

دقة التشغيل الميكانيكي في عمليات الخراطة المترافقة بعملية تقطيع لا حركي للرايش

د.م. عصام قرقوط

قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

الملخص:

يتناول هذا البحث دراسة دقة التشغيل الميكانيكي في عمليات الخراطة الطولية لأعمدة فولاذية مع استخدام إحدى الطرائق اللاحركية (اللاكينماتيكية) لتكسير الرايش المعدني والمتمثلة بتشكيل مجرى حلزوني بخطوة كبيرة بشكل مسبق على سطح المشغولة. إن وجود هذا المجرى على سطح المشغولة يسبب أحياناً تولد حركة اهتزازية قسرية لأداة القطع بسبب عدم ثبات عمق القطع، جرى في هذا البحث دراسة أثر هذه المجاري على خشونة السطح المشغل ودقة الأبعاد الخطية. من أجل ذلك تم وبشكل تجريبي إجراء عملية الخراطة لعدة مشغولات تم مسبقاً تشكيل مجرى واحد بخطوة كبيرة على سطحها، ودفعة أخرى من المشغولات لا تحوي مجرى لتكسير الرايش. وتم في كلا الحالتين قياس خشونة السطح الناتج لجميع العناصر بالإضافة إلى قياس التسامح على القطر المشغل وتمت دراسة وتحليل هذه النتائج للوصول إلى أثر مجاري تكسير الرايش على دقة التشغيل.

تاريخ الإيداع: 2022/8/9

تاريخ القبول: 2022/10/10



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

الكلمات المفتاحية: دقة التشغيل، خشونة السطح، عمليات الخراطة، تكسير الرايش.

Accuracy of machining in turning processes associated with non-kinematic breaking chip process.

Dr. Essam Karkout

Mechanical Design Department- Faculty of Mechanical and Electrical
Engineering-Damascus university

Abstract

This research is studying the accuracy of turning processes for steel shefts, by using non-kinematic method for breaking the chip (represented by forming a larg step; spiral flute (duet) on the surface of workpieces).

These flutes on the surface of worpiece sometimes causes a forced vibration movement of the cutting tool due to the instability of the cutting depth. Therefore, in this research , the effect of these flutes on the roughness of the working surface and the accuracy of linear dimensions were studied. For this purpose ,many experiments have been done. Some workpieces was formed a spiral flute on its surface, and another batch workpieces did not contain a flute. In both cases the surface roughness was measured for all elements, in addition to measuring the tolerance on the operated diameter, and these results were studied and analyzed to arrive at the effect of chip breaking flute on the operation accuracy.

Key words: Machining accuracy; surface roughness; turning; chip breaking.

Received: 9/8/2022

Accepted: 10/10/2022



Copyright: Damascus
University- Syria, The authors
retain the copyright under a
CC BY- NC-SA

1. المقدمة:

إن أهم أمر يواجه عمليات التصنيع الميكانيكي ومهندسي الإنتاج هو تحقيق الدقة المطلوبة للمنتجات وبنفس الوقت تحقيق الإنتاجية المرتفعة لعملية الإنتاج وبأقل تكلفة ممكنة.

لدقة التشغيل الميكانيكي للعناصر دوراً هاماً وأساسياً في قطاع بناء الآلات، حيث تتوقف عليها كثير من الخصائص الفنية والاستثمارية للميكانيزمات والآلات من حيث مقاومتها للاهتراء والثوقية والجودة في عملها.

ولا تزال دقة التشغيل واحدة من أهم القضايا التقنية والهندسية التي تواجه مهندسي الإنتاج بشكل خاص.

وتفهم دقة العناصر (Elements Accuracy) على انها درجة موافقة بارامترات العنصر للشروط الموضوعه على الرسوم التنفيذية من ناحية الأبعاد والشكل الهندسي (Geometric form) والتوضع التبادلي للسطوح المشغلة ودرجة خشونة السطح (Surface Roughness) أو نعومته [1] ومن هذا التعريف نجد أن الدقة لعنصر معين لا تمثل خاصية أو صفة مطلقة، وإنما هي صفة نسبية تبعاً لشروط تصميم واستثمار هذا العنصر يعبر عنها من خلال التسامحات (Tolerances) والتي تمثل حدود الانحرافات المسموح بها عن القيم الاسمية الموضوعه على المخططات التصميمية .

خلال عملية تصنيع عناصر الآلات، يُعَارَ اهتمام خاص لنوعيتها وتعتبر الدقة العامل الأهم المعبر عن هذه النوعية (quality). ولدراسة دقة التشغيل عموماً لابد من دراسة كافة العوامل والتأثيرات الضارة التي تسبب حدوث أخطاء معينة خلال عملية التشغيل، فبمعرفة السبب تتكون الفكرة الأساسية للتصدي له والحد من تأثيره.

ومن هذه المؤثرات الضارة المرافقة لعملية التشغيل الميكانيكي لعناصر الآلات بالقطع هو تشكل الرايش المعدني المستمر والملتف حول العنصر المشغل وأداة القطع وما ينتج عنه من آثار ضارة على عملية التشغيل.

2. معايير الدقة:

كما ذكرنا في مقدمة هذا البحث يمكن تعريف دقة التشغيل الميكانيكي (Machining Accuracy) بأنها درجة توافق بارامترات العنصر الجاهز مع المعطيات المبينة على الرسومات الهندسية والموضوعه من قبل المصمم. يتم توصيف دقة أي عنصر أو منتج من خلال مجموعة من المعايير أو البارامترات الهندسية هي: دقة الأبعاد الخطية، دقة الشكل الهندسي، دقة التوضع التبادلي وخشونة السطح أو نعومته.

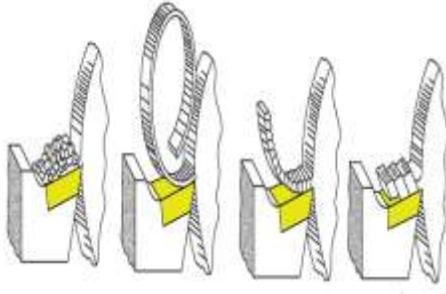
وحيث أنه لا يمكن الوصول إلى الأبعاد الاسمية المطلقة وتحقيق الدقة المطلقة ، لذلك تعطى هذه البارامترات ضمن حدود تسامح (tolerance) بالنسبة للأبعاد الخطية يعطى ضمن مجال تسامح δ_i يمثل الفرق بين الأبعاد النهائية العظمى والصغرى المقبولة لعنصر معين ويتم اظهارها على الرسم الهندسي للعنصر $\delta_i = d_{max} - d_{min}$

أما ما يتعلق بدقة الشكل الهندسي (Accuracy of form)

فتمثل مقدار الانحراف المسموح به لهذا العنصر بالانحراف عن الدائرية مثلاً وغيرها من الأشكال الهندسية وهذه الانحرافات تؤثر على نوعية الاتصالات بين العناصر المجمعة (العمود والرولمان مثلاً).

وهذه الدراسة التحليلية للشكل الهندسي لا شك أنها معقدة ويمكن دراسة أخطاء الشكل الهندسي بمساعدة سلسلة فورييه [8].

بالنسبة لدقة التوضع التبادلي لسطوح العنصر فتعبر مثلاً عن تطابق محوري درجتين من عمود مدرج، تطابق محوري السطحين الداخلي والخارجي لجلبة اسطوانية، تعامد سطحين، تسامت وغيرها.... وجميع هذه البارامترات المعبرة عن دقة العنصر يتم تمثيلها بتسامحات (tolerance) محددة تبعاً لدرجة الدقة المطلوبة لهذا العنصر وتعطى قيمها العددية في المراجع العلمية ذات الصلة.



الشكل (1) أنواع الرايش المعدني



الشكل (2) رايش معدني يلتف على المشغولة وأداة القطع

وحسب ما هو متبع في مجال التشغيل الميكانيكي بالقطع (خراطة) يمكن تصنيف طرائق تقطيع الرايش المعدني الناتج إلى:

A- طرائق حركية Kinematic methods: وهي طرائق مبنية على إعطاء قلم القطع أو المشغولة حركة اهتزازية دورية باتجاه حركة التغذية ينتج عنها قطع شريط الرايش [6]، أو يتم تركيب أداة القطع على جهاز خاص يربط مع آلية التغذية في المخرطة، حيث يقوم هذا الجهاز بفصل حركة التغذية دورياً ولفترة قصيرة جداً ينتج عنها قطع شريط الرايش. وهذه الطرق عموماً تعقد من عملية التشغيل وتزيد من خشونة السطح المشغل مما يحد من استخدامها.

B- طرائق لاهركية Non-Kinematic methods:

يوجد عدد من الطرق غير الحركية لتقطيع الرايش منها ما يعتمد على تركيب لقمة اضافية على السطح الامامي لقلم القطع وخلف الحد القاطع الرئيسي تعمل على التقاف الرايش وتكسيهه. ومنها طرق مبنية على هندسة زوايا أداة القطع

في الحياة العملية، من الملائم التعبير عن كل من أخطاء الشكل الهندسي والتوضع التبادلي للسطوح بشكل نسبي من التسامح المخصص للبعد [1].

ويجب الإشارة هنا إلى أن دقة التشغيل الميكانيكي بكافة المعايير المعبرة عنها والتي سبق ذكرها تتوقف على مجموعة من العوامل، أهمها: الدقة الهندسية لعناصر النظام التكنولوجي (آلة التشغيل، أداة القطع، المثبت والمشغولة الخام) المستخدم في التشغيل، نظام القطع المستخدم (v, s, t) ، شكل عملية التشغيل وغيرها من العوامل.

3. موضوع البحث:

سنتناول في بحثنا هذا دقة الأبعاد الخطية وخشونة السطح المشغل في عمليات الخراطة الطولية للأعمدة الفولاذية باستخدام مجاري تكسير الرايش Chip-Breaking Flute كطريقة لا حركية (لا كينماتيكية) لتكسير الرايش الناتج. فكما هو معلوم إن الرايش الناتج عن عملية الخراطة يأخذ أشكالاً مختلفة تبعاً لنوع وخصائص المادة المشغلة وتبعاً لهندسة الحد القاطع ونظام التشغيل (v, s, t) ، حيث يتشكل الرايش الشريطي أو الحلزوني المستمر والرايش المجزأ والرايش المفتت كما هو مبين على الشكل (1).

عند تشغيل المعادن اللدنة غالباً يتشكل الرايش على شكل شريط أو حلزون مستمر ويلتف على أداة القطع والمشغولة ينتج عنه احتكاك شديد على سطح أداة القطع والمشغولة مما يسرع من اهتراء أداة القطع ويزيد من خشونة السطح المشغل ويشكل خطراً شديداً على العاملين (الشكل 2). لذلك تناول عدد من الباحثين مسألة تقطيع الرايش المستمر إلى قطع صغيرة بحيث يمكن إبعادها عن منطقة القطع بسهولة [2,7].

H_{imax} : ارتفاع خشونة عن الخطأ المتوسط لبروفيل السطح لخمسة نقاط. H_{imin} : قيمة تجاويرف (انخفاضات) الخشونة عن الخطأ المتوسط لبروفيل السطح لخمسة نقاط.

2. الانحراف الوسطي الحسابي R_a : والذي من القيم المطلق لانحرافات بروفيل السطح عن الخط الوسطي:

$$R_a = (h_1 + h_2 + \dots + h_n) / n = \frac{1}{n} \sum h_i$$

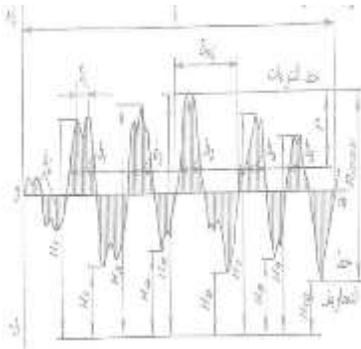
3. ارتفاع عدم الاستواء الأعظمي R_{max} : وهو المسافة بين خط النتوءات وخط التجاويرف على بروفيل الخشونة وفي حدود الطول القاعدي 1.

4. الخطوة المتوسطة لعدم الاستواء S_m : وتمثل المتوسط الحسابي لخطوة تعرجات البروفيل وفق الخط المتوسط في حدود الطول القاعدي 1.

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

في الحياة العملية فإن المؤشرات R_z, R_a تعتبر كافية من أجل تقدير درجة إنهاء السطح المشغل (خشونته) ومدى موافقته للشروط التصميمية الموضوعة من قبل المصمم. وتوجد علاقة تبادلية بين البارامترات R_a, R_z, R_{max} فمن أجل عمليات الخراطة والقشط والتفريز.

$$R_{max} = 6 R_a, R_z = 5 R_a$$



الشكل (4) بروفيل خشونة السطح [1]

يؤثر على خشونة السطح المشغل عدد كبير من العوامل: نظام القطع، نوع المعدن، هندسة أداة القطع، استخدام سوائل التبريد وغيرها من العوامل. ومن أجل حالة تشغيل عناصر محددة فإن سرعة القطع V والتغذية S تظهران التأثير الأكبر على خشونة السطح المشغل، كما هو

واختيار نظام القطع (v, s, t) المناسب وهذا ما يجعلها طريقة غير عمومية ومحدودة في مجال محدد لنظام التشغيل. ومن الطرق اللاحركية المستخدمة أيضاً ما يعتمد على التحضير المسبق للسطح المراد تشغيله عن طريق تشكيل مجرى حلزوني على سطح المشغولة بأبعاد مناسبة تساعد على تقطيع الرايش.



الشكل (3) مشغولات على سطحها مجرى لتكسير الرايش

لذلك سوف نتناول في دراستنا هذه كلاً من دقة الأبعاد و خشونة السطح للعناصر الفولاذية المشغلة. وأثر مجاري تكسير الرايش، المشكلة مسبقاً على سطح المشغولات، على هذه العملية.

في عمليات التشغيل بالقطع يعبر عن نوعية السطح المشغل من خلال عدة بارامترات أهمها الخشونة (roughness) بالإضافة إلى التمدج والخواص الفيزيائية - الميكانيكية للطبقة السطحية [1]. كما وتقدر خشونة السطح وفق مجموعة من المؤشرات (البارامترات) [8,9] كما هو مبين على الشكل (4):

1. ارتفاع عدم الاستواء وفق النقاط العشر R_z : وهو يعبر عن المسافة الوسطى بين خمسة من ارتفاعات النتوءات وخمسة من ارتفاعات التجاويرف على منحنى بروفيل خشونة السطح:

$$R_z = \frac{1}{5} (\sum_{i=1}^5 H_{imax} - \sum_{i=1}^5 H_{imin})$$

حيث:

المجموعة الثانية: أيضاً مكونة من خمس مشغولات مماثلة للمجموعة الأولى ولا تحوي على سطحها مجاري لتكسير الرايش.

نظام التشغيل المستخدم في عملية تشغيل الدفعتين المذكورتين أعلاه هو:

$$t=1\text{mm} , s=0.16\text{mm/r} , n=400 \text{ r.p.m}$$

أداة القطع المستخدمة في الخراطة من الفولاذ سريع القطع H.S.S ماركة P18.

وقد كان الرايش المعدني الناتج عن تشغيل المجموعة الأولى على شكل قطع صغيرة دائرية بحيث تتساقط بحرية إلى حوض تجميع الرايش ولا تشكل أية عوائق لعملية التشغيل، أما الرايش الناتج عن تشغيل المجموعة الثانية (بدون مجرى تكسير الرايش) كان على شكل شريط حلزوني مستمر يتجمع ويلتف على المشغولة وأداة القطع (شكل 2) ويزيد من الاحتكاك ومن خشونة السطح المشغل.

بعد إتمام عمليات التشغيل على عناصر الدفعتين تم قياس خشونة السطح Rz, Ra لكل عنصر حيث تم أخذ خمس قراءات لكل عنصر وتسجيل القيمة الوسطية، والنتائج مبينة في الجدولين (1) و (2).

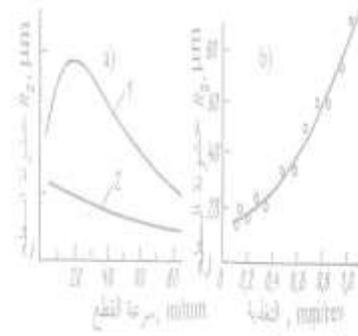
جهاز قياس الخشونة المستخدم TR200 مبين على الشكل (6).



الشكل (6) جهاز قياس خشونة السطح TR200

مبين على الشكل (5). فعند تشغيل عناصر فولاذية (المنحني 1) وبسرعات قطع $V < 20 \text{ m/min}$ تزداد الخشونة مع زيادة السرعة وهذا سبب تشكل الحد المتراكب (built-up edge) على مقدمة الحد القاطع للقمم، أما من أجل سرعات القطع الأكبر فإن العلاقة عكسية بين سرعة القطع و خشونة السطح، ونفس الشيء عند تشغيل حديد الصب (المنحني 2). الشكل (5-b) يبين علاقة خشونة السطح مع التغذية عند خراطة مشغولات من الفولاذ st45.

حيث يظهر التأثير الكبير للتغذية على خشونة السطح. أما بالنسبة لزيادة عمق القطع t فإنه لا يظهر تأثيراً هاماً على مقدار الخشونة.



الشكل (5) أثر كلاً من سرعة القطع والتغذية على خشونة السطح []

4. الدراسة العملية:

من أجل تحقيق هدف هذا البحث المتمثل بتحديد دقة عملية الخراطة الطولية (دقة الأبعاد الخطية و خشونة السطح المشغل) بإستخدام مجاري تكسير الرايش المشكلة مسبقاً على سطح المشغولات فقد تم اتباع المنهج التحليلي-التجريبي لدراسة الدقة. من أجل ذلك تم تشغيل دفعتين من المشغولات وبنفس شروط التشغيل وتم قياس دقة الأبعاد و خشونة السطح للعناصر المشغولة وفق ما يلي:

المجموعة الأولى: مكونة من خمس مشغولات من الفولاذ st45 قطرها $d=30 \text{ mm}$ تم بشكل مسبق تحضير مجرى حلزوني واحد على سطح كل منها بعمق $t_x=0.8 \text{ mm}$ وبخطوة كبيرة $p=20 \text{ mm}$ كما هو مبين على الشكل (3)

العلمية ذات الصلة [9,8] حيث تقع قيم معاملات خشونة بالحدود:

الإنهائية. $R_a=(3.2-12.5) \mu m$, $R_z=5 Ra$ نصف للخراطة

ويمقارنة بسيطة بين الجدولين (1) و (2) نجد أن خشونة السطح للعناصر المشغلة بوجود مجاري تكسير الرايش تزيد قليلاً جداً عن الخشونة عند التشغيل بدون مجاري تكسير الرايش.

بدراسة نتائج قياس الخشونة R_a, R_z عند الخراطة بوجود مجاري تكسير الرايش نجد أن غالبية قيم الخشونة المقاسة تقع في الحدود:

$$R_z=(28-75) \mu m, R_a=(4-14) \mu m$$

والقيمة الوسطية للمشغولات الخمسة بحدود:

$$R_z=(26.6-54.3)\mu m, R_a=(5-10.2) \mu m$$

وهذا يوافق خشونة السطح المسموح بها في عمليات الخراطة نصف الإنهائية حسب ما هو مبين في المراجع

الجدول (1)- قياس خشونة سطح العينات المشغلة بوجود مجرى لتكسير الرايش.

| رقم العينة | قيم R_a, R_z المأخوذة (خمس قراءات لكل عينة) μm | | | | | | القيمة الوسطية |
|------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | R_a | R_z | R_a | R_z | R_a | R_z | |
| 1 | R_a | 8 | 7 | 8.5 | 6 | 13 | 8.5 |
| | R_z | 38 | 32 | 45 | 32.5 | 70 | 43.5 |
| 2 | R_a | 11.5 | 6 | 14 | 9.7 | 10 | 10 |
| | R_z | 63.5 | 35 | 75 | 43 | 55 | 54.5 |
| 3 | R_a | 5 | 4.5 | 6 | 4 | 5.5 | 5 |
| | R_z | 28 | 26 | 35 | 18 | 26 | 26.5 |
| 4 | R_a | 9 | 9 | 8.5 | 13.5 | 11 | 10 |
| | R_z | 50 | 48 | 42 | 70 | 60 | 54 |
| 5 | R_a | 6 | 7 | 6.5 | 8.5 | 7.5 | 7 |
| | R_z | 34 | 36 | 35 | 49 | 40 | 38.8 |

الجدول(2)- قياس خشونة سطح العينات المشغلة دون وجود مجرى لتكسير الرايش.

| رقم العينة | قيم R_a, R_z المأخوذة (خمس قراءات لكل عينة) μm | | | | | | القيمة الوسطية |
|------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | R_a | R_z | R_a | R_z | R_a | R_z | |
| 1 | R_a | 6 | 7 | 10 | 8 | 6 | 7.5 |
| | R_z | 32 | 35 | 58 | 42 | 28 | 39 |
| 2 | R_a | 4.5 | 6 | 6.5 | 7 | 8 | 6.5 |
| | R_z | 25 | 29 | 32 | 39 | 40 | 33 |
| 3 | R_a | 6.5 | 6 | 5 | 6.5 | 7 | 6 |
| | R_z | 32 | 32 | 23 | 35 | 40 | 32.5 |
| 4 | R_a | 7 | 5.5 | 6 | 6 | 6.5 | 6.5 |
| | R_z | 32 | 25 | 32 | 30 | 35 | 30.8 |
| 5 | R_a | 6.5 | 7 | 7.5 | 6 | 7 | 6.8 |
| | R_z | 30 | 35 | 36 | 30 | 34 | 33 |

مجاري تكسير الرايش وقياس القطر للعناصر المشغلة بدون مجاري تكسير الرايش وتحديد التسامح على القطر الناتج. لكل عنصر تم أخذ ثلاث قياسات على القطر والنتائج مبينة في الجدول (3).

تم قياس القطر باستخدام ميكرومتر دقته 10 ميكرون.

وهذا يدعونا للاستنتاج والتأكيد أن استخدام مجاري تكسير الرايش في عمليات الخراطة نصف الإنهائية والخراطة الأولية يشكل طريقة فعالة ومقبولة من وجهة نظر خشونة السطح المشغل.

دقة الأبعاد الخطية: من أجل دراسة دقة البعد الناتج بعد عملية الخراطة والذي يمثل قطر العنصر بعد الخراطة (d=28mm) فقد تم قياس قطر العناصر المشغلة بوجود

الجدول(3)- التسامح على القطر المشغل (ميكرون)

| رقم العينة | (μm) التسامح | | | التسامح الوسطي | (μm) التسامح | | | التسامح الوسطي |
|------------|-------------------------|-----|-----|----------------|-------------------------|-----|-----|----------------|
| | بوجود مجرى تكسير الرايش | | | | بوجود مجرى تكسير الرايش | | | |
| 1 | 200 | 180 | 200 | 193 | 170 | 180 | 170 | 173 |
| 2 | 170 | 180 | 190 | 180 | 160 | 180 | 170 | 170 |
| 3 | 200 | 180 | 180 | 187 | 180 | 190 | 180 | 183 |
| 4 | 190 | 180 | 190 | 187 | 150 | 160 | 180 | 163 |
| 5 | 180 | 200 | 190 | 190 | 170 | 170 | 180 | 173 |

5.الخاتمة:

نظراً لما تشكله عملية تقطيع الرايش من مسألة تقنية هامة في عمليات التشغيل بالخراطة فقد تم دراسة تأثير مجاري تكسير الرايش، المشكلة على سطح المشغولة، على كل من خشونة السطح المشغل ودقة الأبعاد الخطية. تبين من نتائج الدراسة التي أجريناها أنه لا يوجد أثر سلبي واضح لهذه المجاري على كل من خشونة السطح المشغل وعلى دقة التشغيل في حال تم اختيار بارامترات التشغيل (s, t, v) ضمن الحدود التي تحقق استقرار النظام التكنولوجي لعملية الخراطة.

فقد كانت قيم الخشونة R_z , R_a وقيم تسامح التشغيل δ للعناصر المشغولة، بوجود مجرى لتكسير الرايش على سطح المشغولة، ضمن الحدود المسموح بها [8,9] لعمليات الخراطة نصف الإنهائية.

وهذا ما يجعل من هذه المجاري طريقة عملية وبسيطة تكنولوجياً وتسمح بتقطيع الرايش إلى قطع صغيرة بحيث يمكن وبسهولة إبعادها عن منطقة القطع والآلة عموماً.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

من نتائج القياسات المبينة في الجدول (3) نجد أنه من أجل جميع العناصر المشغولة وبوجود مجاري تكسير الرايش فإن التسامح على القطر (28 mm) لقيمة مطلقة يقع بحدود $\delta=(170.....200) \mu m$ والقيمة الوسطية لهذا التسامح للمشغولات الخمسة تقع بحدود $a=(180.....193)$.

أما لحالة التشغيل بدون مجاري تكسير الرايش فإن: التسامح على القطر يقع بحدود $\delta=(150.....180)$ والقيمة الوسطى $\delta_a=(163.....183)$

بالعودة إلى المراجع ذات الصلة بدقة التشغيل [9]

نجد أن تسامح جميع العناصر المشغولة يقع ضمن حدود التسامحات المسموح بها، حيث أن التسامح المسموح به لعمليات الخراطة نصف الإنهائية ولهذا القطر المشغل تقع بحدود $[\delta] = [160 - 250]$

وهو ما يوافق درجة الدقة الثانية عشر تقريباً (IT12).

بناء على ما ذكر أعلاه نستنتج أن استخدام مجاري تكسير الرايش في عمليات الخراطة الطولية ليس له أثر سلبي على دقة الأبعاد وهذا ما يجعل من هذه الطريقة أسلوب تقني فعال لتكسير الرايش.

المراجع References

1. د. محمد غانم، د. عصام قرقوط. خطط الإنتاج وطرقها. منشورات جامعة دمشق 2006.
2. الاهتزازات القسرية للنظام التكنولوجي في عمليات الخراطة الطولية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية 2021. د.عصام قرقوط
3. د.غسان حداد _ طرائق التصنيع 1. منشورات جامعة دمشق 2014.
4. د.عصام قرقوط ، د.عصام موسى ، د.مازن يعقوب _طرائق التصنيع ، منشورات جامعة دمشق 2008
5. Davide Dow .Lectures in manufacturing .2006
6. Koumabia D. Cutting with vibrations ,(translat at japanesse language).
7. Lsterzon M.A,Chegolev V.v, Chip breaking on CNC turning machine.
8. Matalen A.A . Technology of machine building, Moscow 1995
9. kocelovoe A.G , Mecheriakova R.K. Technology of machines manufacturing , Moscow 1996.