Journal of Alasmarya University: Basic and Applied Sciences
Vol. 6, No. 5, December 2021, Special Issue for Forth Conference on Engineering Science and Technology (CEST-2021)
مجلة الجامعة الأسمرية: العلوم الأساسية والتطبيقية
المجلد 6 ،العدد 5، ديسمبر 2021، عدد خاص بالمؤتمر الرابع للعلوم الهندسية والتقنية (CEST-2021)

دراسة عوامل القطع المثلى لخشونة السطح في عملية الخراطة الطولية لعينة من سبيكة الألومينيوم باستخدام طريقة تاقوتشي

مصطفى عمر حكومه[1،*]، معمر مصباح بن عيسى[2]، هيثم عاشور السويحلي[3]، غيث إبراهيم إبراهيم[4]، بشير صالح يونس[5]

[1]كلية الهندسة، قسم الهندسة الميكانكية والصناعية، الجامعة الأسمرية، زليتن، ليبيا، *m.hakoma@asmarya.edu.ly*
[2]الجامعة الأسمرية، كلية الهندسة، قسم الهندسة الميكانكية والصناعية، زليتن، ليبيا، *m.benisa@asmarya.edu.ly*
[3]الجامعة الأسمرية، كلية الهندسة، قسم الهندسة الميكانكية والصناعية، زليتن، ليبيا، *h.aswihli@asmarya.edu.ly*
[4]جامعة بني وليد، كلية الهندسة، قسم الهندسة الميكانكية والصناعية، بني وليد، ليبيا، *ghait.sh@gmail.com*
[5]جامعة المرقب، كلية الهندسة، قسم الهندسة الميكانكية والصناعية، الخمس، ليبيا، *bsmy2000@yahoo.com*

الملخص

في هذه الورقة تم دراسة تأثير عوامل القطع المثلى (سرعة القطع؛ معدل التغذية؛ عمق القطع) على خشونة السطح بدون استخدام سائل تبريد في عملية الخراطة الطولية لعينة من سبيكة الألومينيوم (AL-5052)، باستخدام أداة قطع كربيدية مع ثبوت نصف قطر الأداة. وذلك باستخدام عدد من الأساليب الإحصائية المتمثلة في تقنية تاقوتشي (Taguchi Method)، تحليل التباين (ANOVA) وتحليل الانحدار الخطي المتعدد. تم اختيار المصفوفة المتعامدة L9 التي تتكون من ثلاثة عوامل قطع وثلاث مستويات لكل عامل، وتم تحليل نتائج التجارب باستخدام Minitab-16. واعتمدت خاصية "الأصغر هو الأفضل" لحساب نسبة الإشارة الى الضوضاء (S/N Ratio) لكل تجربة، واستخدام تحليل التباين (ANOVA) في تحديد العامل الأكثر تأثيراً على متغير الاستجابة (خشونة السطح)، واستخدم تحليل الانحدار الخطي المتعدد للتنبؤ بخشونة السطح. أظهرت النتائج أن قيم خشونة السطح (Ra) المتحصل عليها من نموذج الانحدار المعد قريبة جداً من القيم الحقيقية وعلى درجة عالية من الدقة، بحيث وصلت نسبة الخطأ لأقل من 0.8 % وبالتالي يمكن استخدام هذا النموذج للتنبؤ بخشونة السطح.

*البريد الإلكتروني للباحث المراسل: *m.hakoma@asmarya.edu.ly*

الكلمات الدالة:
أنوفا ANOVA.
تاقوتشي (Taguchi.)
خشونة السطح.
عملية الخراطة.

1. المقدمة

تعتبر خشونة السطح العامل المهم والرئيسي في تحديد دقة السطوح المشغلة من حيث إنهائها السطحي ومدى جودتها وكفاءتها في أداء وظيفتها التي صنعت من أجلها، حيث تؤدي نعومة السطح إلى تقليل الاحتكاك بين الأسطح المتحركة وتحسن من أداء أجزاء الآلات المعرضة للإجهادات المتغيرة لأن مقاومة التعب أو الكلل تتأثر بدقة إنهاء السطوح وكذلك تؤدي الدقة في تشغيل السطوح إلى تقليل وانخفاض الذبذبات في آلات التشغيل والحصول على أسطح مشغلة قليلة العيوب. تتأثر خشونة الأسطح المشغلة بعدة عوامل أهمها: سرعة الدوران وعمق القطع ومعدل التغذية، لذلك كان تأثير عوامل القطع على خشونة الأسطح مجال دراسة واهتمام العديد من الباحثين في المؤسسات الأكاديمية والصناعية سواء باستعمال

ISSN: 2706-9524 (Print) ISSN: 2706-9532 (Online)

الطرق التجريبية أو باستعمال النماذج الإحصائية مثل طريقة تاقوتشي والانحدار الخطي المتعدد والشبكات العصبية الاصطناعية وغيرها من النماذج.

حيث قام بن عيسى *وآخرون* [1] بدراسة تأثير عوامل القطع (سرعة القطع، معدل التغذية وعمق القطع) على متوسط خشونة السطح لسبيكة من الصلب منخفض الكربون تم تشغيلها عن طريق الخراطة تحت ظروف تشغيلية رطبة (باستخدام سائل تبريد) وجافة (بدون استخدام سائل التبريد). استخدمت في ذلك أداة قطع كربيدية بنصف قطر أنف ثابت. أظهرت النتائج أن لسرعة القطع التأثير الأكبر على خشونة السطح بحيث تتناسب معها تناسباً عكسياً، يليها في التأثر معدل التغذية بتناسب طردي مع خشونة السطح، في حين لم يكن لعمق القطع التأثير الواضح والكبير. أما أختار *وآخرون* [2] فقد قاموا بدراسة تأثير عوامل القطع المثلى (سرعة القطع، معدل التغذية وعمق القطع) لتقليل خشونة السطح وقوة القطع وتحسين معدل إزالة المعدن في عملية الخراطة لسبيكة الألومنيوم (AL-7075) باستخدام تقنية تاقوتشي ونسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N Ratio). اعتمدت خاصية "الأصغر هو الأفضل" بالنسبة لخشونة السطح وقوة القطع، وخاصية الأكبر هو الأفضل بالنسبة لمعدل إزالة المعدن، وبأخذ خاصية الأسمى هو الأفضل لعوامل الاستجابة الثلاث. كانت قيم عوامل القطع المثلى المتحصل عليها: سرعة القطع (800 rpm) ومعدل التغذية (0.15 mm/rev)، وعمق القطع (2.0 mm). قام سيفارامان *وآخرون* [3] بدراسة تأثير عوامل القطع المثلى (سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع) بالنسبة لخشونة السطح وقوة القطع في عملية الخراطة لسبيكة الألومنيوم (AL-7075) باستخدام تقنية تاقوتشي وتحليل الارتباط الرمادي والانحدار المتعدد. حيث أظهرت النتائج للقيم المحسوبة بتحليل الارتباط الرمادي أن القيم المثلى لعوامل القطع التي تؤدي إلى تحسين قوة القطع وخشونة السطح كانت (605 rpm) لسرعة القطع و (0.124 mm/rev) لمعدل التغذية في حين كانت (0.4 mm) لعمق القطع. كما بينت طريقة تاقوتشي أن معدل التغذية له التأثير الأكبر على خشونة السطح وقوة القطع ويليه سرعة القطع وعمق القطع على التوالي. أيضاً قام بارثيبان *وآخرون* [4] بدراسة تأثير عوامل القطع (سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع) على خشونة السطح لسبيكة من الفولاذ (Cr-12 Ni TP30925) ومعدل إزالة المعدن. استخدم الباحثون طريقة تاقوتشي وتطبيق المصفوفة المتعامدة L9 وتعيين خاصية "الأصغر هو الأفضل" بالنسبة لحساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء. وأظهرت النتائج بأن عوامل القطع المثلى كانت عند سرعة القطع (800 rpm) ومعدل التغذية (0.10 mm/rev)، وعمق القطع (2.0 mm). كذلك تم استخدام تحليل التباين ANOVA، في تحديد العامل الأكثر تأثيرا على متغيرات الاستجابة (خشونة السطح ومعدل إزالة المعدن) وأظهرت النتائج بأن معدل التغذية له أعلى تأثير بنسبة (42.47%) ويليه عمق القطع بنسبة (36.3%). وقام زوريتا *وآخرون* [5] بدراسة تأثير عوامل القطع (سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع) على خشونة السطح لسبيكة من الفولاذ (AISI-1020) والمشغلة في ظروف قطع رطبة على آلة مخرطة (CNC). استخدم الباحثون تقنيات تحليل الانحدار المتعدد لإعداد النموذج الرياضي للتنبؤ بقيم خشونة السطح إلى جانب استخدام تحليل التباين لمعرفة نسبة تأثير عوامل القطع على خشونة السطح. أظهرت النتائج أن سرعة القطع هي العامل الأكثر تأثيراً بنسبة (69.35%)، ويليه معدل التغذية بنسبة (30.13%)، بينما كان تأثير عمق القطع ضئيلاً على متغير الاستجابة بنسبة (0.52%). جيتندرا *وآخرون* [6] قاموا بدراسة تأثير عوامل القطع (سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع) على خشونة السطح لسبيكة من الفولاذ (Mn16Cr5) التي تم تشغيلها في ظروف القطع الجافة على آلة مخرطة

(CNC) باستخدام طريقة تاقوتشي مع ثلاثة مستويات قطع. وكانت النتائج أن عمق القطع هو أكثر عامل له تأثير على خشونة السطح ويليه سرعة القطع ومعدل التغذية على التوالي.

إن الهدف من هذه الورقة هو دراسة عوامل القطع المثلى (سرعة الدوران ومعدل التغذية وعمق القطع) على متوسط خشونة السطح باستخدام طريقة تاقوتشي (Taguchi) لتصميم التجارب واستخدم اختبار تحليل التباين لتحديد العامل الأكثر تأثيراً على متوسط خشونة السطح باعتماد معيار الأصغر هو الأفضل.

2. طريقة تاقوتشي

هي طريقة إحصائية طورها العالم الياباني (Genichi Taguchi)، لتحسين تصميم المنتج وتصنيعه، والذي طبق بنجاح الأساليب الإحصائية التطبيقية الفعالة لتحسين استقرار العمليات التكنولوجية وزيادة قدراتها الإنتاجية. قسم تاقوتشي العوامل التي تسبب الانحراف عن القيمة المستهدفة وتؤثر على خصائص ووظائف المنتجات الى نوعين:

أ. عوامل يمكن السيطرة عليها (عوامل تصميمية) وهي التي يمكن وضع قيمتها أو تعديلها من خلال المصمم أو مهندس العملية.

ب. عوامل لا يمكن السيطرة عليها (عوامل الضوضاء) وهي مصادر الانحراف وغالبا ما تتعلق ببيئة الإنتاج أو العوامل التي لا يمكن الرقابة أو السيطرة عليها.

كما استخدم تاقوتشي وظيفة الخسارة لتحديد خصائص الجودة، وحوّل قيم دالة الخسارة إلى نسبة الإشارة إلى ضوضاء. وبشكل عام هناك ثلاثة خصائص جودة مختلفة في تحليل نسبة الإشارة إلى ضوضاء، وهي "الأصغر هو الأفضل" و "الأسمى هو الأفضل" و "الأكبر هو الأفضل" لكل مستوى من عوامل العملية ويتم حسابها وفق الصيغ التالية: [7]

1. الأصغر هو الأفضل:

تستعمل النسبة الأصغر الأفضل للحالات التي يكون فيها قيمة الهدف المطلوبة صفر، والصيغة كما يأتي:

$$\frac{S}{N_T} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i^2 \right) \qquad (1)$$

2. الأسمى هو الأفضل:

تستعمل هذه النسبة حيثما كانت القيمة المستهدفة محددة ولكنها ليست صفرا وتغير حول تلك القيمة، ويجب رفع النسبة (S/N) إلى الحد الأقصى والصيغة كما يأتي:

$$\frac{S}{N_T} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{S^2} \right) \qquad (2)$$

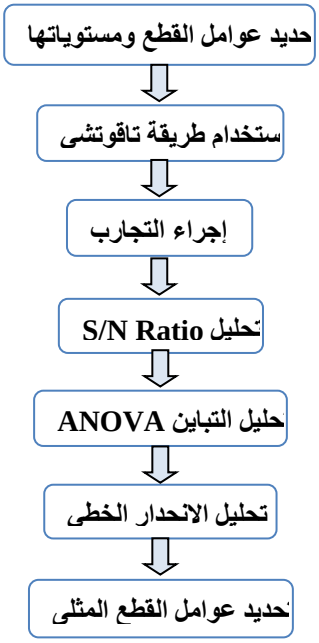
3. الأكبر هو الأفضل:

يستعمل هذا المعيار حيثما كانت القيمة الكبرى هي المطلوبة، ومن وجهة نظر رياضية تكون قيمة الهدف لا متناهية (∞)، وهي معكوس نسبة الأصغر هو الأفضل والصيغة كما يأتي:

$$\frac{S}{N_T} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{y_i^2} \right) \qquad (3)$$

حيث S/N هي نسبة الإشارة إلى الضوضاء، $\bar{y}$ هو متوسط البيانات الملاحظة، S^2 هو التباين أو الانحراف في y، n هو عدد البيانات الملاحظة، y_i هي البيانات الملاحظة في التجربة i.
تم اعتماد نسبة الأصغر هو الأفضل في هذه الورقة نظراً لأن الهدف هو تقليل نسبة خشونة السطح المشغل.

1.2. منهجية البحث:



3. الجزء العملي

1.3. مادة قطعة العمل وأداة القطع

تم تجهيز قطعة العمل، شكل 1، من سبيكة الألومنيوم (AL-5052) بقطر 45 mm، وطول 110 mm على آلة مخرطة عادية (AFM-TUG-40) في ظروف القطع الجاف باستخدام أداة قطع كربيدية. الشكل 2 يوضح عملية خراطة العينة.

الشكل 1 قطعة العمل من سبيكة الألومنيوم

الشكل 2 آلة الخراطة المستخدمة في التجارب

3.3. اختيار عوامل القطع وتحديد مستوياتها

في هذه الدراسة، تم اختيار ثلاثة عوامل قطع (سرعة الدوران ومعدل التغذية وعمق القطع) كعوامل تحكم وثلاث مستويات لهذه العوامل استنادا إلى "جلسة العصف الذهني" التي عقدت مع عدد من الفنيين الذين يعملون على آلة المخرطة، وكذلك بالنظر في دليل التشغيل المقدم من الشركة المصنعة لآلة المخرطة التي تم عليها إجراء التجارب كما هو موضح في الجدول رقم 1.

الجدول 1 عوامل التحكم ومستوياتها

العوامل	المستويات		
	1	2	3
سرعة الدوران(rpm)	1120	800	560
معدل التغذية(mm/rev)	0.09	0.135	0.165
عمق القطع(mm)	0.15	0.3	0.7

4.3. تعيين المصفوفة المتعامدة

يعتمد اختيار مصفوفة متعامدة معينة على عدد العوامل ومستويات كل عامل ودرجات الحرية الإجمالية، وبناءً على ذلك تم اختيار المصفوفة المتعامدة L9.

الجدول 2 التصميم التجريبي للمصفوفة المتعامدة L9 من تاقوتشي

رقم التجربة	عوامل التحكم		
	سرعة الدوران (rpm)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

5.3. إجراء التجارب

أجريت التجارب وفقاً للجدول رقم 2، وتم قياس متوسط خشونة السطح a لمتوسط ثلاث قراءات لكل تجربة باستخدام جهاز قياس الخشونة ALPA-5M الموضح بالشكل 3. ويبين الجدول 3 قيم متوسط الخشونة السطحية R_a المتحصل عليها من التجارب المختلفة بجانب معدل الاستجابة لنسب الإشارة إلى الضوضاء وفقاً للمصفوفة L9.

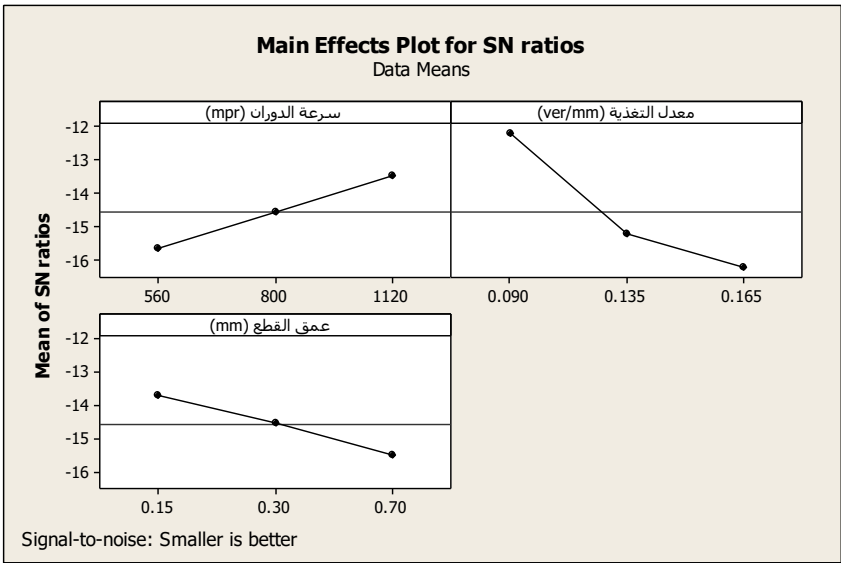
الشكل 3 الجهاز المستخدم في قياس خشونة السطح للعينات

الجدول 3 النتائج التجريبية لخشونة السطح ومعدل الاستجابة لنسب الإشارة إلى الضوضاء

رقم التجربة	عوامل التحكم (عوامل القطع)			عامل الاستجابة	معدل الاستجابة لنسب
	سرعة الدوران (rpm)	التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	متوسط الخشونة (µm)	الإشارة الى الضوضاء (S/N)
1	1120	0.09	0.15	3.21	10.1301-
2	1120	0.135	0.3	5.3	14.4855-
3	1120	0.165	0.7	6.2	15.8478-
4	800	0.09	0.3	3.95	11.9319-
5	800	0.135	0.7	6.31	16.0006-
6	800	0.165	0.15	6.13	15.7492-
7	560	0.09	0.7	5.4	14.6479-
8	560	0.135	0.15	5.75	15.1934-
9	560	0.165	0.3	7.21	17.1587-

6.3. تحليل تاقوتشي (نسبة الإشارة إلى الضوضاء)

بيّن استخدام معيار نسبة الإشارة الى الضوضاء المستوى الأمثل لكل عامل كما هو موضح في الشكل 4 حيث كانت القيمة الأمثل لسرعة الدوران هي (1120 rpm)، ولمعدل التغذية (0.09 mm/rev)، أما عمق القطع فكان (0.15 mm). الجدول 4 يبين أن لمعدل التغذية التأثير الأكبر على متغير الاستجابة (رتبة 1) ويليه في التأثير سرعة القطع (رتبة 2)، ومن ثم يأتي عمق القطع بأقل تأثير (رتبة 3).



الشكل 4 تأثير متغيرات العملية على نسبة S/N Ratio

الجدول 4 نسبة الاستجابة لنسب الإشارة إلى الضوضاء لخشونة السطح (الأصغر هو الأفضل)

المستوى	نسبة SN لسرعة الدوران	نسبة SN للتغذية	نسبة SN لعمق القطع
1	-15.67	-12.24	-13.69
2	-14.56	-15.23	-14.53
3	-13.49	-16.25	-15.50
الفرق	2.18	4.02	1.81
الرتبة	2	1	3

7.3. تحليل التباين ANOVA

لا يمكن لأسلوب تاقوتشي تحديد نسبة تأثير عوامل القطع على متغير الاستجابة Ra بشكل فردي أو تحديد تأثيرها على العملية بأكملها، بينما يمكن لتحليل التباين (ANOVA) تحديد النسبة المئوية لمساهمة العوامل بشكل فردي على عامل الاستجابة (Ra) كما هو واضح في الجدول 5. حيث كان عامل معدل التغذية هو الأكثر تأثيراً على متغير الاستجابة (خشونة السطح) بنسبة 67.22% ويليه سرعة الدوران بنسبة 18.33% بينما كان تأثير عمق القطع الأقل تأثيراً على متغير الاستجابة (Ra) وبنسبة 12.64%.

الجدول 5 تحليل التباين (*ANOVA*) لتحديد نسبة المساهمة لكل عامل

مصدر التباين	درجة الحرية DOF	مجموع مربعات الانحراف Seq-SS	مجموع الانحرافات Adj-SS	متوسط التباين Adj-MS	القيمة المحسوبة F	الاحتمال P	نسبة المساهمة %
سرعة الدوران	2	7.1215	7.1215	3.5607	10.20	0.089	18.33
التغذية	2	26.1131	26.1131	13.0566	37.40	0.026	67.22
عمق القطع	2	4.9123	4.9123	2.4561	7.03	0.124	12.64
الخطأ	2	0.6983	0.6983	0.3491	-	-	1.79
المجموع	8	38.8452	-	-	-	-	100

8.3. تحليل الانحدار Regression Analysis

من أجل معرفة العلاقة بين متوسط خشونة السطح وعوامل القطع (سرعة الدوران والتغذية وعمق القطع)، تم استخدام نموذج الانحدار الخطي المتعدد والذي اعتبرت فيه متغيرات (سرعة الدوران والتغذية وعمق القطع) كمتغيرات مستقلة ومتغير (خشونة السطح) كمتغير تابع. أظهرت نتائج الاختبار معنوية معاملات الانحدار الموضحة في الجدول 6 وذلك من خلال قيمة الاحتمال(P) لكل من الجزء الثابت من الانحدار ومعاملات الانحدار حيث كانت كل القيم أقل من (0.05) أي أن لها تأثير معنوي على عامل الاستجابة، و من خلال معامل التحديد المعدل ((R-Sq (adj)) فإن المتغيرات المستقلة مسؤولة على (95.2%) من التباين الحاصل في خشونة السطح والباقي (4.8%) يرجع الى عوامل أخرى منها الخطأ العشوائي، كما يوضح الجدول نتائج اختبار التعددية الخطية (VIF) (Variance Inflation Factor) حيث كشفت النتيجة ان عامل تضخم التباين لكل متغيرات النموذج كان (1.000) أي أصغر من (3) مما يشير الى عدم وجود مشكلة تعددية خطية بين متغيرات النموذج.

الجدول 6 نتائج اختبار معنوية معاملات الانحدار

المعاملات	قيم المعاملات Coef.	القيمة المحسوبة للمعاملات Adj-SS-T	قيمة الاحتمال P	عامل تضخم التباين VIF	S الانحراف المعياري	معامل التحديد R-Sq	معامل التحديد المعدل R-Sq-(adj)
ثابت	2.5777	4.86	0.005	-	0.271034	%97.0	%95.2
سرعة الدوران (N)	-0.0021498	-5.46	0.003	1.000	-	-	-
التغذية (f)	31.380	10.71	0.000	1.000	-	-	-
عمق القطع (a)	1.6058	4.13	0.009	1.000	-	-	-

أظهرت نتائج تحليل التباين لنموذج الانحدار الموضحة في الجدول 7 أن نموذج الانحدار معنوي وذلك من خلال قيمة (f) البالغة (53.81) بدلالة قيمة الاحتمال P التي تساوي (0.000) وهي أصغر من مستوى المعنوية (0.05).

الجدول 7 تحليل التباين لنموذج الانحدار

المصدر Source	درجة الحرية DOF	مجموع المربعات SS	متوسط المربعات MS	القيمة المحسوبة F	الاحتمال P
الانحدار	3	11.8587	3.9529	53.81	0.000
الخطأ	5	0.3673	0.0735	-	-
المجموع	8	12.2260	-	-	-

كما يمكن الحكم على دقة نموذج الانحدار للتنبؤ بخشونة السطح من خلال الشكل 5-أ، 5-ب والذي تظهر فيه البواقي موزعة توزيعا طبيعيا (Normality of Residuals) عند كل النقاط للمتغير المستقل. كذلك يؤكد الشكل 5-ج دقة نموذج الانحدار الذي يوضح العلاقة بين البواقي والمتغيرات المستقلة حيث تظهر هذه العلاقة كنقاط مبعثرة بشكل عشوائي في الاتجاهين السالب والموجب بدون وجود أي شكل أو منحنى وأن النقاط لا تأخذ شكلا محددا وهو ما يعني أن البواقي متجانسة. أيضا يوضح الشكل 5-د دقة نموذج الانحدار الذي يبين العلاقة بين البواقي وترتيب البيانات والذي تظهر فيه بشكل مستقل دون أن تأخذ اتجاها متزايداً أو متناقصاً أو شكل دوري متكرر، أي أن البواقي ذات نمط عشوائي. مما سبق نلاحظ توفر جميع الشروط التي ينبني عليها تحليل الانحدار وبالتالي يمكن استخدام هذا النموذج في التنبؤ بخشونة السطح في عملية الخراطة لسبيكة الألمونيوم (AL-5052).

وتكتب المعادلة العامة للانحدار الخطي المتعدد على النحو التالي: [8]

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \cdots\cdots + \hat{\beta}_k X_k \quad (4)$$

حيث: Y المتغير التابع، $\hat{\beta}_0$ قيمة ثابتة، $\hat{\beta}_k$ ميل الانحدار Y على المتغير المستقل، X_k (المتغير المستقل). وعليه تكون معادلة نموذج الانحدار وفقا للمعادلة العامة كالتالي:

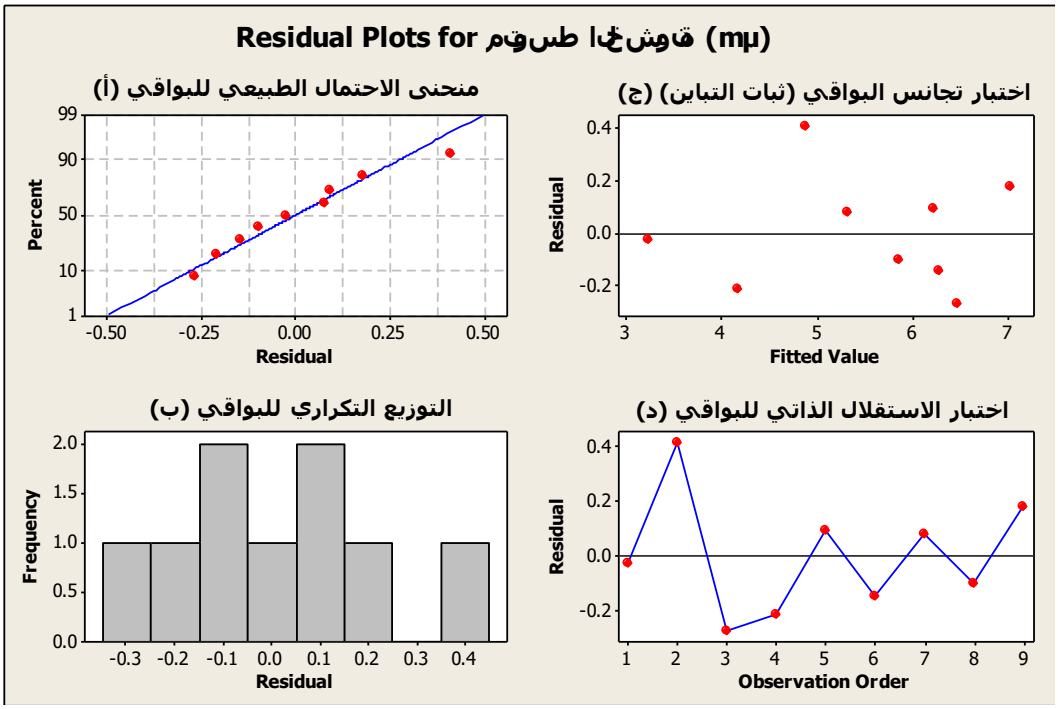
$$Y = 2.5777 + (-0.0021498\ N) + (31.380\ f) + (1.6058\ a) \quad (5)$$

حيث:

N: سرعة الدوران (rpm)، f: معدل التغذية (mm/rev)، a: عمق القطع (mm).

الجدول 8 يوضح قيم متوسط الخشونة الحقيقية المقاسة عملياً وقيم الخشونة المتحصل عليها من نموذج الانحدار الخطي المتعدد للقطع المشغلة (التنبئية) والنسبة المئوية للخطأ. كما تمت المقارنة بين قيم الخشونة الحقيقية وقيم الخشونة التنبئية كما هو موضح بالشكل رقم 6. وبيّن الشكل رقم 6 أن القيم التنبئية

والقيم الحقيقية قريبة جداً من بعضها البعض مما يؤكد دقة نموذج الانحدار المعد وبالتالي يمكن اعتماده للتنبؤ بقيم خشونة السطح في التجارب العملية.

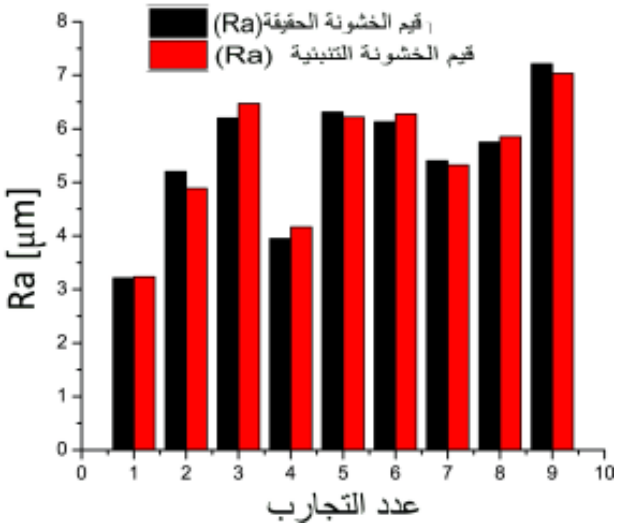


الشكل 5 اختبار الشروط التي يبنى عليها تحليل الانحدار الخطي المتعدد

الجدول 8 قيم الخشونة الحقيقة والخشونة التنبئية لنموذج الانحدار الخطي المتعدد

رقم التجربة	سرعة الدوران (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	قيم الخشونة الحقيقة (µm)	قيم الخشونة التنبئية (µm)	النسبة المئوية للخطأ (%)
1	1120	0.09	0.15	3.21	3.23505	0.780
2	1120	0.135	0.3	5.3	4.88804	7.772
3	1120	0.165	0.7	6.2	6.47178	4.383
4	800	0.09	0.3	3.95	4.16386	5.414
5	800	0.135	0.7	6.31	6.21830	1.453
6	800	0.165	0.15	6.13	6.27649	2.389
7	560	0.09	0.7	5.4	5.32214	1.441
8	560	0.135	0.15	5.75	5.85103	1.757

2.450	7.03331	7.21	0.3	0.165	560	9



الشكل 6 المقارنة بين الخشونة الحقيقة والخشونة التنبئية لنموذج الانحدار الخطي المتعدد

4. مناقشة تأثير عوامل القطع على خشونة السطح

1.4. تأثير سرعة القطع

من النتائج، نلاحظ أن زيادة سرعة القطع من شأنها تقليل خشونة السطح وهذا السلوك راجع إلى سببين رئيسيين؛ السبب الأول: وهو أن المعدن المعرّض للخراطة (سبيكة الألومينيوم) له ممطوليه عالية وهذا يعني أن معامل الاحتكاك عالي. عند بداية القطع يتكون الحرف المبني Built-Up-Edge (BUE) على سطح أداة القطع والذي يسببه جزء من المعدن المقطوع وذلك بسبب معامل الاحتكاك العالي، كما أن جزء آخر من المعدن قد يلتحم على نقطة رأس العدة. مع استمرار عملية القطع، يمر الرائش على الحرف المبني على طول وجه أداة القطع، ما ينتج عنه أن جزء من الحرف المبني يبدأ في الزوال (الاضمحلال) من على الحد القاطع والسطح المقطوع تاركاً منطقة القطع. من الطبيعي أن الحرف المبني من شأنه زيادة خشونة السطح، ومع زيادة سرعة القطع فإن الحرف المبني يضمحل وتزداد درجة حرارة القطع ويتناقص عامل الاحتكاك وبالتالي تتحسن خشونة السطح .أما السبب الثاني: فإنه بزيادة سرعة القطع تزداد زاوية القص (مستوى قص صغير) والذي بدوره يؤدي الى انخفاض قوة القص وبالتالي تقليل الاهتزازات وكنتيجة لذلك تقل خشونة السطح [11,9,1].

2.4. تأثير التغذية

من الواضح أن خشونة السطح تزداد بشكل عام مع زيادة معدل التغذية لنفس السرعة ونفس عمق القطع أي أن العلاقة بين الخشونة والتغذية علاقة طردية. ويمكن أن ينسب ذلك إلى أنه كلما زاد معدل التغذية زادت قوة القطع نتيجة لزيادة كمية المعدن الملاصقة للعدة، وتسبب هذه القوة في اهتزاز العدة مع سطح الشغلة والذي بدوره يؤدي الى زيادة خشونة السطح. مع زيادة درجة الحرارة المتولدة أثناء عملية القطع يقل عمر أداة القطع وتزداد خشونة السطح. والجدير بالذكر أنه كلما زادت سرعة القطع قل معدل تلامس سطح الشغلة لسطح عدة القطع (عند معدل تغذية معين) وبالتالي يقل اهتزاز عدة القطع على سطح الشغلة والذي من شأنه تقليل خشونة السطح [13,12,1].

3.4. تأثير عمق القطع

من خلال النتائج يتضح أن مقدار خشونة السطح يزداد بزيادة عمق القطع غير أنه كان له التأثير الأقل مقارنة مع معدل التغذية وسرعة القطع. عند زيادة عمق القطع تزداد قوة القطع بسبب زيادة كمية المعدن المزال أثناء عملية القطع، زيادة قوة القطع تؤدي إلى اهتزاز عالي مما ينتج عنه سطح خشن. وبناءً على النتائج المتحصل عليها في هذه الورقة فإن زيادة معدل خشونة السطح عند زيادة عمق القطع كان أقل من معدل الزيادة في خشونة السطح عند زيادة التغذية وسرعة القطع. وهذا التأثير الناتج من زيادة عمق القطع فُسر بواسطة بن عيسى *وآخرون* وأيضاً سوريش *وآخرون* [11,1] والذين أوضحوا أنه من المفترض بأن المعدن المشغّل يحدث له عملية قطع عند أعماق صغيرة، إلاّ أنه فعلياً لا يحدث له قطع، والسبب في ذلك راجع إلى حدوث احتكاك بين المعدن وأداة القطع، وينتج عن ذلك ما يشبه التراصف للمعدن على طول سطح العينة مما يتسبب في زيادة الخشونة على السطح. مع زيادة عمق القطع لا يوجد تأثير واضح على الخشونة كما هو الحاصل مع زيادة معدل التغذية وسرعة القطع.

5. الخلاصة

في هذه الدراسة تم دراسة تأثير عوامل القطع (سرعة قطع؛ معدل التغذية؛ عمق القطع) على خشونة السطح بدون استخدام سائل تبريد على عينة من سبيكة الألومينيوم (AL-5052) في عملية الخراطة الطولية الجافة باستخدام قلم كربيدي. ثلاثة عوامل قطع بثلاث مستويات لكل عامل استخدمت في هذه الدراسة. ودلّت النتائج أن لسرعة القطع تأثيراً عكسياً على خشونة السطح أي أنه كلما زادت سرعة القطع قلت خشونة السطح وعلى العكس بالنسبة لمعدل التغذية حيث أظهرت النتائج أن معدل التغذية يتناسب طردياً مع خشونة السطح أي أنه كلما زاد معدل التغذية زادت خشونة السطح. كما بينت النتائج أن لعمق القطع التأثير الأضعف على خشونة السطح. ويمكن تلخيص النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة كالتالي:

- قيم القطع المثلى كانت عند القيم التالية سرعة دوران القطعة (1120 rpm) ومعدل التغذية (0.09 mm/rev) وعمق القطع (0.15 mm).
- من جدول تحليل الفروق (ANOVA) ونسبة (S/N Ratio) لخشونة السطح يتضح أن معدل التغذية يساهم بشكل كبير في خشونة السطح بنسبة (67.22%) ويليه سرعة الدوران بنسبة (18.33%) بينما كان تأثير عمق القطع الأقل تأثيرا على متغير الاستجابة بنسبة (12.64%).
- أظهرت النتائج أن قيم نموذج الانحدار المعد قريبة من القيم الحقيقية وعلى درجة عالية من الدقة حيث كانت نسبة الخطأ في التجربة المثلى (0.78%)، وبالتالي يمكن استخدام النموذج لتنبؤ بخشونة السطح.

6. المراجع

[1] M. BenIsa *et al.*, Experimental Investigation of Cutting Parameters Effect on Surface Roughness During Wet and Dry Turning of Low Carbon Journal of Academic Research (Applied Sciences), 2021, Vol. 17.

[2] M. Akhtar *et al.*, Optimization of Process Parameters in CNC Turning of Aluminum 7075 Alloy Using L27 Array-Based Taguchi Method. Materials 2021, 14, 4470. https://doi.org/10.3390/ma14164470.

[3] R. Sivaraman *et al.*, International Journal of Advanced Science and Technology, 2020, Vol. 29, No. 12s, pp. 146-152.

[4] K. Partheeban, *et al.*, Taguchi Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness and Material Removal Rate in Turning Operation, International Research Journal of Engineering and Technology, 2019, Vol. 06 (06).

[5] O. Zurita *et al.*, Effect of cutting parameters on surface roughness in turning of annealed AISI-1020 steel, Journal of the Faculty of Engineering (Rev. Fac. Ing.), 2018, Vol. 27 (47), pp 111-118.

[6] J. Kumar and A. Sharma, Taguchi based Optimization of Cutting Parameters affecting Surface Roughness in dry CNC Turning of 16MnCr5, International Research Journal of Engineering and Technology. 2017, Vol. 4 (8).

[7]2004 بسترفيلد *وآخرون*، ، إدارة الجودة الشاملة، ترجمة الحمالي، راشد بم محمد، كلية العلوم الإدارية، جامعة الملك سعود، .

[8] Ott and Lyman, An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis, 6th Edition, Brooks cole USA, 2010.

[9] Mohammad and Ibrahim, Optimization of Sustainable Cutting Conditions in Turning Carbon Steel by CNC Turning Machine, J Material Sci Eng, 2017, Vol. 6. Issue 2 • 1000319, 6:2.

[10] S. Debnath *et al.*, Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning process using Taguchi method, Measurement 78: 111-119, 2016.

[11] R. Suresh *et al.* Machinability Investigations on Hardened AISI 4340 Steel Using Coated Carbide Insert, Int. J Ref Metals & Hard Mat 33: 75-86, 2012.

[12] M. Sarıkaya and A. Güllü, Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. J Cleaner Prod, 2014, 65: 604-616.

[13] M. CemalCakir *et al.*, Mathematical Modeling of Surface Roughness For Evaluating The Effects of Cutting Parameters and Coating Material. J Mat Proc Technology 209, 2009.

A Study of The Optimum Cutting Parameters for The Surface Roughness in A Longitudinal Turning of Aluminum Alloy Using Taguchi Method

Mustafa O. Hakoumh[1,*], Muamar M. Ben Isa[2], Hitem A. Aswihli[3], Ghait I. Ibrahim[4] and Bashir S. Younise[5]

[1]*Mechanical and Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Al-Asmarya Islamic University, Zliten, Libya, m.hakoma@asmarya.edu.ly*
[2]*Mechanical and Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Al-Asmarya Islamic University, Zliten, Libya, m.benisa@asmarya.edu.ly*
[3]*Mechanical and Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Al-Asmarya Islamic University, Zliten, Libya, h.aswihli@asmarya.edu.ly*
[4]*Mechanical and Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Bani Waleed University, Bani Waleed, Libya.*
[5]*Mechanical and Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Elmergib University, AL Khums, Libya.*

ABSTRACT

In this paper, the effect of the optimum cutting parameters (spindle speed, feed rate and depth of cut) on the surface roughness of an aluminum alloy (AL-5052) workpiece machined by lathe machine under dry conditions was studied. A carbide cutting tool insert with a constant nose radius was used. Number of statistical methods were used i.e. Taguchi, Analysis of Variation (ANOVA) and the Multiple Linear Regression Analysis. The orthogonal matrix L9, which consists three factors at three different levels for each factor was selected. Results were analyzed using Minitab-16. The "smaller is better" property was applied to calculate the signal-to-noise ratio (S/N Ratio) for each experiment. The analysis of variation was used to determine the most affecting factor on the response variable (surface roughness) by determining the highest contribution in the process. Multiple linear regression analysis was also used in predicting the surface roughness. Results showed that the surface roughness values obtained by the multiple linear regression model are at a close agreement with those from the experiments, where the error ratio was less than 0.8%. Therefore, this model could be used in the prediction of the surface roughness.

Keywords
Turning
ANOVA.
Taguchi.
Surface Roughness.

*Corresponding Author Email: m.hakoma@asmarya.edu.ly