

دراسة على سرعة القطع والمسافة الفاصلة على خشونة السطح باستخدام القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات

An investigation into stand-off distance & cutting speed on surface roughness using Abrasive Water Jet

د/ عبد الرحمن أبو زيد

أستاذ مساعد، قسم المنتجات المعدنية والحلى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر
أستاذ مشارك، قسم الفنون التطبيقية، كلية العمارة والتصاميم، جامعة جازان، المملكة العربية السعودية

كلمات دالة: Keywords

خشونة السطح
Surface Roughness
سرعة القطع
Cutting Speed
المسافة الفاصلة
Stand-Off Distance
القذف النفاث بالماء والحبيبات
Abrasive Water Jet
جودة القطع
Cutting Quality

ملخص البحث: Abstract

يهدف البحث إلى فحص تأثير كلا من سرعة القطع والمسافة الفاصلة على خشونة السطح باستخدام القذف النفاث بالماء والحبيبات، وذلك لضبط جودة القطع لأسطح المنتجات المعدنية المصنعة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم. تم الأخذ في الاعتبار لقيم سرعة القطع والمسافة الفاصلة للحصول على تأثير هذه العوامل على خشونة السطح. واستخدم المنهج التجريبي في تشغيل عينات النحاس الأصفر بالقذف النفاث بالماء والحبيبات واشتمل المسار على قطع خط مستقيم. استخدمت قيم مختلفة لسرعة القطع والمسافة الفاصلة. تم تسجيل القيم المستخدمة لكل من سرعة القطع والمسافة الفاصلة وتم تقييم النتائج. تم ملاحظة جودة القطع من خلال قياس وفحص خشونة السطح عند 4 نقاط على الخط المستقيم لمسار القطع. ولتحديد قيم عوامل التشغيل التي يمكن استخدامها في الحصول على جودة قطع مثالي، فقد تم مناقشة تأثير كلا من سرعة القطع والمسافة الفاصلة على خشونة السطح، كما تم عرض نتائج خشونة السطح للتجارب بيانياً. ومن أهم النتائج: أثرت كلا من سرعة القطع والمسافة الفاصلة على خشونة السطح وعلى جودة مسار القطع للعينات. زادت خشونة السطح لمسار القطع بزيادة سرعة القطع وأتاح ذلك جودة قطع منخفضة، لكن بفض سرعة القطع أنتج ذلك خشونة سطح في الحد الأدنى وأتاح ذلك جودة قطع عالية للسطح. أيضاً، استخدام مسافة فاصلة أكبر أنتج ذلك خشونة سطح وجودة قطع أقل، ولتحسين جودة القطع فإن ذلك يتطلب استخدام مسافة فاصلة أقل مع سرعات قطع منخفضة لإتاحة جودة قطع أعلى. كمية الرايش الناتجة عن القطع قلت بإنقاص المسافة الفاصلة المستخدمة مع سرعات القطع المنخفضة. وأوضحت الدراسة تأثير واضحاً لكلا من سرعة القطع والمسافة الفاصلة على جودة القطع. ووجد ان استخدام مسافة فاصلة بقيمة صفر مع سرعة قطع 5 مم/د تعد القيم المثلى للحصول على جودة قطع دون رايش في القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات مع الأخذ في الاعتبار أن ذلك سيزيد من عرض القطع. وقد أمكن الحصول على جودة قطع مثلي للأسطح من خلال ضبط كلا من المسافة الفاصلة وسرعة القطع في تقنية القطع بال-AWJ.

Paper received 18th October 2019, Accepted 13th November 2019, Published 1st of January 2020

مقدمة: Introduction

ازداد الطلب على المنتجات الصغيرة والأجزاء الوظيفية، فالعديد من المنتجات مصنوع من الخامات الهشة والصلدة واللينة، ويُشغل عمليات القذف بالحبيبات: كالتجليخ الدقيق، والصفع بالحبيبات الدقيقة، والتشطيب بمساعدة المجال المغناطيسي، كما تم مناقشة الاتجاهات المستقبلية في هذا المجال [Aurich, J.C. et al. 2019. p. 1]. كما تم تطوير العديد من الخامات الجديدة سواء الناشئة أو المتطورة سريعاً في العقد الماضي، شكل ذلك اهتماماً كبيراً لدي الباحثين ليدرسوا القيم المثلى لعوامل التشغيل أثناء تشغيل هذه الخامات من خلال (AMP) عمليات التصنيع المتقدمة [Shukla, R. et al. 2017. p. 335]. وتتميز تقنية ال-AWJM بميزات عديدة أهمها الرايش في الحد الأدنى [Liu, H. et al. 2004. P. 488]. وال-AWJM تقنية قطع غير تقليدية فعالة تُستخدم في قطع مدي كبير من الخامات صعبة التشغيل، وللحصول على جودة سطح فهناك حاجة ملحة إلى عمليات ما قبل التشغيل كضبط عوامل التشغيل للحصول على سطح جيد اقتصادياً، كالضغط النفاث بالماء والمسافة الفاصلة وسرعة القطع، أيضاً النظر في خصائص ارتفاع معدل إزالة الخامة (MRR) ومتوسط قراءات خشونة السطح (Ra) والحد الأدنى لزاوية القطع (Ka) والتشطيب الجيد للسطح يتأثر كل منها بشكل كبير بسرعة القطع وضغط الماء النفاث [Kumar, R. S. et al. 2018. p. 11208].

دراسة مقارنة) لعينات تجريبية، ولوحظ أن النتائج التي تم الحصول عليها من خلال النظامين للقيم 0.610، 1.77 ميكرومتر متفقتان تماماً. لكن بالنسبة للقيمة 0.174 ميكرومتر، أظهر القياس اختلافاً بين نتائج كلا من القياسات البصرية والقياسات الميكانيكية، وبالمقارنة والتحليل للقياسات التي أجريت بهاتين الطريقتين أوضحت أنه يمكن أن يعزى ذلك الفرق إلى نصف قطر أداة القلم في القياس الميكانيكي. [Chand, M. et al. 2011. p. 335]. أيضاً تم دراسة قطع المغنسيوم وسبائك AZ91 بال-AWJ، وتم التحقق من تأثير عوامل التشغيل كضغط الماء، والسرعة، ومعدل تدفق الحبيبات على عمق القطع وتشغيل السطح بقوة كبيرة وكانت عوامل التشغيل متنوعة في ثلاث مستويات، وتم التعرف على تأثير كل عامل على عمق وتشكيل سطح القطع، ووجد أن تأثير ضغط الماء والسرعة على عمق القطع أعلى مقارنة بمعدل تدفق الحبيبات الحاكة، وتم استخدام جهاز ال-Projector لقياس عمق القطع، وتم فحص كلا من تشكيل سطح القطع والبنية المجهرية باستخدام المسح بالمجهر الإلكتروني SEM ولوحظ الدقة والانتظام لكلا من الجزء العلوي والسفلي للقطع مقارنة بحالات التشوية في الخامات اللينة الأخرى مثل الألومنيوم أو الصلدة كالصلب، كما تم قياس خشونة سطح القطع باستخدام جهاز اختبار تابلور هوبسون. ووجد أن خشونة السطح أعلى عند السرعة العالية وأقل عند السرعة المنخفضة. [Niranjan, C.A. et al. 2018. p. 366, Abouzaid, A. et al 2018. P. 1]. كما تم مراجعة استخدام كلا من تقنيات القطع العادية/ والتشغيل غير التقليدي في قطع خامات السيراميك الصناعي بشكل تفصيلي لمعرفة التقنية الأفضل للتشغيل وللسطح الأمثل، أيضاً تم مناقشة بعض الدراسات المقارنة والتطورات المبتكرة الحديثة الفعالة في قطع السيراميك. [Rakshit, R. et al. 2019. p. 90]. أيضاً تم دراسة خشونة السطح لمادة من مخلوق كربوني

[Hagbin, N. et al. 2018. p. 307]

وفي دراسة عن التنبؤ بتحسين السطح المشغل في الـ AWJ للمعادن، استخدمت نماذج لتحسين السطح للتنبؤ بدقة المقطع الجانبي المستعرض الناتج عن التشغيل الدقيق بالـ AWJ للزجاج والبوليمرات الأولية، وتم تعديل النماذج بشكل مناسب، وأظهرت النتائج أن التحسين السطحي أثناء التشغيل الدقيق بالـ AJ للمعادن يمكن التنبؤ به باستخدام النماذج الحالية. [Ailly, S. et al. 2012. p. 89]

كما تم قياس الصلادة حتى عمق 3 ميكرون لسطح مركب معدني هجين مخلوق A359/AI2O3/B4C باستخدام الـ AWJ والقطع بالسلك بالتفريغ الكهربائي بنفس سرعة الدوران باختبار فيكرز بحمل 100 جم/10 ث، واشتملت الدراسة على قياسات تشكيل السطح وتكوينه لمقارنة جودة السطح، كما تم قياس خشونة السطح Ra، و Rq، و Rz (متوسط الجذر التربيعي لإنحرافات خشونة السطح) بجهاز قياس الخشونة ضوئياً، وتم استخدام مجهر ليزري متحد البؤر لتوصيف تفاصيل التشكيل، وتم استخدام التحليل بالمجهر الإلكتروني بمسح المجال بالانبعاثات FE-SEM لمناقشة الملاحظات المورفولوجية والاستكشاف جودة وعيوب الأسطح المشغلة، وتم فحص اجهادات تحت السطح من ناحية العمق لكلا التقنيتين بجهاز حيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction، وأظهرت النتائج قيمة أقل للصلادة 165 HV بالمقارنة بالعينة مأخوذة 200 HV وتم ملاحظتها في الطبقة المعادة بالدوران بالسلك بالتفريغ الكهربائي على اجهاد الشد المتبقي 340 MPa ميجا باسكال، أثناء الدوران للقطف النفث بالماء والحببيات ولوحظ تغير في الصلابة 204 HV جنباً إلى جنب مع الإجهاد المتبقي للضغط - 285 MPa [Srivastava, A. et al. 2019. p. 628].

مشكلة البحث Statement of the problem:

- عدم توفر دراسة تبحث تأثير كلاً من سرعة القطع والمسافة الفاصلة على خشونة السطح لضبط جودة قطع السطح في المنتجات المعدنية المصنعة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم باستخدام الـ AWJM.

هدف البحث Objective:

- دراسة تأثير كلاً من سرعة القطع والمسافة الفاصلة على خشونة السطح في المنتجات المعدنية المصنعة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم باستخدام الـ AWJM.
- تحديد القيم المثلى لسرعة القطع والمسافة الفاصلة للحصول على أسطح قطع خالية من الرايش وضبط جودة القطع.

أهمية البحث Significance:

- الاحتياج الي بيان تأثير كلاً من سرعة القطع والمسافة الفاصلة على خشونة السطح في المنتجات المعدنية المصنعة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم باستخدام الـ AWJM.
- دعم الدارسين بتوفير مادة علمية في القطع بالـ AWJM.
- تزويد الأقسام العلمية ذات الصلة بالمادة العلمية في مجال الـ AWJM.
- نقل الخبرة العلمية الي قطاع الصناعة في الحد من خشونة سطح المنتجات في الـ AWJM.
- الاحتياج إلي تحسين جودة القطع السطح في المنتجات المعدنية.

فروض البحث Hypothesis:

- استخدام قيم محددة لسرعة القطع والمسافة الفاصلة في الـ AWJ لتشغيل أسطح المنتجات المعدنية المصنوعة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم ينتج أسطح دون رايش ويحد من خشونة السطح ويحقق جودة قطع مثلي.

منهج البحث Methodology:

- يستخدم البحث المنهج التجريبي في دراسة تأثير كلاً من سرعة القطع والمسافة الفاصلة على خشونة السطح للمنتجات المعدنية من

وأخري من ألياف البلاستيك المقوي وأظهرت النتائج أن القطع بالـ AWJ يعد الأفضل عن غيره في هذه الحالة [D.K. Shanmugam et al. 2002. P. 289, 296].

كما تم فحص تأثير سرعة القطع علي كل من جودة وخشونة السطح لعينات من الاستانليس ستيل 316L سمك 10 مم بالـ AWJ، وتم قياس الخشونة في أماكن مختلفة لجميع أجزاء عمق القطع وتم مناقشتها، وتبين تأثيراً كبيراً لسرعة القطع علي خشونة وجودة السطح بوجود علامات بالقطع خاصة الأجزاء السفلية من القطع [Piotr Löschner et al. 2016. P. 276].

كما أن الضغط الهيدروليكي للقطف ونوع الحبيبات للمواد الحاكة من العقيق وأكسيد الألمنيوم كلاهما عاملاً هاماً في التأثير علي خشونة السطح [M.A. Azmir et al. 2009. P. 6173].

وفي دراسة تجريبية لخشونة السطح في الـ AWJ تم فحص تأثير كلاً من سمك الخامة وسرعة القطع ومعدل تدفق الحبيبات علي خشونة السطح أثناء قطع الألومنيوم بالـ AWJ [Derzija, B. H. et al. 2015. P.394, 399]. وفي دراسة لتفكيك سبائك النحاس باستخدام القطف النفث النبضي بالماء تم فحص كلاً من السطح والتشكيل والتباين لسبائك النحاس "النحاس الأصفر والبرونز" المشغلة وتبين أنها أثرت علي القيم المتوسطة للخشونة [Lehocka, D. et al. 2016. P. 375, 382].

وفي دراسة بعنوان تصنيع الأعمدة الدقيقة بالتشغيل بالـ AWJ، للحصول علي مميزات التصنيع ثلاثي الأبعاد العالية الدقة قُدمت استراتيجيات مبتكرة لمسار القطف النفث وتم استخدام الضغط وحجم الحبيبات كعوامل تشغيل علي ثلاث خامات عمل مختلفة هي سبائك الألومنيوم Al6061 والاستانليس ستيل SS304 وسبائك التيتانيوم Ti6Al4V، وتم قياس خشونة السطح للأعمدة الدقيقة بواسطة جهاز قياس خشونة السطح بتقنية الليف الضوئي ثلاثي الأبعاد وتمت المعالجة باستخدام برنامج الماسح الضوئي للصور (SPIP)، واستُخدم المجهر الرقمي والماسح الإلكتروني SEM لفحص وتحليل سلوك السطح المشغل مجهرياً، وتستخدم الأعمدة الدقيقة في أغراض التبريد وكأداة تصنيع في التشغيل الكهروكيميائي والتفريغ الكهربائي (EDM/ECM) [Pal, V.K. et al. 2014. p. 61].

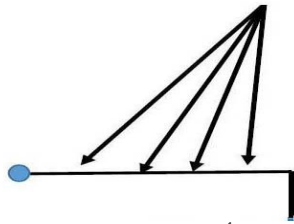
كما تم إجراء اختبار تجريبي بعملية الـ AWJ علي تشغيل خامة AA631-T6 باستخدام منهجية Taguchi وتم الأخذ بعين الاعتبار لعوامل السرعة والمسافة الفاصلة ومعدل تدفق الحبيبات لدراسة تأثير العوامل علي عرض أعلي قطع وعلي زاوية خلوص القطع، وتم استخدام سبع خوارزميات تحسين متقدمة هي أسراب العناصر والذباب المضيء ومستعمرات النحل الاصطناعي ومحاكاة التلدين والنقب الأسود والجغرافيا الحيوية والخوارزمية الجينية، وتم مقارنة فعالية هذه الخوارزميات ووجد أن خوارزمية الجغرافيا الحيوية تعمل بشكل أفضل مقارنة بباقي الخوارزميات من واقع النتائج التجريبية، وأوضحت التجارب أن كلاً من تقنيات التحسين وطريقة Taguchi هي الأدوات الفعالة في تحسين عوامل تشغيل الـ AWJ [Shukla, R. et al. 2017. p. 335].

كما تم دراسة التشغيل الدقيق لتفريغ مغلف في سبائك الألومنيوم وبوروسليكات الزجاج باستخدام الـ AWJ ووجد أن القنوات المغلفة يمكن تشغيلها 3-2 مرة أضيق مع خشونة أقل بنسبة 11% وأقل تموجاً بنسبة 44% من التي تم إنشاؤها دون تغليف، وأن الزيادة في سمك الغلاف أدت إلي زيادة في عمق وعرض التفريغ، وينقص من تموج وخشونة خط المنتصف. كما أن زيادة معدل تدفق الحبيبات أدت إلي زيادة عرض التفريغ، لكنه أنقص العمق. وانخفضت معدلات تآكل خط المنتصف في القنوات المغلفة بشكل أسرع مع العمق مقارنة بالحالات غير المغلفة، وأوضحت الدراسة أن التشغيل الدقيق بالـ AWJ للتفريغ المغلف ذو مميزات ممكنة تقترب من عرض 150 ميكرون، مما يدل علي جدوي تقنية عمل مجري سيل دقيق وغيره من المكونات.

135- 100- 70- 35- 5	3	40- 44
135- 100- 70- 35- 5	2.5	45- 49
135- 100- 70- 35- 5	1.5	50- 54
150	1	55- 57

جدول رقم (1) يوضح قيم المسافة الفاصلة بالـ mm وسرعة القطع بالـ mm/min المستخدمة في إجراء القطع لعينات التجارب.

وعن التكوين الكيميائي تتركب خامة العينات التي أستخدمت في القطع من 62.26% (Cu)، و 37.7% (Zn)، و 0.02% (Fe). ويوضح شكل رقم (1) الأربع نقاط التي تم عندها فحص أخذ قراءة قياسات خشونة السطح علي جزء من مسار القطع كمثال للخط المستقيم لعينات التجارب.



شكل رقم (1) يوضح الأربع نقاط التي تم عندها فحص وقراءة قياسات خشونة السطح علي جزء من مسار القطع كمثال للخط المستقيم لعينات التجارب.

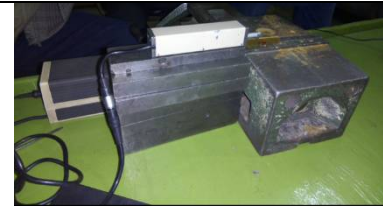
ويقيس جهاز فحص الخشونة المستخدم ارتفاع الرايش في خط مستقيم وفي خطوات ويوضح ذلك الأشكال أرقام (2-a), (2-b), (2-c), (2-d), (2-e), (2-f) صور لخطوات استخدام جهاز قياس خشونة السطح.



شكل رقم (2-a) يوضح تثبيت العينة.



شكل رقم (2-b) يوضح بداية إجراء القياس.



شكل رقم (2-c) يوضح تثبيت العينة.



شكل رقم (2-d) يوضح متابعة الجهاز.



شكل رقم (2-e) يوضح الانتهاء من القياس.



شكل رقم (2-f) يوضح القراءة بعد الفحص.

8- مناقشة النتائج:-

1-8- سرعة القطع وخشونة السطح وجودة القطع:-

في العينة رقم 9 كانت أعلى قراءة لخشونة السطح $10.78 \mu\text{m}$ عند أعلى سرعة قطع 150 مم/د ومسافة فاصلة 1 مم، وفي العينة رقم 11 كانت أعلى قراءة للخشونة $11.21 \mu\text{m}$ عند سرعة قطع 90 مم/د. وعند نفس المسافة الفاصلة 1 مم شكل بياني رقم (6) ص 10 ونلاحظ زيادة خشونة السطح بزيادة السرعة مع قلة وثبات المسافة الفاصلة للعينتين.

أيضا بمقارنة نتائج قراءة قياسات الخشونة للعينات أرقام 9، و 11 بنتائج قراءة قياسات الخشونة للعينة رقم 6 في نفس الشكل البياني رقم (6) ص 10 نجد أن أقل قراءة للخشونة للعينة رقم 6 كانت $4.66 \mu\text{m}$ وهي قراءة منخفضة للخشونة عند سرعة قطع أقل

النحاس الأصفر سمك 0,8 مم المشغلة بالـ AWJ.

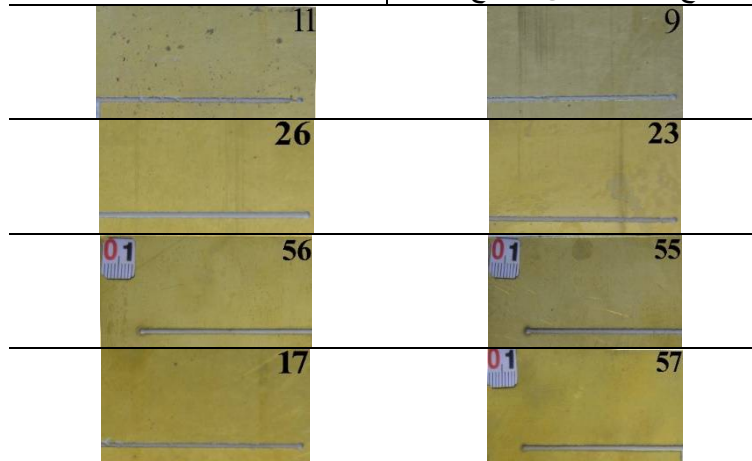
الدراسة التجريبية :-

تم استخدام ماكينة التشغيل بالـ Abrasive waterJet [https://www.onejetwaterjet.cn] في قطع عينات من النحاس الأصفر سمك 0.8 mm. ويوضح جدول رقم (1) القيم المستخدمة لكلاً من المسافة الفاصلة بالـ mm وسرعة القطع المستخدمة بالـ mm/min في إجراء القطع لعينات التجارب. وكان ضغط قذف الماء المستخدم ثابت 1400 psi وحجم الحبيبات الحاكة للقطر 80 mesh لجميع العينات.

رقم التجربة/ العينة	S.O.D المسافة الفاصلة (mm)	سرعة القطع (mm/min)
0- 4	0	50- 5 - 10 - 15- 20
5- 12	1	5- 10- 15- 20- 150- 120- 90- 60
13-16	2	150- 120- 90- 60
17&19- 22	15	150 & 150- 120- 90- 60
18	10	150
23- 29	5	120- 90- 60- 30- 20- 10- 5
30- 34	4	135- 100- 70- 35- 5
35- 39	3.5	135- 100- 70- 35- 5

بتكرار التجربة علي العينات أرقام 55، و 56، و 57 باستخدام نفس قيم عوامل التشغيل وكانت أعلى قراءات للخشونة 9.27، و 13.36، و 8.15 μm علي التوالي. أما العينة رقم 17 شكل بياني رقم (14) ص 11 نجد أن أعلى قراءة للخشونة $9.28\mu\text{m}$ عند أعلى سرعة قطع 150م/د وأعلى مسافة فاصلة 15 مم، وعزى ذلك أيضاً إلي كبر قيم كلا من سرعة القطع والمسافة الفاصلة. ويوضح الشكل رقم (3) صور لخلفية مسار القطع للخط المستقيم للعينات المشار إليها أرقام 9، 11، 41، 51، 23، 26، 55، 56، 57، و 17.

10م/د واستخدام نفس المسافة الفاصلة 1 مم راجع ملحق رقم (أ) ص 14 وعزى ذلك إلي خفض سرعة القطع. أيضاً العينة رقم 23 كانت أعلى قراءة للخشونة $10.97\mu\text{m}$ عند سرعة قطع 120م/د ومسافة فاصلة 5 مم، وبمقارنتها بالعينة رقم 26 وجد أن قراءة الخشونة $3.46\mu\text{m}$ وهي أقل بسبب سرعة قطع المنخفضة 30م/د وعند ثبات المسافة الفاصلة 5 مم شكل بياني رقم (13) ص 11. نستنتج مما سبق أن العلاقة بين سرعة القطع وخشونة السطح طردية. فكلما زادت سرعة القطع زادت خشونة السطح وقلت جودة سطح القطع، وكلما قلت سرعة القطع قلت خشونة السطح وزادت جودة القطع [Abouzaid, A. et al. 2018. p. 13]. وتم التأكيد من أن سرعة القطع المرتفعة تنتج خشونة أعلى للسطح وذلك

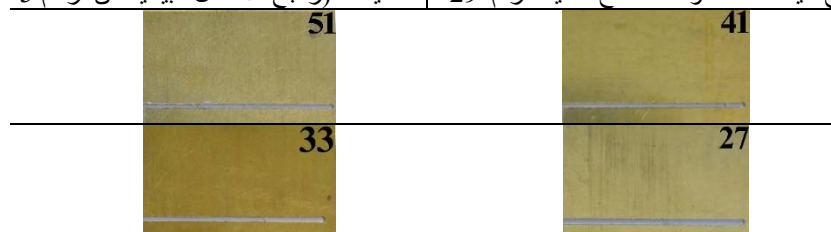


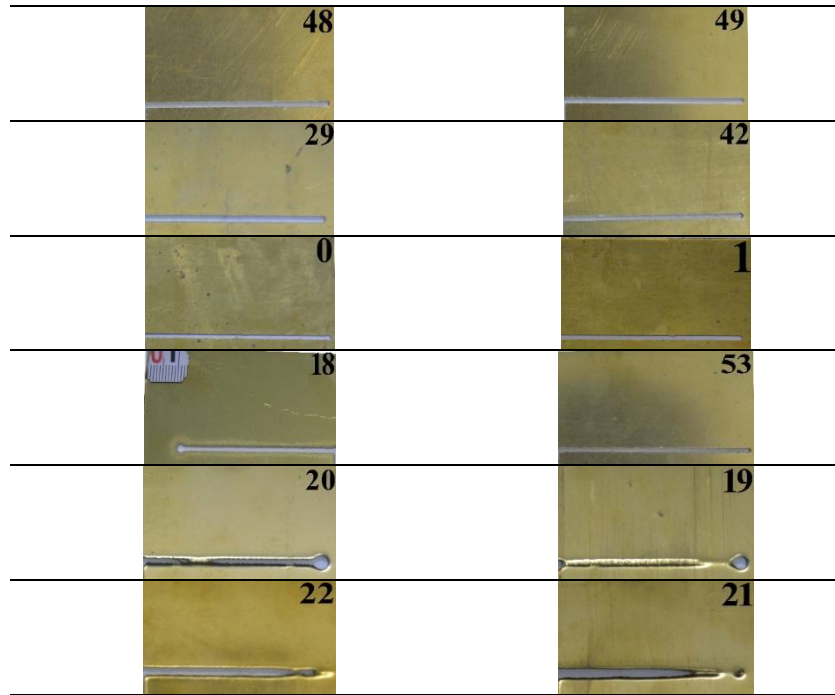
الشكل رقم (3) يوضح صور لخلفية مسار القطع للخط المستقيم في العينات أرقام 9، و 11، و 41، و 51، و 23، و 26، و 17 والأمام لـ 55، 56، 57.

كانت أعلى قراءة للخشونة هي $11.25\mu\text{m}$ عند سرعة قطع 5 م/د ومسافة فاصلة 5 مم بالعينة رقم 1 كانت أقل قراءة للخشونة $4.67\mu\text{m}$ عند نفس سرعة القطع 5 م/د وعند مسافة فاصلة Zero مم نجد انخفاض في الخشونة مع المسافة الأقل، وزادت الخشونة في العينة رقم 0 فكانت $7.24\mu\text{m}$ علي الرغم من استخدام نفس المسافة الفاصلة بالمقارنة بالعينة رقم 1 ولكن زيادة سرعة القطع إلي 50 م/د شكل رقم (5) ص 10 أنتج وأدي إلي خشونة أعلى. وللمحافظة علي خشونة سطح أقل يجب أن تكون المسافة الفاصلة أقل وقد ظهر ذلك واضحاً في الشكل البياني رقم (5)، و (6) ص 10 للعينات أرقام 1، و 6 وعليه فان المسافة الفاصلة تتناسب طردياً مع خشونة السطح فكلما زادت المسافة زادت الخشونة وقلت جودة سطح القطع، والعكس كلما قلت المسافة الفاصلة قلت الخشونة وزادت جودة سطح القطع. وكانت قراءات الخشونة عالية 13.13 ، و $18.07\mu\text{m}$ في العينة رقم 53 مع سرعة القطع 35 م/د والمسافة الفاصلة 1.5 مم شكل رقم (7) ص 10. أما العينات أرقام من 18 إلي 22 عند سرعات قطع 150، 60، 90، 120، 150 ومسافة فاصلة 15 فلا يوجد سطح لقياس الخشونة وذلك بسبب كبر المسافة الفاصلة بشكل مبالغ فيه كما كان القطع غير مكتمل في بعض الأجزاء ويوضح الشكل رقم (4) صور لخلفية مسار القطع للخط المستقيم للعينات المشار إليها أرقام 9، 11، 41، 51، 27، 33، 49، 48، 42، 29، 1، 0، 53، و 19-22، ومن الأمام للعينة رقم 18. وقد تم تمثيل نتائج قراءة قياسات خشونة السطح بيانياً لجميع العينات (راجع الأشكال البيانية من أرقام 5-14).

2-8- المسافة الفاصلة وخشونة السطح وجودة القطع:-

بمراجعة قراءة قياسات الخشونة للعينات أرقام 41، و 51 كانت أعلى قراءات للخشونة في العينتين 13.5 ، و $11.18\mu\text{m}$ عند السرعة 100 م/د والمسافة الفاصلة 3، و 1.5 مم الشكل البياني رقم (10) ص 10، والشكل البياني رقم (7) ص 10 علي التوالي ونجد زيادة الخشونة بزيادة المسافة الفاصلة وثبات سرعة القطع في العينتين. أيضاً في العينة رقم 27 كانت قراءة الخشونة $12.34\mu\text{m}$ عند سرعة قطع 20م/د عند نفس المسافة الفاصلة 5 مم فعلي الرغم من سرعة القطع الأقل كانت الخشونة أعلى وذلك بسبب كبر المسافة الفاصلة شكل رقم (13) ص 11. كذلك الحال في العينة رقم 33 كانت أعلى قراءة للخشونة $12.8\mu\text{m}$ عند سرعة قطع 35 م/د بسبب كبر المسافة الفاصلة 4 مم شكل رقم (12) ص 11، راجع قراءة قياسات الخشونة للعينات أرقام 49، و 48 ظهر أيضاً تأثير كبر المسافة الفاصلة 2.5 مم علي خشونة السطح فبالرغم من استخدام سرعات قطع منخفضة 5، 35 م/د في العينتين علي الترتيب إلا أن قراءة الخشونة كانت أعلى 10.28 ، و $11.1\mu\text{m}$ الشكل البياني رقم (10) ص 10، وكذلك الحال بالنسبة للعينات أرقام 42، و 29 فان كبر المسافة الفاصلة 3، 5 مم بالإضافة إلي السرعات 70، 5 م/د شكّل عاملاً معاً مؤثراً في إنتاج خشونة سطح عالية وكانت أعلى قراءة 12.27 ، و 11.25 علي التوالي بسبب كبر المسافة الفاصلة كما هو موضح في الأشكال البيانية أرقام (10) و (13) ص 10، و ص 11. أيضاً بمقارنة نتائج قياسات خشونة السطح للعينة رقم 29



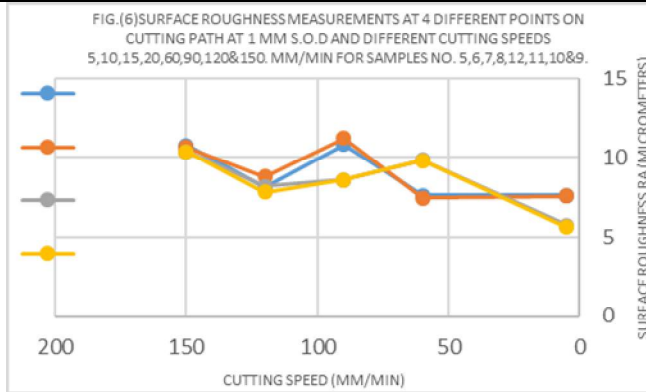


الشكل رقم (4) يوضح صور لخلفية مسار القطع للخط المستقيم للعينات المشار إليها أرقام 41، 51، 27، 33، 49، 48، 42، 1، 0، 53، 19-22، وللعينة رقم 18 من الأمام.

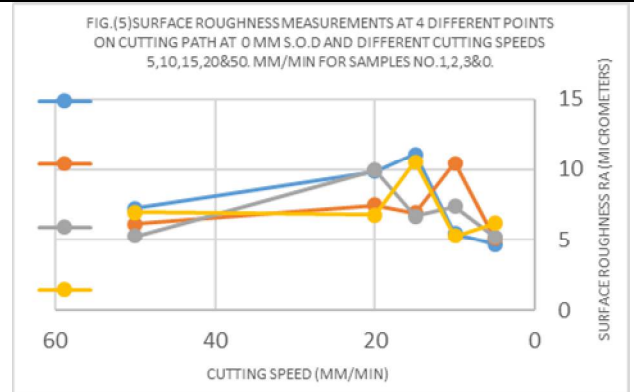
قراءة قياسات خشونة السطح لجميع العينات:-

3-8- التمثيل البياني لنتائج قراءة قياسات خشونة السطح للعينات:-

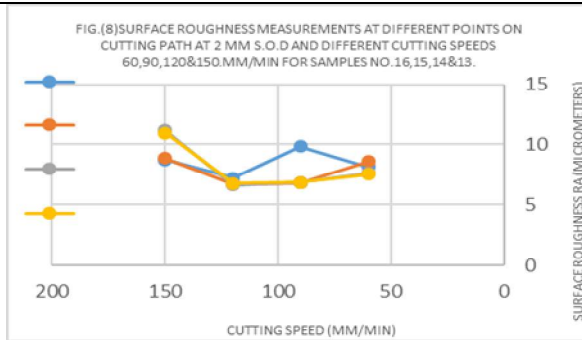
توضح الأشكال أرقام من (5- 14) التمثيل البياني لنتائج



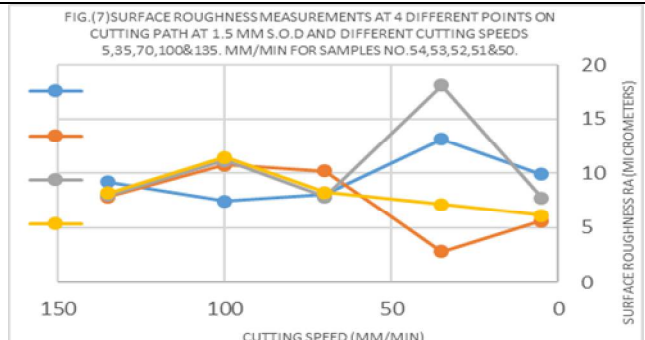
شكل رقم (6) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 1 مم وسرعات قطع 5، 10، 15، 20، 60، 90، 120، 150، و 150 للعينات أرقام 9، 10، 11، 12، 8، 7، 6، 5.



شكل رقم (5) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة Zero مم وسرعات قطع 5، 10، 15، 20، و 50 للعينات أرقام 4، 3، 2، 1، و 0.

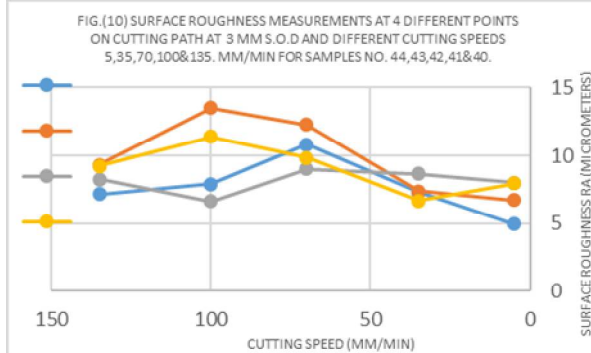


شكل رقم (8) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 2 مم وسرعات قطع 60، 90، 120، 150، و 150 للعينات أرقام 16، 15، 14، و 13.



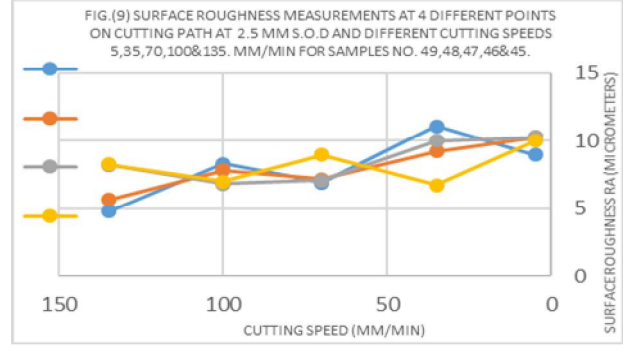
شكل رقم (7) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 1.5 مم وسرعات قطع 5، 35، 70، 100، و 135 للعينات أرقام 5، 35، 70، 100، و 135.

.13و

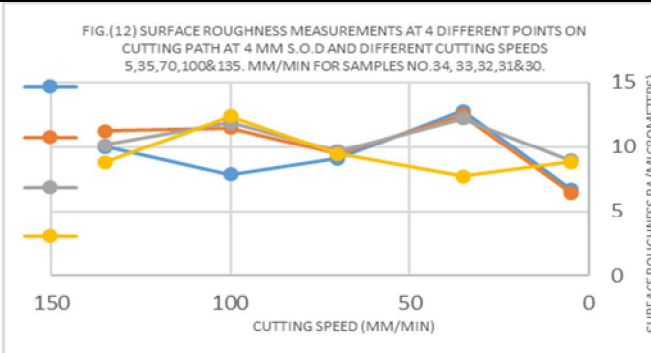


شكل رقم (10) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 3 مم وسرعات قطع 5، 35، 70، 100، 135، مم/دقيقة للعينات أرقام 41، 42، 43، 44، و 40.

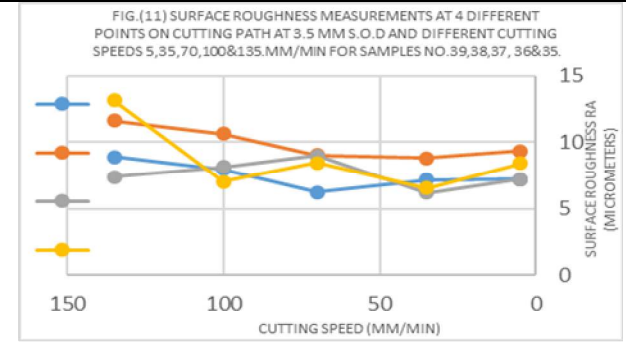
.50، 51، 52، 53، 54



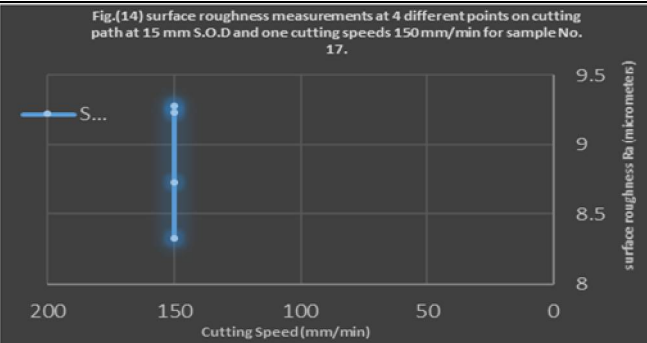
شكل رقم (9) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 2.5 مم وسرعات قطع 5، 35، 70، 100، 135، مم/دقيقة للعينات أرقام 45، 46، 47، 48، 49.



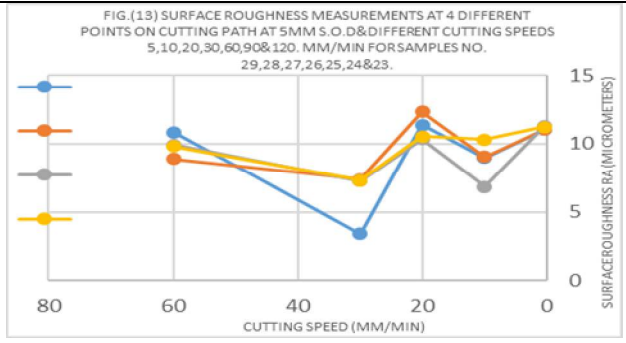
شكل رقم (12) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 4 مم وسرعات قطع 5، 35، 70، 100، 135، مم/دقيقة للعينات أرقام 30، 31، 32، 33، 34، و 30.



شكل رقم (11) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 3.5 مم وسرعات قطع 5، 35، 70، 100، 135، مم/دقيقة للعينات أرقام 35، 36، 37، 38، 39.



شكل رقم (14) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 15 مم وسرعة قطع 150 للعينة رقم 17.



شكل رقم (13) يوضح التمثيل البياني لقياسات خشونة السطح عند نقاط مختلفة لمسار القطع للخط المستقيم عند مسافة فاصلة 5 مم وسرعات قطع 5، 10، 20، 30، 60، 90، 120، مم/دقيقة للعينات أرقام 23، 24، 25، 26، 27، 28، 29.

9- الخاتمة:-

- أظهرت الدراسة تأثيراً لكلاً من سرعة القطع والمسافة الفاصلة كعوامل تشغيل للقطع بالـ AWJ علي خشونة السطح.
- انعكس تأثير سرعة القطع والمسافة الفاصلة علي جودة سطح العينات المشغلة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم المستخدم في المنتجات المعدنية.
- تم تحديد القيم المثلي التي تنتج خشونة سطح في الحد الأدنى وجودة قطع مثالية من خلال استخدام قيم متغيرة لكل من سرعة القطع والمسافة الفاصلة.
- العلاقة الطردية بين كلاً من سرعة القطع وخشونة السطح، فكلماً زادت سرعة القطع زادت خشونة السطح وانخفضت جودة سطح القطع والعكس كلما قلت سرعة القطع قلت خشونة السطح وارتفعت جودة القطع.
- استخدام قيمة أقل لسرعة القطع مع قيمة أكبر للمسافة الفاصلة

- أنتج خشونة سطح أعلى.
- العلاقة الطردية بين كلاً من المسافة الفاصلة وخشونة السطح ، فكلماً زادت المسافة الفاصلة زادت خشونة السطح وانخفضت جودة القطع والعكس كلما قلت المسافة الفاصلة قلت خشونة السطح وارتفعت جودة القطع.
- استخدام مسافة فاصلة Zero مم مع سرعة قطع 5 مم/د تعد من القيم الأفضل للحصول علي سطح دون رايش وخشونة في الحد الأدنى 4.67µm وجودة قطع مثلي مع الأخذ في الاعتبار بأن خفض سرعة القطع سيزيد من عرض القطع.
- حددت الدراسة مجموعة القيم التي يمكن بواسطتها ضبط كلاً من خشونة السطح وجودة القطع لأسطح المنتجات المعدنية من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم.

10- المراجع الأجنبية:-

[1] Abouzaid, A., Newishy, M., & AlQotari, I.

- characteristics by CFD simulation. *Journal of materials processing technology*, Vol. (153–154) 488–493, from Elsevier database.
- [11] Löschner, Piotr., Jarosz, Krzysztof. & Niesłony, Piotr. (2016). Investigation of the effect of cutting speed on surface quality in abrasive water jet cutting of 316L stainless steel. *Procedia Engineering*, Vol. (149) 276–282, from ScienceDirect database.
- [12] Niranjana, C.A., Srinivas, S. & Ramachandra, M. (2018). Effect of process parameters on depth of penetration and topography of AZ91 magnesium alloy in abrasive water jet cutting. *Journal of Magnesium and Alloys*, Vol. (6) 366–374. Received 9 April 2018, received in revised form 16 July 2018, accepted 20 July 2018, from Since Direct database.
- [13] Pal, V.K. & Choudhury, S.K. (2014). Fabrication and analysis of micro-pillars by abrasive water Jet machining. *Procedia Materials Science, Proceeding of the 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation [CD ROM]*. India: Science Direct.
- [14] Rakshit, R. & Kumar Das, A. (2019). A review on cutting of industrial ceramic materials. *Precision Engineering*, Vol. (59) 90–109, from Since Direct database.
- [15] Schwartzentruber, J., Spelt, J.K. & Papini, M. (2017). Prediction of surface roughness in abrasive waterjet trimming of fiber reinforced polymer composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. (122) 1–17, from Since Direct database.
- [16] Shanmugam, D.K., Chen, F.L., Siores, E., & Brandt, M. (2002). Comparative study of jetting machining technologies over laser machining technology for cutting composite materials. *Composite Structures*, Vol. (57) 289–296, from Elsevier database.
- [17] Shukla, R. & Singh, D. (2017). Experimentation investigation of abrasive water jet machining parameters using Taguchi and Evolutionary optimization techniques. *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. (32) 167–183. Received 20 January 2016, received in revised form 7 June 2016, accepted 20 July 2016, available online 26 July 2016, from Since Direct database.
- [18] Srivastava, A. K., Nag, A., Dixit, A. R., Scucka, J., Hloch, S., Klichová, D., Hlaváček, P. & Tiwari, S. (2019). Hardness measurement of surfaces on hybrid metal matrix composite created by turning using an abrasive water jet and WED. *Measurement*, Vol, (131) 628–639. Received 16 September 2017, received in revised form 18 April 2018, accepted 9 September 2018, available online 11 September 2018, Since Direct database.
- (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 ROM]: *International Design Journal*.
- [2] Ally, S., Spelt, J.K. & Papini, M. (2012). Prediction of machined surface evolution in the abrasive jet micro-machining of metals. *Wear*, Vol. (292-293) 89–99. Received 2 April 2012, received in revised form 30 May 2012, accepted 31 May 2012, available online 9 June 2012, from since direct database.
- [3] Aurich, J.C., Kirsch, B., Setti, D., Axinte, D., Beaucamp, A., ButlerSmith, P. & Yamaguchi, H. (2019). Abrasive processes for micro parts and structures. *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, Vol. (2025) 1–24, since direct database.
- [4] Azmir, M.A., & Ahsan, A.K. (2009). A study of abrasive water jet machining process on glass/epoxy composite laminate. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. (209) 6168–6173, from ScienceDirect database.
- [5] Chand, M., Mehta, A., Sharma, R., Ojha, V N., & Chaudhary, K P. (2011). Roughness measurement using optical profiler with self-reference laser and stylus instrument — A comparative study. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, Vol. (49) 335–339. Received 30 August 2010, revised 1 March 2011, accepted 31 March 2011, on line May 2011, from Research Gate database.
- [6] Derzija, B. H., Cekic, A., Mehmedovic, M., & Djelmic, A. (2015). Experimental Study on Surface Roughness in Abrasive Water Jet Cutting. *Procedia Engineering*, Vol. (100) 394–399, from ScienceDirect database.
- [7] Haghbin, N., Ahmadzadeh, F. & Papain, M. (2018). Masked micro-channel machining in aluminum alloy and borosilicate glass using abrasive water jet micro-machining. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. (35) 307–316, from Elsevier database.
- [8] Kumar, R. S., Gajendran, S. & Kesavan, R. (2018). Estimation of Optimal Process Parameters for Abrasive Water Jet Machining Of Marble Using Multi Response Techniques. *Materials Today: Proceedings*, Vol. (5) 11208–11218, from ScienceDirect database.
- [9] Lehocka, D., Klich, J., Foldyna, J., Hloch, S., Krolczyk, J.B., Carach, J., & Krolczyk, G.M. (2016). Copper alloys disintegration using pulsating water jet. *Measurement*, Vol. (82) 375–383. Received 27 October 2015, received in revised form 21 December 2015, accepted 6 January 2016, available online 9 January 2016, from ScienceDirect database.
- [10] Liu, H., Wang, J., Kelson, N., & Brown, R. J. (2004). A study of abrasive waterjet

11- Internet sites:-

TCh1roQinEAAAYASAAEgLfBPD_BwE

[19]https://www.onejetwaterjet.cn/PRODUCTS.html?gclid=EAIaIQobChMIufzueN4wIVCgH
ملحق 1:

Exp/Sample NO.	abrasive size	S.O.D	Time machinin.	Cutting Speed mm/min.	Water Pressure.	Cutting Speed Cm/min.	Samples Surface Roughness μm			
							Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
1	80	0	4 min, 47 sec.	5	1400	0.5	4.67	5.15	5.25	6.19
2	80	0	2 min, 31 sec.	10	1400	1	5.45	10.45	7.4	5.3
3	80	0	1 min, 30 sec.	15	1400	1.5	11.1	6.94	6.69	10.54
4	80	0	1min, 20 sec.	20	1400	2	9.83	7.49	9.93	6.78
0	80	0	40 sec.	50	1400	5	7.24	6.17	5.3	6.97
5	80	1	4 min, 47 sec.	5	1400	0.5	7.62	7.58	5.74	5.64
6	80	1	2 min, 31 sec.	10	1400	1	5.41	5.28	4.68	4.66
7	80	1	1 min, 30 sec.	15	1400	1.5	5.56	7.36	6.22	7.35
8	80	1	1min, 20 sec.	20	1400	2	9.38	9.05	6.94	6.94
12	80	1	32 sec.	60	1400	6	7.6	7.44	9.82	9.81
11	80	1	25 sec.	90	1400	9	10.81	11.21	8.58	8.56
10	80	1	21 sec.	120	1400	12	8.1	8.8	8.16	7.83
9	80	1	18 sec.	150	1400	15	10.78	10.62	10.36	10.37
13	80	2	18 sec.	150	1400	15	8.74	8.85	11.17	10.98
14	80	2	21 sec.	120	1400	12	7.18	6.69	6.6	6.73
15	80	2	25 sec.	90	1400	9	9.86	6.81	6.82	6.83
16	80	2	32 sec.	60	1400	6	8.15	8.6	7.62	7.52
55	80	1	18 sec.	150	1400	15	6.51	8.17	9.07	9.27
56	80	1	18 sec.	150	1400	15	9.64	13.36	8.66	8.54
57	80	1	18 sec.	150	1400	15	7.4	6.36	8.11	8.15
54	80	1.5	4 min, 47 sec.	5	1400	0.5	9.92	5.63	7.76	6.15
53	80	1.5	35 sec.	35	1400	3.5	13.13	2.86	18.07	7.12
52	80	1.5	29 sec.	70	1400	7	8.03	10.23	7.83	8.24
51	80	1.5	24 sec.	100	1400	10	7.46	10.76	11.18	11.5
50	80	1.5	20 sec.	135	1400	13.5	9.23	7.86	8	8.22
49	80	2.5	4 min, 47 sec.	5	1400	0.5	9	10.28	10.27	9.99
48	80	2.5	35 sec.	35	1400	3.5	11	9.24	9.99	6.73
47	80	2.5	29 sec.	70	1400	7	7	7.17	7.1	8.97
46	80	2.5	24 sec.	100	1400	10	8	7.85	6.82	7
45	80	2.5	20 sec.	135	1400	13.5	5	5.66	8.22	8.29
44	80	3	4 min, 47 sec.	5	1400	0.5	4.96	6.73	8.01	7.96
43	80	3	35 sec.	35	1400	3.5	7.29	7.38	8.65	6.69
42	80	3	29 sec.	70	1400	7	10.82	12.27	9	9.84
41	80	3	24 sec.	100	1400	10	7.91	13.5	6.63	11.4
40	80	3	20 sec.	135	1400	13.5	7.15	9.31	8.26	9.23
39	80	3.5	4 min, 47 sec.	5	1400	0.5	7.22	9.33	7.22	8.4
38	80	3.5	35 sec.	35	1400	3.5	7.16	8.8	6.19	6.53
37	80	3.5	29 sec.	70	1400	7	6.24	9	8.96	8.43
36	80	3.5	24 sec.	100	1400	10	7.97	10.61	8.15	7.04
35	80	3.5	20 sec.	135	1400	13.5	8.86	11.58	7.38	13.06
34	80	4	4 min, 47 sec.	5	1400	0.5	6.75	6.45	8.94	8.81
33	80	4	35 sec.	35	1400	3.5	12.8	12.5	12.21	7.76
32	80	4	29 sec.	70	1400	7	9.09	9.44	9.67	9.46
31	80	4	24 sec.	100	1400	10	7.88	11.5	11.89	12.4
30	80	4	20 sec.	135	1400	13.5	9.99	11.27	10.18	8.82
29	80	5	4 min, 47 sec.	5	1400	0.5	11.03	11.03	11.25	11.22
28	80	5	2 min, 31 sec.	10	1400	1	8.95	9.03	6.86	10.3
27	80	5	1min, 20 sec.	20	1400	2	11.37	12.34	10.34	10.52
26	80	5	36 sec.	30	1400	3	3.46	7.37	7.26	7.3
25	80	5	32 sec.	60	1400	6	10.82	8.87	9.92	9.8
24	80	5	25 sec.	90	1400	9	4.28	4.18	3.78	1.1
23	80	5	21 sec.	120	1400	12	10.96	8.57	8.87	10.97
18	80	10	18 sec.	150	1400	15	لا يوجد سطح للقياس			
22	80	15	32 sec.	60	1400	6				
21	80	15	25 sec.	90	1400	9				
20	80	15	21 sec.	120	1400	12				
19	80	15	18 sec.	150	1400	15				
17	80	15	18 sec.	150	1400	15	9.28	9.23	8.33	8.73

ملحق رقم (1) يوضح قيم عوامل التشغيل المستخدمة في تجارب الدراسة للعينات أرقام من 1-57 وقيم قراءة قياسات خشونة السطح لأربع نقاط علي مسار القطع للخط المستقيم المستخدم في التشغيل.

رموز ومصطلحات:-

SOD	Stand-Off Distance
AWJM	Abrasive Water Jet Machining
AMP	Advanced Manufacturing Processes
AJ	Abrasive Jet
MRR	Material Remval Rate
Ra	average Roughness
Ka	Kerf angle
FE-SEM	Field emission -Scanning Electron Microscopy
μm	Micro mm/ Micro meter
ECM	Electrochemical Machining
EDM	Electric Disharge Machining