



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي - سكيكدة-



قسم التكنولوجيا

التخصص: هندسة ميكانيكية

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي
بعنوان

دراسة تجريبية لتأثير شروط القطع على خشونة السطح ودرجة حرارة التصنيع أثناء خراطة
البرونز بالاعتماد على منهجية Box-Behnken

من اعداد:

- بن ضحوى نورالدين
- بن ضحوى بدرالدين
- بن خيرة عبدالله

تحت اشراف الأستاذة:

- بوهالي ريمة

لجنة المناقشة:

م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة	أستاذ محاضر -أ- رئيسا	د. بن صانع توفيق
م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة	أستاذ محاضر -ب- مشرفا	د. بوهالي ريمة
م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة	أستاذ محاضر -ب- ممتحنا	د. مريمش ايمان

السنة الجامعية 2024/2023

الإهداء

ما أجمل أن يجود المرء بأعلى ما لديه والأجمل أن يهدي الغالي للأعلى

أهدي تخرجي هذا إلى من علمني العطاء وإلى من أحمل اسمه بكل افتخار، الذي لم يبخل عليا بشيء "والدي العزيز" حفظك الله

وإلى ملاكي في الحياة وسر الوجود وإلى من كان دعاؤها سر نجاحي "أمي الحبيبة" حفظك الله وأطال في عمرك

وإلى من بوجودهم أكتسب قوة ومحبة لا حدود لها وإلى من عرفت معهم معنى الحياة "إخوتي وأخواتي"

وإلى من تحلوا بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء وإلى من برفقتهم في دروب الحياة السعيدة والحزينة سرت وإلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير "أصدقائي الأعزاء" تشرفت بصحبتهم

شكرًا لكل من مد لي يد العون من قريب وبعيد.

بن ضحوى بدرالدين.

الإهداء

أهدي عملي هذا بفضل الله تعالى إلى والديّ العزيزان اللذان تعبنا من أجلي، أطال الله في عمرهما

إلى من كانوا عوناً وسنداً لي "إخوتي"

إلى اللذان شاركاني في هذا العمل زميلاي "بدرالدين" و"عبد الله"

إلى الأستاذة المشرفة الدكتورة "بوهالي ريمة" بإرشاداتها القيمة في إعداد هذا البحث وإلى أعضاء

لجنة المناقشة

إلى كل من نسيه قلبي وذكره قلبي.

بن ضحوى نورالدين.

الإهداء

يارب أحمدك حمدا كثيرا وأشكرك شكرا يليق بعظمتك أنّ وفقتني لإتمام دراستي التي شقت

دربي...

الى كل من شاركني أفراحي وأحزاني والى نبع الحنان والعطف الى من ساندتني في صلاتها ودعائها

" أمي الغالية حفظها الله والى أبي رحمه الله "

الى اخوتي الأعتاء رفقاء الدرب "عبدالرحمان" و"عبدالقادر" و"ياسين" رعاهم الله.

الى خالي العزيز " صوفي الشيخ حفظه الله "

بن خيرة عبد الله.

شكر وتقدير

نحمد الله عز وجل، الذي وفقنا في إتمام هذا البحث العلمي

فالحمد لله حمدا كثيرا

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذة المشرفة "بوهالي ريمة"

على كل ما قدمته لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في

اثناء موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى أعضاء اللجنة المناقشة كل باسمه

على تفضلهم وتشرفهم بقراءة وتقييم هذا البحث.

المخلص

في هذا العمل البحثي سندرس تأثير شروط القطع (سرعة القطع، عمق التغذية، سرعة التغذية، وبيئة القطع) على خشونة السطح وعلى درجة حرارة التشغيل أثناء عملية الخراطة الطولية لمادة البرونز. ان مادة البرونز هي من المعادن الأكثر استعمالا في تصنيع القطع الميكانيكية، ولهذا فانه من اللازم فهم تأثير شروط القطع على خشونة السطح وحرارة التصنيع. حرارة القطع تؤثر على أداء القطع وبالتالي تؤثر على نوعية التصنيع ولهذا وجب خفضها من خلال دراسة الشروط المؤثرة عليها. ان هذا البحث سيساعد في تحسين العمليات الصناعية وزيادة كفاءة وجودة المنتج النهائي المصنع من هذه المادة. كما أن فهم كيفية تأثير درجة حرارة الأداة وشروط القطع على نوعية التصنيع سيسمح بتقليل وقت الإنتاج مما يعني إنتاجية أكبر وخفض تكاليف الإنتاج. كما أن دراسة تأثير درجة حرارة القطع سيساعد في فهم كيفية تأثيرها على عمر الأداة وبالتالي معرفة ما اذا كانت الأداة ستتعرض للتآكل و التلف. في هذه الدراسة تم الاعتماد على طريقة Box-Behnken في تصميم التجارب وعلى بعض الطرق الإحصائية لتحليل النتائج المتحصل عليها مثل تحليل التباين وتحليل الانحدار باستخدام برنامج Minitab. في آخر هذه الدراسة سنتمكن من تحديد شروط القطع الأكثر تأثير على عملية خراطة البرونز وشروط القطع المثلى وكذلك التحقق من هذه النتائج.

الكلمات المفتاحية :

Box-Behnken، شروط القطع، الخراطة، خشونة السطح، حرارة التصنيع.

Résumé

Dans ce travail de recherche, nous étudierons l'effet des conditions de coupe (vitesse de coupe, profondeur d'avance, vitesse d'avance et environnement de coupe) sur la rugosité de surface et la température de travail pendant le processus de tournage longitudinal du matériau bronze. Le bronze est l'un des métaux les plus utilisés dans la fabrication de pièces mécaniques. Il est donc nécessaire de comprendre l'effet des conditions de coupe sur la rugosité de la surface et la température de fabrication. La température de coupe affecte les performances de coupe et affecte donc la qualité de fabrication. Elle doit donc être réduite en étudiant les conditions qui l'affectent. Cette recherche contribuera à améliorer les procédés industriels et à accroître l'efficacité et la qualité du produit final fabriqué à partir de ce matériau. Comprendre comment la température de l'outil et les conditions de coupe affectent la qualité de l'usinage permettra de réduire le temps de production, ce qui signifie une plus grande productivité et des coûts de production inférieurs. De plus, l'étude de l'effet de la température de coupe aidera à comprendre comment elle affecte la durée de vie de l'outil et ainsi à déterminer si l'outil sera sujet à la corrosion et aux dommages. Dans cette étude, nous nous sommes appuyés sur la méthode Box-Behnken pour concevoir les expériences et sur certaines méthodes statistiques pour analyser les résultats obtenus, telles que l'analyse de variance et l'analyse de régression à l'aide du programme Minitab. À la fin de cette étude, nous serons en mesure de déterminer les conditions de coupe qui influencent le plus le processus de tournage du bronze et les conditions de coupe optimales, ainsi que de vérifier ces résultats.

mots clés :

Box-Behnken, conditions de coupe, tournage, rugosité de surface, température de fabrication.

Abstract

In this research work, we will study the effect of cutting conditions (cutting speed, feed depth, feed speed, and cutting environment) on the surface roughness and working temperature during the longitudinal turning process of bronze material. Bronze is one of the most widely used metals in the manufacture of mechanical parts, and therefore it is necessary to understand the effect of cutting conditions on surface roughness and manufacturing temperature. Cutting temperature affects cutting performance and thus affects the quality of manufacturing. Therefore, it must be reduced by studying the conditions affecting it. This research will help improve industrial processes and increase the efficiency and quality of the final product manufactured from this material. Understanding how tool temperature and cutting conditions affect the quality of machining will allow for reduced production time, which means greater productivity and lower production costs. Also, studying the effect of cutting temperature will help understand how it affects the life of the tool and thus determine whether the tool will be subject to corrosion and damage. In this study, we relied on the Box-Behnken method to design experiments and on some statistical methods to analyze the results obtained, such as analysis of variance and regression analysis using the Minitab program. At the end of this study, we will be able to determine the cutting conditions that most influence the bronze turning process and the optimal cutting conditions, as well as verify these results.

key words :

Box-Behnken, cutting conditions, turning, surface roughness, manufacturing temperature .

الفهرس

1.....	مقدمة عامة.....
	الفصل الأول عموميات عن الخراطة
2.....	1.I. مقدمة.....
2.....	2.I. تعريف التصنيع.....
3.....	3.I. تعريف الخراطة.....
3.....	4.I. مختلف عمليات الخراطة.....
3.....	1.4.I. الخراطة الطولية.....
4.....	2.4.I. التسوية.....
4.....	3.4.I. العنق الداخلي و الخارجي.....
4.....	4.4.I. الشطف.....
5.....	5.4.I. اللولبة.....
5.....	6.4.I. التنقيب.....
5.....	7.4.I. التقطيع.....
6.....	8.4.I. التجويف.....
6.....	5.I. أنواع المخارط.....
6.....	1.5.I. المخارط العامة.....
7.....	2.5.I. المخارط الخاصة.....
7.....	1.2.5.I. المخارط البرجية.....
9.....	2.2.5.I. مخرطة الأوجه.....
9.....	3.2.5.I. المخرطة العمودية.....

10.....	3.5.I.المخارط المحوسبة.....
10.....	6.I. تثبيت الشغلة على المخرطة.....
11.....	1.6.I.التثبيت في الطرف.....
11.....	2.6.I. التثبيت بين المراكز.....
12.....	3.6.I. التثبيت في الأطواق.....
12.....	4.6.I. التثبيت في صينية المخرطة.....
13.....	7.I.المواد المستعملة في تصنيع أدوات القطع.....
13.....	1.7.I.الصلب الكربوني.....
13.....	2.7.I. الصلب العالي السرعات.....
13.....	3.7.I. اللقم الكربيدية.....
13.....	4.7.I. المواد المعدنية الخزفية.....
14.....	5.7.I. ألماس.....
14.....	8.I.مختلف أدوات القطع الداخلية والخارجية.....
15.....	9.I.شروط القطع.....
15.....	1.9.I.سرعة القطع.....
15.....	2.9.I. التغذية.....
16.....	3.9.I. عمق القطع.....
16.....	10.I.حالة السطح.....
16.....	1.10.I.الخشونة (Roughness).....
16.....	2.10.I. ارتفاع الخشونة (Roughness Height).....

16.....	3.10.I عرض الخشونة (Roughness Width)
17.....	4.10.I التموج (Waviness)
17.....	5.10.I إرتفاع التموج (Waviness Height)
17.....	6.10.I الخدوش (Flaws)
17.....	11.I مقاييس الخشونة
18.....	1.11.I متوسط الخشونة الحسابي Ra
18.....	2.11.I متوسط الخشونة الكلية Rz
19.....	3.11.I الخشونة الكلية Rt
19.....	4.11.I عمق التسطیح Rp
20.....	5.11.I معدل طول التحمل Rmr
20.....	12.I رموز تشطيب الأسطح في الرسومات التنفيذية
21.....	13.I مختلف العوامل المؤثرة على الخراطة
21.....	1.13.I التزييت
21.....	2.13.I درجة الحرارة
22.....	3.13.I ظروف القطع
22.....	14.I خاتمة
الفصل الثاني الطرق المستعملة	
23.....	1.II مقدمة
23.....	2.II المصطلحات
23.....	1.2.II الأنواع المختلفة للعوامل

24.....	2.2.II مفهوم الفضاء التجريبي
26.....	3.2.II مجال الدراسة
26.....	4.2.II مفهوم سطح الاستجابة
27.....	3.II Box Behnken
27.....	1.3.II تعريف
27.....	2.3.II بناء خطط Box Behnken
28.....	4.II الخطط لسطح الإستجابة
28.....	1.4.II الخطط المركبة
29.....	2.4.II خطط Box Behnken
30.....	5.II تحليل البيانات من طريقة Box Behnken
30.....	1.5.II طريقة تحليل التباين (ANOVA)
31.....	2.5.II تحليل الانحدار (analyse de régression)
33.....	6.II الخاتمة
الفصل الثالث الجزء التجريبي	
34.....	1.III مقدمة
34.....	2.III العوامل والاستجابات التي تم دراسة تغيراتها أثناء التجارب
34.....	3.III الوسائل المستعملة
34.....	1.3.III آلة الخراطة المستعملة
35.....	1.1.3.III خصائص المخرطة
37.....	2.3.III عينات الاختبار
38.....	1.2.3.III خصائص مادة الصنع

38.....	3.3.III حامل أدوات القطع
38.....	1.3.3.III أداة الخراط الطولي
39.....	2.3.3.III أداة التعنيق
40.....	4.3.III لقم الأدوات
40.....	1.4.3.III لقم التعنيق
41.....	2.4.3.III لقم الخراط الطولي
41.....	5.3.III جهاز قياس خشونة الأسطح
42.....	6.3.III جهاز قياس درجة الحرارة
44.....	7.3.III السوائل المستعملة في التبريد
44.....	1.7.3.III TASFALOUT 22B
45.....	2.7.3.III الماء
46.....	4.III تحضير العينة
48.....	5.III عمليات القياس
48.....	1.5.III عمليات قياس درجة الحرارة
48.....	2.5.III عملية قياس الخشونة
50.....	6.III خاتمة
الفصل الرابع نتائج وتحليل	
51.....	1.IV مقدمة
51.....	2.IV وصف التجربة
51.....	3.IV تطبيق تصميم Box Behnken
52.....	4.IV النتائج

58.....	5.IV. تحليل النتائج والمناقشة
58.....	1.5.IV. التحليل الاحصائي
58.....	1.1.5.IV. التحليل التباين ANOVA لخشونة السطح Ra ، Rz ، Rt
60.....	2.1.5.IV. التحليل التباين ANOVA لحرارة القطع T
60.....	2.5.IV. الرسم البياني Pareto لنتائج تحليل التباين،
61.....	3.5.IV. تحليل الانحدار
62.....	1.3.5.IV. تحليل الانحدار لمقادير خشونة السطح
63.....	2.3.5.IV. تحليل الانحدار لحرارة القطع
63.....	3.3.5.IV. مخططات الاحتمالية الطبيعي لخشونة السطح وحرارة القطع
64.....	4.5.IV. تحليل الرسومات البيانية
65.....	1.4.5.IV. تحليل الرسم البياني لمتوسط الخشونة Ra
65.....	2.4.5.IV. تحليل الرسم البياني لمتوسط الخشونة الكلية Rz
66.....	3.4.5.IV. تحليل الرسم البياني للخشونة الكلية Rt
66.....	4.4.5.IV. تحليل الرسم البياني لدرجة الحرارة T
67.....	5.5.IV. تحسين الاستجابة Response Optimization
67.....	1.5.5.IV. تحسين الاستجابة لخشونة السطح Ra moy, Rz moy, Rt moy
68.....	2.5.5.IV. تحسين الاستجابة لدرجة الحرارة T
69.....	6.5.IV. تجارب التأكيد
69.....	1.6.5.IV. تجارب التأكيد لخشونة السطح Ra moy, Rz moy, Rt moy
69.....	2.6.5.IV. تجارب التأكيد لدرجة الحرارة T

70.....خاتمة.7.IV

71.....خاتمة عامة

72.....المراجع

- الشكل I.1. الأجزاء المصنوعة عن طريق ازالة المواد(الخراطة).....2
- الشكل I.2. عمليات خراطة مختلفة3
- الشكل I.3. الخراطة الطولية3
- الشكل I.4. التسوية.....4
- الشكل I.5. العنق الداخلي و الخارجي4
- الشكل I.6. الشطف الداخلي و الخارجي.4
- الشكل I.7. اللولبة الخارجية.....5
- الشكل I.8. التنقيب.....5
- الشكل I.9. القطع6
- الشكل I.10. التجويف الأسطواني و المخروطي6
- الشكل I.11. المخارط العامة7
- الشكل I.12. مخرطة البرج السداسي8
- الشكل I.13. مخرطة البرج الأسطواني8
- الشكل I.14. مخرطة الأوجه.....9
- الشكل I.15. المخرطة الرأسية.....9
- الشكل I.16. المخرطة المحوسبة.....10
- الشكل I.17. التثبيت في الظرف11
- الشكل I.18. التثبيت بين المراكز11
- الشكل I.19. التثبيت في الأطواق.....12
- الشكل I.20. التثبيت في صينية المخرطة.....12

- 14..... الشكل I.21. مختلف أدوات القطع الداخلية والخارجية
- 15..... الشكل I.22. شروط القطع
- 17..... الشكل I.23. أشكال خشونة السطح.
- 18..... الشكل I.24. متوسط الخشونة الحسابي Ra
- 18..... الشكل I.25. متوسط الخشونة الكلية Rz
- 19..... الشكل I.26. الخشونة الكلية Rt
- 19..... الشكل I.27. عمق التسطیح Rp
- 20..... الشكل I.28. معدل طول التحمل Rmr
- 20..... الشكل I.29. رموز تشطيب السطح طبقا لمواصفات ISO
- 24..... الشكل II.1. نطاق اختلاف العامل.
- 25..... الشكل II.2. الفضاء التجريبي يتكون من محورين
- 25..... الشكل II.3. تحديد مستويات العامل في الفضاء التجريبي
- 26..... الشكل II.4. رسم تخطيطي لمجال الدراسة لعاملين
- 27..... الشكل II.5. سطح الاستجابة
- 29..... الشكل II.6. التصميم المركب لعاملين
- 29..... الشكل II.7. خطط Box Behnken
- 35..... الشكل III.1. آلة الخراطة المستخدمة
- 36..... الشكل III.2. مقبض التحكم في سرعة الدوران
- 36..... الشكل III.3. لوحة التحكم
- 36..... الشكل III.4. الغطاء

- 37..... الشكل III.5. مقابض التحكم في سرعة التغذية.
- 37..... الشكل III.6. جدول قيم التغذية.
- 37..... الشكل III.7. عينة الاختبار.
- 39..... الشكل III.8. أداة الخراط الطولي.
- 40..... الشكل III.9. أداة التعنيق.
- 40..... الشكل III.10. لقم التعنيق.
- 41..... الشكل III.11. لقم الخراط الطولي.
- 42..... الشكل III.12. مكونات قياس جهاز الخشونة.
- 43..... الشكل III.13. جهاز قياس درجة الحرارة.
- 46..... الشكل III.14. عملية قياس الطول.
- 46..... الشكل III.15. عملية التعنيق.
- 47..... الشكل III.16. عملية الخراط الطولي مع اختلاف بيئة القطع.
- 47..... الشكل III.17. الشكل النهائي لعينة الاختبار.
- 48..... الشكل III.18. عملية قياس درجة الحرارة.
- 49..... الشكل III.19. عملية التحقق من صلاحية جهاز قياس الخشونة.
- 49..... الشكل III.20. طريقة تموضع الجهاز الصحيحة.
- 49..... الشكل III.21. عملية قياس الخشونة على احدى العينات.
- 61..... الشكل IV.1. رسم بياني Pareto لتأثير معلمات القطع وبيئة القطع على خشونة السطح ودرجة الحرارة.
- 64..... الشكل IV.2. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي ينتبأ بها النموذج الاحصائي.
- 65..... الشكل IV.3. تأثير سرعة التغذية وعمق القطع على Ra

- 65..... الشكل 4.IV. تأثير سرعة التغذية وعمق القطع على Rz .
- 66..... الشكل 5.IV. تأثير سرعة التغذية وعمق القطع على Rt .
- 67..... الشكل 6.IV. تأثير بيئة القطع وعمق القطع على درجة الحرارة T .
- 68..... الشكل 7.IV. مخطط تحسين الاستجابة لخشونة السطح Ra moy, Rz moy, Rt moy.
- 69..... الشكل 8.IV. مخطط تحسين الاستجابة لدرجة الحرارة.
- 70..... الشكل 9.IV. صورة حرارية لحرارة القطع لتجربة التحقق.

الجدول 1.I. مختلف أدوات القطع	14
الجدول 1.III. خصائص المخرطة	35
الجدول 2.III. التركيب الكيميائي	38
الجدول 3.III. الخصائص الميكانيكية	38
الجدول 4.III. خصائص أداة الخراط الطولي	39
الجدول 5.III. خصائص أداة التعنيق	40
الجدول 6.III. خصائص التقنية للجهاز	42
الجدول 7.III. الخصائص الكيميائية و الفيزيائية	45
الجدول 1.IV. شروط القطع وبيئة القطع	51
الجدول 2.IV. نتائج القياس	52
الجدول 3.IV. النتائج النهائية	55
الجدول 4.IV. عملية قياس درجة الحرارة	56
الجدول 5.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع وبيئة القطع على Ra	58
الجدول 6.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع وبيئة القطع على Rz	59
الجدول 7.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع وبيئة القطع على Rt	59
الجدول 8.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع وبيئة القطع على T	60
الجدول 9.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي	62
الجدول 10.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي	62
الجدول 11.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي	62
الجدول 12.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي	63

الجدول 13.IV. تجارب التأكيد لخشونة السطح 69.....

الجدول 14.IV. تجارب التأكيد لدرجة الحرارة 70.....

قائمة الرموز

D : قطر القطعة (mm).

V_c : سرعة القطع (m/min).

N : سرعة دوران (tr/min).

V_f : سرعة التغذية (mm/min).

f : التقدم لكل دورة (mm/tr).

a_p : عمق القطع (mm).

Ec : بيئة القطع.

Ra : متوسط الخشونة الحسابي.

r_n : مجموع الانحرافات.

N : عدد الانحرافات.

Rt : الخشونة الكلية.

Rp : المسافة بين أعلى قمة والخط المتوسط.

Rz : متوسط الخشونة الكلية.

Rmr : معدل طول التحمل.

\bar{y} : هو متوسط الإستجابات.

\bar{y}_i : هو متوسط الإستجابات المقاسة لكل مستوى العامل .

N : هو العدد الإجمالي للتجارب.

N_{nf} : هو عدد مستويات كل عامل f .

SS_F : المجموع التربيعي.

MC_i : المتوسط التربيعي.

df_i : درجات الحرية.

MS_e : المجموع التربيعي للأخطاء.

%Con: مساهمة العوامل على التباين الكلي.

φ : دالة الإستجابة.

Y : متغير الاستجابة.

y_i : قيمة الإستجابة المحسوبة.

\bar{y}_i : قيمة الإستجابة المقاسة.

\bar{y} : القيمة المتوسطة للإستجابات المقاسة.

R^2 : معامل تحديد الانحدار المتعدد.

مقدمة عامة

تعدّ تقنيات التصنيع المختلفة موضوعًا هامًا في المجال الصناعي. وتحتل عملية الإزالة بالقطع مكانة مرموقة في هذا المجال، حيث تُعدّ طريقةً فعّالةً لإنتاج أشكال معقدة ودقيقة للغاية دون تغيير خصائص المادة المُصنّعة.

تركز الأبحاث بشكل عام على إيجاد ظروف التشغيل المثالية، وذلك لتحقيق الهدف الاقتصادي من جهة، والهدف التكنولوجي من جهة أخرى. لذلك يسعى المصنّعون في استراتيجيات تحسين عمليات التصنيع المُوصى بها حاليًا إلى زيادة الإنتاجية وتحسين جودة السطح، أو تقليل التكاليف من خلال طرق متعددة، مثل تحسين دقة التصنيع، وتقليل عدد العمليات والسعي لتحقيق موثوقية أكبر في خصائص الاستخدام للقطع المُصنّعة.

وبناء على ذلك فقد تم انجاز هذه الدراسة التي بدورها تهدف الى تحديد شروط القطع المثلى التي تؤثر بشكل مباشر على نوعية الأسطح المشغلة وعلى درجة حرارة القطع التي ارتقاها يؤدي الى تآكل أداة القطع بشكل أسرع. حيث تم تقسيم هذه الدراسة الى أربعة فصول وهي:

الفصل الأول ينقسم إلى قسمين، الأول يتناول تعريفات قابلية التصنيع، ومبدأ قطع المعادن، ومختلف معلمات القطع في الخراطة، وأدوات القطع، كما تُخصّص هذه الجزئية أيضًا لعرض عام للمعلمات التصنيع. أما القسم الثاني فُخصّص لإعطاء لمحة عن مختلف المعايير التي تُعرف حالة السطح.

الفصل الثاني يمثل النظريات والأسس الرياضية لطرق التصميم التجريبية بالإضافة إلى أنواع التصاميم المختلفة.

الفصل الثالث يعرض المعدات والظروف التجريبية المستخدمة لإجراء هذا البحث. يتم تقديم عينات الاختبار وأدوات القطع المستخدمة وأجهزة القياس مع التفاصيل اللازمة للدراسة التجريبية للقطع.

الفصل الرابع يتناول دراسة إحصائية لخطة Box Behnken، حيث تم إجراء تحليل التباين ANOVA للنتائج التجريبية بناءً على منهجية سطح الاستجابة باستخدام برنامج Minitab، بالإضافة الى تحديد نماذج رياضية تسمح بالتنبؤ بخشونة السطح، ودرجة حرارة القطع. والهدف هو اختيار ظروف القطع وبيئة القطع الأكثر ملاءمة للحصول على النتائج المرجوة لخشونة السطح ودرجة حرارة القطع والفصل الأخير تم فيه تطوير طريقة تحسين الاستجابة.

أخيرًا، نختتم البحث بخاتمة عامة.

الفصل الأول

عموميات عن الخراطة

1.I. مقدمة

إزالة المادة هي عملية صناعية تتضمن إزالة جزء من المادة الأصلية أو القطعة بهدف تحقيق الأبعاد أو الشكل المطلوب. تستخدم هذه العملية في مجموعة متنوعة من الصناعات والتطبيقات، بما في ذلك صناعة الآلات، وتصنيع القطع المعدنية، والبناء، وصناعة السيارات، والعديد من القطاعات الأخرى.

تعتمد عمليات إزالة المادة على أدوات خاصة تقوم بإزالة المادة الزائدة أو غير المرغوب فيها من القطعة الأصلية. هذه العمليات يمكن أن تشمل الخراطة، والطحن، والتقيب، والحفر، والقطع بالليزر، والعديد من التقنيات الأخرى.

الهدف من إزالة المادة هو الحصول على منتج أو قطعة تلبي المتطلبات المحددة بشكل دقيق وبجودة عالية. يتعين على المشغلين والمهندسين العمل على تحقيق هذا الهدف بدقة وكفاءة من خلال اختيار الأدوات والتقنيات المناسبة وضبط المعلمات العملية بعناية. إزالة المادة يلعب دورًا حاسمًا في العديد من صناعات التصنيع وتساهم في تحسين الجودة والكفاءة في العمليات الصناعية.

2.I. تعريف التصنيع

عملية التصنيع هي مجموعة من التقنيات التي تهدف إلى الحصول على قطعة أو جزء ما من خلال تحويل المادة الخام. في بعض الأحيان يتطلب الحصول على القطعة المطلوبة استخدام متتابع لعدة عمليات تصنيع حسب الحاجة. عمليات التصنيع هي جزء من الهندسة الميكانيكية. تقنيات التجميع ليست جزءًا من عمليات التصنيع، فهي تدخل حيز التنفيذ بعد تصنيع القطع المختلفة [1]. الشكل 1.I يوضح مجموعة من القطع الميكانيكية المصنوعة بإزالة المادة بالخراطة.



الشكل 1.I. الأجزاء المصنوعة عن طريق إزالة المواد (الخراطة).

3.I. تعريف الخراطة

الخراطة هي عملية تصنيع ميكانيكية عن طريق القَطْع (إزالة المادة) باستخدام أدوات ذات حافة واحدة للقطع ذات شكل أسطواني. تُستخدم هذه العملية لتوليد سطوح أسطوانية عن طريق إزالة الرأش. في هذه العملية تتحرك الشغلة حركة دورانية تفرضها آلة التشغيل وهي الحركة الرئيسية للعملية. يتم تشغيل الأداة بواسطة حركة انسحابية تكميلية (مستقيمة أم لا) تسمى حركة التغذية، مما يجعل من الممكن تحديد الوجه الجانبي للقطعة. إن الجمع بين هاتين الحركتين، يسمح بوضع الجزء النشط من الأداة على القطعة، ويجعل من الممكن الحصول على أشكال دوران معقدة (أسطوانات، مستويات، مخاريط أو أشكال دوران معقدة) [2]. بعض عمليات إزالة المادة بالخراطة موضحة في الشكل 2.I.

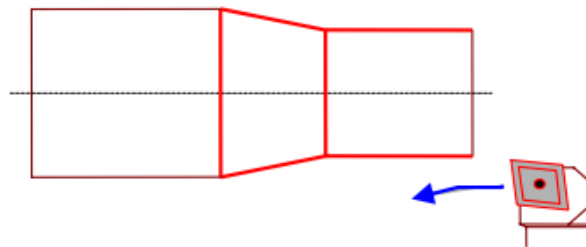


الشكل 2.I. عمليات خراطة مختلفة [3].

4.I. مختلف عمليات الخراطة

1.4.I. الخراطة الطولية

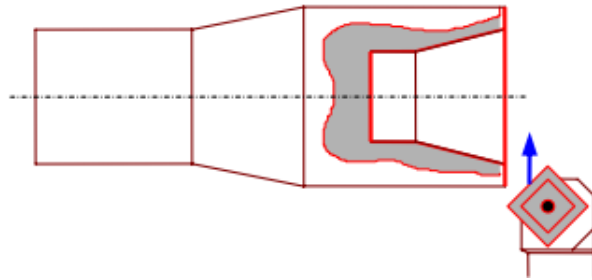
وهي عملية تتمثل في تشغيل سطح خارجي أسطواني أو مخروطي [4]، انظر الشكل 3.I.



الشكل 3.I. الخراطة الطولية.

2.4.I. التسوية

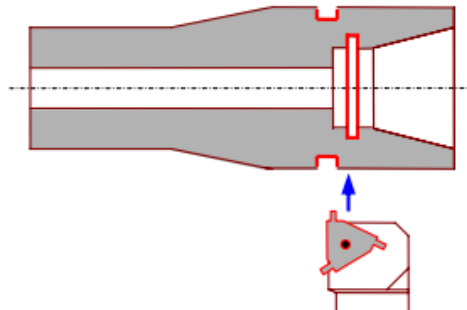
وهي عملية تتمثل في تشغيل سطح مستوي خارجي أو داخلي عمودي على محور المغزل، العملية أكثر توضيح في الشكل 4.I [4].



الشكل 4.I. التسوية.

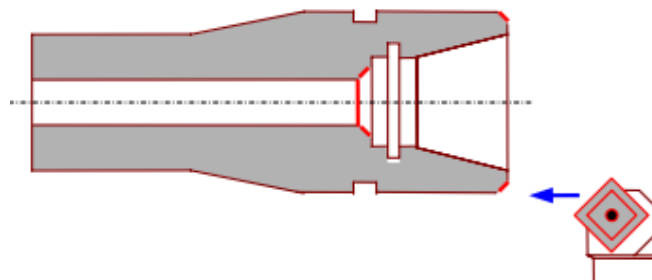
3.4.I. العنق الداخلي و الخارجي

وهي عملية تتمثل في تشغيل أخدود داخلي أو خارجي لوضع الحلقة المرنة على سبيل المثال [4]، الشكل 5.I يوضح العنق الداخلي والخارجي المنجز بالخراطة.



الشكل 5.I. العنق الداخلي و الخارجي.

4.4.I. الشطف

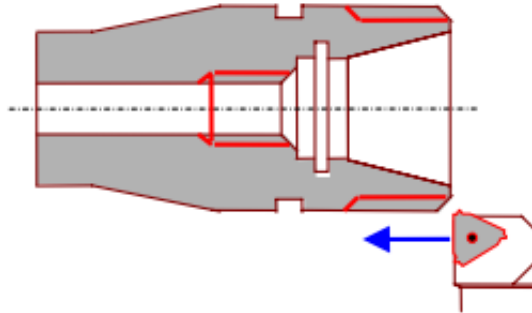


الشكل 6.I. الشطف الداخلي و الخارجي.

عملية الشطف تسمى أيضا بحذف الحواف وهي عملية تتمثل في تشغيل مخروط صغير (أنظر الشكل 6.I) لإزالة الزاوية الداخلية أو الخارجية [4].

5.4.I. اللولبة

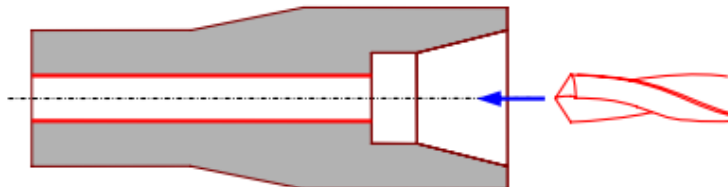
وهي عملية تتمثل في انجاز لولبة داخلية أو خارجية مثل اللولبة الميمنة بالخط الأحمر في الشكل 7.I [4].



الشكل 7.I. اللولبة الخارجية.

6.4.I. التنقيب

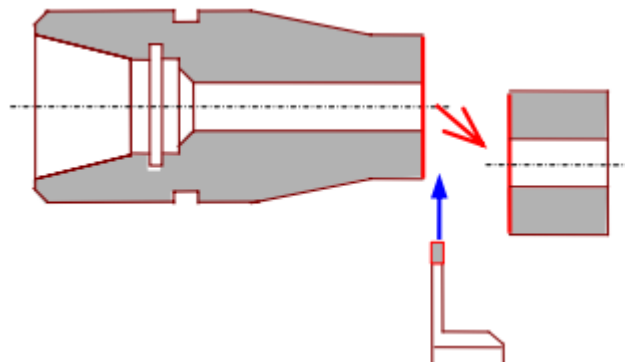
وهي عملية تتمثل في احداث ثقب في الشغلة مثل ما هو موضح في الشكل 8.I [4].



الشكل 8.I. التنقيب.

7.4.I. التقطيع

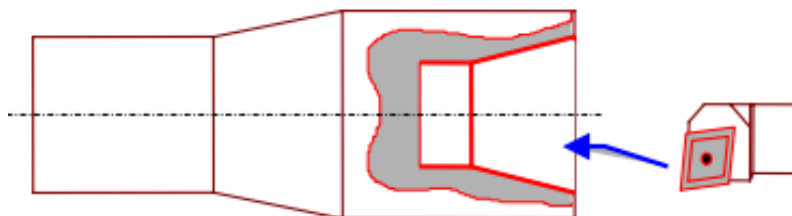
وهي عملية تتمثل في تشغيل عنق يصل الى محور القطعة من أجل قطع جزء منها [4]. عملية التقطيع موضحة في الشكل 9.I.



الشكل 9.I. القطع.

8.4.I. التجويف

وهي عملية تتمثل في تشغيل سطح داخلي أسطواني أو مخروطي [4]، الشكل 10.I يوضح تشكيل سطحين واحد أسطواني و الآخر مخروطي متصلين معاً.



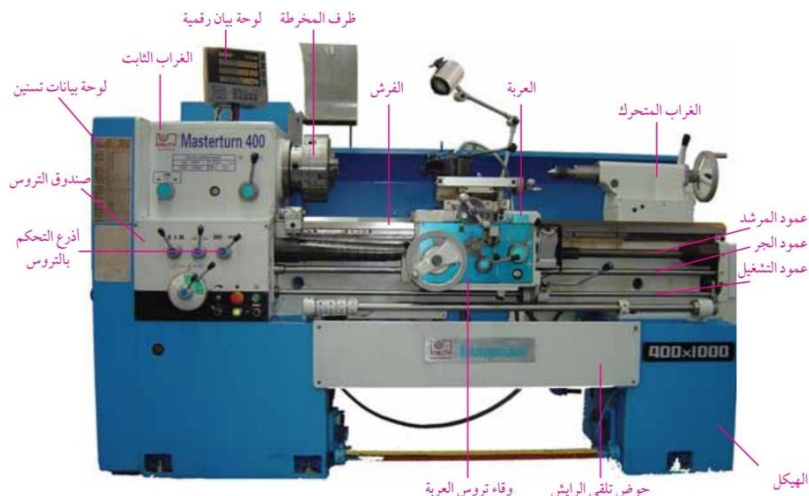
الشكل 10.I. التجويف الأسطواني و المخروطي.

5.I. أنواع المخارط

يوجد أنواع مختلفة من المخارط من حيث التصميم والشكل وطريقة الادارة ولكن أساسياتها واحدة، وبشكل عام يمكن تقسيم المخارط الى مخارط عامة ومخارط خاصة ومخارط محوسبة [5].

1.5.I. المخارط العامة

تُعتبر المخارط الأفقية من بين الأنواع الأكثر انتشارًا، حيث يُمكن استخدامها بشكل واسع في جميع عمليات الخراطة. وتُلقب هذه الآلات أيضًا بمخارط الذنبة أو المخارط المتوازية، وذلك بسبب توجيه محور القطعة أثناء التشغيل بشكل موازٍ لفرش المخرطة، أو بسبب توازن ارتفاع مركز الغراب الثابت والمتحرك عند الفرش. تزود هذه المخارط بعمود لولبي وعمود تغذية، مما يجعلها مثالية لإنتاج كميات صغيرة الشكل 11.I يوضح المخرطة المتوازية [6].



الشكل I.11. المخرطة العامة [5].

I.2.5. المخرطة الخاصة

هذه المخرطة موجهة للإنتاج الكمي في ورش الإنتاج، حيث تُسهّم في تقليل وقت إعداد قطعة العمل وتوفير العدة القاطعة. تعتمد فعالية هذه المخرطة على تركيب متقن لعدة أدوات قاطعة بحسب عدد العمليات المطلوبة لإكمال المشغولة. تُصمّم بعض هذه المخرطة خصيصاً لتلبية احتياجات صناعية محددة، مما يجعل عمليات التركيب أكثر سهولة مقارنةً بالمخرطة العامة. وتتميز معظم هذه المخرطة بعدم وجود غراب متحرك في تصميمها. تعد هذه التصميمات مثالية للاستخدام في المهام الخاصة التي تتناسب تماماً مع متطلبات الصناعة. وهي مخاريط يكون تركيبها بسيط مقارنةً بالعامة. ومن أنواع هذه المخرطة [5]:

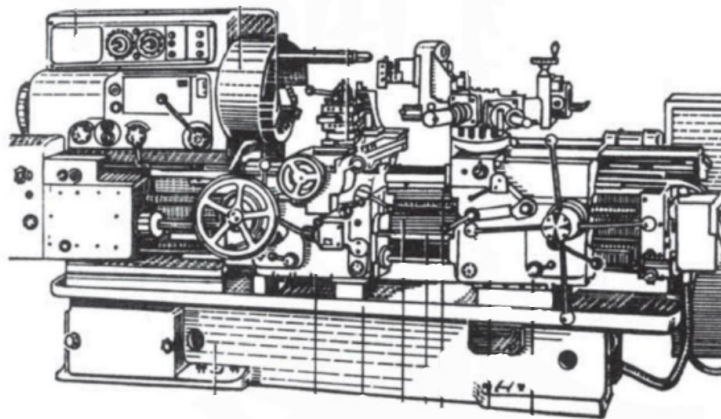
I.1.2.5. المخرطة البرجية

تم تصميم المخرطة البرجية بهدف الحفاظ على جودة الإنتاج للأجزاء المتكررة وهي آلات تشغيل دون غراب متحرك وهذه المخرطة على نوعين [5]:

I.1.1.2.5. مخرطة البرج السداسي

تتميز هذه المخرطة ببرج مثبت على العربة، حيث يتم تركيب جميع أدوات القطع الضرورية لتصنيع القطعة المرادة بأكملها. يمكن للبرج التحرك طولياً على الفرش والدوران بعد تغذيته في الشغلة. وعند عودة عربة الرأس المسدس يقوم

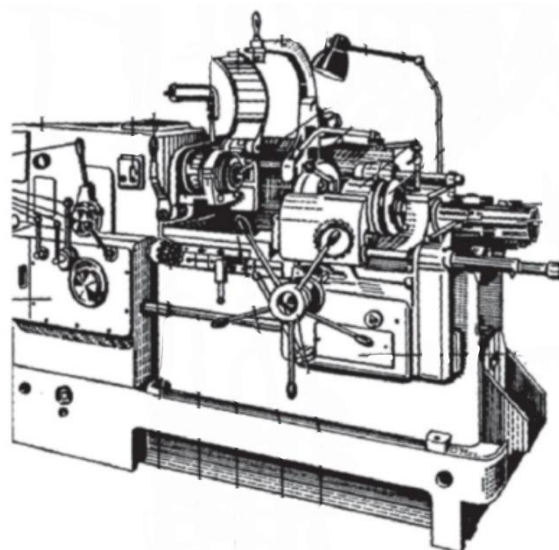
الرأس بالدوران لتجهيز العدة الموائية للتغذية الموائية في الشغلة. هذا النوع من الآلات يستعمل في تنفيذ جميع عمليات التشغيل التي تُجرى عادةً على المخارط العامة [5]، الشكل 12.I يوضح إحدى المخارط سداسية البرج.



الشكل 12.I. مخرطة البرج السداسي.

2.1.2.5.I. مخرطة البرج الاسطواني

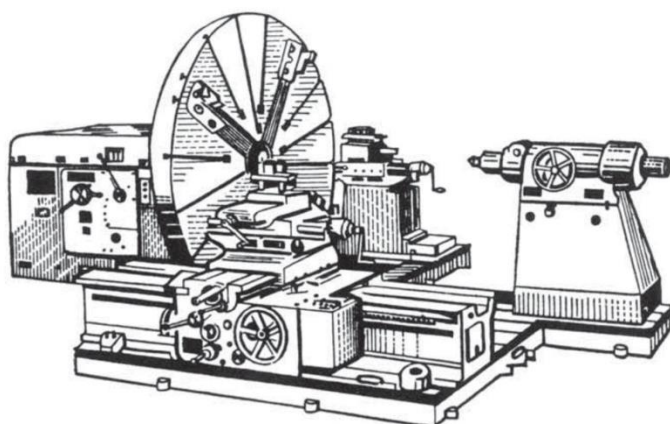
مخارط البرج الأسطواني المبينة في الشكل 13.I تشبه من حيث التكوين مخارط البرج السداسي لكنها تختلف عنها من حيث وضع وشكل البرج الذي يكون اسطوانيا الشكل بها ثقب لتركيب العدد القاطعة ويكون في وضع عمودي [5].



الشكل 13.I. مخرطة البرج الأسطواني.

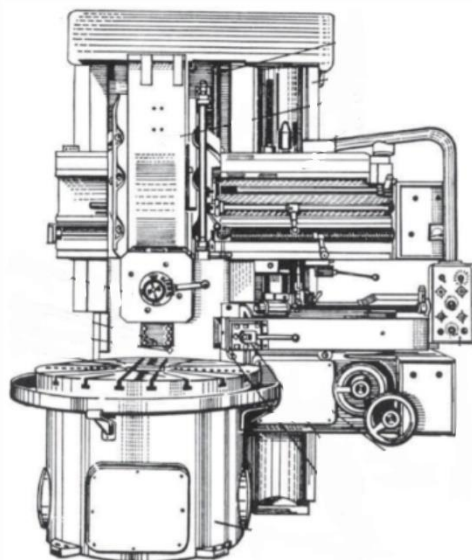
2.2.5.I. مخرطة الأوجه

تستخدم هذه المخرطة لتشكيل الأسطح الدائرية وللتعامل مع الشغلات ذات الأحجام الكبيرة. تتميز هذه المخرطة بعدم وجود فرش، حيث يتم تثبيت الغراب الثابت مباشرة على القاعدة، بينما تثبت العربة على جزء منفصل ومسطح. يوضح الشكل 14.I الأجزاء المختلفة للمخرطة المستوية [5].



الشكل 14.I. مخرطة الأوجه [6].

3.2.5.I. المخرطة العمودية



الشكل 15.I. المخرطة الرأسية [6].

سميت هذه المخارط بهذا الاسم لأن محور عمود الدوران الخاص بها يكون عموديا. تستعمل المخارط العمودية أو

الرأسية في الشغلات ذات الأقطار الكبيرة حيث تعمل على تسوية الأسطح وتشكيل الخراطة الخارجية والداخلية [5]، أنظر الشكل 15.I.

3.5.I. المخارط المحوسبة

يتم التحكم في هذه الآلات بواسطة جهاز الكمبيوتر، حيث تقوم هذه الآلات بتنفيذ الأوامر التي تتلقاها من وحدة تحكم خاصة. في هذه الآلات يتم تشغيل القطع عن طريق برنامج يتألف من مجموعة من التعليمات والأوامر المرتبة والتي يقوم بكتابتها المبرمج. يحتوي البرنامج على معلومات حول ابعاد الشغلة، وضبط محاور الماكينة، وتفصيل التشغيل مثل نوع العدة المستخدمة، وسرعات القطع، وسرعات التغذية. تتميز المخارط المحوسبة (الشكل 16.I) بدقة أبعاد القطع المنتجة، إضافةً إلى تقليل قصر عمليات الإنتاج، وهو أمر ملحوظ خاصة في حالات الإنتاج الكمي للقطع. وبفضل قدرتها على تنفيذ عمليات تشغيل للمشغولات ذات الأشكال المعقدة، تعتبر هذه المخارط فعّالة جدًا وتتفوق على المخارط التقليدية [5].



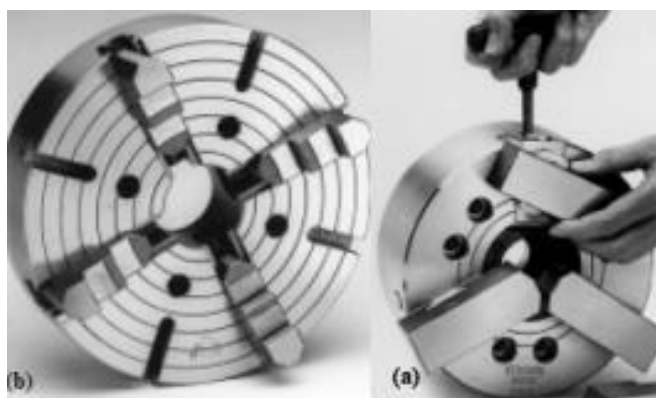
الشكل 16.I. المخرطة المحوسبة.

6.I. تثبيت الشغلة على المخرطة

توجد العديد من الطرق لتثبيت الشغلة على المخرطة وتعتمد بشكل كبير على نوع وحجم الشغلة، وكذلك على العمل المطلوب. ومن بين هذه الطرق نجد أربع طرق التي تعتبر الأكثر أهمية والأكثر استخدامًا في معظم عمليات تشغيل على المخرطة بسبب شموليتها وقدرتها على توفير تثبيت دقيق وآمن للشغلات المختلفة. اختيار الطريقة المناسبة يعتمد على طبيعة الشغلة ونوع العملية التشغيلية المطلوبة. وهذه الطرق هي:

1.6.I. التثبيت في الظرف

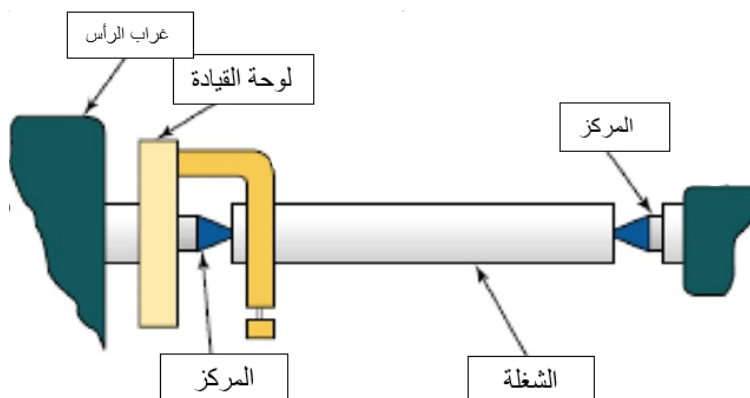
التثبيت على الظرف تعتبر الطريقة الأكثر شيوعا لتثبيت القطع على المخارط. وقد يكون الظرف ثلاثي الفكوك أو رباعي الفكوك. تتحرك فكوك الظرف حركة قطرية لاسماك الشغلة حيث يمكن تثبيت الظرف يدويا أو أليا ويستخدم لتثبيت الأجزاء الأسطوانية [7]. الشكل 17.I يوضح ظرفين أحدهما بثلاث فكوك والآخر بأربع فكوك.



الشكل 17.I. التثبيت في الظرف.

2.6.I. التثبيت بين المراكز

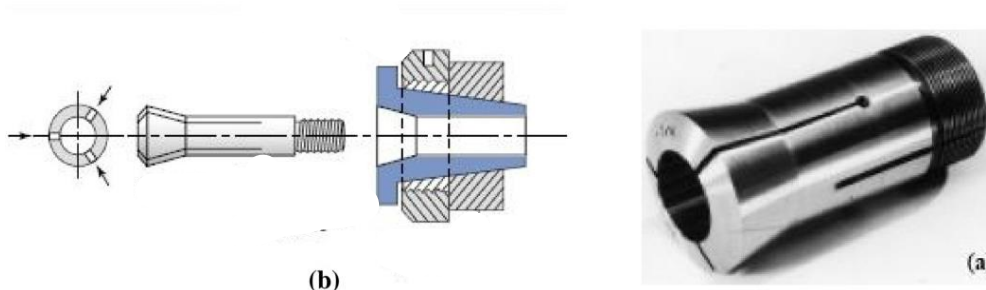
الخراطة بين المراكز هي طريقة خراطة دقيقة تستخدم للمشغولات الطويلة حيث يتم تثبيت القطعة على حاملين مركزيين مما يضمن دقة القطع ومنع الانحراف على أن يكون عمق القطع والتغذية صغيرين [7]. القطع باللون الأزرق في الشكل 18.I تمثل المراكز وهي مثبتة للقطعة الأسطوانية الموجودة بينهما.



الشكل 18.I. التثبيت بين المراكز.

3.6.I. التثبيت في الأطواق

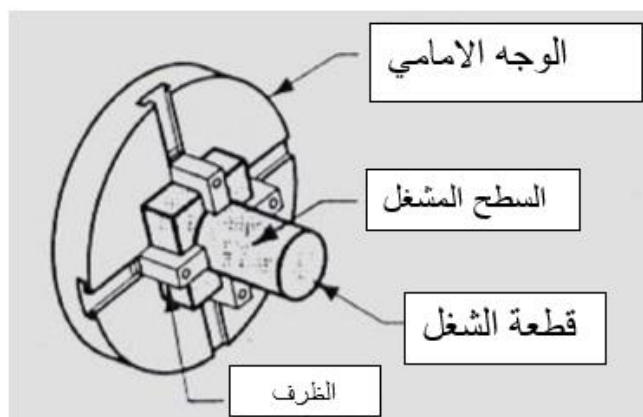
الأطواق هي وصلات أنابيب فولاذية رقيقة مشقوقة في ثلاث قطع طولية تستخدم لتوفير دقة تثبيت عالية. يتم الإمساك بالشغلة عندما تضغط قطع الطوق عليها وذلك نتيجة لسحب الطوق داخل عمود الدوران بواسطة قضيب السحب [7]. الطوق في الشكل 19.I له ثلاث شقوق حيث الشكل a.19.I يمثل صورة حقيقية للطوق أما الشكل b.19.I فيمثل صورة تخطيطية للمنظر الجانبي له.



الشكل 19.I. التثبيت في الأطواق.

4.6.I. التثبيت في صينية المخرطة

صينية المخرطة هي أداة أساسية لتثبيت الشغلات الكبيرة أو ذات الأشكال غير المنتظمة التي لا يمكن تثبيتها بسهولة باستخدام الطرف التقليدي في المخرطة، مما يتيح تشغيلها بدقة وأمان. هي عبارة عن قرص معدني مسطح يُثبَّت على عمود دوران المخرطة وتحتوي على فتحات أو شقوق لتثبيت البراغي والمسامير [7]. الشكل 20.I يوضح طريقة تثبيت الشغلة في صينية آلة الخراطة.



الشكل 20.I. التثبيت في صينية المخرطة.

7.I. المواد المستعملة في تصنيع أدوات القطع

يمكن تجميع مواد أدوات القطع في خمس فئات وهي كالتالي:

1.7.I. الصلب الكربوني

يحتوي هذا النوع من الصلب على 0.9% إلى 1.4% كربون. وهو يمتاز بمقاومة ممتازة للتآكل وبصلادة عالية ومع ذلك تنخفض صلابته إذا وصلت درجة حرارته إلى 250°C . كما أنه لا يستخدم في السرعات العالية التي تزيد عن 15 m/s، لأنه قد ينكسر [8].

2.7.I. الصلب العالي السرعات

يحتوي هذا النوع من الصلب على عناصر سبائكية كالكروم والتنجستين والكوبالت والموليبيديوم والفانديوم. تعمل هذه العناصر على تحسين خواصه عند القطع، مثل الصلادة ومقاومة التآكل. كما أنه يحتفظ بصلابته للتآكل حتى 600°C . يمكن استخدام هذا النوع من الصلب في السرعات العالية التي تصل إلى 50 m/s [8].

3.7.I. اللقم الكريديية

يحتوي هذا النوع على كربون وتنجستين وتيتانيوم، بالإضافة إلى مادة الكوبالت كمادة لاصقة. طريقة تركيب مكونات هذا اللقم تجعله عالية التكلفة الذي أدى إلى صنع سن القلم الأمامي من الكريدي. تمتاز اللقم الكريديية بصلابة ومقاومة تآكل عالية. كما أنها تحتفظ بخصائصها الميكانيكية حتى درجات الحرارة العالية التي تصل إلى 900°C . يمكن استخدام هذا النوع من الصلب في السرعات العالية التي تصل إلى 200°C . كما أنه يتحمل لفترة طويلة جداً، أطول من الصلب عالي السرعات [8].

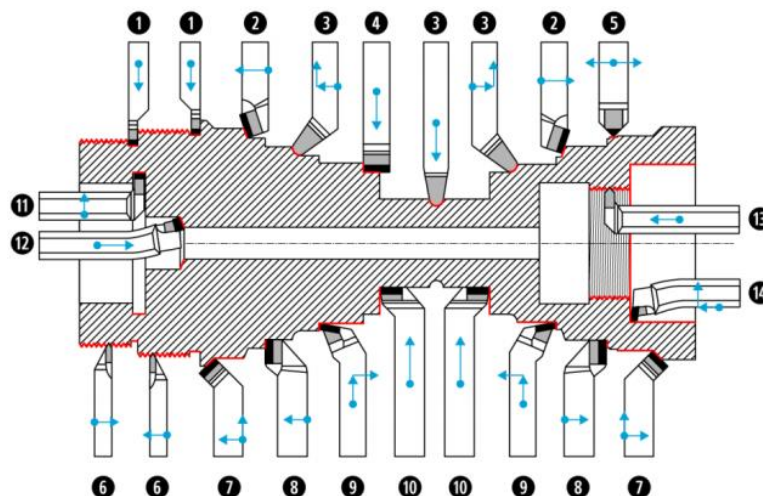
4.7.I. المواد المعدنية الخزفية

هذه اللقم تصنع من أكسيد الألومنيوم (الألومينا). تتميز بصلادة عالية، حيث تحتفظ بصلابتها حتى 1200°C . ومع ذلك فهي ذات خواص ميكانيكية أقل من اللقم الكريديية، حيث أنها هشّة [8].

5.7.I. ألماس

يتكون هذا النوع من الصلب من الكربون فقط، كربون نقي تم تصنيعه تحت ظروف ضغط وحرارة عالية جداً، ما يجعله يمتلك صلادة شديدة جداً، ومقاومة للتآكل حتى 900°C . ومع ذلك فهو هش وباهظ الثمن [8].

8.I. مختلف أدوات القطع الداخلية والخارجية



الشكل 21.I. مختلف أدوات القطع الداخلية والخارجية [9].

في عملية الخراطة، تعد أدوات القطع من العناصر الأساسية التي تحدد جودة ودقة المنتجات المصنعة. تنقسم أدوات القطع إلى أدوات قطع داخلية وأدوات قطع خارجية، وكل منها له استخداماته الخاصة التي تناسب نوعية العمل المطلوب. الشكل 21.I و الجدول 1.I يبرزان مختلف الأدوات المستعملة في الخراطة والسطح الذي تشكله كل أداة، و تسمياتها على التوالي.

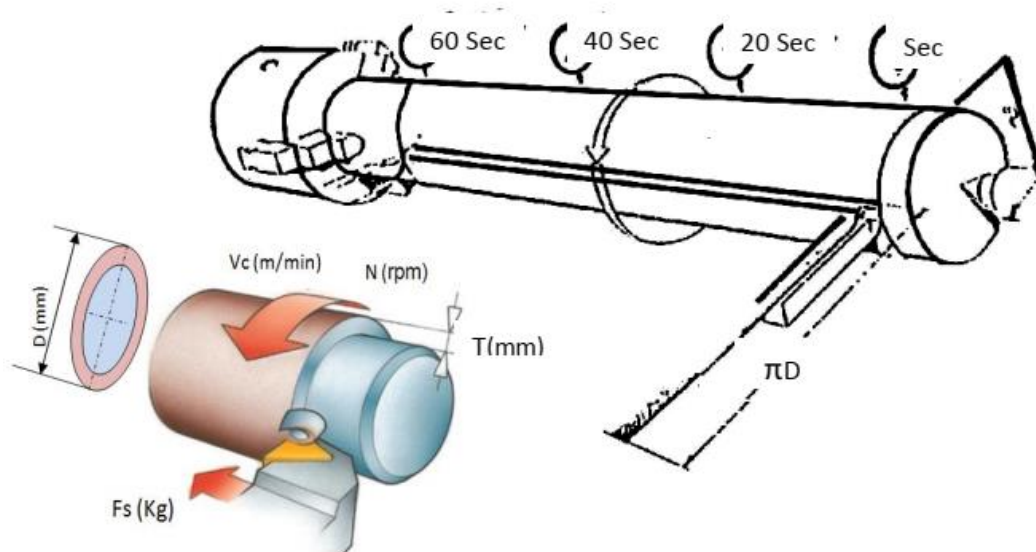
الجدول 1.I. مختلف أدوات القطع [9].

الرقم	اسم الأداة	الرقم	اسم الأداة
01	أداة التثبيت(العنق).	08	أداة جانبية
02	أداة الخراطة الطولية.	09	أداة الخراطة المنحنية.
03	أداة التصحيح.	10	أداة التسوية.
04	أداة القطع.	11	أداة التثبيت الداخلي.
05	أداة التلامس.	12	أداة التجويف.
06	أداة اللولبة الخارجية.	13	أداة اللولبة الداخلية.
07	أداة حذف الزوايا(شطفة).	14	أداة التسوية الداخلية.

9.I شروط القطع

1.9.I سرعة القطع

هي طول الرايش المقطوع في الدقيقة. إذا كانت قطعة الشغلة ذات قطر D ، فإن طول الرايش المقطوع في دورة واحدة يساوي محيطها [10]، الرسم التوضيحي لسرعة القطع مبين في الشكل 22.I.



الشكل 22.I. شروط القطع.

وإذا دارت الشغلة بسرعة N دورة في الدقيقة فيكون :

طول الرايش المقطوع = محيط الشغلة \times عدد الدورات. إذن يمكن حساب سرعة القطع بالاعتماد العلاقة 1. I.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \dots 1.I$$

2.9.I التغذية

التغذية هي المسافة التي يتقدمها الحد القاطع لقلم المخرطة في كل دورة. تقاس التغذية بالمليمتر/ الدورة (mm/rev). يرمز للتغذية بالرمز f . تتم التغذية بالطرق اليدوية أو الآلية.

عند زيادة سرعة التغذية يجب تخفيض سرعة القطع، حتى لا يحدث توليد إجهادات قوى قطع كبيرة، وقوى أخرى مقاومة بمنطقة القطع [10].

3.9.I. عمق القطع

عمق القطع هو المسافة العمودية على محور الذنبتين التي يتقدمها الحد القاطع لقلم المخرطة داخل الشغلة، وتمثل طبقة المعدن المنزوعة خلال شوط واحد. يُرمز لعمق القطع بالرمز ap ، وتقاس بالمليمتر (mm). عمق القطع في أعمال الخراطة هو نصف الفرق بين قطر الشغلة قبل التشغيل وقطرها بعد التشغيل. ويتم الحصول عليه بعد شوط واحد للقلم. ويمكن إيجاد عمق القطع من العلاقة 2.I [10].

$$ap = \frac{D - d}{2} \dots 2.I$$

10.I. حالة السطح

تلعب جودة السطح (Quality Surface) من حيث النعومة دورا مهما في أداء القطع المشغلة وتشكيلها النهائي، حيث يجب أن تكون خشونة السطح في أدنى قيمة لها. إن مفهوم الخشونة غالبا ما يتم وصفه مع مصطلحات مثل تفاوت الجودة، عدم الانتظام (Irregular) ولهذا فحالة السطح تعتبر مؤشرا هاما على نوعية العملية التصنيعية. إن خشونة السطح تنتج بشكل أساسي من عمليات التشغيل التي تترك أنماط متنوعة وواسعة على السطح المشغل، وهناك الكثير من المصطلحات التي تستخدم لوصف وتحديد جودة السطح، كما هو موضح في الشكل 23.I وهذه المصطلحات هي [11]:

1.10.I. الخشونة (Roughness)

وهي دالة لمقدار الفراغات الدقيقة الناتجة من عدم انتظام السطح. وتنتج الخشونة من عمليات التشغيل [11].

2.10.I. ارتفاع الخشونة (Roughness Height)

ارتفاع الخشونة أو ارتفاع التفاوتات هو ارتفاع عدم الانتظامات مستندة إلى خط مرجعي و يقاس ارتفاع الخشونة بـ mm أو μm ، [11].

3.10.I. عرض الخشونة (Roughness Width)

هو المسافة الموازية للسطح الإسمي بين القمم أو النتوءات المتتالية والتي تحدد النموذج السائد للخشونة. ووحدتها mm [11].

4.10.I. التموج (Waviness)

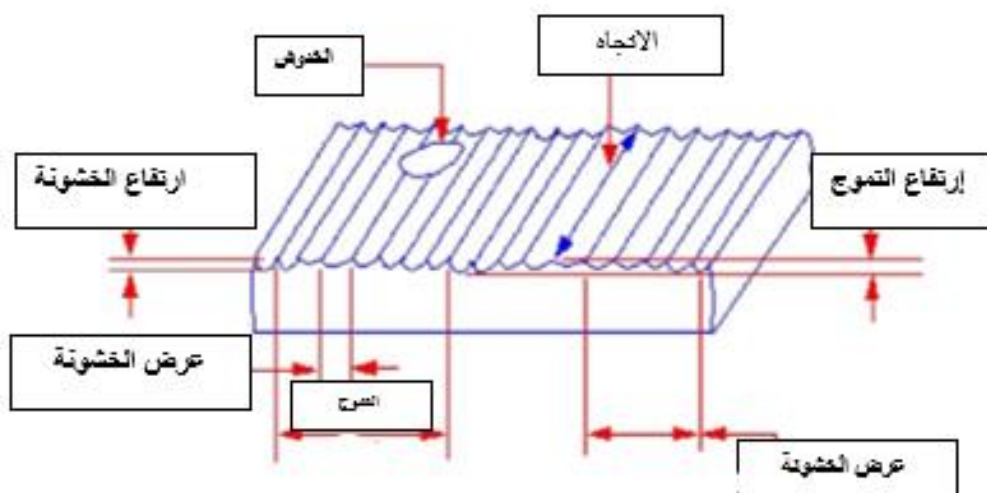
وتشير إلى عدم الإنتظام في السطح ذو الفراغات الأوسع من الخشونة وهو ناتج من الإلتواء أو الإهتزاز، أو إنحراف العمل أثناء التشغيل [11].

5.10.I. إرتفاع التموج (Waviness Height)

ويمثل المسافة بين القمة والإنخفاض للمقطع الجانبي للسطح [11].

6.10.I. الخدوش (Flaws)

وهي شقوق تنتج على السطح المشغل نتيجة لرداءة حافة عُدّة القَطْع حيث قد تكون غير ملائمة لمعدن الشغلة [11]. الشكل 23.I يوضح مختلف التشوهات التي تحدث لسطح الشغلة بعد التصنيع.



الشكل 23.I. أشكال خشونة السطح.

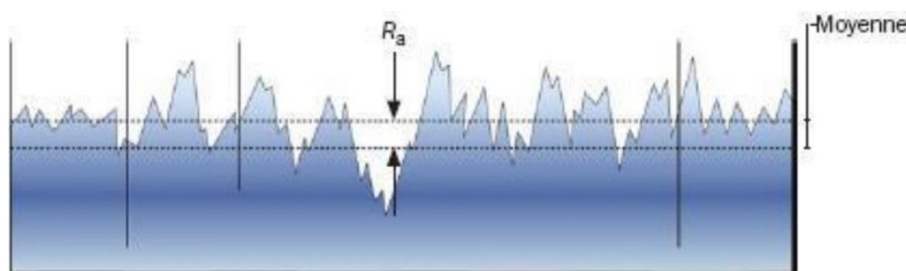
11.I. مقاييس الخشونة

لتعبير عن خشونة السطح كان لابد من إعطائها قيمة عددية تعبر عن درجة خشونة السطح ولذلك تم الاتفاق على عدد من المقاييس أو المعايير حتى تكون هذه المعايير موحدة بين المختصين في هذا المجال. ومن أهم هذه المعايير نجد [12]:

1.11.I. متوسط الخشونة الحسابي Ra

المتوسط الحسابي لانحراف المظهر الجانبي (Ra) هو متوسط القيم المطلقة لانحرافات المظهر الجانبي (profil) في حدود الطول المحدد للقياس. وهي القيمة الأكثر شهرة والاكثر قابلية للتطبيق في مجال البحث والصناعة. الشكل 24.I يوضح مخططا للخشونة السطحية [13]. لحساب المتوسط الحسابي لانحراف المظهر الجانبي (Ra) نستعمل العلاقة 3.I.

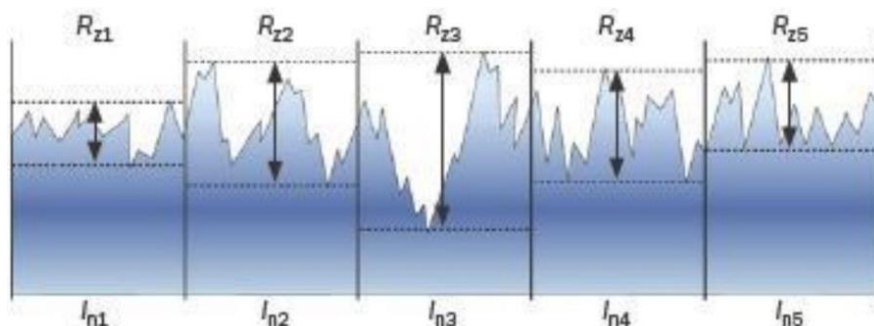
$$Ra = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N r_n \dots 3.I$$



الشكل 24.I. متوسط الخشونة الحسابي Ra.

2.11.I. متوسط الخشونة الكلية Rz

الحد الأقصى لارتفاع المظهر الجانبي Rz هو متوسط الارتفاعات المختلفة للمظهر الجانبي التي يتم الحصول عليها بين أعلى ارتفاع للذروة وأكبر عمق للفراغ على الأطوال المرجعية. عادة هناك خمس أطوال مرجعية، ولكن هذا العدد قد يختلف مع أجهزة القياس الحديثة [13]. مثلا الطول المرجعي في الشكل 25.I يحتوي على خمس ذروات و خمس أعماق وفي هذه الحالة يتم حساب متوسط الخشونة الكلية Rz بالاعتماد على المعادلة 4.I.

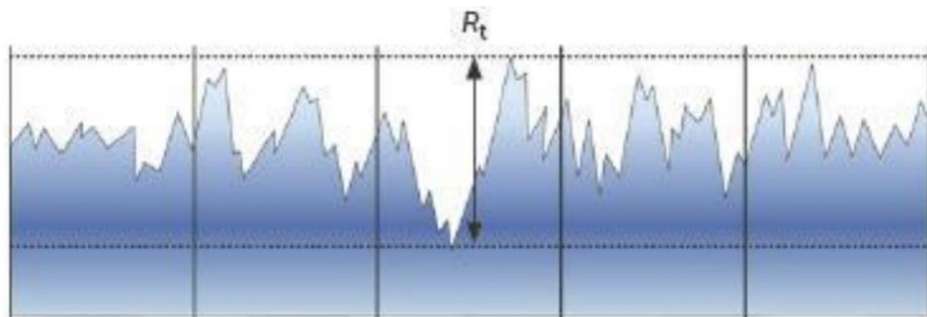


الشكل 25.I. متوسط الخشونة الكلية Rz.

$$R_z = \frac{R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}}{5} \dots 4. I$$

3.11.I. الخشونة الكلية Rt

هو البعد بين الحد الأقصى و الحد الأدنى للانحرافات (أنظر الشكل 26.I) ويعتبر عمق الخشونة من أكثر المقاييس المستخدمة لتقييم بنية الأسطح. تعد قيمة Rt واحدة من اكثر المتطلبات صرامة لخشونة السطح [13].

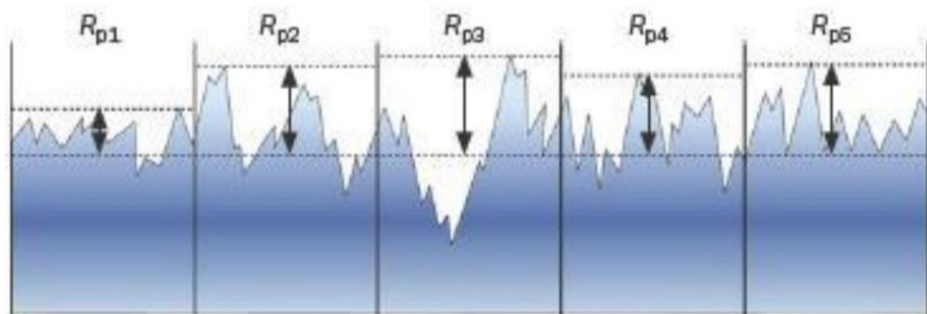


الشكل 26.I. الخشونة الكلية Rt.

4.11.I. عمق التسطیح Rp

هو مقياس لخشونة السطح ويتم حسابه عن طريق ايجاد متوسط الانحرافات المختلفة لقمة المظهر الجانبي التي يتم الحصول عليها على طول خط مرجعي [13]. مثلا الطول المرجعي في الشكل 27.I يحتوي على خمس انحرافات وعليه فان عمق التسطیح يعطى في هذه الحالة بالعلاقة الرياضية 5.I.

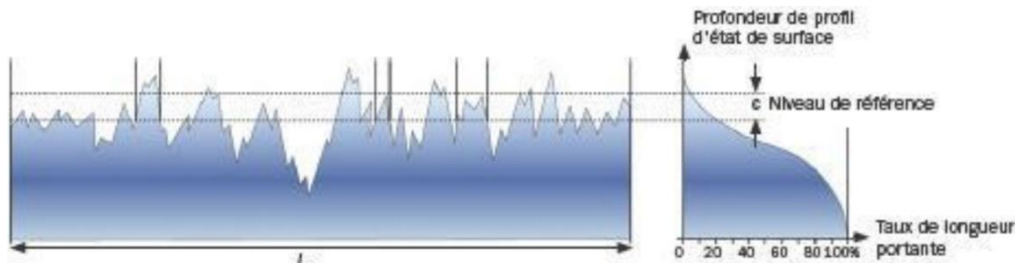
$$R_p = \frac{R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} + R_{p4} + R_{p5}}{5} \dots 5. I$$



الشكل 27.I. عمق التسطیح Rp.

5.11.I. معدل طول التحمل Rmr

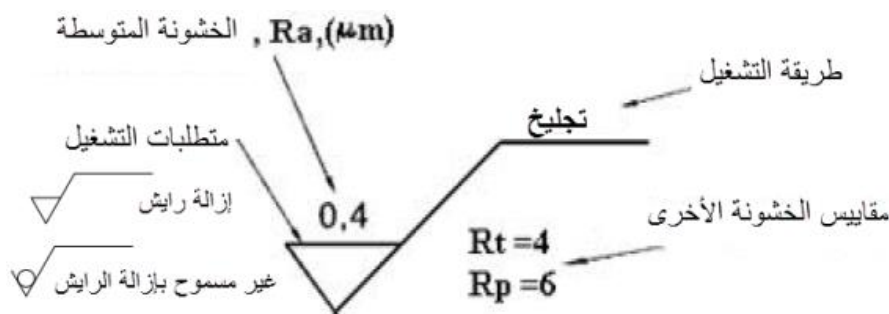
هو مقياس لخشونة السطح يتم حسابه عن طريق تقسيم طول السطح القريب من السطح المثالي على طول تقييم، أنظر الشكل 28.I. كلما زاد معدل طول التحمل كلما كان السطح أكثر قابلية للتصنيع. يعد تقييم معدل طول التحمل طريقة بسيطة للإشارة إلى مستوى عيب السطح [13]. الشكل يوضح معدل طول التحمل Rmr.



الشكل 28.I. معدل طول التحمل Rmr .

12.I. رموز تشطيب الأسطح في الرسومات التنفيذية

تتضمن الرسومات التنفيذية رموزاً ومصطلحات لوصف الأبعاد والأقطار الخارجية والداخلية، وعمليات التصنيع المختلفة التي تتم على الجزء المرسوم. بالإضافة إلى ذلك، تتضمن الرسومات التنفيذية رموزاً ومصطلحات لوصف الدرجات المختلفة لخشونة الأسطح. أصدرت منظمة التوحيد القياسي ISO مواصفة تحتوي على مصطلحات وعلامات خاصة (موضحة في الشكل 29.I) تشير إلى مقاييس الخشونة وجودة السطح وأسلوب الإنتاج [12].



الشكل 29.I. رموز تشطيب السطح طبقاً لمواصفات ISO.

13.I. مختلف العوامل المؤثرة على الخراطة

1.13.I. التزيت

تستخدم سوائل التبريد لتقليل:

✓ الاحتكاك بين عدة القطع والشغلة، وبين عدة القطع والرايش. مما يقلل من الحرارة المتولدة ويُسهّل عملية القطع.

✓ تقوم سوائل التبريد بامتصاص الحرارة ونقلها بعيدًا عن منطقة القطع، مما يُحافظ على سلامة القطع والشغلة ويحسن من جودة عملية القطع.

وبالتالي، تُساهم سوائل التبريد في تحسين كفاءة عمليات القطع، وتقلل من التلف الذي قد يلحق بالقطع والشغلة [7].

2.13.I. درجة الحرارة

تؤثر درجة حرارة القطع المرتفعة على كل من أداة القطع والشغلة.

ومن بين الأضرار التي تلحقها درجة الحرارة المرتفعة بأداة القطع نذكر:

- ✓ التآكل الذي يقلل من عمر أداة القطع.
- ✓ التشوه البلاستيكي لحواف القطع إذا لم تكن مادة الأداة قوية بما يكفي.
- ✓ التفتت الحراري، وتلف حواف القطع بسبب الصدمات الحرارية.
- ✓ تكوّن الحافة المتراكمة.

أما الأضرار التي تلحقها الحرارة المرتفعة بالقطعة المشغلة فتشمل:

- ✓ نقص الدقة في أبعاد القطعة بسبب التشوه الحراري.
- ✓ التمدد والانكماش أثناء وبعد التشغيل.
- ✓ تلف السطح بسبب الأكسدة، التآكل السريع والاشتعال.
- ✓ أحداث إجهادات متبقية على السطح.

ومع ذلك، غالبًا ما تسمح درجة حرارة القطع المرتفعة بتخفيض قوى القطع واستهلاك الطاقة المقطوعة إلى حد ما عن طريق تقليل قوة القص [14].

I.3.13. ظروف القطع

✓ تأثير سرعة القطع

تميل زيادة سرعة القطع إلى تقليل خشونة السطح. ويرجع ذلك إلى أن سرعة القطع الأعلى تسمح بتبديد الحرارة المتولدة عن القطع بشكل أسهل، مما يقلل من تشوه الشريحة والأداة.

✓ تأثير التغذية

التغذية هي كمية المادة التي تتم إزالتها بواسطة الأداة في وحدة زمنية. تميل التغذية الأعلى إلى زيادة خشونة السطح. ويرجع ذلك إلى أن التغذية الأعلى تؤدي إلى إزالة كمية أكبر من المادة في وحدة زمنية، مما يزيد من قوى القطع وبالتالي الاهتزازات.

✓ تأثير عمق القطع

عمق القطع هو المسافة بين تمريرتين متتاليتين للأداة. تميل زيادة عمق القطع إلى زيادة خشونة السطح. ويرجع ذلك إلى أن عمق القطع الأعلى يؤدي إلى إزالة كمية أكبر من المادة في وحدة زمنية، مما يزيد من قوى القطع وبالتالي الاهتزازات [15].

I.14. خاتمة

في هذا الفصل تمكنا من فهم أساسيات آلة الخراطة بما في ذلك مختلف آلات الخراطة و عملياتها وأدوات القطع المستعملة في كل عملية. بالإضافة إلى ذلك تمكنا من إعطاء تعاريف خاصة بشروط القطع التي سيتم اختبارها في هذه الدراسة والمتمثلة في سرعة القطع، سرعة التغذية، عمق القطع وكذلك بيئة القطع. تؤثر شروط القطع على عدة مخرجات في عملية التشغيل التي من بينها خشونة السطح والتي تم التطرق إلى تعريفها وتعريف معاييرها المختلفة المتفق عليها من أجل تحديد جودة السطح. ومن بين مخرجات عملية التشغيل نجد أيضا حرارة القطع حيث تطرقنا إلى الأضرار التي يمكن أن تتسبب فيها أثناء عملية التشغيل.

الفصل الثاني

الطرق المستعملة

1.II. مقدمة

تصميم التجارب يجعل من الممكن اكتساب معرفة جديدة عن طريق التحكم في واحد أو أكثر من معلمات الإدخال للحصول على نتائج تثبت صحة النموذج الرياضي للمخرجات (عدد أقل من الاختبارات الممكنة).

في هذا الفصل سنتطرق الى النظريات والأسس الرياضية وراء التصميم التجريبية بالإضافة إلى أنواع التصميم المختلفة. في هذه الدراسة تم استخدام طريقة Box Behnken للتصميم التجارب من أجل الحصول على شروط القطع المثلى في عمليات الخراطة بالإضافة الى استخدام تحليل التباين (ANOVA) وتحليل الانحدار لتحليل النتائج، من أجل ذلك سنقدم في هذا الفصل نظرة عامة عن طريقة Box Behnken والطرق الاحصائية المستخدمة.

2.II. المصطلحات

في التجارب دائماً ما نتحدث عن العوامل التي تؤثر على الاستجابة، يتم استخدام مصطلحي العامل والاستجابة عالمياً في مجال التصميم التجريبي [16]. في دراستنا هذه العوامل تمثل شروط القطع المتمثلة في : سرعة القطع، عمق القطع، سرعة التغذية، وبيئة القطع أما الاستجابة فتتمثل كل من خشونة السطح ودرجة حرارة القطع.

1.2.II. الأنواع المختلفة للعوامل

يعتمد بناء التصميم وتفسير النتائج إلى حد كبير على أنواع العوامل التي تمت دراستها في الأعمال البحثية. هناك عدة أنواع من العوامل. سنحتفظ بأنواع العوامل التالية: العوامل المستمرة، والعوامل المنفصلة، والعوامل القابلة للترتيب، والعوامل المنطقية [16].

• العوامل المستمرة

الضغط هو مثال على عامل مستمر. في فترة ضغط معينة يمكن اختيار جميع القيم الممكنة. إنه نفس الشيء بالنسبة للطول أو التركيز أو درجة الحرارة. وبالتالي فإن القيم المأخوذة من العوامل المستمرة يتم تمثيلها بأرقام مستمرة [16].

• العوامل المنفصلة

على العكس من ذلك، يمكن للعوامل المنفصلة أن تأخذ قيماً معينة فقط. هذه القيم ليست بالضرورة رقمية، يمكن تمثيل العامل المنفصل باسم أو حرف أو خاصية أو حتى برقم ليس له قيمة عددية في حد ذاته بل مجرد معنى مرجعي.

عوامل قابلة للترتيب

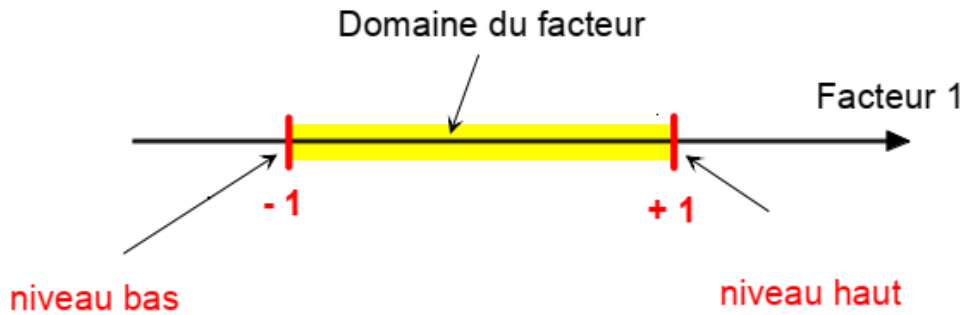
هذه عوامل منفصلة يمكن وضعها في ترتيب منطقي. على سبيل المثال كبيرة أو متوسطة أو صغيرة [16].

• العوامل المنطقية

العوامل المنطقية هي عوامل منفصلة يمكن أن تأخذ قيمتين فقط: عالية أو منخفضة، مفتوحة أو مغلقة، وما إلى ذلك [16].

II.2.2. مفهوم الفضاء التجريبي

يهتم المجرب الذي يبدأ الدراسة بالكمية التي يقيسها في كل اختبار، وهي كمية الفائدة، وتعتمد قيمة هذه الكمية على عدة متغيرات، بدلاً من المصطلح (متغير) سوف نستخدم عامل، وبالتالي فإن الإجابة تعتمد على عامل واحد أو أكثر. يمكن تمثيل العامل الأول بمحور متدرج وموجه كما مبين في الشكل II.1. تسمى القيمة المعطاة للعامل لإجراء الاختبار بالمستوى، عندما ندرس تأثير عامل ما بشكل عام فإننا نحد من اختلافاته بين حدين، الحد الأدنى هو المستوى المنخفض، و الحد الأعلى هو المستوى العالي [17].

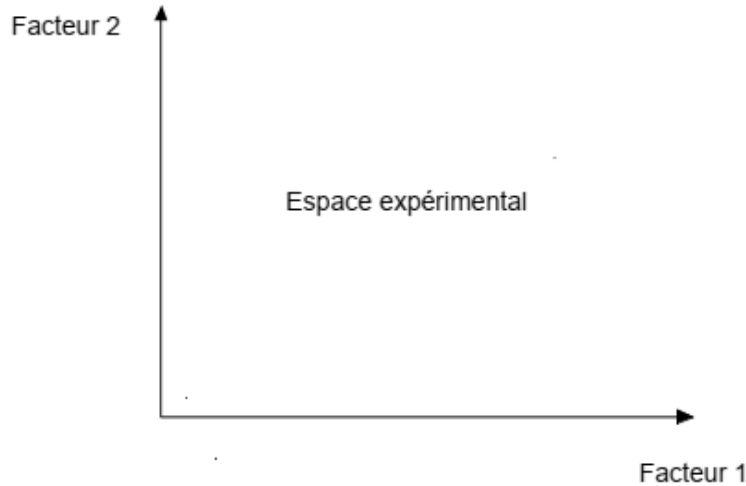


الشكل II.1. نطاق اختلاف العامل.

يشار إلى المستوى المنخفض للعامل بـ -1 والمستوى المرتفع بـ $+1$. يتكون نطاق تباين العامل من جميع القيم الموجودة بينهما.

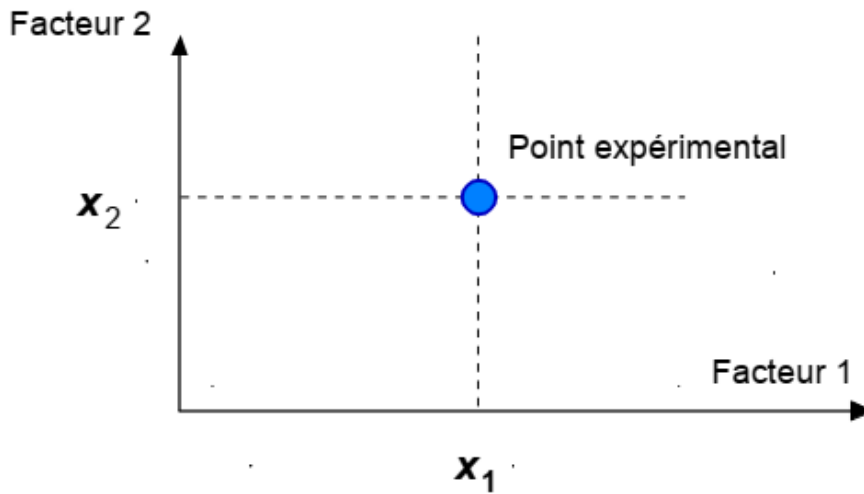
وإذا كان هناك عامل ثاني، فإنه يتم تمثيله أيضاً بمحور متدرج وموجه يتم ترتيب هذا المحور الثاني بشكل متعامد مع العامل الأول (مستواه العالي ومستواه المنخفض ومدى تباينه). وبذلك نحصل على إطار مرجعي ديكارتي (محورين

متعامدين كما هو مبين في الشكل (2.II) يحدد الفضاء الإقليدي ثنائي الأبعاد، ويسمى هذا الفضاء بالفضاء التجريبي [17].



الشكل 2.II. الفضاء التجريبي يتكون من محورين.

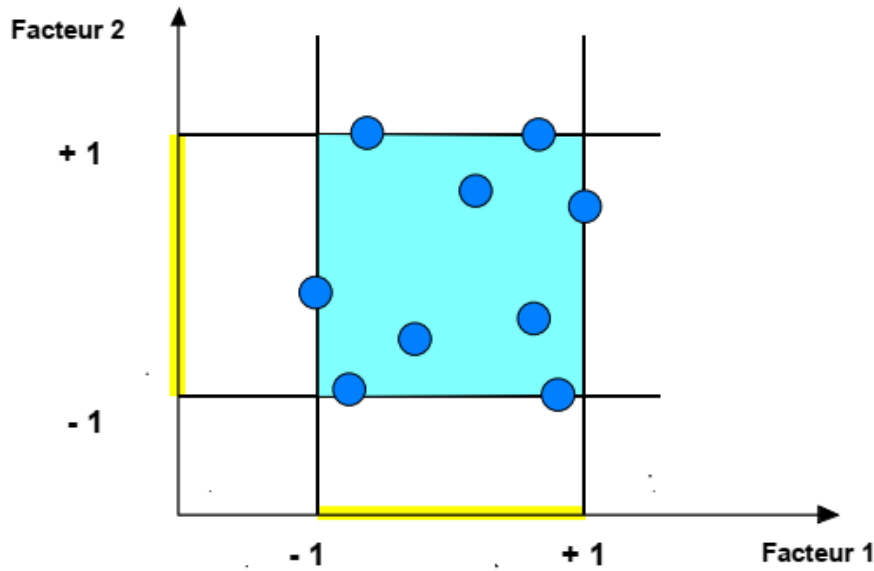
يتم تمثيل كل عامل بمحور متدرج وموجه. محاور العوامل متعامدة مع بعضها البعض. والفضاء المحدد على هذا النحو هو الفضاء التجريبي. يمكن اعتبار المستوى X_1 للعامل 1 والمستوى X_2 للعامل 2 بمثابة إحداثيات نقطة في الفضاء التجريبي ثم يتم تمثيل تجربة معينة بنقطة في نظام المحاور هذا [17]. في الشكل 3.II النقطة الزرقاء تمثل نقطة تجريبية احداثياتها في الفضاء التجريبي في اطار مرجعي ديكارتي هي (X_1, X_2) ، وهذه الاحداثيات هي مستوى للعامل 1 و مستوى للعامل 2.



الشكل 3.II. تحديد مستويات العامل في الفضاء التجريبي.

3.2.II. مجال الدراسة

من الناحية العملية يختار المحرب جزءا من الفضاء التجريبي لإجراء دراسته. هذه المنطقة الخاصة من المساحة التجريبية هي مجال الدراسة، مجال الدراسة في الشكل 4.II هو الممثل بالمربع الملون بالأزرق السماوي ومجال المستويات ممثلة باللون الأصفر. يتم تعريف هذا المجال من خلال المستويات العالية و المنخفضة لجميع العوامل [17].

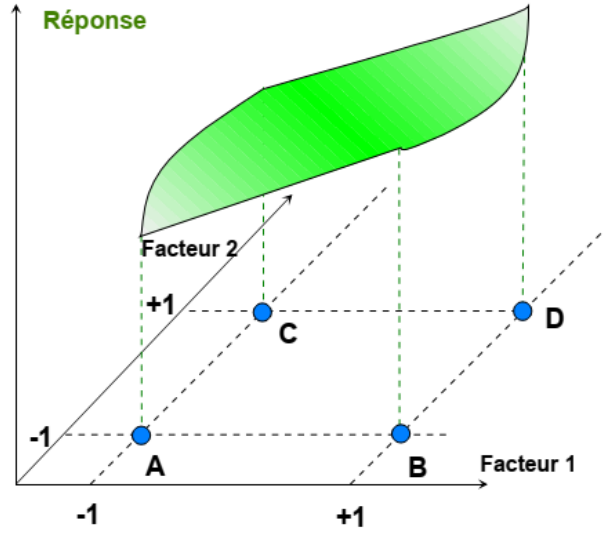


الشكل 4.II. رسم تخطيطي لمجال الدراسة لعاملين.

4.2.II. مفهوم سطح الاستجابة

تمثل مستويات X_i إحداثيات نقطة تجريبية و y هي قيمة الاستجابة عند تلك النقطة. نحدد محورًا متعامدًا مع الفضاء التجريبي وننسبه إلى الاستجابة. التجارب والاستجابة تتطلب مساحة ذات بعد آخر من الفضاء التجريبي. يستخدم التصميم ذو العاملين مساحة ثلاثية الأبعاد لتمثيل بعد واحد للاستجابة.

كل نقطة في مجال الدراسة تتوافق مع إجابة. تتوافق نقاط مجال الدراسة مع مجموعة من الاستجابات التي تقع على سطح يسمى سطح الاستجابة [17]. المساحة باللون الأخضر في الشكل 5.II تمثل الاستجابة المتغيرة في الفضاء التجريبي عند مستويين هما -1 و $+1$ لعاملين.



الشكل II.5. سطح الاستجابة.

وفي دراستنا اكتفينا بدراسة تأثير أربعة عوامل أساسية وهي سرعة القطع V_c و سرعة التغذية V_f وعمق القطع ap و بيئة القطع Ec على درجة الحرارة و معايير خشونة السطح $(Rt.Rz.Ra)$. وبالاعتماد على طريقة Box behnken تم تحديد عدد الاختبارات اللازمة باستعمال برنامج minitab18.

3.II.Box Behnken

1.3.II. تعريف

اقترح بوكس وبيهنكن في عام 1960 هذه الخطط التي تسمح بإنشاء نماذج من الدرجة الثانية. في الواقع جميع العوامل لها ثلاثة مستويات: -1 ، 0 ، $+1$. هذه الخطط سهلة التنفيذ وتمتلك الخاصية التتابعية. يمكننا البدء في دراسة العوامل الأولى مع الاحتفاظ بالإمكانية لإضافة عوامل أخرى دون فقد نتائج التجارب التي أجريت بالفعل [18].

2.3.II. بناء خطط Box Behnken

تم بناء خطة Box Behnken لثلاثة عوامل على مكعب، والعوامل التالية التي تأخذ في الاعتبار أكثر من ثلاثة عوامل مبنية على مكعبات فائقة رباعية وخماسية الأبعاد. عندما تزيد الأبعاد عن ثلاثة سنتحدث عن n مكعب (n هو عدد الأبعاد). على سبيل المثال المكعب الفائق رباعي الأبعاد سيكون عبارة عن 4 مكعبات والمكعب الفائق خماسي الأبعاد سيكون عبارة عن 5 مكعبات. نضع النقاط التجريبية ليس في رؤوس المكعب الفائق ولكن في منتصف

الحواف أي في وسط الوجوه (المربعات) أو في وسط المكعبات. يؤدي هذا الترتيب إلى وضع جميع النقاط التجريبية على مسافة متساوية من مركز مجال الدراسة، عندما يكون هناك أكثر من ثلاثة نضيف نقاطاً إلى مركز مجال الدراسة لتقليل خطأ التنبؤ عند هذه النقطة [18].

4.II. الخطط لسطح الإستجابة

الخطط من الدرجة الثانية أو الخطط لأسطح الاستجابة هي الخطط التجريبية التي تسمح بإنشاء نماذج رياضية من الدرجة الثانية. وهي تستخدم للمتغيرات المستمرة. بالنسبة لعاملين يعطى النموذج الرياضي بالمعادلة 1. II:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + e \dots 1. II$$

هذه الخطط مفيدة في كل مرة نكون فيها بالقرب من الأقصى أو الأدنى. في نهاية التجارب يكون لدينا نظام معادلات مكوّن من معاملات ناتجة عن العلاقة التالية (Eq. 2. II):

$$\hat{a} = (x \cdot x)^{-1} X \cdot y \dots 2. II$$

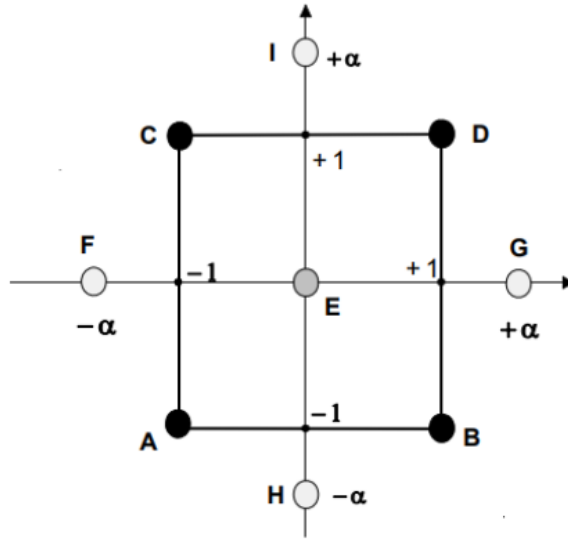
يوجد عدة أنواع من خطط الدرجة الثانية، والتي سيتم وصف أهمها أدناه [19].

1.4.II. الخطط المركبة

تتكون الخطة المركبة من ثلاثة أجزاء:

- ✓ خطة عاملية حيث تأخذ المتغيرات المستقلة مستويين.
- ✓ نقطة تجريبية واحدة على الأقل تقع في مركز مجال الدراسة.
- ✓ نقاط محورية تقع هذه النقاط التجريبية على محاور كل من المتغيرات المستقلة.

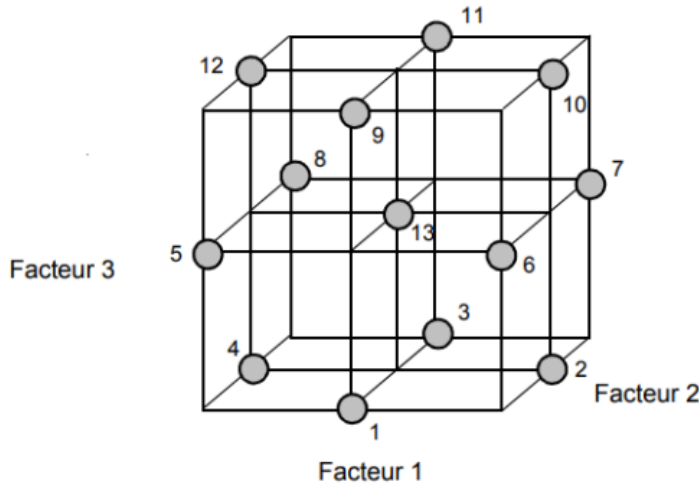
يوضح الشكل 6.II خطة مركبة لمتغيرين مستقلين. النقاط A و B و C و D هي النقاط التجريبية لمخطط 22. النقطة E هي النقطة المركزية، يمكن أن تكون هذه النقطة قد تمت تكرارها مرة واحدة أو أكثر. النقاط F و G و H و I هي النقاط المحورية، تشكل هذه النقاط الأربعة ما يسمى بخط النجمة يتم إجراء 9 تجارب ويتم تحديد 6 معاملات. لذلك يجب حل نظام من 9 معادلات بـ 6 مجهولات [19].



الشكل II.6. التصميم المركب لعاملين.

II.2.4. Box Behnken خط

تقع النقاط التجريبية في منتصف حواف كل جانب من جوانب المكعب مثل ما هو موضح في الشكل II.7. يتضمن هذا التصميم 12 تجربة يمكن إضافة نقطة مركزية واحدة (أو أكثر) إليها. في الممارسة العملية يتم إجراء 3 أو 4 نقاط في المركز غالبًا.



الشكل II.7. خط Box Behnken.

تتبع خط Box Behnken معيارًا محددًا للتحسين، يجب أن يكون خطأ التنبؤ بالإجابات هو نفسه لجميع النقاط الموجودة على كرة مركزها في أصل المجال التجريبي. هذا هو معيار الثبات الدوراني.

أكثر خطط Box Behnken شهرة هو التصميم الذي يسمح بدراسة ثلاثة عوامل. يتكون هذا التصميم من 12 نقطة موزعة على كرة [19].

5.II. تحليل البيانات من طريقة Box Behnken

1.5.II. طريقة تحليل التباين (ANOVA)

إن تحليل التباين (ANOVA) مفيد لفهم تأثير شروط المدخلات المعينة من سلسلة من النتائج التجريبية، من خلال طريقة التصاميم التجريبية لعملية التشغيل الآلي، كما أنه يوفر تفسير بيانات المخرجات وهي تتكون أساساً من تقسيم التباين الكلي للتجربة إلى عناصر تعزى إلى العوامل الخاضعة للرقابة والأخطاء المتولدة. يتم تقييم الأهمية الإحصائية للنماذج التنبؤية التربيعية من خلال القيمة P والقيمة F بواسطة ANOVA في دراستنا تستخدم ANOVA لتحليل تأثيرات شروط الإدخال (سرعة القطع، سرعة التغذية، عمق القطع، بيئة القطع) على الإستجابة المدروسة (درجة حرارة القطع و خشونة السطح) [20].

في جدول ANOVA القيمة P هي الاحتمال الذي يتراوح من (0 إلى 1) وهذا يعني أن النتائج التي لوحظت في الدراسة قد تكون حدثت بالصدفة أو بتغير مستويات عامل.

إذا كانت $P < 0.05$ فإن العامل مهم.

إذا كانت $P > 0.05$ فإن العامل غير مهم.

يستخدم المجموع التربيعي (SS_F) لتقدير مربع الانحراف عن المتوسط العام. يتم التعبير عنه بالعلاقة (Eq. 3.II) التالية [20]:

$$SS_F = \frac{N}{N_{nf}} \sum_{i=1}^{N_{nf}} (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \quad \dots 3. II$$

حيث أن:

\bar{y} : هو متوسط الإستجابات.

\bar{y}_i : هو متوسط الإستجابات المقاسة لكل مستوى العامل .

N : هو العدد الإجمالي للتجارب.

N_{nf} : هو عدد مستويات كل عامل f .

يتم تقدير المتوسط التربيعي (MS_i) بقسمة المجموع التربيعي على عدد درجات الحرية (Eq. 4. II) [20].

$$MS_i = \frac{SS_f}{df_i} \dots 4. II$$

يتم استخدام مؤشر القيمة F (F-value) (Eq. 5.II) من أجل التحقق من توافق النموذج الرياضي على أساس أن قيم F المحسوبة يجب أن تكون أكبر من F المجدولة (F-Table) [20].

$$F_i = \frac{MS_i}{MS_e} \dots 5. II$$

حيث MS_e : المجموع التربيعي للأخطاء.

يوضح العمود (Contribution en %) من جدول ANOVA مساهمة العوامل على التباين الكلي، مما يشير إلى درجة التأثير على الإستجابة بالنسبة المئوية [20]. وتحسب بالعلاقة 6. II.

$$\%Cont = \frac{SS_f}{SS_T} \times 100 \dots 6. II$$

2.5.II. تحليل الانحدار (analyse de régression)

تحليل الانحدار هو طريقة إحصائية تهدف إلى تحليل العلاقة بين متغير تابع معين أو أكثر من المتغيرات المستقلة، وهي مجموعة من التقنيات وهي أساس التصميم التجريبي لتحديد نطاق متغيرات المدخلات المستقلة. تسمح هذه الطريقة من خلال النماذج الرياضية التجريبية بتحديد علاقة تقريب بين استجابات الإخراج (Y)، ومتغيرات الإدخال [سرعة القطع (V_c)، سرعة التغذية (V_f) وعمق القطع (a_p) و بيئة القطع (EC)] لتحسين معلمات العملية في حالة الخراطة الطولية من أجل تحقيق نتائج مرغوبة، وفي هذه الطريقة يمكن كتابة الإستجابات على النحو التالي : [21] (Eq. 7.II)

$$Y = \varphi(V_c, V_f, a_p, EC) \dots 7. II$$

حيث φ هي دالة الإستجابة.

Y ما يسمى بمتغير الاستجابة (خشونة السطح، وجهود القطع المماسية، والجهد المحدد المماسي...)، وفقا لعدد من المتغيرات (العوامل) المستقلة، X_1, X_2, \dots, X_k (سرعة القطع والتقدم وعمق القطع...)، ومن ناحية أخرى تحليل تأثير وتفاعل الأخير على الاستجابة. يمكننا كتابة نموذج إستجابة معينة (Y) بالمعادلة 8.II [21].

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i + \sum_{ij} a_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} X_i^2 + \varepsilon_{ij} \dots 8. II$$

$$\varepsilon_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_{ij} \dots 9. II$$

حيث Y هو الحجم الذي يهتم به المجرى، وهو الإستجابة، ويتم قياسه أثناء التجربة ويتم الحصول عليه بدقة معينة. يمثل X_i المستوى المخصص للعامل الأول، وهو قيمة إحدائية العامل الأول الذي استخدمه المجرى لإجراء الاختبار، هذه القيمة معروفة تماما. سنفترض حتى أن هذا المستوى محدد دون أخطاء (فرضية الانحدار الكلاسيكية).

a_0 يمثل العامل الثابت a_0, a_i, a_{ii} معاملات العوامل الخطية، العوامل التي تمثل التفاعلات بين المتغيرات والعبارات التربيعية على التوالي، وهي غير معروفة ويجب حسابها من نتائج التجارب. يتم تحديد معامل تحديد الانحدار متعدد الخطوط R^2 من خلال نسبة تشتت النتائج التي تعطى من خلال العلاقة 10.II [21].

$$R^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{\sum (\bar{y}_i - \bar{y})^2} \dots 10. II$$

حيث أن :

y_i : قيمة الإستجابة المحسوبة.

\bar{y}_i : قيمة الإستجابة المقاسة .

\bar{y} : القيمة المتوسطة للإستجابات المقاسة.

يستخدم تحليل الإنحدار لاختبار صحة النموذج، وكذلك لدراسة أهميته وكفائته. النموذج مناسب في غضون 95% من النسبة. عندما تكون قيم P أقل من 0.05 وتكون F المحسوبة أكبر من F الجدولة. تعتبر النماذج الناتجة ذات دلالة إحصائية بعبارة أخرى كلما اقترب R^2 من القيمة 1 كان النموذج متوافقا مع القيم الحقيقية (التجريبية) [21].

6.II. الخاتمة

يتيح لنا أسلوب التصميم التجريبي استخلاص أكبر قدر من المعلومات بأقل عدد من الاختبارات مع الحفاظ على موثوقية النتائج. ويتيح لنا حساب النموذج الرياضي معرفة سلوك الاستجابة والحصول على سطح الاستجابة، ويتم تمثيل نتائج الاختبارات التجريبية ومناقشتها في الجزء العملي. في هذا الفصل تعرفنا على الجانب النظري لتصميم سطح الاستجابة بالاعتماد على طريقة Box-Behnken والتي سيتم الاعتماد عليها من أجل تصميم التجارب حيث سيتم تصميم التجارب بناء على أربع عوامل (سرعة القطع، سرعة التغذية، عمق القطع وبيئة القطع) على ثلاث مستويات من أجل مخرجات متمثلة في استجابتين هما خشونة السطح وحرارة القطع. كذلك تطرقنا إلى الطرق التحليلية التي سيتم اعتمادها من أجل تحليل النتائج المتحصل عليها وهذه الطرق متمثلة في تحليل التباين وتحليل الانحدار.

الفصل الثالث

الجزء التجريبي

1.III. مقدمة

لقد أثبتت الدراسات أن حالة السطح لها تأثير كبير على سلوك النظام الميكانيكي وأن ظواهر الاحتكاك والتآكل والتزيت ترتبط ارتباطا وثيقا بتشطيب السطح. في هذا الفصل سنعرض المعدات والوسائل التي تم استخدامها لمراقبة خشونة السطح ودرجة حرارة القطع التي يتم الحصول عليها أثناء التجارب التي أجريت على الخراطة الطولية لقضبان البرونز. كما سنعرض الطرق المختلفة المستخدمة للتخطيط وشروط اجراء التجارب. أجريت التجارب بمركز البحث في الميكانيك بقسنطينة -Center de Recherche en Mécanique Constantine-CRM-. قطب بحثي يقع في حرم الجامعة في شعب الرصاص بجامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1. تقريبا عالم البحث من التكوين الاكاديمي.

2.III. العوامل و الاستجابات التي تم دراسة تغيراتها أثناء التجارب

ان العوامل المؤثرة على نوعية خشونة السطح ودرجة حرارة القطع عديدة، فكل تفصيل يدخل في عملية التشغيل قد يؤثر على الاستجابات سابقة الذكر. في دراستنا هذه تم التركيز على أربع عوامل لنقوم باختبار مدى تأثيرها على خشونة السطح ودرجة حرارة القطع التي لها تأثير سلبي على عمر الأداة.

✓ العوامل التي تم اختيارها:

- سرعة القطع.
- سرعة التغذية.
- عمق القطع.
- بيئة القطع.

✓ الاستجابات التي يتم دراسة تغيراتها من خلال تغيير مستويات العوامل:

- خشونة الأسطح.
- درجة الحرارة القطع.

3.III. الوسائل المستعملة**1.3.III. آلة الخراطة المستعملة**

المخرطة المستخدمة في الاختبار مبينة في الشكل 1.III وهي آلة خراطة نصف الية Turnado 230/1500V مصنعة من طرف شركة KNUTH GMBH وهي النسخة الحديثة من المخرطة الكلاسيكية. تتميز ببناء قوي ومحرك قوي ومستوى عال من التنوع، مع مجموعة واسعة من الملحقات والخيارات القياسية. خصائص هذه المخرطة مبينة في الجدول 1.III.



الشكل 1.III. آلة الخراطة المستخدمة.

1.1.3.III. خصائص المخرطة

الجدول 1.III. خصائص المخرطة.

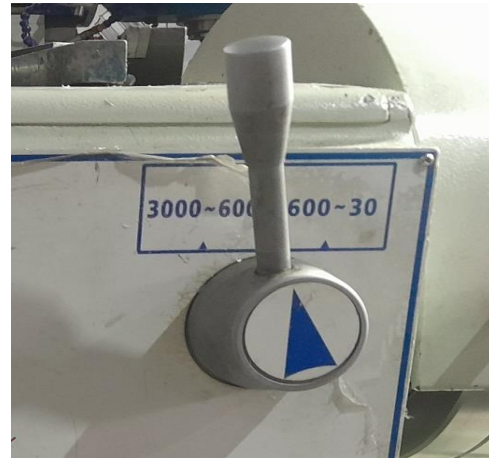
1500مم	طول القطعة
128مم	الانتقال على المحور Z
285مم	الانتقال على المحور X
3000دورة في الدقيقة	سرعة الطرف القصوى
7.5 كيلو واط	قوة المحرك الكهربائي
460مم	قطر القطعة التي يمكن تشغيلها على الطاولة
2محاور	عدد المحاور
3متر	الطول الاجمالي
1متر	العرض الكلي
2متر	الارتفاع الاجمالي
1970كجم	الوزن

آلة الخراطة النصف آلية تتوفر على سرعات دوران مختلفة يتم التحكم فيها عن طريق الذراع الموجود في الشكل 2.III وأدنى سرعة دوران تصلها الماكينة هي 30tr/min وأقصى سرعة دوران تصلها الماكينة هي 3000tr/min موضحة في الشكل 2.III.

من خلال الشاشة الموجودة في الشكل 3.III يمكن مراقبة ومعرفة سرعة دوران الظرف المعطاة وأيضا احداثيات أداة القطع وعمق القطع.



الشكل 3.III. لوحة التحكم.



الشكل 2.III. مقبض التحكم في سرعة الدوران.

يعد غطاء آلة الخراطة قطعة أساسية من معدات السلامة التي يجب استخدامها عند العمل على آلات الخراطة، فهو يساعد على حماية العامل من الاصابات التي قد تنتج عن الشظايا المتطايرة. تبدأ المخرطة في العمل أي دوران الظرف عندما يتم اغلاق الغطاء كما موضح في الشكل 4.III.



الشكل 4.III. الغطاء.

ذو خصائص ميكانيكية عالية وثابتة، ومقاومة ممتازة للاحتكاك. له سلوك جيد جداً تحت الضغوط المنخفضة والمتوسطة، مقاومة جيدة للتآكل، لحام جيد ومعامل انكماشه صغير وغير مغناطيسي. التركيب الكيميائي و الخصائص الميكانيكية لمادة البرونز المكونة لعينات الاختبار موضحة في الجدولين 2.III و 3.III على التوالي.

1.2.3.III. خصائص مادة الصنع

الجدول 2.III. التركيب الكيميائي.

Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	S	Si	Autres	Cu
6.00/8.00	5.00/7.00	2.00/5.00	1.50	0.01	0.10	0.20	0.68	صلب
			كحد أقصى	كحد أقصى	كحد أقصى	كحد أقصى	كحد أقصى	

الجدول 3.III. الخصائص الميكانيكية.

Rm	Rp 0.2	A	صلابة	التوصيل الحراري عند 20 درجة مئوية
260 N/mm ² mini	120 N/mm ² mini	12 Mini	80HB	58 W/m.k

3.3.III. حامل أدوات القطع

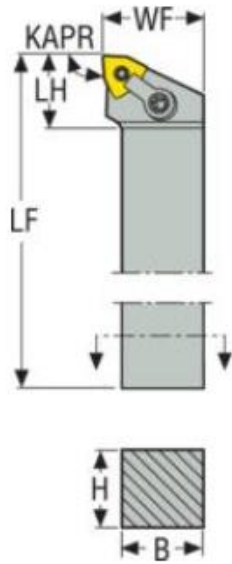
لإجراء الاختبارات استخدمنا الأدوات التاليتين:

1.3.3.III. أداة الخراط الطولي

استخدمنا حامل الأدوات المبين في الشكل 8.III . حامل الأداة يحمل ترميز MWLNR2525M08 وفقاً لمعايير ISO هو ذو الخصائص التالية (أنظر الجدول 4.III) :

الجدول 4.III. خصائص أداة الخراط الطولي.

B	عرض المرفق	25mm
GAMO	زاوية قطع متعامدة	-6.0deg
H	ارتفاع حامل الاداة	25.0mm
HAND	اتجاه القطع	يمين
KAPR	زاوية قطع الأداة	95.0deg
LAMS	زاوية الميل	-6.0deg
LF	الطول الوظيفي	150.00mm
Poids	الوزن الصافي	0.751kg



الشكل 8.III. أداة الخراط الطولي.

2.3.3.III. أداة التعنيق

فصلنا عينات التجارب عن بعضها البعض باستخدام عملية التعنيق وذلك تمهيدا لعملية الخراط الطولي. حيث طول كل عينة هو 35mm. من أجل القيام بعملية التعنيق استخدمنا حامل الأداة ADKT-TD-L-2525-3-T12، الموضح في الشكل 9.III و ذو الخصائص التالية (الجدول 5.III):

الجدول III.5. خصائص أداة التعنيق.

CDX	عمق القطع	12mm
H	ارتفاع حامل الاداة	25.0mm
B	عرض المرفق	25mm
LF	الطول الوظيفي	150mm



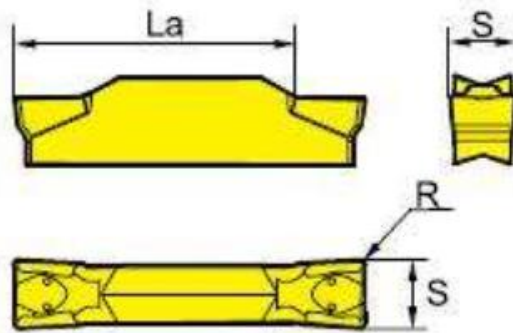
الشكل III.9. أداة التعنيق.

III.4.3. لقم الأدوات

تم اجراء عمليتي التعنيق والخرط الطولي بواسطة اللقم المصنوعة من الكروميد قابلة للإزالة.

III.1.4.3. لقم التعنيق

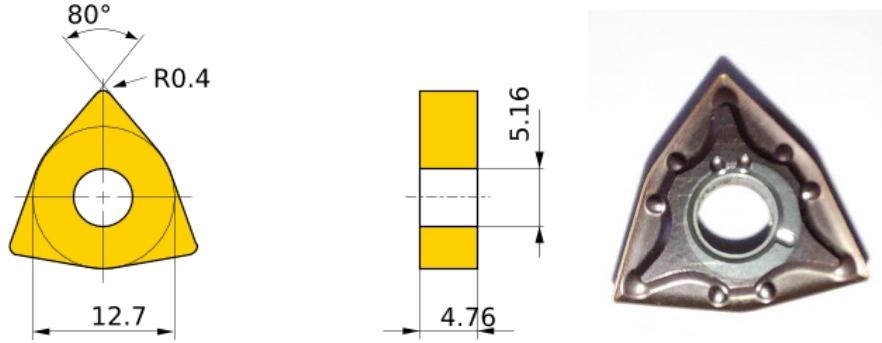
لقم التعنيق يحمل رقم التعيين ZTFD0303-MGYBG302 وهو موضح في الشكل III.10.



الشكل III.10. لقم التعنيق.

III.2.4.3. لقم الخراط الطولي

اللقم المستعمل في الخراط الطولي يحمل رقم التعيين WNMG080404-MA و هو مبين في الشكل III.11.



الشكل III.11. لقم الخراط الطولي.

III.5.3. جهاز قياس خشونة الأسطح

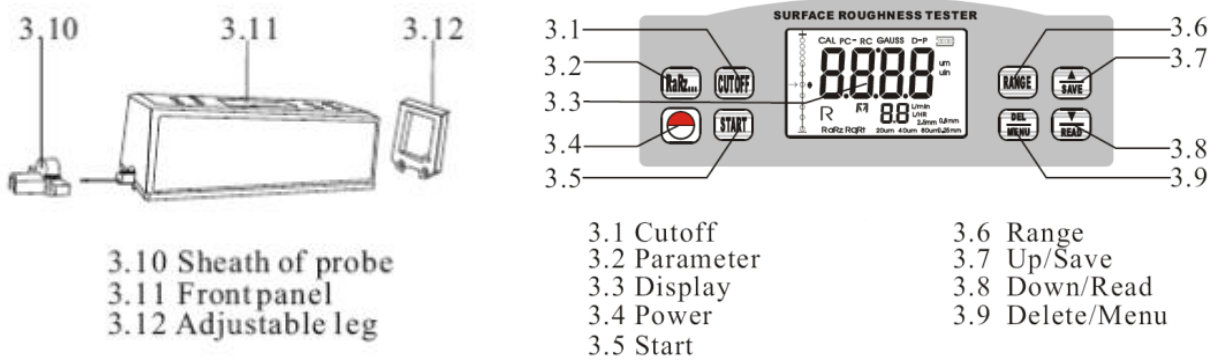
جهاز قياس خشونة السطح (Surface Roughness Tester) المستعمل في هذه التجارب هو جهاز PCE-RT1200 المنتج من قبل شركة PCE Instruments. يستخدم هذا الجهاز لقياس معايير الخشونة المختلفة (Ra، Rp، Rt و Rz)، يتوافق هذا الجهاز مع أربعة معايير ISO و DIN و ANSI و JIS ويستخدم على نطاق واسع في الإنتاج. لقياس خشونة السطح للعينات التي تم تشغيلها بواسطة آلة الخراطة وفق المعلمات المختارة، نستعمل هذا الجهاز وفقا لشروط القياس المحددة حيث يتم وضع المستشعر على السطح ثم ينزل بالتساوي على طول السطح مما يدفع الآلية إلى جهاز القياس. يكتشف المستشعر خشونة السطح باستخدام المستشعر الرفيع الموجود به. تؤدي هذه الخشونة إلى تحرك المسبار لإنتاج تغيير في التيار المتولد في ملفات الحث لتوليد الإشارة التناظرية. مكونات جهاز قياس الخشونة PCE-RT1200 و خصائصه موضحة في الشكل III.12 و الجدول III.6 على التوالي.

كما يتميز هذا الجهاز بـ:

- ✓ سهولة الاستخدام.
- ✓ شاشة LCD كبيرة.
- ✓ أربعة معلمات لقياس الخشونة.

الجدول 6.III. خصائص التقنية للجهاز.

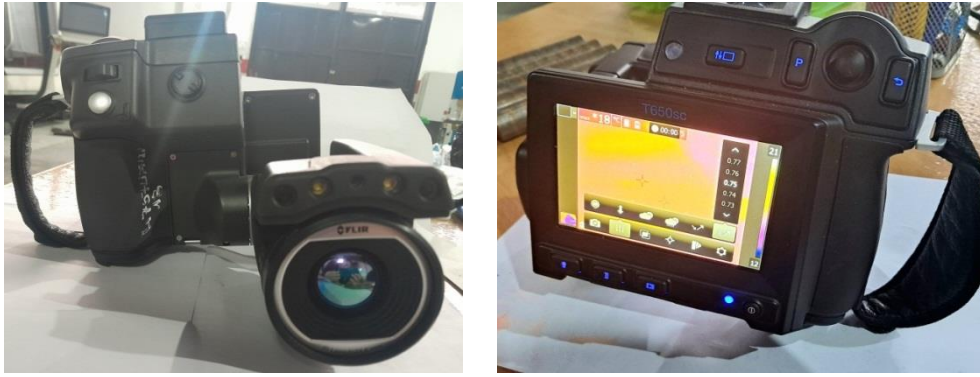
معلمات قياس الخشونة	Rz و Rp، Ra، Rt
نطاقات القياس	Ra, Rp 0.005....16.00µm Rz, Rt 0.020....16.00µm
الدقة	0.001 µm حتى قيمة القياس 10 µm
الوحدات	ميكرو متر أو البوصة
الشاشة	LCD
الوزن	420 جرام
الأبعاد	140mm×52mm×48mm



الشكل 12.III. مكونات قياس جهاز الخشونة.

6.3.III. جهاز قياس درجة الحرارة

من أجل قياس حرارة القطع أثناء خراطة البرونز تم استخدام كاميرا التصوير الحراري من سلسلة FLIR T650sc حيث تقدم هذه الكاميرا صورًا حرارية وبصرية، و تتميز بدقة حجم البقعة، و تقدم درجة حرارة موثوقة ودقيقة. تمنح وحدة الأشعة تحت الحمراء القابلة للإمالة تسمح بإجراء تجارب بسرعة وفي وضع مريح. كاميرا FLIR T650sc موضحة في الشكل 13.III.



الشكل III.13. جهاز قياس درجة الحرارة.

تتميز هذه الكاميرا بالخصائص التالية:

✓ جودة صور ممتازة وحساسية حرارية

تحتوي الكاميرا الحرارية T650sc على مكشاف أكسيد الفاناديوم غير المبرد (VOX) والذي ينتج صوراً حرارية بدقة 640×480 بكسل. تنتج صوراً واضحة ونقية ومفصلة يسهل تفسيرها، مما يؤدي إلى تصوير موثوق به وبدقة عالية.

✓ شاشة تعمل باللمس عالية الجودة

تمتلك هذه الكاميرا شاشة LCD عالية الجودة التي تعمل باللمس، وتوفر صوراً حادةً وواضحة وتضيف مستوى جديداً من التفاعلية وراحة المستخدم عند استعمالها. إلى جانب الأزرار الكبيرة في الخلف التي تجعل الكاميرا سهلة الاستخدام. تضيف شاشة اللمس بعداً جديداً كلياً للعمل مع هذه الكاميرات الحرارية، مما يجعلها أكثر ملاءمة لمجموعة واسعة من المستخدمين. يمكنك التكبير والتصغير، وتغيير الإعدادات، والتنقل بين الصور بلمسة بسيطة على الشاشة، مما يجعل عملية التشغيل أكثر مرونة وسلاسة.

✓ التسجيل الإشعاعي

تسمح كاميرا T650sc ببث فيديو ديناميكي وتخزينه مع إمكانية نقله إلى جهاز كمبيوتر باستخدام USB. كما تسمح بإنشاء ملفات فيديو MPEG-4 حرارية وبصرية غير إشعاعية. يمكن لـ T650sc تسجيل تسلسلات الأشعة تحت الحمراء الإشعاعية في الوقت الفعلي مباشرة على الكاميرا. تحتوي هذه التسلسلات على جميع بيانات درجة الحرارة ويمكن تحليلها بعد التشغيل على الكاميرا أو الكمبيوتر الشخصي.

✓ البرمجيات المتوافقة FLIR Research Max

تتوافق كاميرا FLIR T650sc بسهولة مع برنامج FLIR Research Max، مما يمكّن من عرض وتسجيل ومعالجة حرارية للبيانات التي توفرها الكاميرا. يفتح هذا الاتحاد مجموعة واسعة من الإمكانيات لتحليل البيانات وجعلها قابلة للاستخدام لاحتياجاتك المحددة.

✓ مميزات FLIR Research Max

- رصد التغيرات في درجة الحرارة.
- تحديد الاختلافات الدقيقة في درجة الحرارة.
- انشاء خرائط حرارية مفصلة.
- تصدير البيانات والصور والفيديوهات.

III.7.3. السوائل المستعملة في التبريد

هناك عدة طرق لتبريد المعدن أثناء عملية التشغيل. في هذه الدراسة اعتمدنا على طريقة التبريد المستمر وهو توجيه تيار مستمر من السائل الى الأداة والمعدن المراد تشغيله. التجارب أنجزت في بيئات مختلفة للقطع حيث في بعض التجارب كانت البيئة جافة، وفي أخرى تمت عمليات التشغيل عن طريق التبريد بالماء أما التجارب المتبقية فقد تمت تجارب الخراطة عن طريق التبريد بزيت معدني. وفي الفقرة التالية ستتعرف على خصائص هذا الزيت.

III.1.7.3. TASFALOUT 22B

هو زيت معدني قابل للاستحلاب يمكن مزجه بالماء، يتمتع بخصائص مضادة للصدأ يسهل هذا الزيت العمل على المعادن ويمنع تكوين الصدأ عليها. مع العلم أن اللتر الواحد منه يتم خلطه مع 18 لتر ماء. الخصائص الكيميائية و الفيزيائية لهذا المبرد موضحة في الجدول III.7.

الجدول 7.III. الخصائص الكيميائية و الفيزيائية.

خاصية الفيزيائية والكيميائية	معيار	الوحدة	النتيجة		
			يتضمن		عادي
			الحد الأدنى	الحد الأقصى	
اللون	D1500			8.0	4.0
الكثافة عند C^0 15	D1298		0.875	0.950	0.914
اللزوجة عند C^0 40	D445	CST	30 250	60 1000	33.9 520
مؤشر اللزوجة	D2270				
نقطة الوميض VC VO	D93 D92	C^0 C^0			165
T.B.N	D2896	Mg Koh/g	10		12.3
T.A.N	D664	Mg Koh/g	20		4.7
PH 5%			9	10	9.6

2.7.3.III الماء

التبريد بالماء هو الطريقة الأكثر شيوعاً لتبريد المعدن أثناء عملية خراطة المعادن. يتميز الماء بدرجة عالية من الموصلية الحرارية مما يعني أنه نقل الحرارة بكفاءة عالية. كما أنه يتمتع بسعة حرارة نوعية عالية مما يعني أنه يمكنه تخزين كمية كبيرة من الحرارة دون زيادة درجة حرارته بشكل كبير.

4.III. تحضير العينة

في هذه العمل التجريبي الذي يهدف الى قياس خشونة السطح ودرجة حرارة القطع أثناء عملية الخراط الطولي على أسطوانات البرونز، قمنا بتقسيم العينة إلى ثلاثة أجزاء متساوية باستخدام قدم قنوية، كما هو موضح في الشكل 14.III. تم إنشاء عنق يفصل بين كل عينة، وكان طول العنق 3 مم. هذا التقسيم الدقيق يمكننا من إجراء التجارب بشكل دقيق وفحص الخصائص السطحية لكل جزء على حدة.



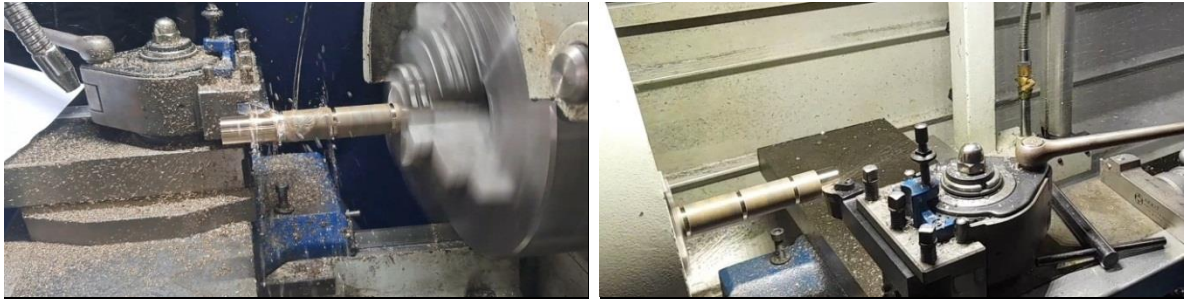
الشكل 14.III. عملية قياس الطول.

تم ضبط الآلة على سرعة دوران معينة لإنجاز عملية تسوية باستخدام أداة خراط منحنية. بعد إكمال العملية، تم إيقاف الطرف لتغيير أداة الخراط منحنية بأداة التعنيق، استعداداً لإنجاز التعنيق الذي يفصل بين عينات التجارب. ثم بعد تركيب الأداة، تم إعادة تشغيل الآلة بسرعة دوران وتغذية مضبوطة، وضبط الأداة في موضع التشغيل لإنجاز العنق. تم تكرار هذه العملية على طول تسع أسطوانات من البرونز بعد إجراء عملية التعنيق، يتوفر لدينا 3 عينات (مقاطع) مختلفة لفحصها في الأسطوانة الواحدة. الشكل 15.III يوضح العينات الثلاثة الموجودة في أحد قضبان البرونز بعد عملية التعنيق والتسوية.



الشكل 15.III. عملية التعنيق.

بعد الانتهاء من عملية التعنيق تم ايقاف الظرف لتغيير اداة التعنيق بأداة الخرط الطولي ثم بعد تركيب الأداة تم اعادة تشغيل الألة بسرعات دوران مختلفة و بسرعة التغذية وعمق التقدم في ثلاث ظروف مختلفة لبيئة القطع (جافة، مائية، مزيتة) على حسب شروط القطع المطلوبة في التجربة، يتم تغيير الشروط لإجراء 27 اختبار. الشكل 16.III يوضح عملية الخراطة الطولية لبعض التجارب المنجزة في ثلاث بيئات مختلفة.



ب. قطع في وجود الماء.

أ. بيئة قطع جافة.



ج. قطع بجود الزيت.

الشكل 16.III. عملية الخرط الطولي مع اختلاف بيئة القطع.

يوضح الشكل 17.III الشكل النهائي لعينة الاختبار.



الشكل 17.III. الشكل النهائي لعينة الاختبار.

5.III. عمليات القياس

1.5.III. عمليات قياس درجة الحرارة

- ✓ قمنا بتشغيل الكاميرا باستخدام زر الطاقة.
- ✓ استخدمنا واجهة الشاشة لتحديد الإعدادات المطلوبة، مثل الدقة ونوع الوضع (أسود وأبيض أو ملون).
- ✓ تحميل الوثائق.
- ✓ وضعنا الوثائق التي نريد تصويرها على السطح الزجاجي للماسح الضوئي.
- ✓ قمنا بتحديد مكان حفظ الملفات الممسوحة ضوئياً في مجلد محدد.
- ✓ بدأنا عملية التصوير باختيار الخيار المناسب على واجهة التحكم والضغط على زر الفحص أو التصوير.
- ✓ راقبنا عملية التصوير للتأكد من جودة الصور الممسوحة ضوئياً.
- ✓ قمنا بتحرير الصور بواسطة البرنامج المرفق بالكاميرا.
- ✓ حفظ الصور الممسوحة ضوئياً في المكان المحدد.
- ✓ بعد الانتهاء، قمنا بإيقاف تشغيل الكاميرا وفصلها عن مصدر الطاقة. الشكل 18.III يوضح عملية قياس درجة حرارة القطع لتشغيل إحدى العينات. أثناء التصوير بالكاميرا الحرارية يتم التركيز على منطقة التماس بين الأداة والشغلة لأنها تمثل المنطقة التفاعلية وبالتالي الحرارة الموجودة في هذه المنطقة تمثل حرارة القطع.



الشكل 18.III. عملية قياس درجة الحرارة.

2.5.III. عملية قياس الخشونة

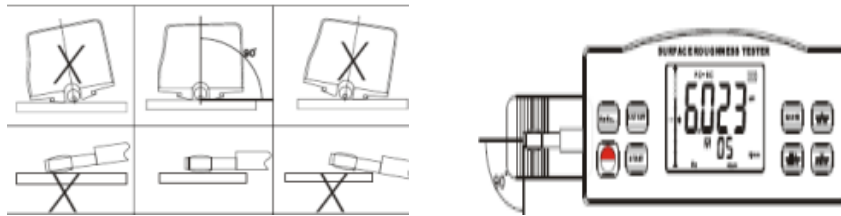
عملية قياس الخشونة تتم على عدة مراحل، وهي بالترتيب موضحة كمايلي:

- ✓ تشغيل الجهاز مع التأكد من شحن البطارية.
- ✓ التأكد أن الجهاز صالح وذلك بتمرير مستشعر الجهاز على عينة خاصة بالجهاز معلومة الخشونة، مثل ما هو موضح في الشكل 19.III.



الشكل 19.III. عملية التحقق من صلاحية جهاز قياس الخشونة.

- ✓ نزع العينة من آلة الخراطة ثم تحضير السطح الذي نرغب في قياس خشونته حيث يجب أن يكون السطح نظيفاً.
- ✓ وضع العينة على طاولة مسطحة كما يجب أن يوضع الجهاز بطريقة صحيحة على السطح المراد قياس خشونته كما هو موضح في الشكل 20.III .



الشكل 20.III. طريقة تموضع الجهاز الصحيحة.

- ✓ بعد التحقق من التموضع الصحيح لكل من القطعة وجهاز قياس الخشونة نقوم بعملية القياس، الشكل 21.III.



الشكل 21.III. عملية قياس الخشونة على إحدى العينات

- ✓ قمنا بوضع المستشعر على السطح المراد قياسه حيث يجب أن يكون في اتصال مباشر مع سطح العينة.
- ✓ بعد الانتهاء من الخطوة السابقة نضغط على زر بدء القياس، يبدأ الجهاز في قياس الخشونة.
- ✓ يبدأ الجهاز في تحويل الخشونة الموجودة على السطح الى قراءات رقمية.
- ✓ تدوين القراءات المعطاة من طرف الجهاز.
- ✓ في كل مرحلة من العينة نقوم بثلاث قياسات، تكون الزاوية بين هذه القياسات 120 درجة تقريبا.

6.III. خاتمة

شكّل هذا الفصل رحلة حول الوسائل المستعملة مثل آلة الخراطة، جهاز قياس الخشونة، وأيضا كاميرا قياس حرارة القطع، حيث غطينا على نطاق واسع العوامل التي ساهمت في انجاز التجارب بدقة لإعطاء النتائج أكثر موثوقية. كما اشتمل هذا الفصل على إعطاء تفصيل عن هذه المعدات والأدوات التي تم توظيفها بدقة، مروراً بخصائصها ومواد القطع المتنوعة التي تم استعمالها بالإضافة الى تقديم تركيبها الكيميائي المفصل لها. وأيضا تم توضيح خصائص بيانات القطع التي تم أخذها بعين الاعتبار أثناء التشغيل والمتمثلة في السوائل المستعملة في التبريد. كما أيضا تطرقنا بالتفصيل الى كفاءات القياس الخاصة بدرجة الحرارة والخشونة.

الفصل الرابع

نتائج و تحصيل

1.IV. مقدمة

في هذا الفصل قمنا بتوضيح النتائج المتحصل عليها أثناء عملية الخراطة لمادة البرونز باتباع تصميم Box Behnken. في هذه التجارب قمنا بتغيير شروط القطع المتمثلة في سرعة القطع، عمق القطع، سرعة التغذية و بيئة القطع من أجل دراسة تأثيرها على الخشونة (Ra, Rt, Rz) وحرارة القطع ثم قمنا بتحليل النتائج المتحصل عليها بالاعتماد على برنامج Minitab18. في تحليل النتائج اعتمادنا على تحليل ANOVA وتحليل الانحدار وكذلك تحسين الاستجابة Response Optimization.

2.IV. وصف التجربة

من أجل دراسة تأثير شروط القطع وبيئة القطع في الخراط الطولي على خشونة السطح و درجة حرارة التشغيل، تم اختيار أربع عوامل وهي سرعة القطع (Vc)، سرعة التغذية (Vf)، وعمق القطع (ap)، و بيئة القطع (Ec) حيث تتغير هذه الشروط وفق ثلاث مستويات. تنجز عمليات التشغيل وعددها 27 تجربة بالاعتماد على الخراط الطولي ويتم قياس أربعة مقادير وهي ثلاث مقادير للخشونة (Ra, Rt, Rz) و مقدار رابع خاص بدرجة حرارة القطع T . مستويات شروط القطع وبيئة التشغيل المختارة من أجل التجارب موضحة في الجدول 1.IV.

الجدول 1.IV. شروط القطع وبيئة القطع.

العوامل	Niveau 01	Niveau 02	Niveau 03
	-1	0	1
$Vc(mm/min)$	50	100	150
$Vf(mm/rev)$	0.053	0.106	0.152
$ap(mm)$	0.5	1	1.5
Ec	Sec	Eau	Lubrifié

3.IV. تطبيق تصميم Box Behnken

تستخدم طريقة Box Behnken على نطاق واسع لأنها تعتبر أداة جودة لتحسين العمل التجريبي باستخدام عدد أقل من التجارب مع الحفاظ على موثوقية النتائج. من أجل اختيار معلمات القطع وبيئة التشغيل المثلى التي سيتم

استخدامها في تشغيل البرونز وذلك بهدف الحصول على خشونة المرغوبة فيها وعلى حرارة قطع منخفضة، تم بالاعتماد على منهجية Box Behnken تصميم 27 تجربة سيتم اجرائها من أجل تحقيق الأهداف المرجوة.

4.IV. النتائج

بغية زيادة دقة قيم قياس الخشونة، قمنا بتنفيذ عمليات القياس ثلاث مرات على كل عينة (أو مقطع) ولكل مقدار خشونة بشكل منفصل (متوسط الخشونة الحسابي Ra، الخشونة الكلية Rt، ومتوسط الخشونة الكلية Rz) كما هو موضح في الجدول 2.IV. والنتائج النهائية تم أخذها بحساب متوسط الخشونة لكل قيمة، أما قيمة درجة الحرارة أثناء عملية التشغيل فتم قياسها مرة واحدة لأن كل تجربة تنجز مرة واحدة فقط. النتائج النهائية لقياس مقادير الخشونة وبالإضافة الى نتائج حرارة القطع التي تم استخدامها في التحاليل موضحة في الجدول 3.IV.

الجدول 2.IV. نتائج القياس.

N°exp	Vc	ap	Vf	Ec	Ra	Rz	Rt
01	50	0.5	0.106	Eau	1.135	3.209	3.241
					1.168	3.303	3.677
					1.18	3.34	3.552
02	150	0.5	0.106	Eau	0.945	2.66	2.698
					1.471	4.172	4.52
					1.365	3.86	4.16
03	50	1.5	0.106	Eau	1.421	4.02	4.44
					1.681	4.754	5.147
					1.851	5.236	5.713
04	150	1.5	0.106	Eau	1.075	3.04	3.24
					1.534	4.34	4.68
					1.938	5.48	5.84
05	100	1	0.053	Sec	1.39	3.931	3.97
					1.598	4.52	4.7
					1.152	2.649	4.17
06	100	1	0.152	Sec	1.358	3.84	4.02
					1.506	4.26	4.74
					2.482	4.02	7.92

07	100	1	0.053	Lubrifié	1.045	2.955	2.984
					1.135	3.209	3.241
					0.925	2.614	2.643
08	100	1	0.152	Lubrifié	1.52	4.298	4.341
					1.47	4.156	4.197
					1.795	5.076	5.127
09	50	1	0.106	Sec	1.676	4.74	5.16
					1.207	3.414	3.705
					1.74	4.926	5.355
10	150	1	0.106	Sec	2.037	5.76	6.28
					1.24	3.506	3.541
					1.223	3.46	3.88
11	50	1	0.106	Lubrifié	1.209	3.42	3.6
					1.26	3.563	3.598
					1.263	3.577	3.686
12	150	1	0.106	Lubrifié	1.28	3.62	3.656
					0.96	2.714	2.741
					1.315	3.719	3.755
13	100	0.5	0.053	Eau	1.011	2.86	3.16
					1.045	2.955	2.984
					1.068	3.02	3.34
14	100	1.5	0.053	Eau	1.0	2.828	2.856
					1.35	3.818	3.855
					1.427	4.034	4.389
15	100	0.5	0.152	Eau	1.56	4.411	4.445
					1.294	3.66	3.76
					2.246	6.353	6.36
16	100	1.5	0.152	Eau	2.333	6.6	6.8
					1.924	5.44	5.56
					2.787	7.88	7.92
17	50	1	0.053	Eau	1.181	3.34	3.9
					1.062	3.003	3.356
					1.15	3.257	3.724
					1.11	3.14	3.2

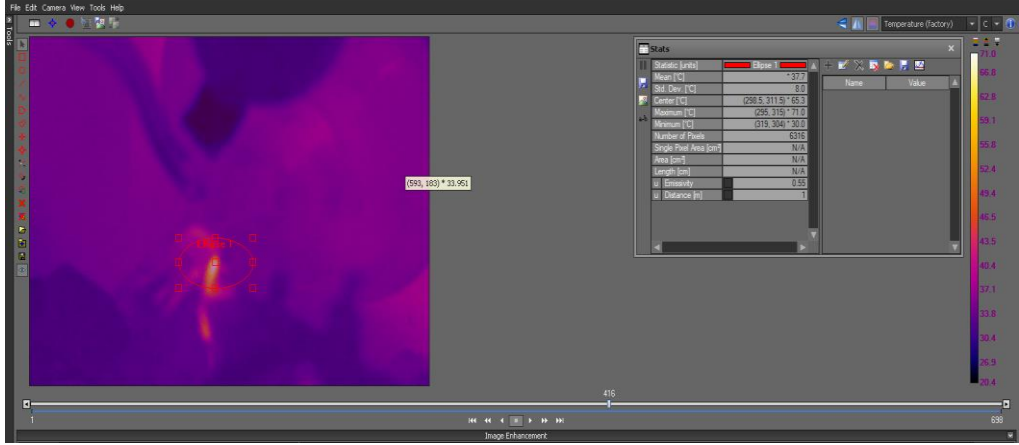
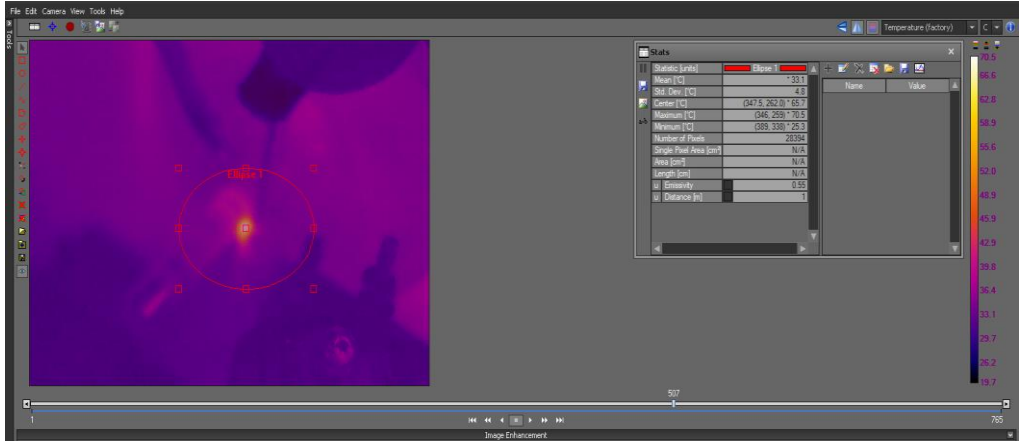
18	150	1	0.053	Eau	1.012	2.863	3.118
					1.091	3.087	3.252
19	50	1	0.152	Eau	1.57	4.44	4.7
					1.53	4.327	4.369
					2.178	6.16	6.92
20	150	1	0.152	Eau	1.761	4.98	5.36
					2.192	6.2	7.0
					1.36	3.846	3.884
21	100	0.5	0.106	Sec	1.669	4.72	5.2
					0.953	2.694	2.721
					1.335	3.779	4.034
22	100	1.5	0.106	Sec	1.534	4.34	4.86
					1.46	4.129	4.17
					1.758	4.971	5.49
23	100	0.5	0.106	Lubrifié	1.068	3.02	3.08
					1.037	2.925	2.939
					1.06	3.004	3.02
24	100	1.5	0.106	Lubrifié	1.055	2.983	3.013
					1.492	4.22	4.8
					1.81	5.12	5.6
25	100	1	0.106	Eau	1.43	4.044	4.084
					1.584	4.48	5.12
					1.14	3.223	3.255
26	100	1	0.106	Eau	1.215	3.435	3.47
					1.315	3.72	4.22
					1.631	4.608	4.796
27	100	1	0.106	Eau	1.42	4.019	4.30
					1.165	3.294	3.55
					1.552	4.417	4.522

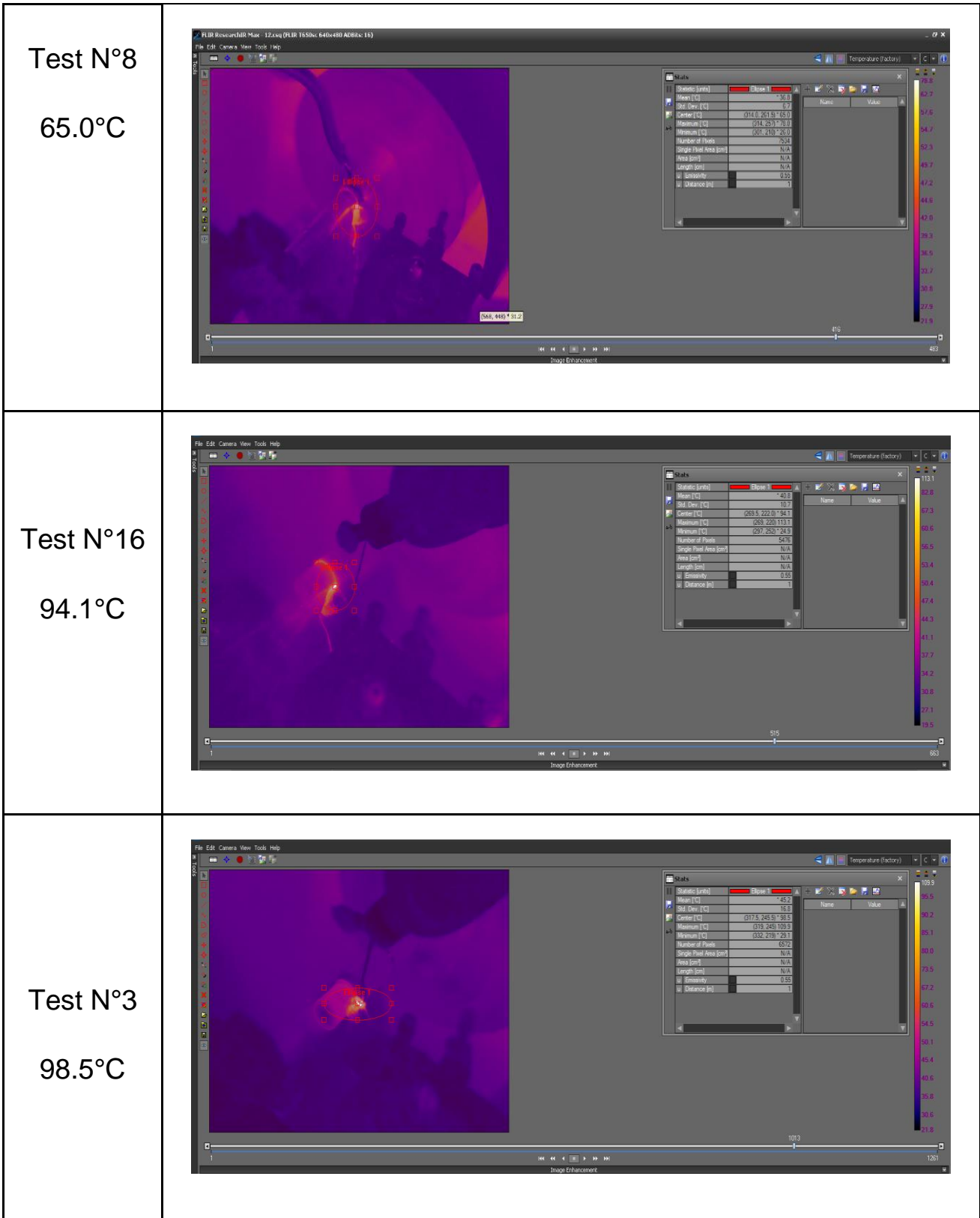
الجدول 3.IV. النتائج النهائية.

N°exp	العوامل				الاستجابات			
	Vc	ap	Vf	Ec	Ra moy	Rz moy	Rt moy	T
01	50	0.5	0.106	Eau	1.161	3.284	3.49	41.8
02	150	0.5	0.106	Eau	1.260	3.564	3.793	65.1
03	50	1.5	0.106	Eau	1.651	4.67	5.1	98.5
04	150	1.5	0.106	Eau	1.516	4.287	4.587	78.3
05	100	1	0.053	Sec	1.38	3.700	4.28	72.1
06	100	1	0.152	Sec	1.782	4.04	5.560	96.5
07	100	1	0.053	Lubrifié	1.035	2.926	2.956	34.1
08	100	1	0.152	Lubrifié	1.595	4.51	4.555	65.0
09	50	1	0.106	Sec	1.541	4.36	4.74	76.6
10	150	1	0.106	Sec	1.5	4.242	4.567	88.2
11	50	1	0.106	Lubrifié	1.244	3.52	3.628	40.9
12	150	1	0.106	Lubrifié	1.185	3.351	3.384	52.0
13	100	0.5	0.053	Eau	1.041	2.945	3.161	42.8
14	100	1.5	0.053	Eau	1.259	3.56	3.7	97.9
15	100	0.5	0.152	Eau	1.7	4.808	4.855	63.8
16	100	1.5	0.152	Eau	2.348	6.64	6.76	94.1
17	50	1	0.053	Eau	1.131	3.2	3.666	40.4
18	150	1	0.053	Eau	1.071	3.03	3.19	50.8
19	50	1	0.152	Eau	1.759	4.976	5.330	87.3
20	150	1	0.152	Eau	1.771	5.009	5.415	99.1
21	100	0.5	0.106	Sec	1.319	3.731	3.985	64.5
22	100	1.5	0.106	Sec	1.584	4.48	4.84	113.0
23	100	0.5	0.106	Lubrifié	1.055	2.983	3.013	40.4
24	100	1.5	0.106	Lubrifié	1.452	4.108	4.471	55.8
25	100	1	0.106	Eau	1.385	3.916	4.153	66.2
26	100	1	0.106	Eau	1.387	3.921	4.162	65.7
27	100	1	0.106	Eau	1.379	3.91	4.124	65.3

يوضح الجدول 4.IV بعض الصور الحرارية لعملية القطع الخاصة بالتجارب (3، 8، 16، 26 و 27) والتي تم أخذها من برنامج FLIR Researchir Max التابع للكاميرا الحرارية التي تم استعمالها في التجارب.

الجدول 4.IV. عملية قياس درجة الحرارة.

	صورة حرارية لبعض التجارب
<p>Test N°27 65.3°C</p>	
<p>Test N°26 65.7°C</p>	



5.IV. تحليل النتائج والمناقشة

1.5.IV. التحليل الاحصائي

تم استخدام ANOVA لتحليل تباين البيانات لخشونة السطح ودرجة الحرارة. وكان الغرض الرئيسي هو تحليل تأثير سرعة القطع وسرعة التغذية وعمق القطع وبيئة القطع على التباين الكلي للنتائج الخاصة بخشونة السطح ودرجة الحرارة.

توضح الجداول من 5.IV إلى 8.IV نتائج تحليل التباين لـ Ra و Rt و Rz و T على التوالي. تم إجراء هذا التحليل لقيم P-Value أقل من 0.05 (موثوقية 95%).

1.1.5.IV. التحليل التباين ANOVA لخشونة السطح Ra، Rz، Rt

يوضح الجدول 5.IV نتائج تحليل التباين لمعيار خشونة السطح Ra، حيث نلاحظ أن العوامل الأكثر تأثيراً على Ra هي سرعة التغذية، عمق القطع وبيئة القطع، لأن قيمة P بالنسبة لهذه العوامل هي أقل من 0.05. كما نلاحظ أيضاً أن أهم عامل مؤثر على مقدار خشونة السطح Ra هو سرعة التغذية بمساهمة قدرها 59.05%. يساهم عمق القطع بنسبة 18.72% وهو ثاني أكثر العوامل تأثيراً. وفي المركز الثالث نجد تأثير بيئة القطع (Ec) بمساهمة قدرها 8.59%، أما سرعة القطع Vc فقد كان تأثيرها صغيراً جداً مقارنة بتأثير شروط القطع السابقة فهي تساهم فقط بنسبة 0.12% في التأثير على خشونة السطح Ra كما أن P-Value=0.659307176 الخاص بها أكبر من 0.05.

الجدول 5.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع وبيئة القطع على Ra.

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Vc	1	0.00282	0.12%	0.00282	0.00282	0.20	0.659307176
ap	1	0.43066	18.72%	0.43066	0.43066	30.45	0.000015158
Vf	1	1.35859	59.05%	1.35859	1.35859	96.07	0.000000002
Ec	1	0.19756	8.59%	0.19756	0.19756	13.97	0.001141049
Error	22	0.31110	13.52%	0.31110	0.01414		
Total	26	2.30073	100.00%				

يبين الجدول 6.IV نتائج تحليل التباين لمعيار خشونة السطح RZ. من خلال هذا الجدول فإن العوامل التي لها قيمة P أقل من 0.05 هي: سرعة التغذية، عمق القطع وبيئة القطع وهي الأكثر تأثيراً على معيار نوعية السطح RZ. بعد تحليل هذا الجدول يمكن أن نرى أن سرعة التغذية تساهم بالتأثير الأكبر بنسبة 60.73% متبوعة بعمق القطع بقيمة 18.69%، يليها بيئة القطع (Ec) بمساهمة 7.81%. أما فيما يتعلق بسرعة القطع فلها مساهمة ضعيفة تقدر بـ 0.11% مقارنةً بالعوامل سابقة الذكر وما يؤكد هذه النتيجة قيمة P- Value التي تساوي 0.66، هذه القيمة التي تعني أنها لا تساهم أو لا تؤثر بشكل كبير على معيار الخشونة RZ.

الجدول 6.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع وبيئة القطع على RZ.

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Vc	1	0.0207	0.11%	0.0207	0.0207	0.19	0.663296142
ap	1	3.4446	18.69%	3.4446	3.4446	32.46	0.000009919
Vf	1	11.1952	60.73%	11.1952	11.1952	105.50	0.000000001
Ec	1	1.4389	7.81%	1.4389	1.4389	13.56	0.001304556
Error	22	2.3346	12.66%	2.3346	0.1061		
Total	26	18.4339	100.00%				

الجدول 7.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع وبيئة القطع على Rt.

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Vc	1	0.0855	0.41%	0.0855	0.0855	0.80	0.380508870
ap	1	4.2729	20.60%	4.2729	4.2729	40.04	0.000002284
Vf	1	11.0725	53.38%	11.0725	11.0725	103.76	0.000000001
Ec	1	2.9651	14.29%	2.9651	2.9651	27.78	0.000027393
Error	22	2.3478	11.32%	2.3478	0.1067		
Total	26	20.7437	100.00%				

الجدول 7.IV يبين نتائج تحليل ANOVA لمعيار الخشونة Rt، حيث يمكن ملاحظة أن سرعة القطع لا تساهم في مقاييس الأداء لأن P-Value=0.380508870 وهي أكبر من 0.05. كما يمكننا القول بالاعتماد على النتائج المدونة في هذا الجدول أن العامل الأكثر أهمية هو سرعة التغذية بمساهمة قدرها 53.38% وتليها عمق القطع بمساهمة 20.60% وفي المركز الثالث نجد بيئة القطع (Ec) بمساهمة تساوي إلى 14.29% حيث أن قيمة P الخاصة بهذه العوامل الثلاثة هي أقل من 0.05 وهذا ما يؤكد أهميتها في التأثير على الخشونة Rt.

2.1.5.IV. التحليل التباين ANOVA لحرارة القطع T

يلخص الجدول 8.IV نتائج تحليل التباين لدرجة حرارة التشغيل ونلاحظ أن أهم عامل مؤثر على معيار T هو بيئة القطع (Ec) بمساهمة قدرها 32.38%. يساهم عمق القطع بنسبة 31.37% وهو ثاني أكثر العوامل تأثيراً. وفي المركز الثالث نجد أن مساهمة سرعة التغذية في التأثير على حرارة القطع قدرها 18.36%. أما تأثير سرعة القطع Vc غير مهم احصائياً P-Value=0.169351441 حيث أنها تساهم بنسبة 1.50% فقط في نتائج الحرارة.

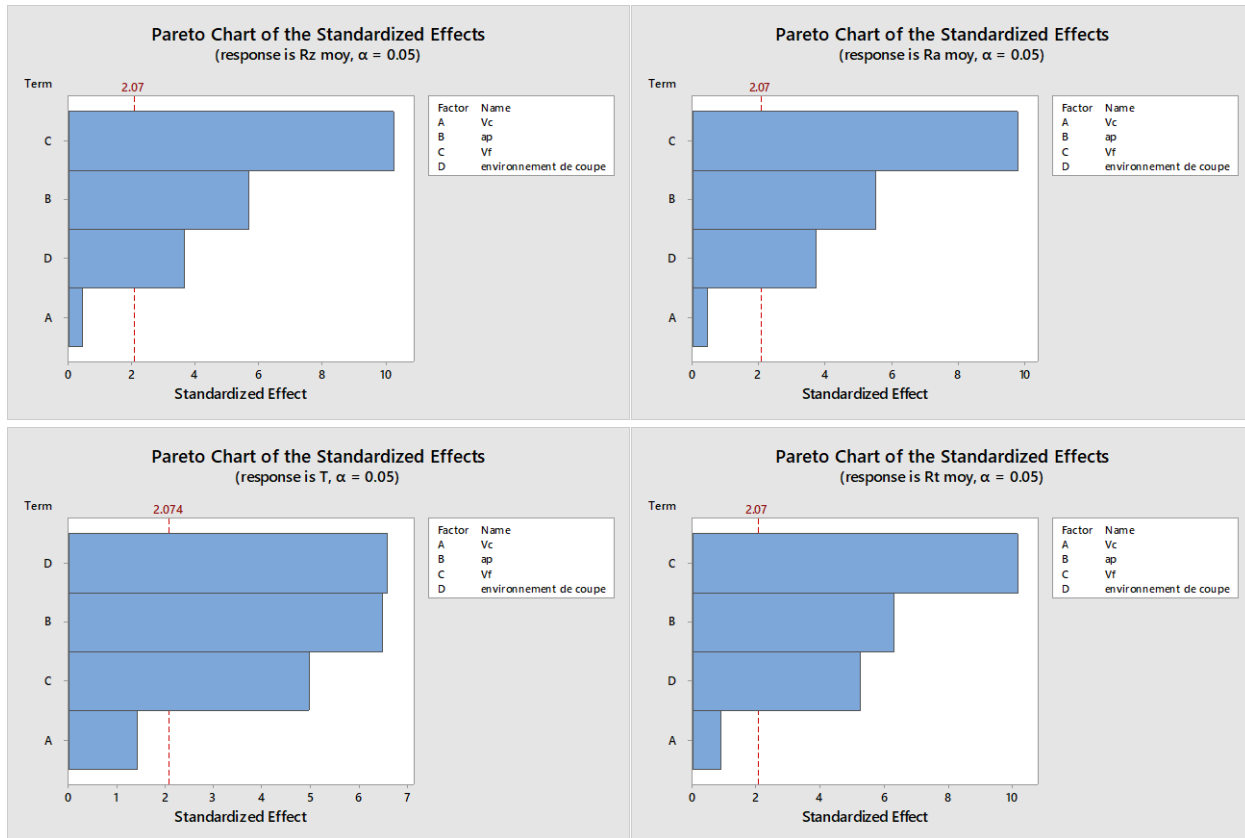
الجدول 8.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع وبيئة القطع على T.

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Vc	1	192.0	1.50%	192.0	192.00	2.02	0.169351441
ap	1	4004.1	31.37%	4004.1	4004.05	42.11	0.000001580
Vf	1	2343.6	18.36%	2343.6	2343.61	24.65	0.000057424
Ec	1	4132.9	32.38%	4132.9	4132.94	43.46	0.000001249
Error	22	2092.0	16.39%	2092.0	95.09		
Total	26	12764.6	100.00%				

2.5.IV. الرسم البياني Pareto لنتائج تحليل التباين

وللحصول على رؤية أفضل لنتائج تحليل التباين تم بناء رسم بياني Pareto الخاص بخشونة السطح و حرارة التشغيل وهذه البيانات موضحة في الشكل 1.IV. يصنف هذا الشكل معاملات القطع وبيئة القطع لتأثيرها المتزايد على خشونة السطح ودرجة الحرارة. يتم توحيد التأثيرات F-Value لإجراء مقارنة أفضل. يتم الحصول على القيم المعيارية في

هذا الشكل عن طريق قسمة تأثير كل عامل على الخطأ في القيمة المقدرة للعامل المقابل. كلما كان التأثير أكثر توحيدا كلما زاد اعتبار العامل مؤثرا. إذا كانت قيم جدول F-Value أكبر من 2.07 فإن التأثيرات تكون مهمة بالعكس إذا كانت قيم الجدول F-Value أقل من 2.07 فإن التأثيرات تكون ليست مهمة. مستوى الثقة المختار هي 95%.



الشكل 1.IV. رسم بياني Pareto لتأثير معاملات القطع وبيئة القطع على خشونة السطح ودرجة الحرارة.

3.5.IV. تحليل الانحدار

تم تمثيل العلاقة بين المدخلات وقياسات الأداء عن طريق الانحدار الخطي. يعد معامل التحديد R^2 معيارًا مهمًا يتم تعريفه على أنه نسبة التباين الموضح إلى التباين الإجمالي وهو مقياس لدرجة التعديل أما R^2 (adj) هو مقياس متوسط موضح بنموذج معدل لعدد المصطلحات في النموذج. معادلات الانحدار التي تم الحصول عليها معطاة بالمعادلات في الفقرة الموالية.

1.3.5.IV. تحليل الانحدار لمقادير خشونة السطح

النماذج الرياضية لخشونة السطح Ra، Rz، Rt موضح أدناه في المعادلات 1.IV، 2.IV، 3.IV على التوالي. من خلال الجداول 9.IV، 10.IV، 11.IV نلاحظ أن معامل التحديد R² هو 86.48% لمتوسط الخشونة الحسابي Ra أما معامل التحديد لمتوسط الخشونة الكلية Rz هو 87.34% وبالنسبة للخشونة الكلية Rt فان معامل التحديد الخاص بها فهو 88.68%. وهي نسب جيدة حيث أن القيم الثلاثة أكبر من 86% وهي نسب تمثل التقارب بين القيم التجريبية المتحصل عليها تجريبيا و القيم النظرية.

$$Ra \text{ moy} = 1.4256 - 0.0153 Vc + 0.1894 ap + 0.3365 Vf - 0.1283 Ec \dots 1.IV$$

الجدول 9.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي.

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.118916	86.48%	84.02%	0.487968	78.79%

$$Rz \text{ moy} = 4.0236 - 0.0415 Vc + 0.5358 ap + 0.9659 Vf - 0.3463 Ec \dots 2.IV$$

الجدول 10.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي.

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.325759	87.34%	85.03%	3.66433	80.12%

$$Rt \text{ moy} = 4.2762 - 0.0844 Vc + 0.5967 ap + 0.9606 Vf - 0.4971 Ec \dots 3.IV$$

الجدول 11.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي.

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0.326675	88.68%	86.62%	3.67695	82.27%

2.3.5.IV. تحليل الانحدار لحرارة القطع

النموذج الرياضي لحرارة القطع T موضح في المعادلة 4.IV . من الجدول 12.IV، عامل التحديد R^2 بالنسبة لهذه الاستجابة هو 0.8361 أي أن نسبة التوافق بين القيم النظرية التي يتم حسابها من خلال النموذج الرياضي لحرارة التشغيل بالتعويض بشروط القطع وبيئة التشغيل الموافقة، و النتائج التجريبية تقدر بـ 83.61%. وهذه القيم الخاص بمعامل التحديد جيدة لأن قيمة هذا المعامل تكون جيدة كلما اقتربت من 1 ونسبته اقتربت من 100%.

$$T = 68.75 + 4.00 Vc + 18.27 ap + 13.97 Vf - 18.56 Ec \dots 4.IV$$

الجدول 12.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي.

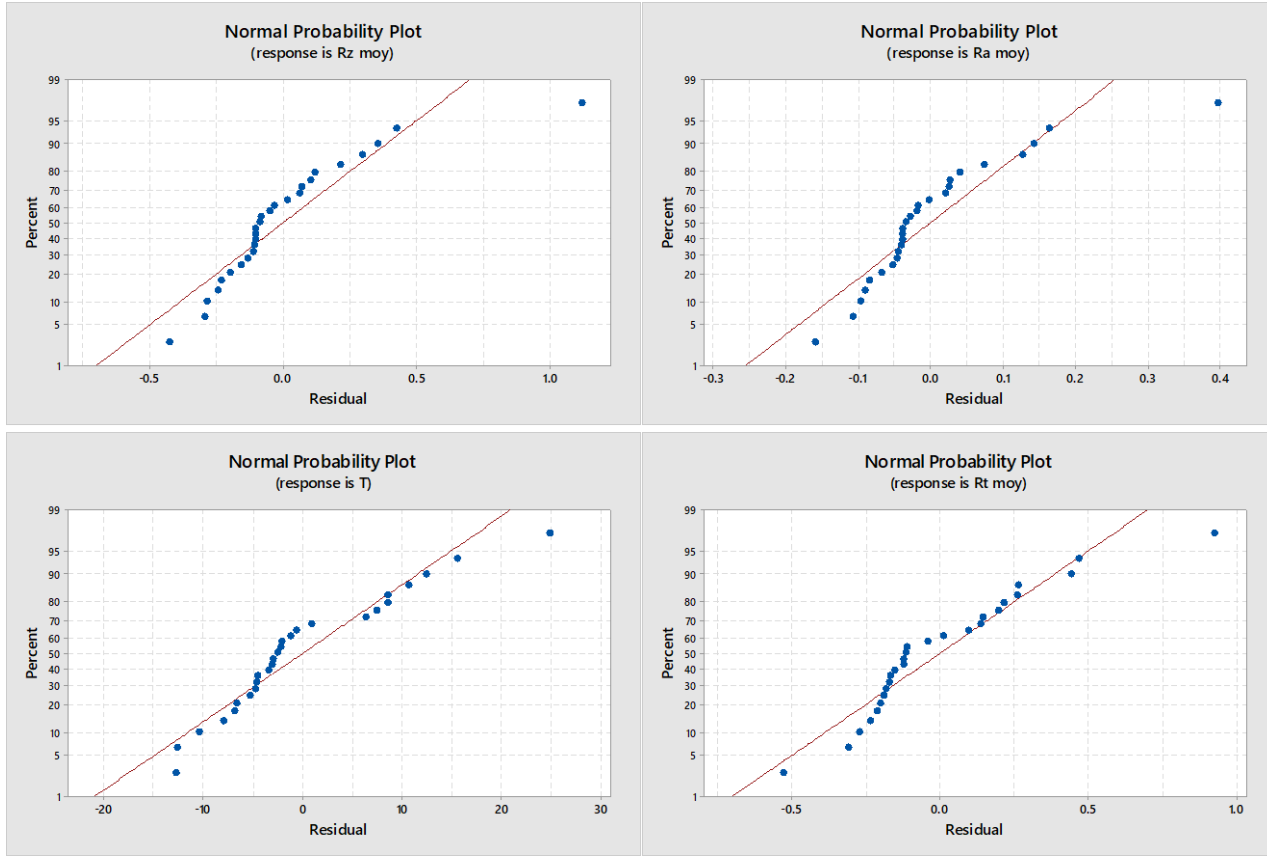
S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
9.75152	83.61%	80.63%	3285.47	74.26%

وفقاً لمعادلات الانحدار المقدمة، يمكننا ملاحظة أن نموذج الانحدار التربيعي لخشونة السطح Ra و Rz و Rt ودرجة الحرارة T له معامل R^2 مرتفعة يساوي 86.48%، 87.34%، 88.68%، 83.61% على التوالي، يعد هذا المعامل مقياساً إحصائياً يشير إلى مدى توافق البيانات المقاسة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج. تعتبر النماذج الناتجة ذات دلالة إحصائية كلما اقترب R^2 من القيمة 1 وتعني أن النموذج متوافقاً مع القيم الحقيقية (التجريبية) [21].

3.3.5.IV. مخططات الاحتمالية الطبيعي لخشونة السطح و حرارة القطع

تعتبر الأساليب الرسومية والعددية أداة أساسية وتأكيدية، لذلك يتم تطبيق التقنيات الرسومية أيضاً للتحقق من صحة النماذج في هذه الدراسة .

أظهرت مقارنة القيم المتوقعة للنموذج المطور مع البيانات التجريبية تطابقاً هاماً، مما يدعم صحة تنبؤاته فيما يتعلق بقياسات الخشونة ودرجة الحرارة. بناءً على ذلك يعد مخطط أكثر تماسكاً وملاءمة في التنبؤ بهذه المعايير.



الشكل 2.IV. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبأ بها النموذج الاحصائي.

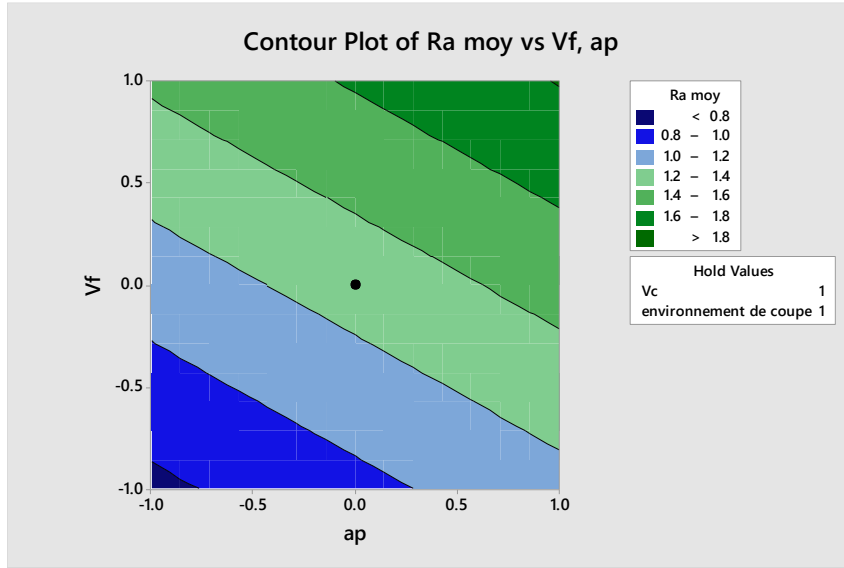
يمثل الشكل 2.IV. مخططات الاحتمالية الطبيعي لمعايير الخشونة وحرارة القطع. مخطط الاحتمالية الطبيعي يستخدم في تحليل الانحدار لتقييم مدى تناسب البيانات مع النموذج الاحتمالي. ففي هذه المخططات التي تتبع توزيعاً احتمالياً طبيعياً، نلاحظ أن النقاط الموجودة والممثلة باللون الأزرق على المخطط قريبة من الخط المستقيم والممثل باللون الأحمر وهو عبارة عن رسم بياني للنموذج الرياضي. قرب النقاط من الخط المستقيم يدل على تناسب البيانات مع النموذج.

4.5.IV. تحليل الرسومات البيانية

تظهر الرسومات البيانية ثنائية الأبعاد لخشونة السطح ودرجة الحرارة في الأشكال 3.IV، 4.IV، 5.IV، و6.IV. يمكن أن تساعد هذه الرسومات البيانية في التنبؤ بالخشونة أو الحرارة في أي منطقة من المجال التجريبي. في الرسومات البيانية التالية تم الأخذ بعين الاعتبار، من أجل مناقشة البيانات، العاملين الأكثر مساهمة على كل من خشونة السطح وحرارة القطع أما العاملين المتبقين فتم اعتبارهما عند مستويات ثابتة.

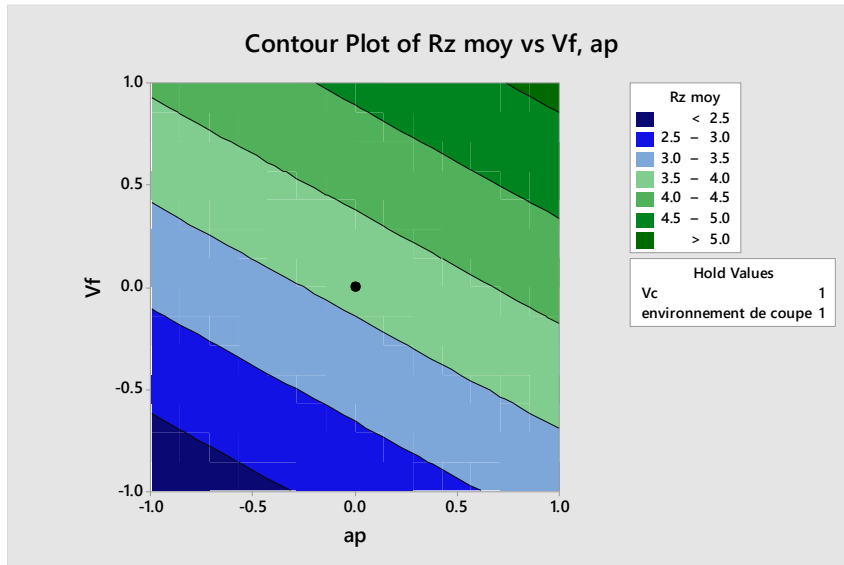
1.4.5.IV. تحليل الرسم البياني لمتوسط الخشونة Ra

يوضح الشكل 3.IV تأثير سرعة التغذية وعمق القطع على متوسط الخشونة Ra، بينما يتم الاحتفاظ بسرعة القطع وبيئة القطع (Ec) عند معدل ثابت، تبين من هذا الشكل أن كلما قلت قيمة عمق القطع وسرعة التغذية يتم الحصول على أفضل متوسط خشونة Ra.



الشكل 3.IV. تأثير سرعة التغذية وعمق القطع على Ra.

2.4.5.IV. تحليل الرسم البياني لمتوسط الخشونة الكلية Rz

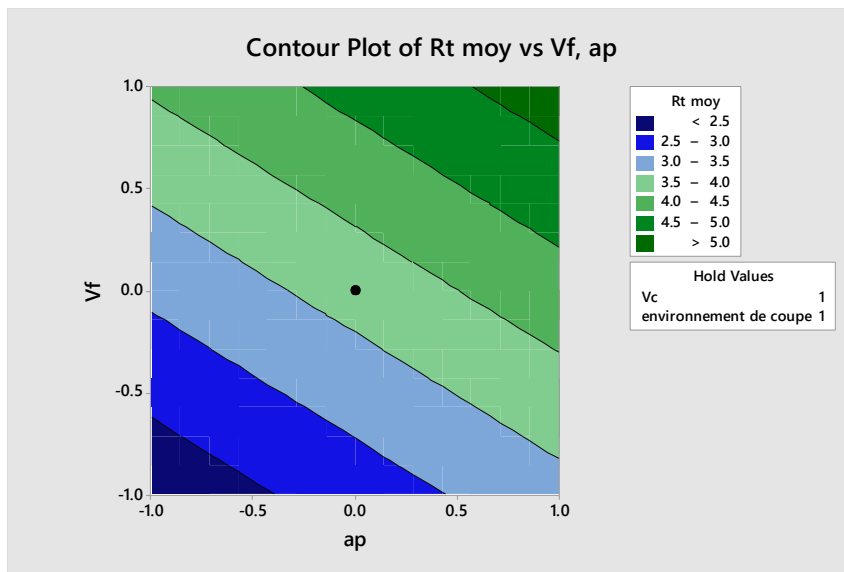


الشكل 4.IV. تأثير سرعة التغذية وعمق القطع على Rz.

يظهر في الشكل 4.IV تأثير سرعة التغذية وعمق القطع على متوسط الخشونة الكلية Rz، يوضح هذا أن متوسط الخشونة الكلية تقل مع نقصان كلا من سرعة التغذية وعمق القطع عند معدل ثابت لكلا من سرعة القطع وبيئة القطع (Ec).

3.4.5.IV تحليل الرسم البياني للخشونة الكلية Rt

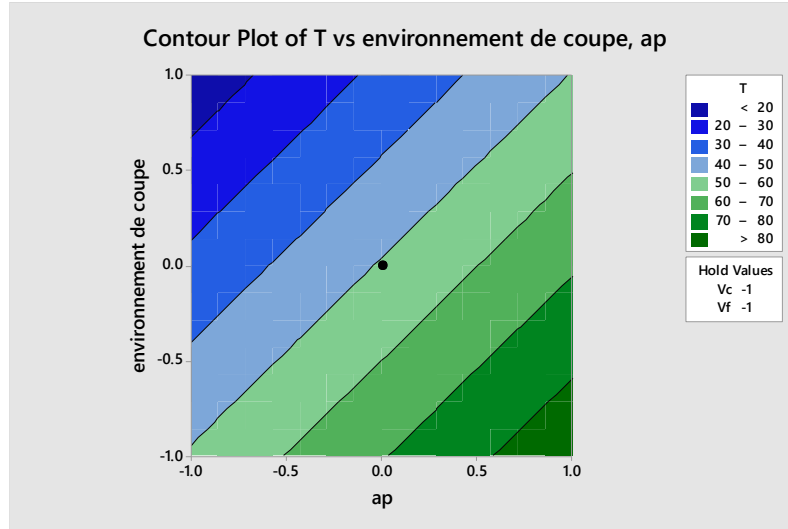
وفقا للبيانات المقدمة في الشكل 5.IV، نرى أن أفضل خشونة سطح يمكن الحصول عليها عندما تكون كلا من سرعة التغذية وعمق القطع منخفض عند معدل ثابت لكلا من سرعة القطع وبيئة القطع (Ec).



الشكل 5.IV. تأثير سرعة التغذية وعمق القطع على Rt.

4.4.5.IV تحليل الرسم البياني لدرجة الحرارة T

يوضح الشكل 6.IV تأثير بيئة القطع (Ec) وعمق القطع على درجة الحرارة، بينما يتم الاحتفاظ بسرعة القطع وسرعة التغذية عند المستوى المنخفض، كما يتبين من هذا الشكل أن كلما قلت قيمة عمق القطع مع اختيار أعلى مستوى لبيئة القطع يتم الحصول على قيمة درجة الحرارة المثلى.



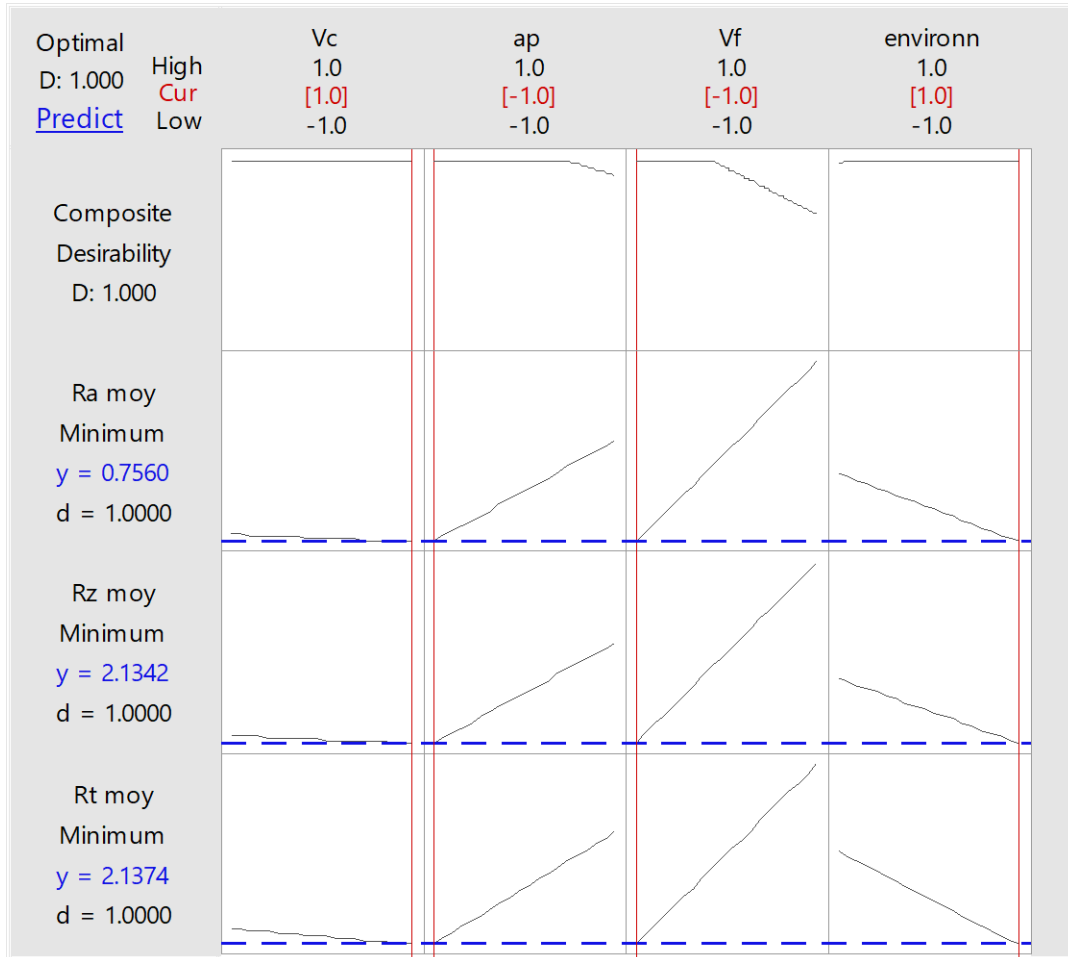
الشكل 6.IV. تأثير بيئة القطع وعمق القطع على درجة الحرارة T.

5.5.IV. تحسين الاستجابة Response Optimization

من أجل تحديد ظروف القطع المثلى لخشونة السطح ودرجة الحرارة التشغيل، يتم تحديد قيم سرعة القطع (V_c) وعمق القطع (a_p) وسرعة التغذية (V_f) ونوع بيئة القطع (E_c) التي تعطي قيم منخفضة لكل من R_z ، R_t ، R_a ، و T . تتم عملية التقليل تلقائياً باستخدام أداة Response Optimization في برنامج Minitab18. تحدد هذه الأداة مجموعة المتغيرات المثالية (V_c ، a_p ، V_f ، و E_c) التي تجعل من الممكن خفض خشونة السطح ودرجة حرارة القطع. من بين الأهداف المرجوة في هذا العمل هو تحديد القيم المثلى لظروف القطع عند خراطة البرونز لتحسين الاستجابة وبالإضافة إلى إنشاء رسم بياني لهذا التحسين.

1.5.5.IV. تحسين الاستجابة لخشونة السطح R_a moy, R_z moy, R_t moy

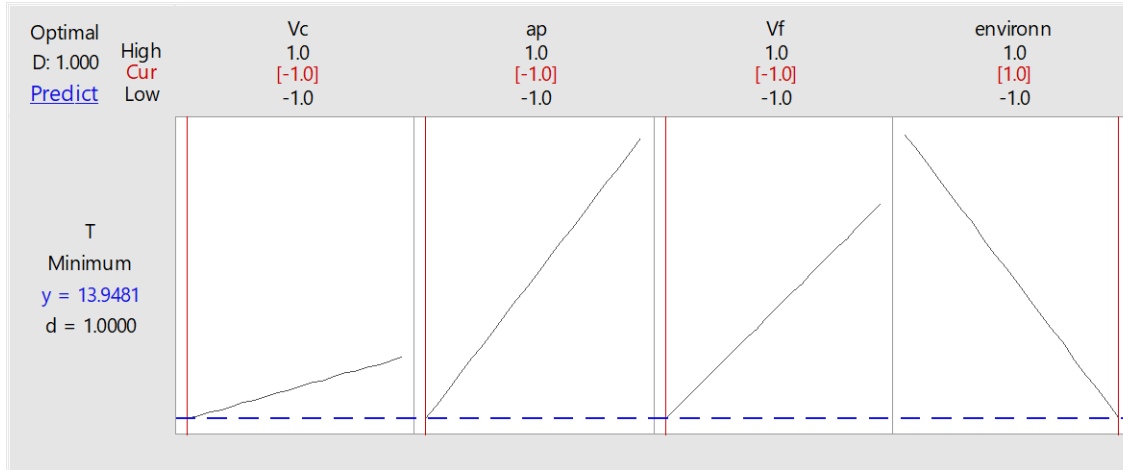
من خلال البيانات الممثلة في الشكل 7.IV يمكن استخراج القيم المثلى لعوامل القطع وهي $V_c=150\text{m/mn}$ ، $a_p=0.5\text{mm}$ ، $V_f=0.053\text{mm/rev}$ ، $E_c=\text{Lubrifié}$. تم تمثيل هذه القيم بالخط الأحمر (Cur) في الجزء العلوي من مخطط التحسين وكانت نسبة الاستحسان التي تم الحصول عليها هي 100%، مما يدل على كفاءة النماذج التحليلية التي تصف الاستجابات المختلفة لتصميم التجربة. يتم عرض تنبؤات القيم الدنيا للاستجابات باللون الأزرق في الرسم التخطيطي وتتوافق مع $R_z=2.1342\mu\text{m}$ ، $R_a=0.756\mu\text{m}$ ، $R_t=2.1374$.



الشكل 7.IV. مخطط تحسين الاستجابة لخشونة السطح Ra moy, Rz moy, Rt moy.

2.5.5.IV. تحسين الاستجابة لدرجة الحرارة T

من خلال البيانات الموجودة في الشكل 8.IV، نرى أن القيم المثلى لعوامل القطع هي من الأحمر (Cur) في الجزء العلوي من مخطط التحسين وكانت نسبة الاستحسان التي تم الحصول عليها هي 100%، مما يدل على كفاءة النماذج التحليلية التي تصف الاستجابات المختلفة لتصميم التجربة. يتم عرض تنبؤات القيم الأدنى للاستجابات باللون الأزرق في الرسم التخطيطي وتتوافق مع $T=13.9481^{\circ}\text{C}$.



الشكل 8.IV. مخطط تحسين الاستجابة لدرجة الحرارة.

6.5.IV. تجارب التأكيد

1.6.5.IV. تجارب التأكيد لخشونة السطح Ra moy, Rz moy, Rt moy

تم اختيار العوامل المثلى لكل من $V_f=0.053\text{mm/rev}$ ، $a_p=0.5\text{mm}$ ، $V_c=150\text{m/mn}$ و $E_c=\text{Lubrifié}$ وذلك من أجل اجراء تجربة التحقق.

الجدول 13.IV. تجارب التأكيد لخشونة السطح.

	Vc	ap	Vf	Ec	Ra	Rz	Rt
القيم النظرية	150	0.5	0.053	Lubrifié	0.756	2.134	2.137
القيم التجريبية	150	0.5	0.053	Lubrifié	0.885	2.502	2.527

تشير نتائج الجدول 13.IV الى التوافق الكبير بين القيم النظرية والقيم المقاسة التي تم الحصول عليها من خلال عملية التشغيل في المستويات المثلى لظروف القطع، حيث تقع جميع القيم التجريبية للتشغيل ضمن نطاق التنبؤ %95.

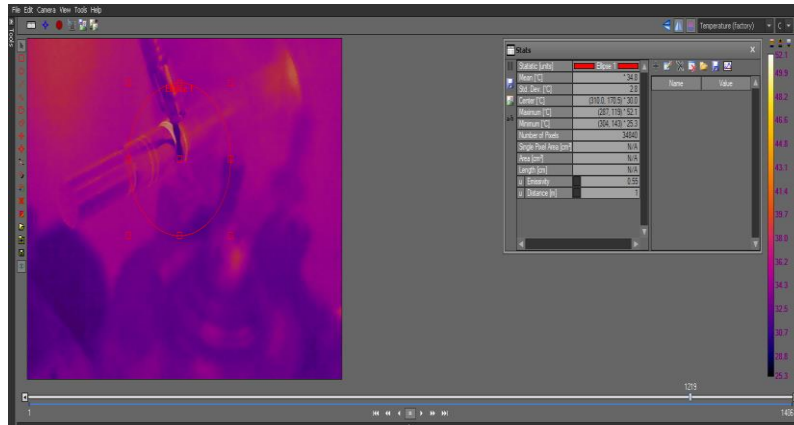
2.6.5.IV. تجارب التأكيد لدرجة الحرارة T

تم اجراء تجربة التحقق من تحسين الاستجابة على قطعة برونزية باستخدام مجموعة من العوامل المثلى $V_f=0.053\text{mm/rev}$ ، $a_p=0.5\text{mm}$ ، $V_c=50\text{m/mn}$ و $E_c=\text{Lubrifié}$. من الجدول 14.IV يمكن ملاحظة

أن القيمة المقاسة لدرجة الحرارة قريبة من القيمة النظرية ومنه أن جميع القيم التجريبية لتشغيل التأكيد تقع ضمن نطاق التنبؤ 95%. يوضح الشكل 9.IV. صورة حرارية لدرجة حرارة القطع لتجربة التحقق والتي تم تشغيلها بظروف القطع المثلى سابقة الذكر.

الجدول 14.IV. تجارب التأكيد لدرجة الحرارة.

	Vc	ap	Vf	Ec	T
القيمة النظرية	50	0.5	0.053	Lubrifié	13.9481
القيمة التجريبية	50	0.5	0.053	Lubrifié	25.3



الشكل 9.IV. صورة حرارية لدرجة حرارة القطع لتجربة التحقق.

7.IV. خاتمة

عرض هذا الفصل تأثير عوامل القطع (سرعة القطع Vc وعمق القطع ap وسرعة التغذية Vf) و بيئة القطع (Ec) على خشونة السطح ودرجة الحرارة أثناء خراطة قضبان البرونز. حيث وجد أن سرعة التغذية له الأثر الأكبر احصائيا على خشونة السطح بينما عمق القطع وبيئة القطع (Ec) لها تأثير متوسط أما سرعة القطع لها تأثير ضئيل جدا على خشونة السطح. أما بالنسبة لدرجة الحرارة التشغيل فهي تتأثر بشكل كبير ببيئة القطع (Ec) وعمق القطع. كما استطعنا في هذا الفصل تعيين قيم الظروف المثلى للقطع وبالتالي تحسين الاستجابة لكلى المتغيرين والتحقق من هذه النتائج من خلال القيام بتجارب تأكيدية.

خاتمة عامة

توصلت هذه الدراسة إلى فهم أفضل لتأثير شروط القطع (سرعة القطع، سرعة التغذية، وعمق القطع، وبيئة القطع) على خشونة السطح ودرجة الحرارة في عملية الخراط الطولي للبرونز CuSn7Pb6Zn4 بالاعتماد على منهجية Box Behnken في تصميم التجارب المنجزة .

الاستنتاجات الرئيسية المستخلصة من هذا العمل هي:

✓ تحليل نتائج ANOVA لمعايير خشونة السطح Ra، Rz، Rt أظهرت أن سرعة التغذية يليها عمق القطع ثم في المرتبة الثالثة نجد بيئة القطع هي العوامل الأكثر أهمية والأكثر مساهمة في استجابة السطح أما سرعة القطع فهي أقل مساهمة وهي لا تؤثر على نوعية السطح. هذه النتائج التي تم تأكيدها بمخططات Pareto.

✓ بالاعتماد على تحليل الانحدار تم انشاء النموذج الرياضي لكل من الخشونة و حرارة التشغيل. كما بين تحليل الانحدار أن نسبة التوافق بين النتائج التجريبية والاستجابات النظرية، والممثلة بنسبة معامل التحديد، فيما يخص الاستجابتين المدروستين نوعية السطح وحرارة القطع فاقت 85% وهي نسبة جيدة جداً وهو ما أكدته مخططات الاحتمالية الطبيعي.

✓ من خلال نتائج تحسين الاستجابة أظهرت أن القيم المثلى لظروف القطع هي لكل من $V_c=150\text{m/mn}$ ، $V_f=0.053\text{mm/rev}$ و $a_p=0.5\text{mm}$ ، $E_c=\text{Lubrifie}$ بالنسبة لخشونة السطح حيث أعطت هذه القيم أفضل نوعية سطح $R_a = 0.885\mu\text{m}$ ، $R_z = 2.502\mu\text{m}$ ، $R_t=2.527\mu\text{m}$. القيم المثلى لظروف القطع التي أعطت أقل درجة لحرارة القطع $T=25.3^\circ\text{C}$ هي $V_c=50\text{m/mn}$ ، $a_p=0.5\text{mm}$ ، $V_f=0.053\text{mm/rev}$ و $E_c =\text{Lubrifie}$. تم التحقق من هذه النتائج الخاصة بتجارب التحقق الخاصة بقيم الخشونة وحرارة القطع من خلال مقارنتها مع القيم النظرية حيث تبين التقارب الكبير بين القيم.

وتشير هذه النتائج إلى أنه من المهم مراعاة شروط القطع بعناية عند تصنيع المكونات الميكانيكية لضمان تحقيق جودة سطح مناسبة والرفع من أداءها والحفاظ على أداة القطع من خلال خفض حرارة التشغيل.

- [1] Kamel FED, « Technologie de fabrication » , Institut des Sciences et Techniques Appliquées de Constantine, 2020–2021.
- [2] Aurelien Maurel–Pantel, « Etude expérimentale et modélisation par éléments finis du procédé de fraisage : Applications à l'identification paramétrique des lois de comportement», Thèse de Doctorat 2009, Université de Franche–Comté.
- [3] Site internet Sandvik, [http ://www.coromant.sandvik.com/fr](http://www.coromant.sandvik.com/fr). Vu le 15.11.2023
- [4] Rocardier, « Cours sur le Tournage – Usinage Cours Technologie », 2011.
- [5] يونس الفسفوس، جلال السلايمة، عبدالله عبدالحفيظ، نزيه الدراويش ، « الخراطة والتسوية الالية» ، الطبعة الأولى ، مركز المنهاج، 2006.
- [6] دم.هاني السيد عبد الحلیم، « تشغيل ماكينات الخراطة»، البنك الاسلامي للتنمية ، 2017/2016.
- [7] علي ابراهيم الموسوي، «عملية تصنيع المعادن» ، الطبعة الأولى، دار الرضوان للنشر والتوزيع، 2012.
- [8] عبد المسيح جرجس منقريوس، سعيد بيومي الشيخ، « تكنولوجيا الخراطة تخصص تشغيل معادن».
- [9] Dr. BENNEGADI Mohammed El Larbi, « Coupe des Métaux en Fabrication Mécanique et Productique» ,Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf,2018.
- [10] دم.هاني السيد عبد الحلیم، « تكنولوجيا الخراطة والحساب الفني»، البنك الاسلامي للتنمية، 2017/2016.
- [11] أحمد علي محمد، «أجهزة قياس الخشونة السطحية وأجهزة قياس القساوة»، بحث ماجستير 2020، جامعة تشرين - سوريا.
- [12] حسين فاروق علي، «تكنولوجيا وحساب فني التحكم الرقمي بالحاسب الالي خراطة»، الادارة العامة للبرامج والمواصفات.
- [13] REMLI Fethi, « L'effet d'usinage par tournage sur un acier XC18» ,Thèse de Doctorat 16 octobre 2016, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [14] Mourad ABDELKRIM, « Détermination de la densité de chaleur à l'interface pièce outil:Application au tournage» , Thèse de Doctorat 10/04/2017, Université de Batna 2.
- [15] Cours: Coupe des métaux CH–V: Choix des conditions de coupe.

- [16] Jacques Goupy, Lee Creighton, « Introduction Aux Plans D'expériences » , Bordas, Paris, 1988, pour la 1re édition.
- [17] Jacques GOUPY, « les plans d'expériences » , Revue MODULAD, 2006.
- [18] Lakhdar LAOUAR , « Traitement mécanique de surface par brunissage des aciers XC48 et XC18 – Optimisation et caractérisation » , Thèse de Doctorat 2007, Université Badji Mokhtar – Annaba.
- [19] Dr BOUAOUDIA-MADI, « Les plans d'expériences » , 2019/2020.
- [20] Bouzid, L., Yallese, M. A., Chaoui, K., Mabrouki, T., & Boulanouar ,L, « Mathematical modeling for turning on AISI 420 stainless steel using surface response methodology » Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 229(1), 45–61,(2015).
- [21] Lakhdar BOUZID, « Optimisation des conditions de coupe et analyse de leur effet sur les paramètres technologiques d'usinage – Application à l'usinage de l'acier inoxydable X20Cr13 – », Thèse de Doctorat 2015, L'université de 08 Mai 1945 Guelma.