

دراسة تأثير عوامل تشغيل الألواح النحاسية الرقيقة بتقنية القذف النفاث بالماء لضبط جودة قطع أسطح المنتجات المعدنية

The Effect of machining parameters of thin brass sheets using Abrasive Water Jetting technology on optimizing the cutting quality of products surfaces

د/ عبد الرحمن أبوزيد

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

كلمات دالة Keywords:

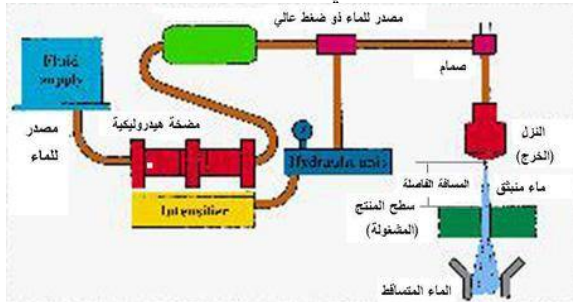
التشغيل بالقطع
Cutting Machining
القذف النفاث بالماء والحبيبات
Abrasive Water Jet
المسافة الفاصلة
Standoff Distance
عرض القطع
Kerf Width
جودة القطع
Cutting Quality

ملخص البحث Abstract:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير كلا من المسافة الفاصلة وسرعة القطع كعوامل تشغيل بين نزل تقنية القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات وسطح النحاس، وذلك لضبط جودة القطع لأسطح المنتجات المعدنية. وقد أمكن الحصول على جودة قطع عالية لأسطح الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم باستخدام تقنية القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات من خلال ضبط كلا من المسافة الفاصلة وسرعة القطع. واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي في تشغيل عدد 57 عينة من الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم بمقاس 150×100 مم للعينة بالقطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات لمسار قطع يشتمل على خطوط مستقيمة، زاوية منفرجة، وحادة، وقائمة، خط منحنى، تقابل خط مستقيم مع قوس في اتجاه واحد. تم استخدام سرعات قطع ومسافات فاصلة متنوعة. تم استخدام قيم متنوعة وتم تسجيل القراءات الناتجة عن إجراء التجارب وتم تقييمها. تم رصد جودة القطع من خلال قياس عرض القطع عند مواضع مختلفة لمسار القطع وتم التحقق منها. تم تقديم نتائج التجارب بياناً، للحصول على أفضل النتائج التي تعطي جودة قطع عالية. تم مناقشة تأثير كلا من المسافة الفاصلة وسرعة القطع على عرض القطع للعينات. ومن أهم النتائج أن كلا من المسافة الفاصلة وسرعة القطع أثرا على عرض القطع وبالتالي على جودة قطع العينات. استخدام مسافة فاصلة أكبر أنتج عرض قطع في الحد الأقصى وجودة قطع منخفضة، ولتحسين جودة القطع فإن ذلك يتطلب استخدام مسافة فاصلة أقل. زيادة سرعة القطع أنتج عرض قطع في الحد الأدنى وأتاح جودة قطع عالية، لكن مع خفض سرعة القطع زاد عرض القطع إلى الحد الأقصى وأنتج جودة قطع منخفضة. استخدام سرعات قطع عالية مع مسافة فاصلة أقل أنتج جودة قطع عالية على أسطح العينات. وبالنسبة للسرعات العالية عند الزوايا الحادة لمسار القطع أيضاً أنتجت عرض قطع أكبر عند مسافة فاصلة أعلى، بينما كان عرض القطع أقل عند كلا من الزوايا المنفرجة والقائمة والخط المنحني وعند الخط المستقيم المقابل مع القوس والخط المستقيم على الترتيب. أوضحت الدراسة تأثيراً ملحوظاً لكل من المسافة الفاصلة وسرعة القطع على عرض مسار القطع وبالتالي على جودة القطع. وتبين أن استخدام مسافة فاصلة بقيمة 1 مم مع سرعة قطع 150 مم/د تعد القيم الأمثل للحصول على جودة قطع مناسبة ووقت أقل وبالتالي تكلفة أقل.

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

المواد المعدنية وغير المعدنية، لا سيما الخامات التي يصعب قطعها مثل السيراميك والرخام، والمواد المركبة من طبقات. وشمل التشغيل كلا من القطع، والتقيب، والتفريز. فبالمقارنة بطرق التشغيل التقليدية وغير التقليدية فإن هذه التقنية تمتلك عدداً من المزايا الواضحة، كإعدام التشوه الحراري، وكفاءة التشغيل العالية، والقدرة على إنتاج الخطوط الخارجية "الكنترولرز"، وجودة السطح الفائقة، والتوافق مع معدات التشغيل، والرايش في الحد الأدنى [Liu, H. et al. 2004. P. 488]. ويوضح شكل رقم (1) الأجزاء المكونة لعملية القطع بالقذف النفاث بالماء [أبوزيد، عبدالرحمن (2008) ص45] ومشار إلي مكونات النظام والمسافة الفاصلة ضمن البيانات على الشكل.



شكل رقم (1) يوضح الأجزاء المكونة لعملية القطع بالقذف النفاث بالماء.

لقد أجريت مقارنة بين تقنيات التشغيل بالقذف النفاث والتشغيل بالليزر في قطع المواد المركبة وتم دراسة خصائص القطع لاثنتين

1- مقدمة Introduction:

في عام 1950م بدأ اهتمام الأقسام الهندسية والصناعية بالمؤسسات وأضحاً في الاتجاه نحو خفض تكلفة تشغيل المنتجات، وساهمت تقنية القذف النفاث بالماء في ذلك بإتاحتها العديد من السمات المنقطعة النظير والتي يمكن أن تؤثر بدور كبير في تكلفة قطع أسطح المنتجات. ويُعد نورمان فرانز Norman Franz أول من درس استخدام الضغط المرتفع للماء Water Ultrahigh- Pressure (UHP) كأداة للقطع [Walker, R. J. 1997. p. 455, 456]. فعلى مدى ما يقرب من ثلاثة عقود من نهاية القرن الماضي وخلال السنوات الأخيرة نُشرت العديد من الأبحاث التي تناولت تقنية القذف النفاث بالماء والحبيبات، وتم استيفاء مجموعة كبيرة من التطبيقات الصناعية. ومع مطلع القرن الحادي والعشرين شكلت هذه التقنية دوراً بارزاً في تشغيل المواد الحديثة والتي كان من الصعب على التقنيات التقليدية التعامل معها، وشاع استخدامها في الصناعة وذلك في ظل المتطلبات والتحديات البيئية. فالقذف النفاث بالماء تقنية نظيفة يتم فيها إعادة تدوير الماء، ولا ينتج عنها غباراً، إلا أنها تحدث تلوثاً ضوئياً. لقد تحسنت موثوقية المعدات المستخدمة في هذه التقنية بإطراد، فيمكننا الآن مقارنة نظام ضغط الماء العالي بالتقنيات التقليدية. إن الدقة والتشطيب لأسطح القطع يعتمدان بشكل أساسي على جودة القطع بالقذف النفاث وعلى عوامل التشغيل المتوقع تطورها في السنوات المقبلة، هذا بالإضافة إلى كيفية تنظيم تدفق الحبيبات الحاكة والتحكم فيها وجوده فوهة الخرج "النزل" [Mazurkiewicz, M. 2000 P. 112, 117, Wang, J. et al. 2002. P. 371].

القطع، وأهمية قياس كفاءة القطع الناتجان عن تقنية القذف النفاث بالماء لتشغيل نوعين من المواد المركبة: الأيوكسي الجرافيتي والأيوكسي الزجاجي [Shanmugam, D.K. et al. 2009. P. 3887].

أيضاً تم دراسة عوامل قطع المواد في القذف النفاث بمعلق الماء والحبيبات. وتم مناقشة العوامل المثلي لتحسين عملية القطع باستخدام طريقة البورجيت التي تسمح بتقنية القذف النفاث بمعلق الماء والحبيبات. وأظهرت النتائج المثلي للفحص إمكانية وضع معايير لخفض تكاليف كلاً من استهلاك الحبيبات الحاكة وعملية القطع [Borkowski, J. et al. 2009. P. 5,12,13]. أيضاً تم استخدام المنهج التجريبي في فحص جودة القطع بالقذف النفاث بالماء وأمكن تحديد قوتي القطع من خلال مقارنة نتائج التجربة التي ثبت أنها صالحة لحساب زاوية إمالة رأس القطع وسرعة القطع وتغيراتها [Hlavac, L.M. et al. 2009. 6194].

وفي دراسة للقطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات لسبائك التيتانيوم تم بحث تأثير التشكيل بالحبيبات علي التيتانيوم وخواصه الميكانيكية وجودة القطع [Boud, F. et al. 2010. P. 2197, 2204]. كما تم فحص تأثير شكل وصلادة الحبيبات عند تشغيل سبائك التيتانيوم 6A14V بالقذف النفاث بالماء والحبيبات المعروفة بأكسيد الألومنيوم علي خواص السطح [Fowler, G. et al. 2009. P. 613, 619].

وفي دراسة بعنوان التشكيل البارز بالقذف النفاث بالماء تم تقديم طريقة مبتكرة للتشكيل ثلاثي الأبعاد لخامات مختلفة باستخدام الضغط العالي للقذف النفاث، [Borkowski, P. 2011. P. 267, 274]. وفي دراسة بعنوان القذف النفاث بالماء الموجه بالليزر كبديل للتشغيل بالتفريغ الكهربائي للثقب الدقيق لفوهات حاقن الوقود "دراسة مقارنة للأسطح المشغلة". أثبتت الدراسة أن القذف النفاث بالماء الموجه بالليزر الثاقب بديلاً جيداً عن التشغيل بالتفريغ الكهربائي [Rashed, C.A.A. et al. 2013. P. 524, 528, 531].

أيضاً تم دراسة قطع سبائك الألومنيوم AA5083-H32 بالقذف النفاث بالماء والحبيبات، من خلال تغيير زوايا اصطدام القذف النفاث والحجوم الشبكية للحبيبات. وأوضحت النتائج أن تأثير التغيرات في زوايا اصطدام القذف، والحجوم الشبكية للحبيبات أنتج حالة سطح جيدة بمساعدة النيتروجين السائل [Yuvaraj, N. et al. 2016. P. 18]. وفي دراسة هدفت إلي تحديد متطلبات تصميم الشكل الدقيق لحافة القطع باستخدام التشغيل بالقذف النفاث بالحبيبات الرطبة أوضحت النتائج أنه يمكن عن طريق التشغيل بالقذف النفاث بالروبوت إعداد حافة قطع في مدي واسع، وتم التأكد من أن سرعة القطع بالقذف النفاث وزاوية ميل القذف النفاث ذا تأثير كبير علي متوسط ناتج تقريب حافة القطع وعامل الشكل [Biermann, Dirk. et al. 2016. P. 195, 198].

وفي دراسة تم تقييم تغييرات البنية المجهرية لسطح النحاس الأصفر CW614N بعد القطع بالقذف النفاث بالماء. وأشارت النتائج إلي الحاجة لاجراء فحص بعد تفكيك الخامات بالقذف النفاث بالماء، واستخدام عوامل تكنولوجية مختلفة وتأثيرها علي أشكال الفوهات وليس فقط الخامات المعدنية [Lehocká, Dominika. et al. P. 236, 243]. كما تم دراسة تأثير عوامل تشغيل الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0,8مم بالقطع بقوس البلازما لضبط جودة قطع أسطح المنتجات المعدنية، واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي في تغيير قيم كلا من الأمبير المستخدم وسرعة القطع علي عينات من النحاس، كما بينت مدي تأثير كل عامل تشغيل علي عرض مسار القطع وصلادة السطح والبنية المجهرية لحبيبات النحاس، ومن أهم النتائج الحصول علي قطع مثالي عند استخدام القيمة 30 أمبير مع سرعة 1500 سم/دقيقة [Abouzaid, A. et al. P. 13]. وتهدف الدراسة الحالية إلي ضبط جودة قطع أسطح المنتجات المعدنية المصنعة من الألواح الرقيقة من النحاس

من المواد هما مخلوق كربوني وألياف البلاستيك المقوي، وأوضحت الدراسة أنه علي الرغم من إمكانية استخدام طرق تشغيل عديدة إلا أن القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات يعد الأفضل عن غيره في هذه الحالة [Shanmugam, D.K. et al. 2002. P. 289, 296]. أيضاً القطع بالقذف النفاث بالماء فعال في تشغيل المواد السيراميكية الحديثة. [Hocheng, H. et al. 1994 P. 287, 303]. وقد تم تطوير نموذج تحليلي لمعرفة عمق القطع للخامات الكريستالية الهشة المشغلة بالقذف النفاث بالماء والحبيبات وتم الأخذ بعين الاعتبار لشكل وحجم الحبيبات الحاكة [Paul, S. et al. 1998. P. 210]. وتم بحث تأثير القطع متعدد الأشواط بالقذف النفاث بالماء والحبيبات علي كفاءة قطع السيراميك الصناعي، وتبين أن استخدام القطع متعدد الأشواط يحسن من الأداء التكنولوجي مقارنة بالقطع في شوط واحد [Wang, J. et al. 2002. P.371, 376, 377]. كما تم بحث ظاهرة تآكل الكريستالات السيراميكية المرتبطة بالقطع بالقذف النفاث بالماء. [Zeng, J. et al. 1996 P. 207, 215]. وفي دراسة للثقب الدقيق بالقذف النفاث بالماء والحبيبات لزجاج البوروسليكات، تم تناول العوامل التي تؤثر بالتشويه أثناء عمليات ثقب زجاج البوروسليكات [Schwartzentruber, J. et al. 2015. P. 143, 153].

كما أجريت دراسة تجريبية ليحث منع التآكل بالصطدم بالقذف النفاث بالماء وبينان مدي تأثير خواص الخامات المعدنية ووجد أن البنية المجهرية للخامات المعدنية خالية من شروخ الكلال [Mann, B.S. et al. 2002. P. 650, 660]. أيضاً تم تطوير طريقة بديلة لتقييم قطع حديد الزهر الرمادي وأستخدمت لتقدير حجم حطام وتآكل حبيباته الناتجة أثناء القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات [Momber, A. W. et al. 1997 P. 65, 71]. كما تم تطوير نموذج لشكل القطع للخامات القابلة للسحب [Paul, S. et al. 1998 P. 191, 197]. أيضاً تم فحص تأثير سرعة القطع علي جودة السطح لعينات من الاستانليس ستيل 316L سمك 10مم بالقذف النفاث بالماء والحبيبات. وتم أخذ صور للأسطح المقطوعة. وتم الحصول علي اختلافات بين البنيت الهندسية للسطح وتم مناقشتها. وقد أظهرت الدراسة تأثيراً كبير لسرعة القطع علي جودة السطح بوجود علامات بالقطع. وكان هذا التأثير ملحوظاً خاصة في الأجزاء السفلية من قطع الأسطح المفحوصة [Löschner, Piotr. et al. 2016. P. 276].

وفي دراسة لنمذجة إزالة الخامة في عمليات التشغيل المتقدمة تم تقييم الأداء لعمليات التشغيل من حيث معدل التشغيل وتشطيب السطح المُشغل [K. Jain, Neelesh. et al. 2001. P. 1573, 1630, 1633]. وفي دراسة لتأثير اختلاف القطع بالقذف النفاث علي تشغيل الخطوط الجانبية للسطح في القذف النفاث بالماء والحبيبات تم فحص أسطح القطع لخامات مختلفة وأوضحت الدراسة تأثير توزيع الحبيبات الحاكة بالقذف النفاث علي الخطوط الجانبية لسطح القطع [Chen, F. L. et al. 2003. P. 1, 4].

وفي دراسة لعملية التشغيل بالقذف النفاث بالماء والحبيبات لمركب الأيوكسي/ الزجاج تم بحث نسبة خلوص القطع، ومن أهم النتائج التي تم التوصل إليها اعتبار الضغط الهيدروليكي للقذف ونوع الحبيبات للمواد الحاكة "العقيق وأكسيد الألومنيوم" عاملان هامان مؤثران [Azmir, M.A. et al. 2009. P. 6173]. وفي دراسة كان الهدف منها هو الكشف عن آلية فصل مركبات الإيوكسي/ جرافيت إلي صفائح تحت التشغيل بالقذف النفاث بالماء والحبيبات، تم فصل المركب عملياً الي طبقات بالقطع. ووجد أن الفصل إلي صفائح بدأ بتأثير موجة الصدم من القذف بالماء في مرحلة القطع الأولية عندما تم استهداف سطح الخامة [Shanmugam, D.K. et al. 2008. P. 923, 928]. كما تم فحص خصائص القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات للمواد المركبة من طبقات وقدم البحث فحص لزاوية خلوص

الأصفر سمك 0.8 مم بالقطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات لضبط جودة قطع الأسطح في المنتجات المعدنية.

أهمية البحث Significance :

- معاونة الباحثين بتوفير بحوث في مجال القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات مرتبطة بتخصص المنتجات المعدنية.
- يمكننا تزويد الطلاب وأعضاء هيئة التدريس بالأقسام ذات الصلة بالخبرات العملية التي تمكنهم من استخدام تقنية القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات.
- يمكن الاستفادة في نقل الخبرة العلمية لاستخدام تقنية القطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات الي قطاع الصناعة.

الأصفر سمك 0.8 مم بالتشغيل بالقذف النفاث بالماء وبيان مدي تأثير كلاً من المسافة الفاصلة وسرعة القطع علي عرض القطع.

مشكلة البحث Statement of the problem :

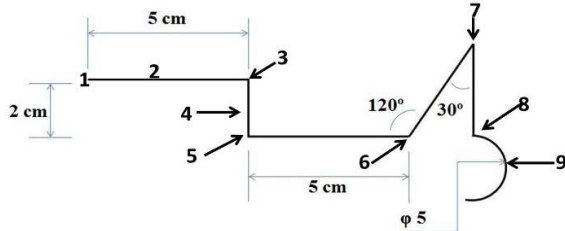
- لا توجد دراسة توضح تأثير عوامل تشغيل الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم بالقذف النفاث بالماء والحبيبات علي جودة قطع الأسطح في المنتجات المعدنية.

هدف البحث Objective :

- دراسة تأثير عوامل تشغيل الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم بتقنية القذف النفاث بالماء والحبيبات لضبط جودة قطع الأسطح في المنتجات المعدنية.
- وضع القيم المثلي لعوامل تشغيل الألواح الرقيقة من النحاس

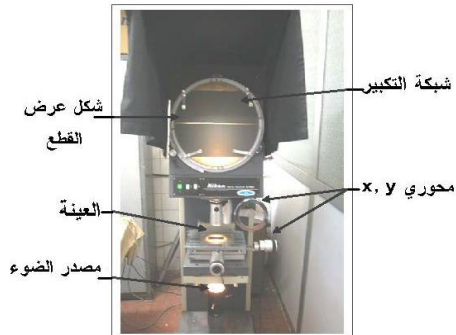
Cutting Speed mm/min.	Water Pressure (psi)	abrasive size (mesh)	S.O.D Standoff distance (mm)	Exp./ sample. (No.)
50- 5 - 10 – 15- 20	1400	80	0	0- 4
5- 10- 15- 20- 150- 120- 90- 60			1	5- 12
150- 120- 90- 60			2	13-16
150 & 150- 120- 90- 60			15	17&19- 22
150			10	18
120- 90- 60- 30- 20- 10- 5			5	23- 29
135- 100- 70- 35- 5			4	30- 34
135- 100- 70- 35- 5			3.5	35- 39
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 عوامل التشغيل المستخدمة في تجارب التشغيل بالقطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات علي عينات من الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم.



شكل رقم (2) يوضح تصميم مسار القطع المستخدم في تشغيل العينات ونقاط قياس عرض القطع.

وتشير الملاحق أرقام (أ) و (ب) في نهاية الدراسة إلى قيم عوامل التشغيل المستخدمة في قطع عينات التجارب. بعد الانتهاء من تشغيل العينات تم تقييم جودة القطع من خلال أخذ قراءات عرض مسار القطع عند النقاط الموضحة علي خط القطع لكل عينة، وراعت الدراسة أن تغطي النقاط معظم المواضع التي يتعرض لها تصميم القطع بداية من الخط المستقيم والزوايا بأنواعها وتقابل الخط مع القوس وانتهاءً بالخط المنحني، وأخذت كل نقطة رقماً.



شكل رقم (3) يوضح منظر وجهي للجهاز المُكبر المستخدم في قياس عرض القطع.

فرض البحث Hypothesis :

- استخدام قيم مثلي لعوامل التشغيل بالقطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات للألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم يحقق جودة قطع عالية لأسطح المنتجات المعدنية.

منهج البحث Methodology :

- يستخدم البحث المنهج التجريبي في دراسة تأثير عوامل تشغيل القذف النفاث بالماء والحبيبات علي قطع الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0,8 مم لأسطح المنتجات المعدنية.

الدراسة التجريبية Experimental Study :

أستخدمت "ماكينة WaterJet في التشغيل بالقذف النفاث بالماء والحبيبات [https://www.onejetwaterjet.cn]. في قطع عدد 57 عينة من الألواح الرقيقة من النحاس الأصفر سمك 0.8 مم مقاس 150 × 100 مم. و يوضح جدول رقم (1) قيم عوامل التشغيل المستخدمة في تجارب القطع، رقم التجربة (العينة)، والمسافة الفاصلة بين نزل القطع والسطح، وحجم الحبيبات بالم Mesh، وضغط الماء بالباسكال لكل بوصة مربعة، وسرعة القطع بالمم/ دقيقة لجميع العينات.

وتحليل التركيب الكيميائي لخامة العينات التي أستخدمت في القطع وجد أنها تتكون من ما نسبته 62.26% (Cu)، و 37.7% (Zn)، و 0.02% (Fe). ويوضح شكل رقم (2) تصميم مسار القطع المستخدم في تشغيل العينات والنقاط المقترح عندها قياس عرض القطع [Abouzaid, A. (2018). P. 3, 4] وقد اشتمل المسار علي الخط المستقيم، وكلاً من الزوايا القائمة، والمنفرجة، والحادة، وزاوية تقابل الخط المستقيم مع القوس، هذا بالإضافة إلي الخط المنحني.

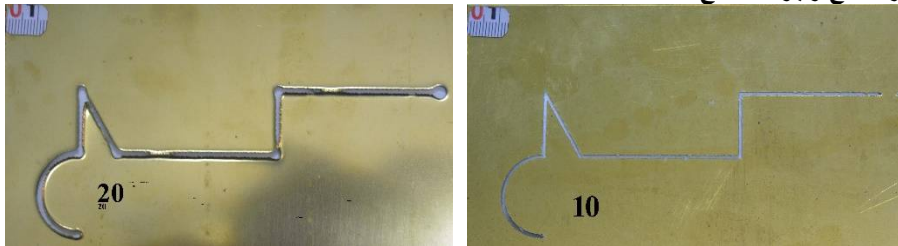
120م/د، فانتج ذلك عرض مسار قطع في الحد الأقصى وكان $22.321\mu\text{m}$ عند النقطة رقم 7 والتي يمثلها الزاوية الحادة 30 درجة، أما العينة رقم 10 عند استخدام مسافة فاصلة 1مم ونفس سرعة القطع 120م/د أنتج ذلك عرض مسار قطع في الحد الأدنى وكان $2.525\mu\text{m}$ عند نفس النقطة رقم 7 والتي يمثلها نفس الزاوية الحادة 30 درجة، وهذا يبين أن العلاقة طردية بين عرض القطع الناتج والمسافة الفاصلة فكلما زادت المسافة الفاصلة المستخدمة كعامل تشغيل في القذف النفاث بالماء والحبيبات زاد عرض مسار القطع وبالتالي قلت جودة القطع، والعكس كلما قلت المسافة الفاصلة قل معها عرض مسار القطع وبالتالي زادت جودة القطع.

تم تسجيل متوسط القراءات لعدد 9 نقاط وذلك عن طريق قياس عرض مسار القطع للسطح باستخدام جهاز التكبير Projector المبين في شكل رقم (3). تم إدراج القراءات في جدول (راجع ملحق رقم ج) وتم تمثيل نتائج القياس بيانياً في الأشكال أرقام من 6-17. ولم يؤثر التشغيل بالقطع بالقذف النفاث بالماء والحبيبات علي كلاً من البنية المجهرية والصلادة للعينات راجع [B.S. Mann et al. 2002. P. 660] ص (3).

يوضح شكل رقم (4) مقارنة لعينتين تظهران خلفية عرض مسار القطع للعينات أرقام 20، و10 عند استخدام مسافة فاصلة 15مم بين نزل القذف النفاث للماء والحبيبات وسطح العينة النحاس بسرعة قطع

10 نتائج البحث Results:

8-1- عرض مسار القطع وجودة القطع:-



القطع عند سرعة قطع 120م/د واستخدام مسافة فاصلة 10 و 1مم. علي الخط المستقيم لمسار القطع فكانت القيم 10.77 ، و $2.533\mu\text{m}$ ويمكن مراجعة القيم التي تم الحصول عليها من جهاز قياس عرض مسار القطع في ملاحق الدراسة.

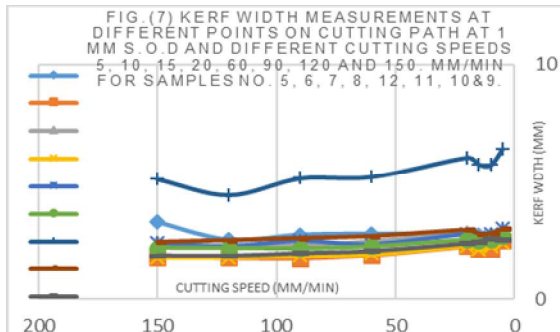
أيضاً شكل رقم (5) يوضح مقارنة لعينتين تظهران خلفية مسار القطع للعينات أرقام 5، و55 عند مسافة فاصلة 1مم وسرعة قطع 5م/د و 150م/د علي التوالي، وقد أوضحت نتائج القياس لعرض مسار القطع عند النقطة رقم 7 ويمثلها الزاوية الحادة أن القيم كانت 6.428 ، و $4.636\mu\text{m}$ ، هذا بالإضافة إلي باقي نتائج القياس لباقي النقاط فإن عرض مسار القطع يزداد عند السرعة الأقل وبالتالي تقل جودة القطع، ويقل عرض المسار عند استخدام السرعة الأقصى وتزداد جودة القطع وتكون العلاقة عكسية.

شكل رقم (4) يوضح مقارنة لعينتين تظهران خلفية عرض مسار أما عند النقطة رقم 3 ويمثلها الزاوية القائمة فكان عرض مسار القطع أقل للعينتين 9.033 ، و $2.222\mu\text{m}$ علي التوالي، ويؤكد هذا أيضاً النقطة رقم 5 ويمثلها أيضاً الزاوية القائمة فنجد القيم متقاربة تماماً 9.699 ، و $2.298\mu\text{m}$. وعند النقطة رقم 6 ويمثلها الزاوية المنفرجة فكان عرض مسار القطع 8.885 ، و $2.18\mu\text{m}$. بينما عند النقطة رقم 2 ويمثلها الخط المستقيم كان عرض مسار القطع 6.971 ، و $1.728\mu\text{m}$ وتعد أقل قيم لعرض مسار القطع، أما عند النقطة رقم 8 ويمثلها تقابل الخط المستقيم مع القوس علي مسار القطع فكانت القيم 9.85 ، و $2.525\mu\text{m}$ وعند النقطة رقم 9 ويمثلها منتصف الخط النصف دائري علي مسار القطع فكانت القيم 7.777 ، و $1.852\mu\text{m}$ ، أما النقطة رقم 1 ويمثلها نقطة بداية القطع

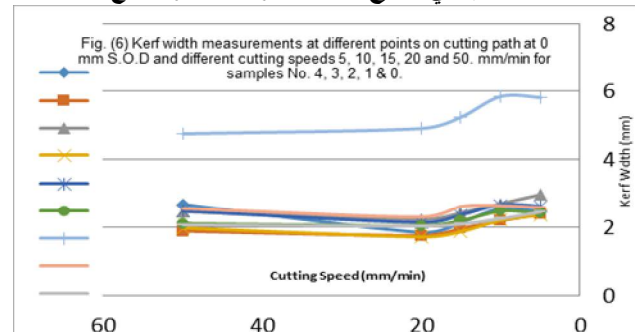


شكل رقم (5) يوضح مقارنة لعينتين أرقام 5، و55 تظهران خلفية عرض مسار القطع عند مسافة فاصلة 1مم وسرعة قطع 5م/د و 150م/د علي التوالي.

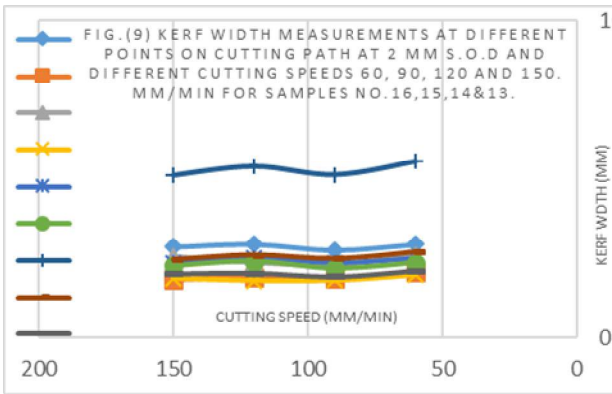
8-2- التمثيل البياني لنتائج قياسات عرض مسار القطع:



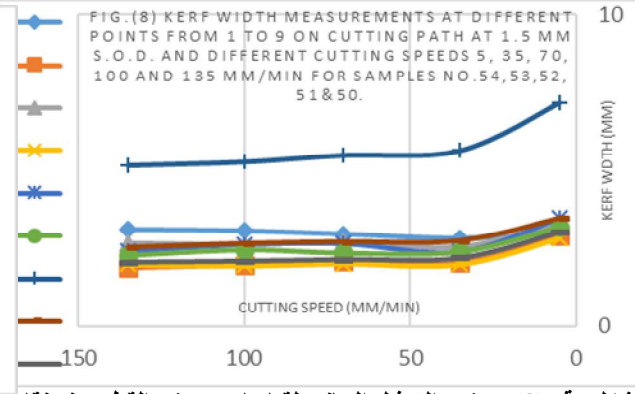
شكل رقم (7) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 1مم وسرعات قطع 150 ، و 120 ، و 90 ، و 60 ، و 20 ، و 15 ، و 10 ، و 5 للعينات أرقام 10 ، و 11 ، و 12 ، و 8 ، و 7 ، و 6 ، و 5 ، و 9 .



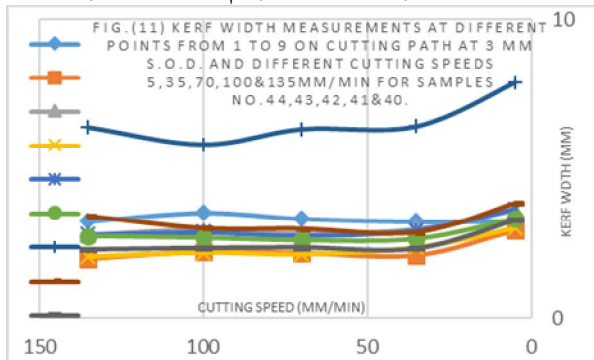
شكل رقم (6) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 0مم وسرعات قطع 50 ، و 20 ، و 15 ، و 10 ، و 5 للعينات أرقام 4 ، و 3 ، و 2 ، و 1 ، و 0 .



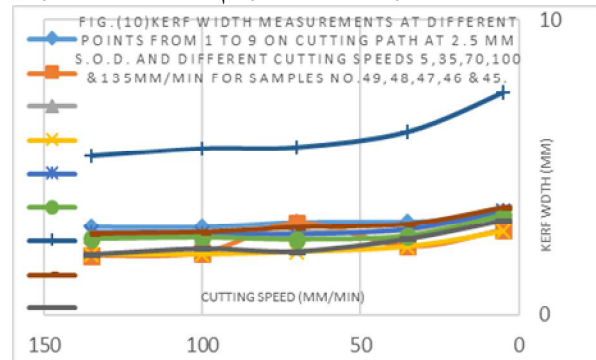
شكل رقم (9) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 2 مم وسرعات قطع مختلفة لعيّنات أرقام 16، 15، 14، و13.



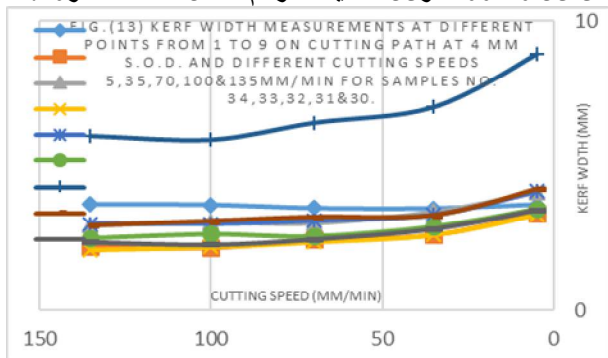
شكل رقم (8) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 1.5 مم وسرعات قطع مختلفة لعيّنات أرقام 54، 53، 52، 51، و50.



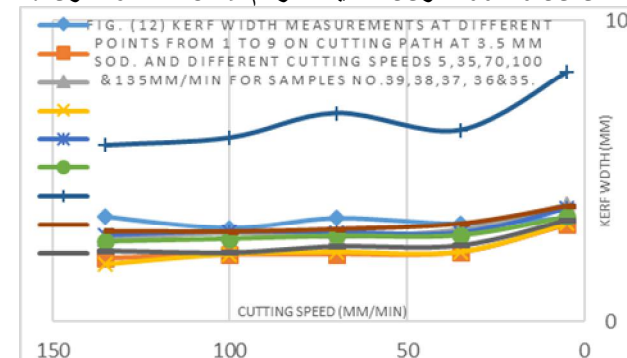
شكل رقم (11) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 3 مم وسرعات قطع مختلفة لعيّنات أرقام 44، 43، 42، 41، و40.



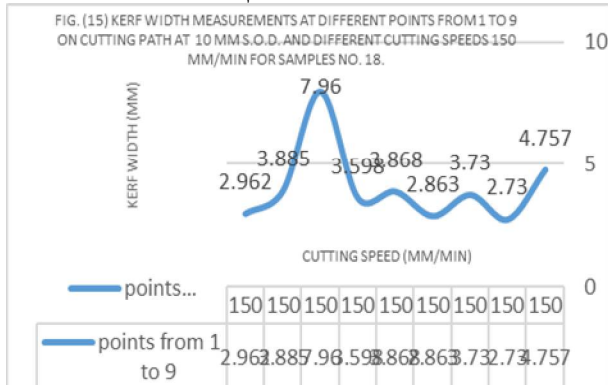
شكل رقم (10) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 2.5 مم وسرعات قطع مختلفة لعيّنات أرقام 49، 48، 47، 46، و45.



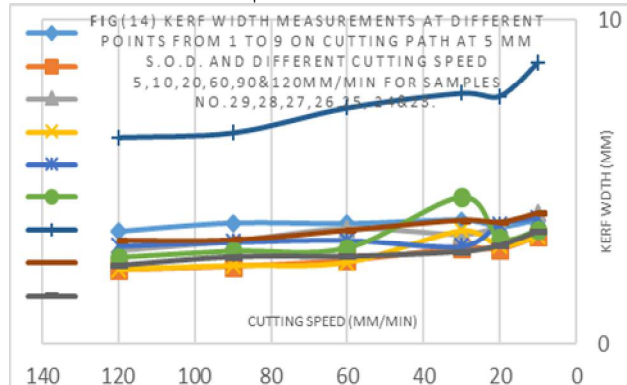
شكل رقم (13) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 4 مم وسرعات قطع مختلفة لعيّنات أرقام 34، 33، 32، 31، و30.



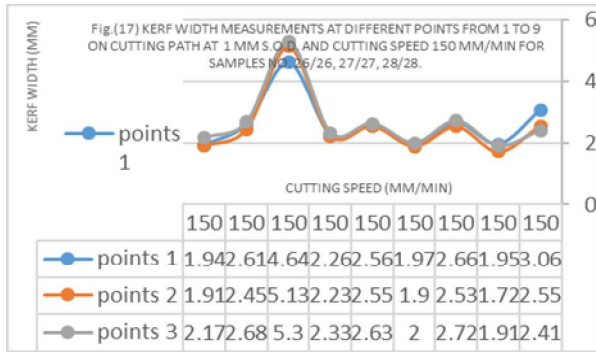
شكل رقم (12) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 3.5 مم وسرعات قطع مختلفة لعيّنات أرقام 39، 38، 37، 36، و35.



شكل رقم (15) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 10 مم وسرعة قطع مختلفة لعيّنة رقم 18.



شكل رقم (14) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 5 مم وسرعات قطع مختلفة لعيّنات أرقام 29، 28، 27، 26، 25، 24، و23.



شكل رقم (17) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 1 مم وسرعات قطع 150، 150، و56، 55.

وبالتالي تكلفة تشغيل أقل.

- بينت الدراسة مجموعة من القيم المثلى التي يمكن بواسطتها ضبط عرض القطع وبالتالي ضبط جودة القطع بالإضافة إلي ضغط تدفق الماء المستخدم والحبيبات الحاكة وحجم الحبيبات.

الشكر:-

يتقدم الباحث بالشكر لفريق عمل مصنع الفنار لبلات السيراميك بالرياض علي تعاونهم في تنفيذ تجارب البحث.

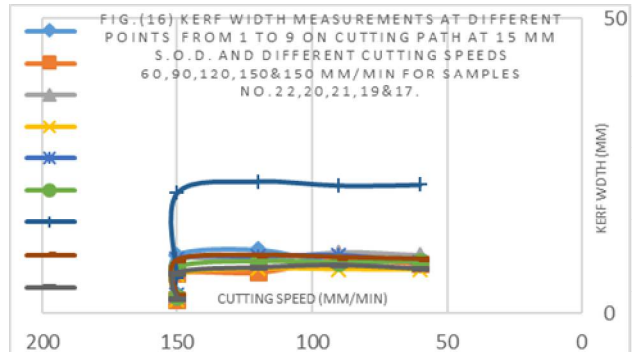
المراجع References :

- المراجع العربية:-

[1] أبوزيد، عبدالرحمن (2008م)، "معايير استخدام التكنولوجيا المتقدمة ومدى أثرها علي المنتج المعدني"، رسالة دكتوراه غير منشوره، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، القاهرة، ص 43 - 45.

-11 المراجع الأجنبية:-

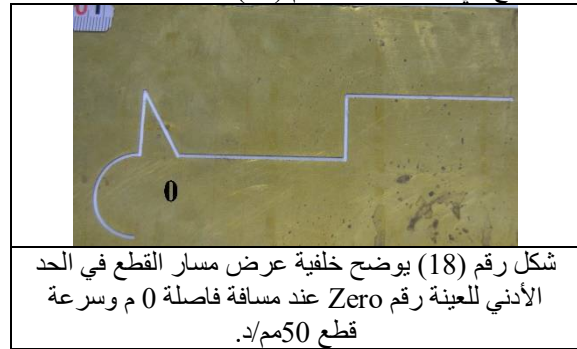
- [1] Abouzaid, A., Newishy, M., & AlQotari, I. (2018). The effect of machining parameters on 0.8 mm thickness brass thin sheets using plasma arc technique for optimizing cutting quality of metal products. The 5th international conference of Applied Arts [CD ROM]: International Design Journal.
- [2] 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.
- [3] Biermann, Dirk., Aßmuth, Robert., Schumann, Sebastian., Rieger, Michael., & Kuhlenkötter, Bernd. (2016). Wet abrasive jet machining to prepare and design the cutting edge micro shape Procedia CIRP, Vol. (45) 195– 198, from ScienceDirect database.
- [4] Borkowski, J., & Borkowski, P. (2009). Criteria of effective materials cutting with suspension abrasive-water jet. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. IX (2), 5- 14.
- [5] Borkowski, P. (2011). Hydro-jetting method of bas-relief shaping. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. XI (2), 267- 276.
- [6] Boud, F., Carpenter, C., Folkes, J., & Shipway, P.H. (2010). Abrasive waterjet cutting of a titanium alloy: The influence of abrasive



شكل رقم (16) يوضح التمثيل البياني لقياسات عرض القطع عند نقاط مختلفة لمسار القطع عند مسافة فاصلة 15 مم وسرعات قطع 150، 120، 90، 60، و19، 20، 21، 22، و17.

كما أن استخدام المسافة الفاصلة 0 مم مع سرعة قطع 50مم/د

للعيينة رقم ZERO أنتج أيضاً عرض قطع في الحد الأدنى بقيمة 4.761 μm عند النقطة رقم 7 علي مسار القطع وبالتالي أثر علي جودة القطع إلي الأفضل شكل رقم (18).



الخلاصة Conclusion :

أظهرت الدراسة التجريبية تأثيراً لكاملاً من المسافة الفاصلة (بين خرج "نزل" القذف و سطح القطع) وسرعة القطع كعوامل تشغيل للقذف النفاث بالماء والحبيبات علي عرض مسار القطع، وبالتالي علي جودة الأسطح المقطوعة والمشغلة من ألواح النحاس الأصفر سمك 0.8 مم المستخدمة في المنتجات المعدنية وعلي زوايا القطع المتعددة سواء الحادة أو القائمة أو المنفرجة والقطع المستقيم والمنحني وزاوية تقابل الخط المستقيم مع القوس، حيث تم استخدام قيم متغيرة لكل من سرعة القطع والمسافة الفاصلة. وذلك للحصول علي أفضل قيم والتي تمكنا من نتائج قطع مثالية من عرض قطع في الحد الأدنى وسلبية قطع ضيقة وقد تبين الآتي:-

- كلاً من المسافة الفاصلة وسرعة القطع تؤثران علي عرض مسار القطع وبالتالي تؤثران علي جودة القطع للعينات.
- استخدام مسافة فاصلة أكبر أدى إلي إنتاج عرض قطع في الحد الأقصى للعينات ولتحسين جودة القطع فإن ذلك يتطلب استخدام سرعات قطع أعلى مع مسافة فاصلة أقل وأنتج ذلك عرض مسار قطع في الحد الأدنى.
- أيضاً تبين أن العلاقة طردية بين كل من المسافة الفاصلة وبين عرض القطع فكلما زادت المسافة الفاصلة بين نزل القطع و سطح النحاس الأصفر زاد عرض القطع وكلما قلت المسافة الفاصلة قل عرض القطع.
- استخدام سرعات قطع أقل ومسافة فاصلة أقل أنتج عرض مسار قطع أكبر.
- تبين أن العلاقة عكسية بين كل من سرعة القطع وعرض القطع فكلما زادت سرعة القطع قل عرض مسار القطع.
- أيضاً استخدام سرعات عالية لقطع الزوايا الحادة مع مسافة فاصلة أعلى أدى إلي إنتاج عرض مسار قطع أكبر.
- استخدام مسافة فاصلة 1مم مع سرعة قطع 150مم/ دقيقة تعد بمثابة القيم المثلى للحصول علي جودة قطع عالية في وقت أقل

- 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.
- [15] Mann, B.S., & Arya, Vivek. (2002). An experimental study to correlate water jet impingement erosion resistance and properties of metallic materials and coatings. *Wear*, Vol. (253), 650–661. Received 12 November 2001, received in revised form 10 April 2002, accepted 1 May 2002, from Elsevier database.
- [16] Mazurkiewicz, M. (2000). A manufacturing tool for a new century. *Journal of Material Processing Technology*, Vol. (106), 112–118, from Elsevier database.
- [17] Momber, A. W., Kovacevic, R., & Kwak, H. (1997). Alternative method for the evaluation of the abrasive water- jet cutting of grey cast iron. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. (65), 65–72. Received 18 May 1995; revised 30 October 1995, from Elsevier database.
- [18] Paul, S., Hoogstrate, A.M., Van Luttervelt, C.A., & Kals, H.J.J. (1998). Analytical and experimental modelling of the abrasive water jet cutting of ductile materials. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. (73), 189–199. Received 24 February 1996, from Elsevier database.
- [19] Paul, S., Hoogstrate, A.M., Van Luttervelt, C.A., & Kals, H.J.J. (1998). Analytical modelling of the total depth of cut in the abrasive water jet machining of polycrystalline brittle material. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. (73) 206–212. Received 24 February 1996, from Elsevier database.
- [20] Rashed, C.A.A., Romoli, L., Tantussi, F., Fuso, F., Burgener, M., Cusanelli, G., Allegrini, M., & Dini, G. (2013). Water jet guided laser as an alternative to EDM for micro-drilling of fuel injector nozzles: A comparison of machined surfaces. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. (15) 524–532. Received 15 April 2013, received in revised form 24 June 2013, accepted 2 August 2013, available online 17 September 2013, from ScienceDirect database.
- [21] 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.
- [22] Shanmugam, D.K., & Masood, S.H. (2009). An investigation on kerf characteristics in morphology and mechanical properties on workpiece grit embedment and cut quality. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. (210), 2197–2205. Received 11 May 2010, received in revised form 3 August 2010, accepted 6 August 2010, from ScienceDirect database.
- [7] Chen, F. L., & Siores, E. (2003). The effect of cutting jet variation on surface striation formation in abrasive water jet cutting. *Journal of material processing technology*, Vol. (135), 1–5. Accepted 8 March 2001, from Elsevier database.
- [8] Fowler, G., Pashby, I.R., & Shipway, P.H. (2009). The effect of particle hardness and shape when abrasive water jet milling titanium alloy Ti6Al4V. *Wear*, Vol. (266), 613–620. Received 29 May 2007, received in revised form 6 June 2008, accepted 17 June 2008, available online 10 December 2008, from ScienceDirect database.
- [9] Hlavac, L.M., Hlavacova, I.M., Gembalova, L., Kalicinsky, J., Fabian, S., Mestaneek, J., Kmec, J., & Madr, V. (2009). Experimental method for the investigation of the abrasive water jet cutting quality. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. (209), 6190–6195, from ScienceDirect database.
- [10] Hocheng, H., & Chang, K.R. (1994). Material removal analysis in abrasive waterjet cutting of ceramic plates. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. (40), 287–304. Received August 8, 1992; accepted March 10, 1993, from Elsevier database.
- [11] K. Jain, Neelesh., & K. Jain, Vijay. (2001). Modeling of material removal in mechanical type advanced machining processes: a state-of-art review. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. (41), 1573–1635. Received 15 March 2000, received in revised form 28 November 2000, accepted 8 January 2001, from Pergamon database.
- [12] Lehocka, Dominika., Klich, Jiří., Foldyna, Josef., Hloch, Sergej., Hvizdoš, Pavol., Fides, Martin., Botko, František., & Cárach, Ján. (2016). Surface integrity evaluation of brass CW614N after impact of acoustically excited pulsating water jet. *Procedia Engineering*, Vol. (149), 236–244, from ScienceDirect database.
- [13] Liu, H., Wang, J., Kelson, N., & Brown, R. J. (2004). A study of abrasive waterjet characteristics by CFD simulation. *Journal of materials processing technology*, Vol. (153–154), 488–493, from Elsevier database.
- [14] Löschner, Piotr. Jarosz, Krzysztof. Nielsony,

performance in multipass abrasive waterjet machining of industrial ceramics. *Journal of material processing technology*, Vol. (133), 371- 377. Received 4 July 2000, received in revised form 12 February 2002, accepted 12 November 2002, from Elsevier database.

- [27] Yuvaraj, N., & Kumar, M. Pradeep. (2016). Cutting of aluminium alloy with abrasive water jet and cryogenic assisted abrasive water jet: A comparative study of the surface integrity approach. *Wear*, Vol. (362-363), 18–32. Received 12 February 2016, received in revised form 7 May 2016, accepted 9 May 2016, available online 13 May 2016, from ScienceDirect database.
- [28] Zeng, J., & Kim, Thomas J. (1996). An erosion model of polycrystalline ceramics in abrasive waterjet cutting. *Wear*, Vol. (193), 207-217. Received 28 July 1994; accepted 22 June, 1995, from Elsevier database.

11- Internet sites:-

- [29] https://www.onejetwaterjet.cn/PRODUCTS.html?gclid=EAIaIQobChMIufzuuIeN4wIVCgHTCh1roQinEAAYASAAEgLfBPD_BwE

abrasive waterjet cutting of layered composites. *Journal of materials processing technology*, Vol. (209), 3887–3893, Received 13 February 2008, received in revised form 30 August 2008, accepted 2 September 2008, from Elsevier database.

- [23] Shanmugam, D.K., Nguyen, T., & Wang, J. (2008). A study of delamination on graphite/epoxy composites in abrasive waterjet machining. *Composites, Part A* (39), 923–929. Received 17 January 2008, received in revised form 22 March 2008, accepted 5 April 2008, from ScienceDirect database.
- [24] Walker, R. J. (1997). *Modern Metal Working*. Tinley Park. Illinois. The Goodheart. Willcox Company. INC. Publishers. Pp: 455- 456.
- [25] Schwartzentruber, J., & Papini, M. (2015). Abrasive waterjet micro-piercing of borosilicate glass. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. (219), 143–154. Received 16 September 2014, received in revised form 4 December 2014, accepted 7 December 2014, Available online 15 December 2014, from ScienceDirect database.
- [26] Wang, J., & Guo, D.M. (2003). The cutting