النقاط على المسار. وتم مقارنة النتائج ومناقشتها وتمثيلها بيانياً لتحديد القيم التي يمكن استخدامها في الحصول على جودة قطع مثلى. ومن أهم نتائج الدراسة أن بعض القيم التي تم تسجيلها أتاحت عرض قطع أقل باستخدام أمبيرات وسرعات قطع متوسطة وأنتجت جودة قطع أعلى، كما أن استخدام سرعات قطع عالية عند نقطة بداية القطع (تقب المفتاح) أنتج عرض قطع في الحد الأدنى إلا أن زيادة الأمبيرات كان لها التأثير الأكبر وزادت من عرض القطع. أيضاً استخدام أمبيرات أقل عند الخط المستقيم لمسار القطع أنتج عرض قطع أقل ويزيادة سرعة القطع أصبح عرض القطع في الحد الأدنى، أما استخدام أمبيرات أعلى أنتج عرض قطع في الحد الأقصى للعينات وللحصول على جودة قطع مناسبة فإن ذلك يتطلب استخدام سرعات قطع أعلى مع أمبيرات أقل لإتاحة عرض قطع في الحد الأدنى، وتبين أن العلاقة طردية بين الأمبير وعرض القطع فكلما زاد الأمبير زاد عرض القطع وكلما قل الأمبير قل عرض القطع وزادت جودة القطع. كما قل عرض القطع بخفض الأمبير عند الزاوية القائمة، وزاد عرض القطع بزيادة الأمبير عند نفس سرعات القطع المستخدمة للزاوية القائمة وعند منتصف المنحنى على مسار القطع. وبالإضافة إلى ذلك كانت جودة عرض القطع عند الزاوية المنفرجة والقائمة أقل بكثير من جودة عرض القطع عند الزاوية الحادة وزاوية تقابل الخط المائل مع المنحنى. لكن مع خفض الأمبير قل عرض القطع وزادت جودة القطع، وكان القطع سيئاً عند الزاوية الحادة وزاوية تقابل الخط المائل مع قوس المنحنى لذا يجب تجنبها عند تصميم مسار القطع بقوس البلازما. أيضاً استخدام سرعات قطع عالية عند الزوايا الحادة مع أمبيرات أقل أنتج عرض قطع أقل وجودة أعلى، وأن جميع سرعات القطع والأمبيرات المستخدمة عند الزاوية القائمة والزاوية الناتجة عن تقابل الخط المائل مع المنحنى أنتجت عرض قطع في الحد الأقصى بعكس القطع عند الزاوية القائمة كان عرض القطع أقل وفي الحد الأدنى. كما أن استخدام سرعة منخفضة وأمبير أقل أتاح عرض قطع أقل عند نهاية المنحنى لمسار القطع، 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، كما أن سمك 10 مم للألومنيوم منع حدوث صهر لحواف القطع أثناء التشغيل وساعد السمك الأعلى على الاحتفاظ بالدخل الحراري للتشغيل بخلاف السماكات الرقيقة. كما تبين صعوبة ضبط قطع السماكات الرقيقة للألومنيوم بسبب احتفاظ السطح بالحرارة المتولدة من التشغيل وانصهاره. وكانت أقل قراءة 2,217 مم عند الزاوية القائمة نتيجة استخدام القيم 190 أمبير مع سرعة قطع 100 مم/د وجهد القوس 130 فولت وضغط غاز 4,2 بار وتعد الأمثل للحصول على عرض قطع في الحد الأدنى وجودة قطع أعلى.

Paper received 13th of July 2020, accepted 17th of November 2020, Published 1<sup>st</sup> of March 2021

الحراريات والتي أتاحت القطع بالبلازما للمواد غير الحديدية باستخدام النيتروجين والماء [Blanks, C. F. S. 1986]. فكتيرا ما تُستخدم عملية القطع بقوس البلازما في الفولاذ المقاوم للصدأ وسبائك الصلب وفي قطع الـ AI وغيرها من المواد [Bhowmick, S. et al 2018. p. 4541]. والبلازما أو قوس البلازما جزيئات مشحونة موجبة وسالبة وذرات وجزيئات مثارة ومحايطة، وتحتوي على جزيئات حرة موصلة للكهرباء وتخضع لتأثيرات المجال الكهرومغناطيسي، وقد ناقشت إحدى الدراسات السابقة استخدام تكنولوجيا القطع بالبلازما من خلال ماكينة التحكم الرقمي بالكمبيوتر (CNC)، وأوضحت الدراسة عوامل عدة تحدد الجودة الناتجة عن القطع بالبلازما، كما أشارت إلى تأثير بعض العوامل باختيار ماكينات الـ CNC وغيرها أثناء التشغيل، وكذلك إعدادات عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما، كما وصفت الدراسة جميع عوامل ومراسل القطع بالبلازما والمواد المقطوعة بالتفصيل، بما في ذلك الرسومات البيانية التي أوضحت العلاقة بين سمك الألواح وسرعة القطع، أيضاً بينت الدراسة الغازات المستخدمة في القطع أو التبريد أو

#### مقدمة : Introduction

يُصنف القطع بقوس البلازما في تشغيل المعادن بالإزالة على أنه إحدى العملية الكهروحرارية المبنية أليتها على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية [Pandey, P.C. and Shan, H.S., 1980. P. 114]. فقد كان قطع المواد في السابق سواءً الحديدية أو غير الحديدية خاصة الفولاذ المقاوم للصدأ والـ AI دائماً ما يمثل تحدياً تقنياً مثيراً للاهتمام، إن تقنيات البلازما والقذف بالليزر النفث تُعد من التقنيات الأكثر استخداماً في مجال قطع مثل هذه المواد بسبب دقة القطع وأسعار التشغيل المناسبة، فعادة ما يتم قطع السماكات العالية والمتوسطة من الفولاذ المقاوم للصدأ بقوس البلازما مع استخدام النيتروجين، والذي يتم خلطه في نهاية المطاف بغازات الأرجون والهيدروجين مما يحقق نتائج قطع نوعية وجيدة ولكن تكلفه القطع بالنيتروجين مرتفعة، أيضاً تم استخدام الهواء المضغوط أو النيتروجين أو مخلوط من النيتروجين والهيدروجين مع السماكات الأقل، وسلفاً تم إنشاء تقنية Water Mist Secondary (WMS<sup>TM</sup>) بمعامل أبحاث ديناميكا

AI، ويمتاز الـ AI بمقاومته للتآكل بسبب ظاهرة التخميل وبخفة وزنه بسبب كثافته المنخفضة. ويدخل في صناعة مجموعة كبيرة من المنتجات منها الأدوات المنزلية كاواني الطهي والساعات وأعمدة الإنارة .

يدخل الـ AI في صناعة العديد من المنتجات ذات السماكات العالية كالمسبوكات ومقابض الأبواب وأعمال التصفيح والحلايا والزخارف التي تستخدم في حشوات أبواب المساجد وأعمال التجميل، ويوضح شكل (1) باب مزخرف بمواسير ذات قطاعات مستطيلة ومصممة من الـ AI سمك 10مم ومشغلة بالقطع بتقنية الووتر جيت بمسعى الصفا والمروة بالمسجد الحرام بمكة المكرمة، كما يوضح شكل (2) غطاء مُشكل بالصب لقاعدة عمود ومزخرف بحلايا من الـ AI المأنود بالذهب والزخارف مشغلة بالقطع بتقنية الووتر جيت بالمسجدي النبوي بالمدينة المنورة.



شكل (2) حلبة مزخرفة لقاعدة عمود من الـ AI المأنود بالذهب بالمسجدي النبوي بالمدينة المنورة.

تسهيل عملية إشعال قوس البلازما [Kudrna, L. and Merta, M., 2017 P. 949].

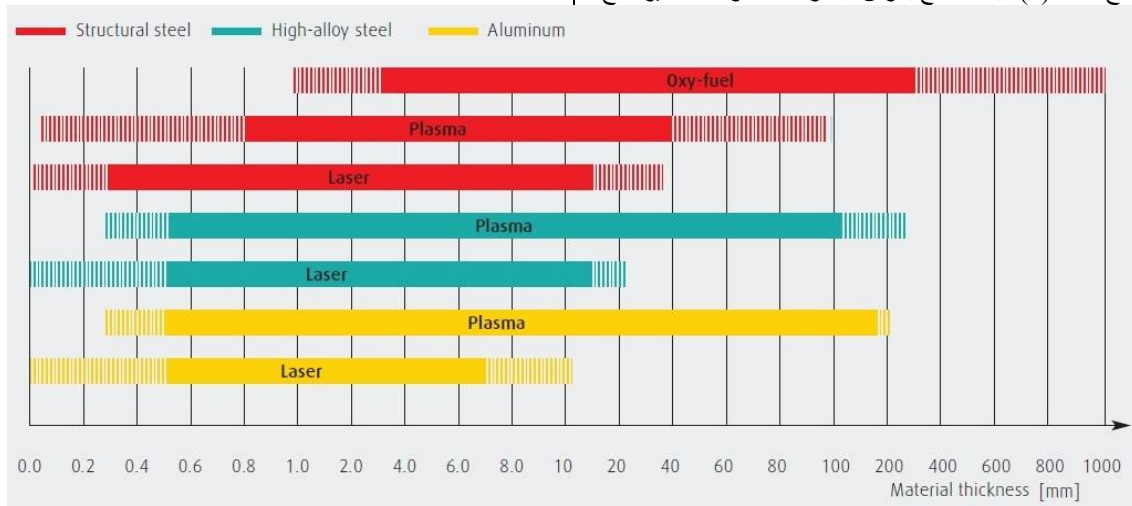
ورمز الألومنيوم AI وعدده الذري 13، وهو فلز لونه أبيض فضي قابل للسحب ودرجة كثافته 2,7جم/سم<sup>3</sup> ودرجة انصهاره 660م°، ومن أكثر الفلزات وفرة في القشرة الأرضية، وترتيبه الثالث بعد الأكسجين والسيليكون، ويشكل الـ AI 8% من وزن سطح الأرض الصلب. ويعتبر الـ AI من أكثر المعادن فعالية كيميائية كمعدن حر، ولذلك نجده مرتبطاً بأكثر من 270 معدن مختلف [Shakhashiri, B. Z. 2012]. وفي عام 1808م كانت كلمة الألومنيوم الاقتباس المبتكر في قاموس أكسفورد الإنجليزي لأي كلمة تُستخدم كاسم لهذا المعدن هو Alumiium، وفي عام 1826م قررت جمعية الكيميائيين الأمريكية رسمياً استخدام كلمة AI في منشوراتها، ويُعد البوكسيت المصدر الرئيسي لخام الـ



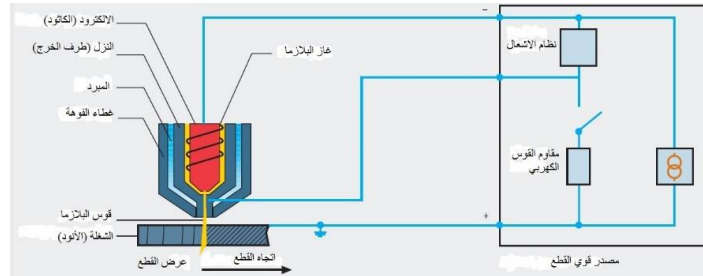
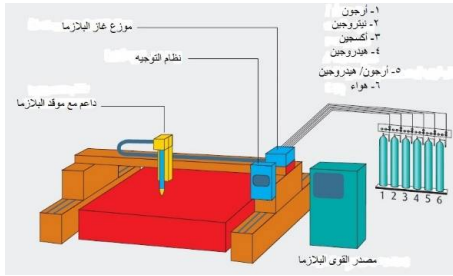
شكل (1) يوضح باب مزخرف بمواسير ذات قطاعات مستطيلة ومصممة من الـ AI سمك 10مم ومشغلة بالقطع بتقنية الووتر جيت بمسعى الصفا والمروة بالمسجد الحرام بمكة المكرمة.

شكل (5) إعدادات القطع بالبلازما [Kudrna, L. and Merta, M., 2017 P. 950]

ولعملية القطع بقوس البلازما تطبيقات واسعة في مجال تشغيل الـ AI كما هو موضح في شكل (3) [BOC. 2011 P. 4]، أيضاً يوضح شكل (4) مبدأ القطع بقوس البلازما المنقول، كما يوضح



شكل (3) يوضح مساحات تطبيق عمليات القطع الكهروحرارية ومن بينها القطع بقوس البلازما علي خامات مختلفة من بينها الـ AI ذو سماكات عالية تصل إلي 200مم.



شكل (5) يوضح اعدادات القطع بالبلازما

واشجار القرار. أوضحت هذه التقنيات قيم القطع الأكثر صلة والأمثل لعوامل التشغيل للحصول على الشكل الهندسي المطلوب ومستويات الجودة الميكانيكية. ونتيجة لهذه الدراسة تم تأسيس القواعد العامة لشكل مواصفات إجراء القطع. كان هذا مطلوباً لوصف العلاقة بين عوامل التشغيل بحزمة الليزر وقوس البلازما لجودة الهندسية والميكانيكية لحواف قطع مختلفة لخامات الصلب المتوسط والعالى القوة. كما أمكن اعتماد القواعد المقترحة لتوفير مقارنة بين الصفات السطحية القابلة للتحقيق بواسطة مجموعة مختلفة من عوامل القطع بالليزر والبلازما لتشغيل الفولاذ المتوسط

والعالى القوة [Klimpel, A., et al 2017. P. 699]

كما تم استقصاء تشكيل الألومنيوم AA6082 على الساخن باستخدام نيتروكاربوريديز البلازما المتقدمة تجريبياً وتم تطوير تقنية مبتكرة تمكن من تشكيل الـ AI على الساخن والبارد مع القليل من مواد التشحيم باستخدام المعالجة الحرارية للبلازما وتقنيات ترسيب البخار الفيزيائي للقوس الكاثودي، وتم التحقق من أداء التشكيل وأظهرت النتائج أن الطلاء المحضر قل بشكل كاف من التصاق الـ AI بسطح الأداة، إلى الحد الذي حقق فيه انخفاضاً بنسبة 80% مع زيوت التشحيم على الساخن للجزء بعمق رسم 70 مم، وأظهر مورفولوجيا القالب أن التصاق الـ AI في منطقة زاوية القالب لا يزال ملحوظاً حيث تضاعف ضغط التلامس، بينما لم يلاحظ أي التصاق شديد على الأسطح المستوية العلوية، كما تم إجراء تحقيق آخر على مقاييس المرحلة الساخنة والباردة لتحديد معامل الاحتكاك ومقاومة التآكل لمواد التبريد التي وجد أنها

مرتبطة بصلابة الـ [Al. Dong, Y., et al 2017. P. 190]. وقدمت دراسة تجريبية ورقة في قطع الفولاذ المقاوم للصدأ AISI 304 بقوس البلازما. تم مراعاة ثلاث عوامل تشغيل وثلاث مستويات لكل عامل. تم استخدام ضغط الغاز، سرعة القطع، وسلك الخامة كعوامل تشغيل. تم تصميم التجربة بشكل كامل بتحديد عواملها وكانت في 27 شوط تجريبي. بعد إجراء التجارب تم قياس MRR وتم إجراء تحليل التباين لتحديد تأثير كل عوامل عملية التشغيل على MRR. أيضاً تم إجراء تحسين متعدد الأهداف للتوصل للقيمة المثلى لـ MRR لمجموعة من القيم المتوقعة لعوامل عملية التشغيل [Bhowmick, S. et al 2018. p. 4541].

وفي دراسة تجريبية كان هدفها تقييم عوامل التشغيل مثل طاقة القطع والسرعة وارتفاع رأس القطع وضغط غاز البلازما، تم التحقق من عملية القطع بقوس البلازما لتقييم جودة القطع، وتم رصد جودة القطع عن طريق قياس زاوية حافة القطع (المخروطية)، كما تم إجراء تحليل إحصائي للنتائج من أجل بيان تأثير كل عامل على جودة القطع التي تم تحديدها، وتم استخدام تحليل الانحدار لتطوير نماذج تجريبية قادرة على وصف تأثير عوامل التشغيل على جودة القطع [Salonitis, K. & Vatosianos, S. 2012].

ويُعتبر عرض القطع للسطح العلوي والسفلي من السمات الهامة للغاية والتي تؤثر بدورها على جودة وأداء الأسطح المقطوعة بالبلازما. [Ananthakumar, K. et al 2019. p.725]. والقطع بالليزر سريع لكنه مكلف والووتر جيبت مناسب لكنه بطيء مع سماكات الـ AI مقارنة بقوس البلازما، ولذا تسعى الدراسة

شكل (4) يوضح مبدأ القطع بقوس البلازما المنقول

ومن مميزات القطع المتولد عن طريق نظام القطع بقوس البلازما عالي التحمل High tolerance plasma (HTPAC) 200 A arc cutting قطع سمك 15م من الألواح المعدنية من الحديد المنخفض الكربون. صممت التجارب بهدف استعمال عوامل التشغيل الرئيسية في التعرف على هندسة المظهر الجانبي المقطوع، واستقرار الجهد الكهربائي وسرعة القطع وتدفق غاز البلازما. كما تم تضمين تكوين الغاز في تحليل التجارب وتأثيراته على شكل عرض القطع وتم تقييمه. أشار تحليل النتائج الذي تم إجراؤه إلى تأثير كلاً من سرعة القطع وتيار القطع يؤثران على آلية تكوين عرض القطع وكان تفاعلهما هاماً في تحديد ميل القطع على الرغم من القيم المحددة لهذه العوامل. كما أشارت الدراسة إلى أن الأجزاء عالية الجودة تعتمد على اختيار القيم المناسبة لعوامل تشغيل العملية وأمكن تطبيق هذه الدراسة في ظروف التشغيل المختلفة على خامات هامة وبسماكات من أجل الحصول على أفضل أداء على نظام 200 A high tolerance plasma arc cutting. [Bini, R., et al 2008. P. 345.]

تم تشغيل مركبات الـ AI بالتفريغ الكهربائي Electrical Discharge Machining (EDM) كعملية تشغيل للمواد الموصلية كهربائياً باستخدام الشرر الذي يحدث بين القطب والشغلة الموجودة في سائل غير موصل للكهرباء والذي يتم التحكم فيه بدقة. إن تشغيل مركبات الـ AI ذات التطبيقات الواسعة تستخدم اليوم عملية الـ EDM بشكل شائع وفي قطاعات صناعية عديدة كالسيارات والطائرات والسكك الحديدية، وتعد المركبات المصنوعة من الـ AI أحد أنواع المركبات الهامة نظراً لخصائصها المتقدمة كالقوة العالية وخفة الوزن، وقد أتاح تطوير هذه المواد إمكانيات عديدة كخفض وزن المنتج ولا سيما في صناعة السيارات، وتم مناقشة عملية الـ EDM وعوامل تشغيلها ودورها في تشغيل الـ AI المكون من مركباته [Kandpal, B. C., & Singh, H. 2015. P.1665].

كما تم بحث تأثير عوامل الـ PAM كتيار القوس وسرعة القطع والمسافة الفاصلة وضغط الغاز على خصائص جودة القطع للجزء مثل MRR وحافة القطع لسبيكة الـ Monel 400، وصباغة التجارب وتم إجراء تحليل تجريبي دقيق كما تم تطوير النماذج وتقييمها للحصول على الأمثل باستخدام تحليل التباين. كما تم انجاز التحليل الإحصائي لتحديد عوامل التشغيل بقوس البلازما الأكثر تأثيراً. تم إجراء دراسات تحسين لتحديد شروط القطع المثلى للقطع بقوس البلازما من خلال استخدام تقنية رياضية. وتم تحديد عوامل التشغيل المثلى للقطع كسرعة القطع 2400مم/د وضغط الغاز 3 بار وتيار القوس 45 أمبير والمسافة الفاصلة 2مم. [Ananthakumar, K. et al 2019. p.725.]

أيضاً تم عمل فحص تجريبي لتأثير عوامل القطع بحزمة الليزر وقوس البلازما على جودة حافة القطع لمجموعة من درجات وسماكات الصلب. وبناء على النتائج التجريبية تم تطبيق مجموعة متنوعة من الأساليب لإجراء تحليل تأثير عوامل القطع لكلاً من حزمة الليزر وقوس البلازما على الجودة والخصائص الميكانيكية لحواف القطع المحددة من شرائح والواح سبائك منخفضة وعالية القوة (high-strength low-alloy (HSLA). وتم فحص ثلاث مناهج هي مقابلة تحليل الارتباط وتحليل البيانات متعدد الأبعاد



**فروض البحث Hypothesis:**

- استخدام قيم محددة للأمبير وسرعة القطع في الـ PAM لقطع أسطح الـ AI سمك 10 مم يُنتج عرض قطع في الحد الأدنى ويحقق جودة قطع أعلى.

**منهج البحث Methodology:**

- استخدمت الدراسة المنهج التجريبي لبحث تأثير الأمبير وسرعة القطع علي عرض القطع لاسطح الـ AI 10 مم بالـ PAM.

**7- الدراسة التجريبية:-**

تم استخدام ماكينة تشغيل بلازما من نوع HyPertherm-HyPerformance Plasma Loyol Mak Max 130XD automated gas control [https://www.hypertherm.com] ذات مساحة عمل 6×2م في قطع عينات التجارب من الـ AI سمك 10 مم ومساحة 10×10 اسم للعينة. وتوضح الصور (6-أ، ب) منظر أمامي وجانبي للماكينة ووحدة التحكم فيها بمصنع مؤسسة أشوار القابضة بالمنطقة الصناعية بمدينة جازان.



الصورة (6-ب)



الصورة (6-أ)

الصور (6-أ، ب) منظر أمامي وجانبي للماكينة ووحدة التحكم فيها على التوالي بمصنع أشوار القابضة بمدينة جازان بالمملكة العربية السعودية.

الـ AI سمك 10 mm بماكينة البلازما ويظهر الرايش جلياً بعد القطع والذي يتطلب تشطيب قبل اعتماده.

كما توضح الصورة (7) منظر لمضخة توليد هواء القطع للماكينة، وتوضح الصورة (8) غرفة توليد البلازما نتيجة خلط الهواء والقوى الكهربائية للماكينة، وتوضح الصورة (9) إجراء عملية قطع



الصورة (9) توضح إجراء عملية قطع الـ AI سمك 10 mm بماكينة البلازما وتتطلب تشطيب



الصورة (8) توضح غرفة توليد البلازما نتيجة خلط الهواء والقوى الكهربائية للماكينة



الصورة (7) توضح منظر لمضخة توليد هواء القطع للماكينة

ويوضح جدول (1) القيم المستخدمة لتيار القطع بالبلازما بالـ Amp وسرعة القطع بالـ mm/min في إجراء القطع لعينات جدول (1) قيم التيار بالـ Amp والجهد بالـ Volt وضغط الغاز بالبار أو الباوند وسرعة القطع بالـ mm/min المستخدمة في إجراء القطع لعينات من الـ AI سمك 10 مم.

رقم التجربة/ العينة	تيار القطع بالبلازما (Amp)	جهد القوس (Volt)	ضغط الغاز (Bar)	ضغط الغاز (Psi)	سرعة القطع (mm/min)	سرعة القطع (cm/min)
1100	110	84	4.2- 5.79	130	150, 160, 170, 180, 190, 200,	1-9
800	80				250, 300, 350	10-18
1400	140					19-27

وعن التكوين الكيميائي للسبيكة AI\_100 والمستخدمة في إجراء التجارب يوضح جدول (2) تركيب خامة العينات:

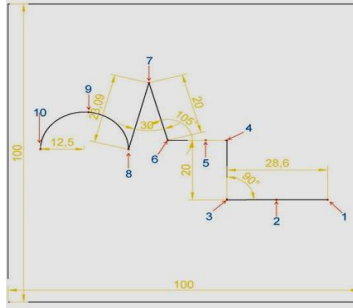
جدول (2) يوضح التكوين الكيميائي لخامة AI\_100 المستخدمة لعينات التجارب

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

وتم تقسيم جميع عينات القطع إلى ثلاث مجموعات كل مجموعة مكونة من عدد 9 عينات، واستخدمت الدراسة 3 سرعات قطع

المستخدم في تشغيل العينات بالقطع والإشارة إلى النقاط التي تم عندها أخذ قراءات قياسات عرض القطع علي طول مسار القطع وقد أخذ في الاعتبار عند تصميم مسار القطع أن يشمل على الخط المستقيم والزوايا القائمة والمنفرجة والحادة وزاوية تقابل الخط المائل مع المنحنى والخط المنحني للعينات التجارب.

سرعة متوسطة 1100 mm/min للمجموعة الأولى وسرعة منخفضة 800 mm/min للمجموعة الثانية وسرعة أعلى 1400 mm/min للمجموعة الثالثة بإجمالي عدد 27 تجربة قطع، وتم تغيير تيار القطع مع كل عينة من العينات المجموعة بداية من 150 Amp وحتى 350 Amp. ويوضح شكل (10) تصميم للمسار



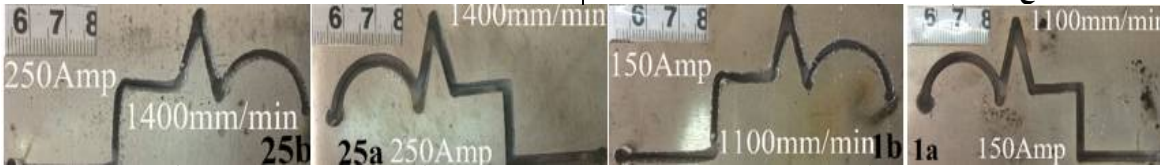
شكل (10) يوضح تصميم مسار القطع المستخدم في تشغيل العينات بالقطع بقوس البلازما ونقاط قياس عرض القطع.

### 1-8- عرض مسار القطع وجودة القطع:-

يوضح شكل (11) مقارنة لعرض قطع العينة 1 (أ، ب) من الأمام والخلف حيث أن 1a يمثل وجه العينة و 1b يمثل الظهر لجميع العينات فعند بداية مسار القطع الذي يمثله النقطة 1 ويسمى ثقب المفتاح Key Hall كانت أقل قراءة لعرض القطع 3,701 مم عند طاقة 150 أمبير وسرعة قطع 1100 مم/د، بينما كان أعلى عرض للثقب حينما سجلت نفس النقطة للعينة 25 (أ، ب) عرض 4,883 مم عند طاقة 250 أمبير وسرعة 1400 مم/د، وبالرغم من زيادة السرعة التي يجب أن تقلل من عرض القطع إلا أن زيادة الأمبير كان لها التأثير الأكبر وزادت من عرض القطع لنقطة بداية القطع.

ويشير الملحق (أ) في نهاية الدراسة إلى قيم عوامل التشغيل المستخدمة في إجراء القطع لجميع عينات التجارب من 1-27. وتم تقييم جودة القطع من خلال فحص عرض مسار القطع عند النقاط الموضحة بواقع 10 نقاط علي خط مسار القطع لكل عينة على حدة بإجمالي عدد 270 قراءة وتم تسجيل جميع القراءات. وقد أخذ في الحسبان أن تغطي نقاط القياس معظم الأشكال التي يتعرض لها تصميم خط القطع بداية من الخط المستقيم والزوايا بأنواعها وتقابل الخط المائل مع المنحنى والخط المنحني، وأخذت كل نقطة رقماً. وأستخدم جهاز التكبير الـ Projector في القياس. تم إدراج القراءات الملحق (ب)، وتم تمثيل نتائج القياسات بيانياً في الرسومات بالأشكال من (17-19).

### 8- مناقشة النتائج:-



شكل (11) يوضح منظر من الأمام والخلف لعرض مسار القطع للعينات 1، و 25 (أ، ب) عند طاقة 150، 250 أمبير وسرعة قطع 1100، 1400 مم/د على التوالي.

8 (أ، ب) بقيمة 3,885 مم عند طاقة 300 أمبير وسرعة قطع 1100 مم/د فعند خفض سرعة القطع زاد عرض القطع عند نفس النقطة مع تجاهل فرق الـ 50 أمبير.

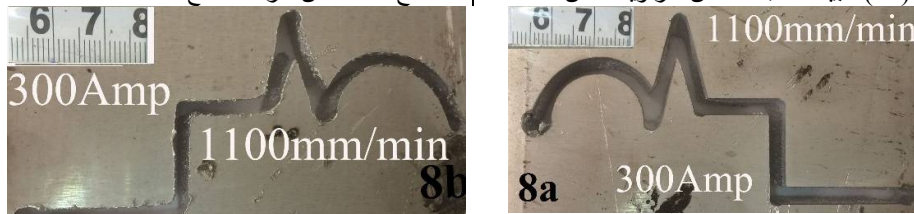
وسجلت النقطة 2 على الخط المستقيم للعينة 27 (أ، ب) شكل (12) أقل عرض قطع 3,077 مم عند طاقة 350 أمبير وسرعة 1400 مم/د، بينما سجلت نفس النقطة أعلى عرض للقطع للعينة



شكل (12) يوضح منظر من الأمام والخلف لعرض مسار القطع للعينات 27، و 8 (أ، ب) عند طاقة 350، 300 أمبير وسرعات قطع 1400، و 1100 مم/د على التوالي.

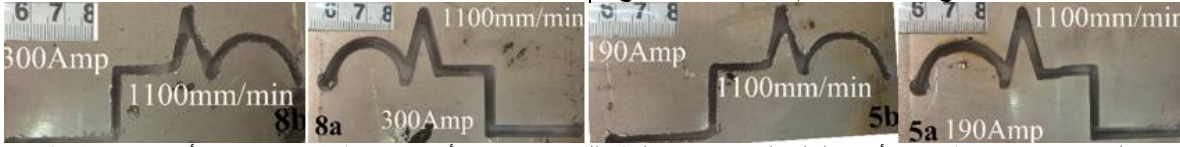
للعينة 3 (أ، ب) قراءة بقيمة 4,968 مم عند طاقة 170 أمبير وسرعة 1100 مم/د شكل (13) ودل ذلك على زيادة في عرض القطع عند خفض سرعة القطع.

كما سجل عرض القطع للزاوية القائمة وتمثلها النقطة 3 للعينة 27 (أ، ب) قراءة بقيمة 3,966 مم عند طاقة 350 أمبير وسرعة 1400 مم/د شكل (12)، بينما سجلت نفس الزاوية لنفس النقطة



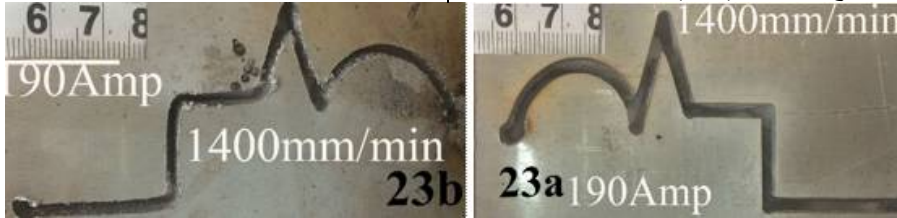
شكل (13) يوضح منظر من الأمام والخلف لعرض مسار القطع للعينة 3 (أ، ب) عند طاقة 170 أمبير وسرعة قطع 1100 مم/د.

للعيينة 8 (أ، ب) إزداد بزيادة الأمبير إلى 300 وسُجلت قراءة بقيمة 3,764 مم/د شكل (15) عند نفس السرعة شكل (14).

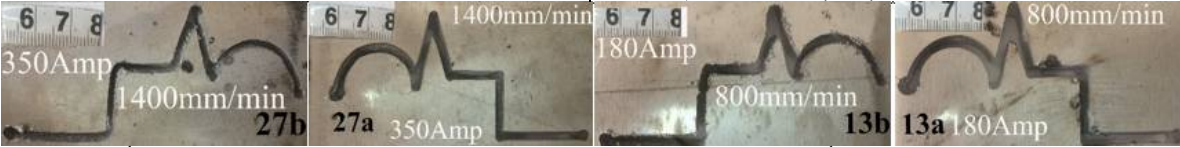


شكل (14) يوضح منظر من الأمام والخلف لعرض مسار القطع للعينات 5، و 8 (أ، ب) عند طاقة 190، و 300 أمبير وسرعة قطع 1100م/د.

أقل اتساع بقراءة 3,513 مم ويمثلها النقطة 6 على مسار القطع عند طاقة 190 أمبير وسرعة 1400م/د شكل (15)، بينما سجل العرض عند نفس النقطة أكبر اتساع بقيمة 4,813 مم للعيينة 8(أ)، (ب) عند 300 أمبير وسرعة 1100م/د شكل (14). لذلك فإن جودة عرض القطع عند الزاوية المنفرجة والقائمة افضل من جودة عرض القطع في حالة الزاوية الحادة وزاوية تقابل الخط المائل مع المنحني.



شكل (15a) يوضح منظر من الأمام والخلف لعرض مسار القطع للعيينة 23 (أ، ب) عند طاقة 190 أمبير وسرعة قطع 1400م/د. عند أعلى سرعة قطع 1400م/د وأعلى طاقة 350 أمبير، وبالتالي فإن نتائج القراءات تشير إلي أن القطع كان سيء للغاية عند الزوايا الحادة لذا يجب تجنب الزاوية الحادة عند تصميم مسار القطع بقوس البلازما.



شكل (15b) يوضح منظر من الأمام والخلف لعرض مسار القطع للعينات 13، و 27 (أ، ب) عند طاقة 180 و 350 أمبير وسرعات قطع 800، و 1400م/د على التوالي.

السرعة. وبمقارنة قراءات عرض القطع عند نهاية المنحني للمسار والذي يمثله النقطة 10 لجميع عينات تجارب الثلاث مجموعات عند جميع الطاقات والسرعات المستخدمة وُجد أن الفروق متقاربة، وكانت عرض القطع لجميع العينات في المدى المتوسط وكان أقل عرض للقطع 5,277 مم عند أعلى طاقة 350 أمبير وسرعة مرتفعة 1400م/د للعيينة 27(أ، ب) شكل (15)، بينما كان أقصى عرض للقطع عند نفس النقطة بقيمة 7,823 مم عند طاقة 180 أمبير وسرعة 1100م/د للعيينة رقم 4(أ، ب) وشكل (16) يوضح منظر للعيينة 4(أ، ب) وعليه قل عرض القطع مع الأمبير الأقل.



شكل (16) يوضح منظر من الأمام والخلف لعرض مسار القطع للعيينة 4(أ، ب) عند طاقة 180 أمبير وسرعة قطع 1100م/د.

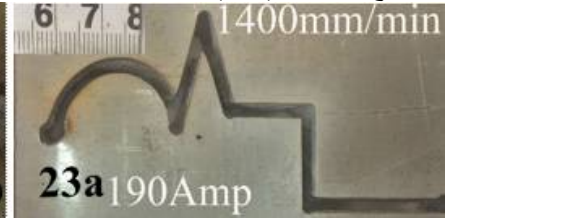
قياسات عرض مسار القطع لعينات تجارب المجموعة الأولى والثانية والثالثة على التوالي عند استخدام قوى قطع بالأمبير

وبمقارنة عرض القطع للعيينة 5 (أ، ب) كانت أقل قراءة للزاوية القائمة عند النقطة 4 هي 2,217 مم وبالرغم من استخدام عند طاقة 190 أمبير وسرعة قطع واحدة 1100م/د فإن عرض القطع



أيضاً سجلت النقطة 5 على الخط المستقيم لمسار القطع للعيينة 1(أ، ب) شكل (11) أقل عرض قطع بقيمة 3,688 مم عند 150 أمبير وسرعة 1100م/د، بينما سجلت نفس النقطة للعيينة 8(أ، ب) شكل (14) قراءة أعلى لعرض القطع بقيمة 4,777 مم عند 300 أمبير ونفس السرعة مما يشير إلى أن زيادة الأمبير صاحبها زيادة في اتساع عرض القطع.

كما سجل عرض القطع للعيينة 23(أ، ب) عند الزاوية المنفرجة

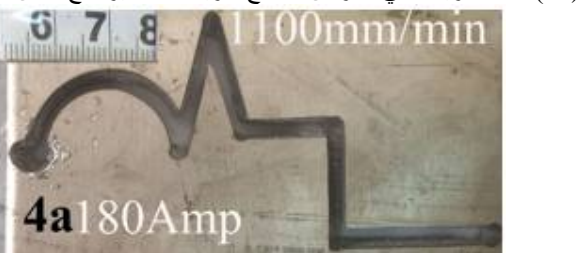


شكل (15) مقارنة للعيينة 13(أ، ب) فقد سجلت القراءة أعلى عرض قطع عند الزاوية الحادة وتمثلها النقطة 7 فكانت 12,664 مم عند طاقة 180 أمبير وأدنى سرعة للقطع 800م/د، بينما سجلت نفس النقطة للعيينة 27(أ، ب) قراءة 8,63 مم وكانت



أيضاً كان أقصى اتساع لعرض القطع عند نقطة تقابل الخط المائل مع المنحني على مسار القطع ويمثلها النقطة 8 بقيمة 9,973 مم للعيينة 8(أ، ب) عند طاقة 300 أمبير و 1100م/د، بينما قل إلى 8,564 مم للعيينة 5(أ، ب) عند طاقة 190 أمبير شكل (14)، فمع خفض الطاقة قل عرض القطع.

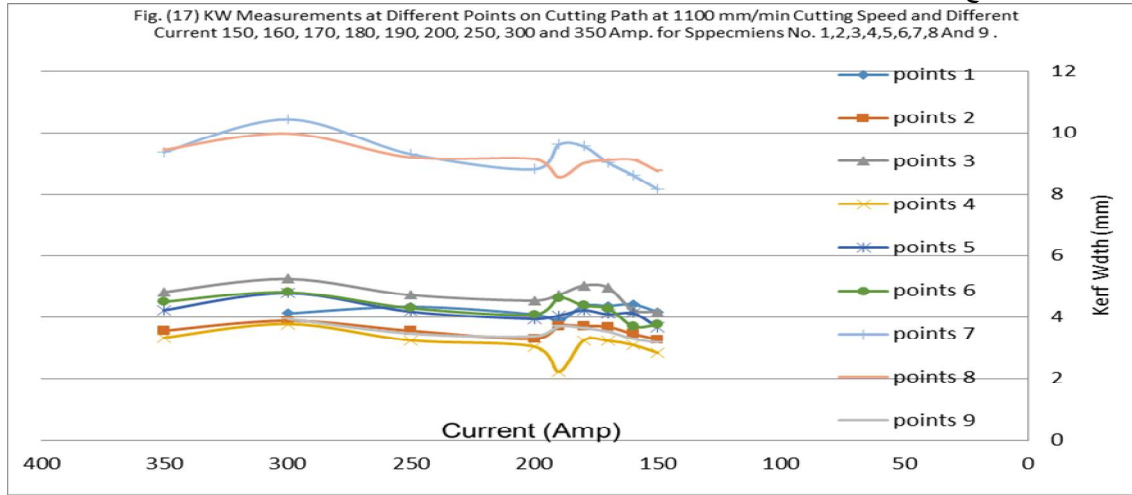
كما سجل عرض القطع عند منتصف المنحني على مسار القطع ويمثله النقطة 9 قراءات عادية ودون المتوسطة بكثير وكان متوسط عرض القطع أفضل حالاً فكانت أقل قراءة 3,19 مم للعيينة 1(أ، ب) عند اقل طاقة 150 أمبير وسرعة 1100م/د، وكانت أعلى قراءة 3,928 مم للعيينة 13(أ، ب) عند 180 أمبير شكل (15) فنجد زيادة في عرض القطع بزيادة الأمبير مع نفس



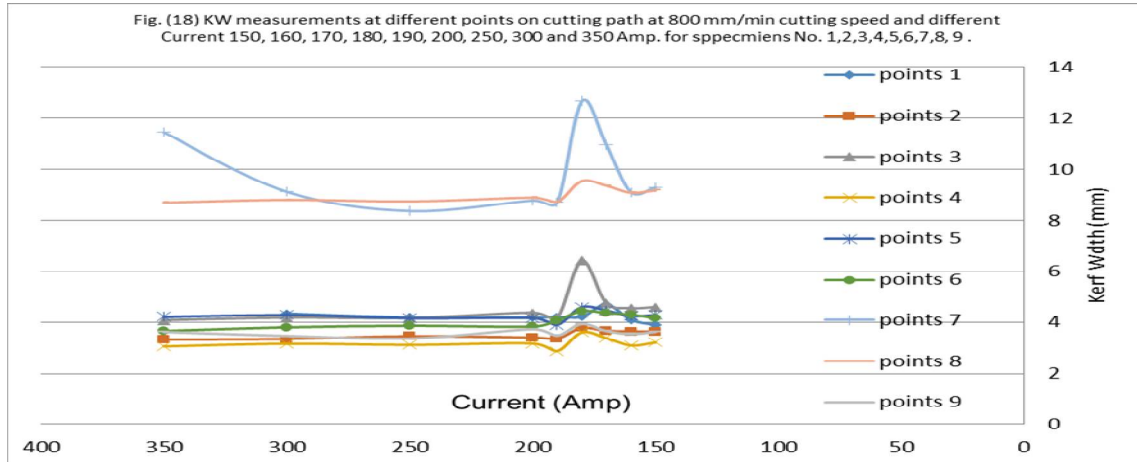
2-8- التمثيل البياني لنتائج قياسات عرض مسار القطع: الأشكال من (17-19) توضح التمثيل البياني لنتائج قراءات



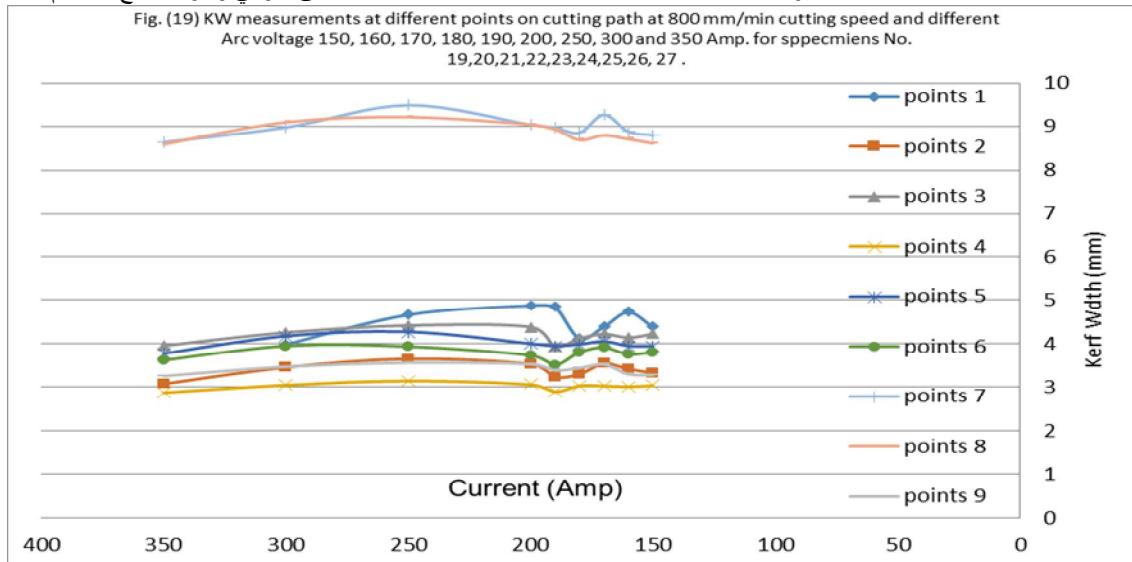
متدرجة وسرعات قطع مختلفة.



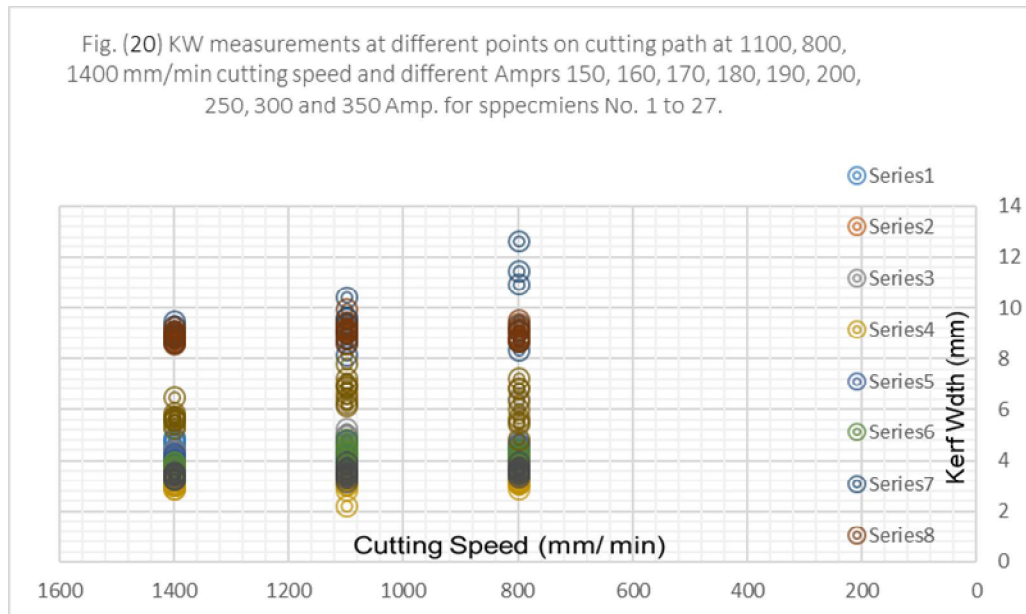
شكل رقم (17) يوضح التمثيل البياني لقراءات قياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند تيار 1100 mm/min أمبير للعينات 1,2,3,4,5,6,7,8,9 على التوالي عند سرعة قطع 1100 mm/min.



شكل (18) يوضح التمثيل البياني لقراءات قياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند تيار 180، 170، 160، 150، 140، 130، 120، 110، 100، 90 أمبير للعينات 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9 على التوالي وسرعة قطع 800 مم/د.



شكل (19) يوضح التمثيل البياني لقراءات قياسات عرض القطع لنقاط مختلفة على مسار القطع عند تيار 180، 170، 160، 150، 140، 130، 120، 110، 100، 90 أمبير للعينات 19، 20، 21، 22، 23، 24، 25، 26، 27 على التوالي وسرعة قطع 1400 مم/د.



شكل رقم (20) يوضح التمثيل البياني لجميع قراءات قياسات عرض القطع لجميع النقاط لمسار القطع عند سرعات قطع 1100، 800، 1400 مم/د وأمبيرات 150، 160، 170، 180، 190، 200، 250، 300، 350 على التوالي لجميع عينات التجارب 1: 27.

جودة عرض القطع عند الزاوية المنفرجة والقائمة أقل بكثير من جودة عرض القطع عند الزاوية الحادة وزاوية تقابل الخط المائل مع المنحني، ومع خفض الأمبير قل عرض القطع وزادت جودة القطع.

كان القطع سيئاً عند كلا من الزاوية الحادة وزاوية تقابل الخط المائل مع المنحني لذا يجب تجنب الزوايا الحادة عند تصميم مسار القطع بقوس البلازما قدر الامكان.

استخدام سرعات قطع عالية عند الزوايا الحادة مع أمبيرات أقل أنتج عرض قطع أقل وجودة أعلى.

جميع سرعات القطع والأمبيرات المستخدمة عند الزاوية الحادة والزاوية الناتجة عن تقابل الخط المائل مع المنحني أنتجت عرض قطع في الحد الأقصى بعكس القطع عند الزاوية القائمة كان عرض القطع أقل وفي الحد الأدنى.

استخدام سرعة منخفضة وأمبير أقل أتاح عرض القطع أقل عند نهاية المنحني لمسار القطع.

العلاقة العكسية بين سرعة القطع وعرض القطع فكما زادت السرعة قل عرض القطع وزادت جودة القطع، وكلما قلت سرعة القطع زاد عرض القطع وقلت معه جودة القطع.

السلك 10 مم للألومنيوم منع حدوث صهر لحواف القطع أثناء التشغيل، حيث ساعد السلك الأعلى على الاحتفاظ بالدخل الحراري Heat input للتشغيل بخلاف الـ AI ذو السماكات الرقيقة.

صعوبة ضبط قطع السماكات الرقيقة للألومنيوم بسبب احتفاظ السطح بالحرارة المتولدة من التشغيل وانصهاره.

كانت أقل قراءة 2,217 مم عند الزاوية القائمة نتيجة استخدام القيم 190 أمبير مع سرعة قطع 1100 مم/د وجهد القوس 130 فولت وضغط غاز 4,2 بار وتعد الأمثل للحصول على عرض قطع في الحد الأدنى وجودة قطع أعلى.

### المراجع References

1. 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. The 5th international conference of Applied Arts [CD

ويتضح من الرسم البياني شكل (20) 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 السلك العالي للألومنيوم منع حدوث صهر لحواف عرض القطع من جراء التشغيل حيث الدخل الحراري Heat input المكتسب من قوس البلازما للمواد المشغلة يكون كبيراً. إن تأثير قوس البلازما على المواد ذات السماكات الرقيقة كـ الـ AI سمك 1 mm والنحاس الأصفر سمك 0.8 mm [Abouzaid, A. et al. 2018] واضحاً، فيصعب التحكم في قطع السماكات الرقيقة من الـ AI مع درجة انصهاره المنخفضة واحتفاظ سطح القطع بحرارة البلازما المعرض لها والتوصيلية الحرارية العالية التي تصل إلى 95%.

### الخلاصة Conclusion

أثر الأمبير وسرعة القطع ضمن عوامل الـ PAM على عرض وجودة قطع أسطح الـ AI سمك 10 مم واستنتجت الدراسة ما يلي:-

- بعض القيم التي تم تسجيلها أتاحت عرض قطع أقل باستخدام أمبيرات وسرعات قطع متوسطة وأنتجت جودة قطع أعلى.
- استخدام سرعات القطع العالية عند نقطة بداية القطع (تقب المفتاح) جعل عرض القطع في الحد الأدنى، إلا أن زيادة الأمبيرات كان لها التأثير الأكبر وزادت من عرض القطع.
- استخدام أمبيرات أقل عند الخط المستقيم لمسار القطع أنتج عرض قطع أقل، وبزيادة سرعة القطع أصبح عرض القطع في الحد الأدنى.
- استخدام أمبيرات أعلى أنتج عرض قطع في الحد الأقصى للعينات وللحصول على جودة قطع مناسبة فإن ذلك يتطلب استخدام سرعات قطع أعلى مع أمبيرات أقل لإتاحة عرض قطع في الحد الأدنى.
- العلاقة الطردية بين كل من الأمبير وبين عرض القطع فكما زاد الأمبير زاد عرض القطع وكلما قل الأمبير قل عرض القطع وزادت جودة القطع.
- قل عرض القطع بخفض الأمبير عند الزاوية القائمة، وزاد عرض القطع بزيادة الأمبير عند نفس سرعات القطع المستخدمة للزاوية القائمة وعند منتصف المنحني على مسار القطع.



- 23
8. 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>
  9. Kandpal, B. C., & Singh, H. (2015). Machining of aluminium metal matrix composites with electrical discharge machining-a review. 4th International Conference on Materials Processing and Characterization. Materials Today: Proceedings, 2(4-5), 1665-1671, from ScienceDirect database . <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.094>
  10. Klimpel, A., Cholewa, W., Bannister, A., Luksa, K., Przystała, P., Rogala, T., Skupnik, D., Cicero, S. and Martín-Meizoso, A., 2017. Experimental investigations of the influence of laser beam and plasma arc cutting parameters on edge quality of high-strength low-alloy (HSLA) strips and plates. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 92(1-4), pp.699-713, 23 May 2016 / Accepted: 1 February 2017 / Published online: 3 March 2017. From SpringerLink database. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0119-2>
  11. Kudrna, L. and Merta, M., 2017. The technology of plasma cutting on a CNC machine. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, 17(1.3), pp.949-956, from ProQuest database. doi:10.5593/sgem2017/13
  12. Shakhashiri, B. Z. (2012). Chemical of the week: aluminum. University of Wisconsin: SciFun. org.
  13. 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>
  14. [https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%84%D9%88%D9%85%D9%86%D9%8A%D9%88%D9%85#cite\\_note-28](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%84%D9%88%D9%85%D9%86%D9%8A%D9%88%D9%85#cite_note-28).
  15. <https://www.hypertherm.com/hypertherm/hyperperformance/hyperperformance-hpr130xd/>
  - ROMJ: International Design Journal. Received for peer reviewing on March 18 2018, accepted for publication 23 April 2018, and should be appear on line on 15th May 2018.
  2. 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>
  3. 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>.
  4. Blanks, C. F. S. (1986). Selected Abstracts of Materials Literature.
  5. Bini, R., Colosimo, B.M., Kutlu, A.E. and Monno, M., 2008. Experimental study of the features of the kerf generated by a 200 A high tolerance plasma arc cutting system. Journal of materials processing technology, 196(1-3), pp.345-355. Received 10 May 2006, received in revised form 1 February 2007, accepted 29 May 2007. From ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.05.061>
  6. BOC. (2011). Facts about plasma technology and plasma cutting. Plasma working group at Linde AG, Linde Gas Department, and specialists from the company Kjellberg Finsterwalde Elektroden und Maschinen GmbH. Auckland: NewZealand.
  7. Dong, Y., Zheng, K., Fernandez, J., Li, X., Dong, H. and Lin, J., 2017. Experimental investigations on hot forming of AA6082 using advanced plasma nitrocarburised and CAPVD WC: C coated tools. Journal of Materials Processing Technology, 240, pp.190-199. Received 26 April 2016, received in revised form 20 September 2016, accepted 24 September 2016, available online 28 September. From ScienceDirect database. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.09.0>

- ملحق (أ):

الملحق (أ) ويوضح قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما المستخدمة في تجارب الدراسة للعينات من 1- 27.

Exp/Sppic men. NO.	Current (Amp)	Arc Voltage	Gas Pressure (Bar)	Gas Pressure (Psi)	Cutting speed mm/min	Cutting speed cm/min	Remarks
1	150	130	4.2	84	1100	110	المجموعة
2	160	130	4.2	84	1100	110	الثانية من
3	170	130	4.2	84	1100	110	التجارب تم
4	180	130	4.2	84	1100	110	استخدام
5	190	130	4.2	84	1100	110	سرعات
6	200	130	4.2	84	1100	110	قطع
7	250	130	4.2	84	1100	110	متوسطة مع
8	300	130	4.2	84	1100	110	أمبيرات
9	350	130	4.2	84	1100	110	متغيرة
10	150	130	4.2	84	800	80	المجموعة
11	160	130	4.2	84	800	80	الثانية من
12	170	130	4.2	84	800	80	التجارب تم
13	180	130	4.2	84	800	80	استخدام
14	190	130	4.2	84	800	80	سرعات
15	200	130	4.2	84	800	80	قطع
16	250	130	4.2	84	800	80	منخفضة مع
17	300	130	4.2	84	800	80	أمبيرات
18	350	130	4.2	84	800	80	متغيرة
19	150	130	4.2	84	1400	140	المجموعة
20	160	130	4.2	84	1400	140	الثالثة من
21	170	130	4.2	84	1400	140	التجارب تم
22	180	130	4.2	84	1400	140	استخدام
23	190	130	4.2	84	1400	140	سرعات
24	200	130	4.2	84	1400	140	قطع عالية
25	250	130	4.2	84	1400	140	مع أمبيرات
26	300	130	4.2	84	1400	140	متغيرة
27	350	130	4.2	84	1400	140	متغيرة

ملحق (أ) يوضح قيم عوامل التشغيل بالقطع بقوس البلازما المستخدمة في تجارب الدراسة للعينات أرقام من 1- 27.

- ملحق (ب):

إلي الأسفل الملحق (ب) يوضح قيم قراءات قياسات عرض مسار القطع الناتجة عن قطع العينات من خلال قيم التشغيل المستخدمة في تجارب القطع بقوس البلازما.

KW (mm) Specimen No.	Al KW- Thickness 10 mm. Measurement location									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3.70	3.28	4.168	2.84	3.68	3.752	8.159	8.75	3.19	6.46
2	4.17	3.46	4.227	3.10	4.12	3.715	8.618	9.11	3.30	6.17
3	4.41	3.68	4.968	3.23	4.09	4.281	9.012	9.09	3.54	6.93
4	4.37	3.71	5.031	3.24	4.25	4.377	9.553	9.00	3.65	7.82
5	4.37	3.70	4.735	2.21	4.05	4.626	9.609	8.56	3.70	6.27
6	3.86	3.29	4.535	3.04	3.94	4.084	8.808	9.13	3.39	7.00
7	4.08	3.56	4.724	3.24	4.17	4.296	9.3	9.19	3.47	6.91
8	4.34	3.88	5.244	3.76	4.77	4.813	10.44	9.97	3.94	7.23
9	4.12	3.56	4.825	3.33	4.23	4.501	9.367	9.43	3.48	6.63
10	3.88	3.63	4.587	3.22	4.28	4.138	9.28	9.17	3.63	6.82
11	3.89	3.64	4.543	3.10	4.24	4.286	9.093	9.08	3.54	6.87
12	4.08	3.66	4.74	3.39	4.46	4.35	10.95	9.36	3.66	7.23
13	4.69	3.76	6.427	3.62	4.59	4.431	12.66	9.54	3.92	6.37
14	4.20	3.36	4.158	2.88	3.9	4.053	8.683	8.71	3.49	5.44
15	4.19	3.39	4.364	3.18	4.16	3.815	8.755	8.88	3.71	4.82
16	4.17	3.45	4.152	3.13	4.15	3.849	8.347	8.73	3.38	5.56
17	4.17	3.34	4.161	3.17	4.27	3.787	9.106	8.79	3.47	6.02
18	4.33	3.31	4.064	3.06	4.20	3.645	11.44	8.67	3.62	5.69

19	4.43	3.33	4.225	3.04	3.93	3.802	8.794	8.61	3.28	5.59
20	4.39	3.41	4.145	3.01	3.94	3.758	8.877	8.70	3.30	6.47
21	4.72	3.54	4.224	3.03	4.08	3.91	9.272	8.79	3.51	5.60
22	4.39	3.29	4.126	3.03	3.98	3.8	8.852	8.68	3.44	5.38
23	4.12	3.23	3.945	2.89	3.94	3.513	8.976	8.93	3.38	5.74
24	4.84	3.53	4.38	3.06	3.99	3.73	9.036	9.07	3.52	5.71
25	4.88	3.65	4.414	3.14	4.26	3.932	9.492	9.22	3.55	5.61
26	4.66	3.45	4.258	3.05	4.17	3.946	8.978	9.10	3.46	5.87
27	3.98	3.07	3.966	2.87	3.76	3.62	8.63	8.59	3.26	5.27
ملحق (ب) يوضح قيم قراءات قياسات عرض مسار القطع الناتجة عن قطع العينات من خلال قيم التشغيل المستخدمة في تجارب القطع بقوس البلازما.										

الرموز ومصطلحاتها:

الرمز	المصطلح
PAM	التشغيل بقوس البلازما
CNC	التحكم الرقمي بالكمبيوتر
MRR	معدل إزالة الخامة
Amp	الأمبير
KW	عرض القطع