



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



قسم التكنولوجيا

التخصص: هندسة ميكانيكية

مذكرة تخرج لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي

بعنوان:

دراسة تأثير شروط القطع على خشونة السطح وحرارة التشغيل
في الخراطة بالاعتماد على تصميم المركب المركزي CCD

من اعداد:

• سالمة محمد أمين

• شاولي يونس

تحت اشراف الأستاذة:

• بوهالي ريمة

لجنة المناقشة:

• د. مريمش ايمان

• د. بوهالي ريمة

• د. بن صانع توفيق

م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة

م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة

م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة

أستاذ مساعد -ب- رئيسا

أستاذ محاضر -ب- مشرفا

أستاذ محاضر -أ- مناقشا

السنة الجامعية: 2024/2023

شكر وعرفان

الحمد لله الذي سدد خطانا وأنار لنا درب العلم والمعرفة، ونسأله تعالى أن يجعل هذا العمل خالصًا لوجهه الكريم وأن ينفع به الأمة الإسلامية.

نشكر أستاذتنا الفاضلة ريمة بوهالي على إشرافها المميز وتوجيهاتها القيمة، ونثني على دعمها وتعاونها الذي ساعدنا على إتمام هذا البحث.

كما نشكر الأستاذة مريمش ايمان على قبولها رئاسة لجنة المناقشة، ونشكر الأستاذ بن صانع توفيق على مناقشة البحث وتقديم ملاحظاته القيمة.

لا ننسى أن نشكر جميع الأساتذة والمشرفين الذين ساهموا من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل، ونخصّ بالشكر من شجّعنا ووقف إلى جانبنا وساندنا في مشوارنا الدراسي.

نسأل الله أن يتقبل هذا العمل منّا وأن يجعله في ميزان حسناتنا وصالح أعمالنا.

إِهْدَاء

« إلى عائلتي الحبيبة »

أهدي إليكم ثمرة جهدي هذا الى كل من مهدي ويوسف وفرح، أنتم من بذلتم من أجلي الكثير، وكنتم سنداً وعوناً لي في رحلتي الدراسية، شكرًا لكم على دعمكم اللامحدود، وتشجيعكم الدائم، وحبكم اللامتناهي، أنتم من علمني معنى الصبر والمثابرة، وأنتم من غرس في نفسي حب العلم والتعلم.

« إلى والدي العزيزين »

شكرًا لكما على تضحياتكم الجمة من أجلي، وعلى حرصكم على توفير أفضل فرص التعليم لي، أنتم من أضاء طريقتي، ومنحني القوة للاستمرار في رحلتي الدراسية.

« إلى والدتي الحنونة »

شكرًا لكِ على حنانك وعطفك، وعلى دعمك المتواصل لي. أنتِ من كنتِ بجانبني في أصعب اللحظات، ومن شجعني على عدم الاستسلام.

« إلى والدي الكريم (رحمه الله) »

شكرًا لك على صبرك وتوجيهك، وعلى حرصك على تنمية مهاراتي وقدراتي، أنت من علمني معنى المسؤولية، ومن شجعني على السعي لتحقيق أهدافي، أرجو أن تتغمد الرحمة روحك الطاهرة

« إلى أصدقائي الأعزاء »

أشارككم فرحة تخرجي، أنتم من ساندتموني في لحظات التعب، وشاركتكم معي فرحة النجاح. شكرًا لكم على وجودكم الدائم في حياتي، ومساندتكم التي لا تُنسى. أنتم من جعلتم رحلتي الدراسية أكثر متعة وجمالاً.

أخص بالذكر كل من زملائي سفيان وزاكي وعبد اللطيف وحمزة بدون أن أنسى زميلي في المذكرة يونس الذي كان خير رفيق وزميلتي هديل.

معاً، حققنا هذا الإنجاز، ونبدأ رحلة جديدة مليئة بالتحديات والأمل.

أشكركم جميعًا على مساهماتكم في حياتي، ولن أنسى فضلكم أبدًا.

مع أطيب تمنياتي لكم بالتوفيق والسعادة.

سألمة محمد أمين

إهداء

أود أن أستغل هذه الفرصة الثمينة لأعبر عن شكري العميق وامتناني الكبير لوالدي . لقد كنتم دعمًا حقيقيًا ومصدر قوة لي خلال رحلتي الأكاديمية، ولا يمكنني تجاهل الدور الهام الذي لعبتموه في تحقيق نجاحي وتحقيق أحلامي

أبي العزيز، أنت كنت السند القوي والقائد الحكيم في حياتي. شكرًا لك على دعمك ، وتضحياتك اللامتناهية، وأعلم أنني لن أصل إلى هنا دون الإرادة التي زرعتها في نفسي، رحمك الله وأسكنك فسيح جناته

أمي الحنونة، شكرًا لك على عنايتك وتضحياتك غير المحدودة، بفضلك شعرت بالقوة والثقة في كل خطوة أخذتها في رحلتي الأكاديمية

ولا سيما أختي، شكرًا لكم على التحفيز والمساندة اللامحدودة، لم أكن لأستطيع الوصول إلى هنا بدونكم

وكل الشكر للزميل سالمة محمد أمين، الذي لولاه لما اكتمل هذا العمل. وأتمنى له المزيد من النجاحات. واطمئن بالذكر كل من سفيان، زاكي، حفيظ، صالح، قُصي، طارق، وصديقي المقرب أسامة، ولا أنسى خطيبتني خلود.

شاولي يونس.

المخلص

في هذه الدراسة تم انجاز تجارب الخراطة الطولية على مادة البوليميدات POMC من أجل دراسة تأثير شروط القطع على خشونة السطح ودرجة حرارة التصنيع. تم تصميم التجارب باستعمال منهجية سطح الاستجابة بالاعتماد على تصميم المركب المركزي (RSM-central composite design) التي تقلل من عدد التجارب دون التأثير على موثوقية النتائج، حيث أخذنا بعين الاعتبار ثلاثة شروط تصنيع وهي سرعة القطع VC وسرعة التغذية Vf وعمق القطع ap. عمليات الخراطة تم إنجازها في وسط جاف من أجل الشروط السابقة الذكر والتي تم تغييرها على ثلاثة مستويات. النتائج المتحصل عليها تم تحليلها باستعمال تحليل التباين ANOVA وتحليل الانحدار Analyse de Regression ، ومن أجل ذلك تم الاستعانة ببرنامج Design Expert الإصدار 13. أظهر تحليل التباين ANOVA أن عوامل التفاعلات لسرعة التغذية V_f^2 هي العامل الأكثر مساهمة في التأثير على خشونة السطح وعلى حرارة القطع. كما أظهرت نتائج تحليل الانحدار توافق النموذج الرياضي مع النتائج التجريبية فهو قادر على التنبؤ بخشونة السطح وكذلك حرارة القطع. أما بالنسبة لنتائج التحقق، فقد أظهرت النتائج تقارب في القيم النظرية والتجريبية لكل من خشونة السطح وحرارة القطع مما يؤكد صحة النتائج المتوصل إليها.

الكلمات المفتاحية: الخراطة، بوليميدات POMC، خشونة السطح، حرارة التصنيع، منهجية المركب المركزي، تحليل التباين، تحليل الانحدار.

Résumé

Dans cette étude, des essais de tournage longitudinal ont été réalisés sur le polyoxyméthylène chargé de fibres de carbone (POMC) afin d'étudier l'effet des conditions de coupe sur la rugosité de surface et la température de fabrication. Les expériences ont été conçues en utilisant la méthodologie de surface de réponse basée sur le plan composite central (RSM-central composite design), permettant de réduire le nombre d'essais sans compromettre la fiabilité des résultats. Trois conditions de fabrication ont été prises en compte : la vitesse de coupe (V_c), la vitesse d'avance (V_f), et la profondeur de coupe (a_p). Les opérations de tournage ont été effectuées dans un environnement sec en modifiant ces conditions à trois niveaux. Les résultats obtenus ont été analysés à l'aide de l'ANOVA et de l'analyse de régression, avec le logiciel Design Expert version 13. L'ANOVA a montré que les interactions pour la vitesse d'avance (V_f^2) sont les facteurs les plus influents sur la rugosité de surface et la température de coupe. De plus, les résultats de l'analyse de régression ont confirmé que le modèle mathématique est en accord avec les résultats expérimentaux, capable de prédire à la fois la rugosité de surface et la température de coupe. En ce qui concerne les résultats de vérification, ils ont montré une concordance entre les valeurs théoriques et expérimentales tant pour la rugosité de surface que pour la température de coupe, validant ainsi la fiabilité des conclusions obtenues.

Les mots clés: tournage, polymides POMC, rugosité de surface, température de coupe, conception par central composite, analyse de variance, analyse de regression.

Abstract

In this study, longitudinal turning experiments were conducted on carbon fiber-reinforced polyoxymethylene (POMC) to investigate the effect of cutting conditions on surface roughness and machining temperature. The experiments were designed using the response surface methodology based on central composite design (RSM-central composite design), which minimizes the number of experiments without compromising result reliability. Three machining conditions were considered: cutting speed (V_c), feed rate (V_f), and depth of cut (a_p). Machining operations were performed in a dry environment by varying these conditions at three levels. The obtained results were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and regression analysis, with the assistance of Design Expert software version 13. ANOVA revealed that interactions involving feed rate (V_f^2) were the most significant factors affecting surface roughness and cutting temperature. Regression analysis further confirmed the mathematical model's alignment with experimental outcomes, predicting both surface roughness and cutting temperature. Verification results showed close agreement between theoretical and experimental values for both surface roughness and cutting temperature, affirming the validity of the findings.

Key words: turning, polyimides POMC, surface roughness, cutting temperature, central composite design, analysis of variance, analysis of regression.

الفهرس

1	مقدمة عامة
3	الفصل الأول: عموميات حول الخراطة
4	1.1. مقدمة
4	2.1. تعريف التصنيع
5	3.1. الخراطة
5	4.1. مختلف عمليات الخراطة
5	1.4.1. الخراطة الطولية
5	2.4.1. التجويف
6	3.4.1. التسوية (الخراطة العرضية)
6	4.4.1. التثقيب
7	5.4.1. التعنيق
7	6.4.1. التشطيف
7	7.4.1. التقطيع
8	8.4.1. لولبة
8	5.1. آلات الخراطة المختلفة
8	1.5.1. المخرطة المتوازية
9	2.5.1. المخرطة العمودية
10	3.5.1. المخرطة النصف آلية
10	4.5.1. مخارط آلية
11	5.5.1. مخرطة ذات تحكم رقمي (CNC)
11	6.1. أجزاء المخرطة المتوازية ووظائفها

12	1.6.1. الفرش
12	2.6.1. الغراب الثابت
13	3.6.1. الغراب المتحرك
14	4.6.1. الذنبة واستخداماتها
15	5.6.1. العربية
15	7.1. أقلام الخراطة
16	1.7.1. زوايا لقم الخرط
17	8.1. مختلف أدوات الخراطة
17	1.8.1. الخراطة الخارجية
17	2.8.1. الخراطة الداخلية
17	9.1. الحركة النسبية (أداة/قطعة) في عملية الخراطة.
17	1.9.1. حركة القطع Mc
18	2.9.1. حركة التقدم Ma
18	3.9.1. حركة الاختراق Mp
18	10.1. تأثير الحرارة على عملية التصنيع.
19	11.1. مواد التشغيل في الخراطة
19	1.11.1. تعريف البوليمرات
19	2.11.1. كيفية الحصول على البوليمرات
20	3.11.1. تصنيفات البوليمرات
21	4.11.1. سلوك البوليمرات أثناء التصنيع.
22	12.1. خاتمة
23	الفصل الثاني: الطرق الإحصائية المستعملة
24	1.1. مقدمة

24	1.1.1.1. شروط القطع
24	1.1.1.2. سرعة القطع V_c
25	2.1.1. التغذية f
26	3.1.1. عمق القطع a_p
26	2.2. تعريف خشونة السطح
27	3.2. أنواع خشونة السطح
27	1.3.1. الخشونة الكلية R_t
27	2.3.1. متوسط الخشونة الكلية R_z
28	3.3.1. متوسط الخشونة الحسابي R_a
28	4. منهجية سطح الاستجابة RSM
31	5.2. تصميم المركب المركزي (CCD)
32	6.2. أنواع التصميم المركب المركزي (CCD)
32	1.6.1. تصميم مركب مركزي محيطي (CCC)
32	2.6.1. تصميم المركب المركزي الداخلي (CCI)
33	3.6.1. تصميم المركب المركزي الأمامي (CCF)
33	7.2. مقارنة بين الأنواع الثلاثة لتصميم المركب المركزي (CCD)
34	8.2. تحليل التباين ANOVA
37	9.2. تحليل الانحدار Analyse de Regression
37	10.2. أهداف تحليل الانحدار
37	11.2. نموذج عن تحليل الانحدار
39	12.2. برنامج Design Expert
40	13.2. الخاتمة
41	الفصل الثالث: الجزء التجريبي

42	1.III .مقدمة
42	2.III .الوسائل المستعملة
44	3.III .عينات الاختبار
44	4.III .خصائص مادة الصنع
45	5.III .أدوات القطع
45	1.5.III .أداة التعنيق
45	2.5.III .أداة الخراط الطولي
46	6.III .لقم الأدوات
46	1.6.III .لقم التعنيق
46	2.6.III .لقم الخراط الطولي
47	7.III .جهاز قياس خشونة الأسطح
47	1.7.III .مميزات جهاز خشونة الأسطح
48	8.III .كاميرا التقاط الحرارة
49	9.III .تحضير قطعة الاختبار
51	10.III .عملية قياس الخشونة
52	11.III .عملية التقاط درجة الحرارة
53	12.III .الخاتمة
54	الفصل الرابع: نتائج وتحليل
55	1.IV .مقدمة
55	2.IV .وصف التجربة
55	3.IV .تطبيق منهجية سطح الاستجابة RSM
56	4.IV .النتائج الخاصة بخشونة السطح
59	5.IV .تحليل النتائج الخاصة بالخشونة

59	1.5.IV . بالنسبة لمتوسط الخشونة الحسابي Ra
63	2.5.IV . بالنسبة لمتوسط الخشونة الكلي Rz
67	3.5.IV . بالنسبة للخشونة الكلية Rt
71	6.IV . النتائج الخاصة بحرارة القطع
71	1.6.IV . مراقبة درجات الحرارة
75	7.IV . تحليل النتائج الخاصة بالحرارة
75	1.7.IV . تحليل التباين ANOVA
76	2.7.IV . تحليل الانحدار Analyse de regression
79	8.IV . نتائج عملية التحقق
79	1.8.IV . النتائج الخاصة بالخشونة
80	2.8.IV . النتائج الخاصة بالحرارة
81	9.IV . خاتمة
84	خاتمة عامة
86	المراجع

الأشكال

الفصل الأول: عموميات حول الخراطة

- الشكل I.1. أحد عمليات التصنيع 04
- الشكل I.2. عملية الخراطة 05
- الشكل I.3. عملية الخراطة الطولية 05
- الشكل I.4. عملية التجويف 06
- الشكل I.5. عملية التسوية (الخراطة العرضية) 06
- الشكل I.6. عملية التثقيب 06
- الشكل I.7. عملية التعنيق 07
- الشكل I.8. عملية التشطيف 07
- الشكل I.9. عملية التقطيع 08
- الشكل I.10. عملية انجاز اللولبة 08
- الشكل I.11. مخرطة متوازية 09
- الشكل I.12. مخرطة عمودية 09
- الشكل I.13. المخرطة النصف آلية 10
- الشكل I.14. مخرطة آلية 10
- الشكل I.15. مخرطة ذات تحكم رقمي CNC 11
- الشكل I.16. مكونات المخرطة المتوازية 11
- الشكل I.17. الفرش 12
- الشكل I.18. الغراب الثابت 13
- الشكل I.19. الغراب المتحرك 13
- الشكل I.20. الذنب الثابتة 14
- الشكل I.21. الذنب الدوارة 14
- الشكل I.22. الذنب الثابتة النصفية 15
- الشكل I.23. أجزاء أداة الخراطة 16
- الشكل I.24. زوايا لقم الخراطة 16

- الشكل I.25. أدوات الخراطة الخارجية 17.
- الشكل I.26. أدوات الخراطة الداخلية 17.
- الشكل I.27. حركات القطع 18.

الفصل الثاني: الطرق الإحصائية المستعملة

- الشكل II.1. سرعة القطع V_c 25.
- الشكل II.2. سرعة التغذية V_f 25.
- الشكل II.3. أنواع التغذية 26.
- الشكل II.4. عمق القطع a_p 26.
- الشكل II.5. الخشونة الكلية R_t 27.
- الشكل II.6. متوسط الخشونة الكلية R_z 27.
- الشكل II.7. متوسط الخشونة الحسابي R_a 28.
- الشكل II.8. التصميم المركب المركزي (CCD) 32.
- الشكل II.9. المقارنة بين الأنواع الثلاثة للتصميم المركب المركزي 34.
- الشكل II.10. مختلف المخططات المنجزة ببرنامج Design Expert 39.

الفصل الثالث: الجزء التجريبي

- الشكل III.1. مخرطة نصف آلية 42.
- الشكل III.2. طراز آلة الخراطة 42.
- الشكل III.3. مقابض اختيار سرعة الدوران 43.
- الشكل III.4. لوحة مقابض التحكم في سرعة التغذية 43.
- الشكل III.5. شاشة عرض سرعة الدوران واحداثيات أداة القطع 43.
- الشكل III.6. جدول قيم التغذية 43.
- الشكل III.7. عينات الاختبار 44.
- الشكل III.8. أداة التعنيق 45.
- الشكل III.9. تعيين أداة التعنيق 45.
- الشكل III.10. أداة الخرط الطولي 46.
- الشكل III.11. تعيين أداة الخرط الطولي 46.
- الشكل III.12. لقم التعنيق 46.

- الشكل III.13. لقم الخرط الطولي 47
- الشكل III.14. مكونات جهاز قياس الخشونة 48
- الشكل III.15. كاميرا التقاط درجة الحرارة 48
- الشكل III.16. عينات الاختبار مرقمة 49
- الشكل III.17. احداث ثقب تمرکز 50
- الشكل III.18. تثبيت الذنب المضادة 50
- الشكل III.19. انجاز 5 مقاطع متطابقة 50
- الشكل III.20. عملية الخرط الطولي 51
- الشكل III.21. ضبط مع التحقق من دقة القياس على المرجع 52
- الشكل III.22. تموضع الجهاز بالطريقة الصحيحة 52
- الشكل III.23. التقاط درجة الحرارة بالكاميرا 53

الفصل الرابع: نتائج وتحليل

- الشكل IV.1. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Ra 61
- الشكل IV.2. تأثير كل من شروط القطع الثلاث على متوسط الخشونة الحسابي Ra 62
- الشكل IV.3. تمثيل القيم باستعمال مكعب RSM Central composite للـ Ra 63
- الشكل IV.4. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Rz 65
- الشكل IV.5. تأثير كل من شروط القطع الثلاث على متوسط الخشونة الكلية Rz 66
- الشكل IV.6. تمثيل القيم باستعمال مكعب RSM Central composite للـ Rz 67
- الشكل IV.7. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Rt 69
- الشكل IV.8. تأثير كل من شروط القطع الثلاث على الخشونة الكلية Rt 70
- الشكل IV.9. تمثيل القيم باستعمال مكعب RSM Central composite للـ Rt 71
- الشكل IV.10. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي T 77
- الشكل IV.11. تأثير كل من شروط القطع الثلاث على الحرارة T 78
- الشكل IV.12. تمثيل القيم باستعمال مكعب RSM Central composite للحرارة T 78
- الشكل IV.13. منحني تحسين الاستجابة الخاص بشروط القطع المثلى بالنسبة للخشونة 79
- الشكل IV.14. منحني تحسين الاستجابة الخاص بشروط القطع المثلى بالنسبة للحرارة 80

الجدول

- الجدول III.1. خصائص البوليميدات الكيميائية 44
- الجدول III.2. خصائص البوليميدات الفيزيائية 44
- الجدول IV.1. شروط القطع 55
- الجدول IV.2. خطة التجربة 56
- الجدول IV.3. نتائج القياس 57
- الجدول IV.4. النتائج النهائية 58
- الجدول IV.5. أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بـ Ra 59
- الجدول IV.6. تحليل التباين لتأثير شروط القطع على Ra 60
- الجدول IV.7. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Ra 61
- الجدول IV.8. أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بمتوسط الخشونة الكلي Rz 63
- الجدول IV.9. تحليل التباين لتأثير شروط القطع على Rz 64
- الجدول IV.10. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Rz 65
- الجدول IV.11. أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بالخشونة الكلية Rt 67
- الجدول IV.12. تحليل التباين لتأثير شروط القطع على Rt 68
- الجدول IV.13. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Rt 69
- الجدول IV.14. صور الحرارة الملتقطة لكل عملية 72
- الجدول IV.15. القيم الخاصة بصور الحرارة الملتقطة 73
- الجدول IV.16. قيم الحرارة المتحصل عليها 74
- الجدول IV.17. أفضل نموذج لتحليل قيم الحرارة 75
- الجدول IV.18. تحليل التباين لتأثير شروط القطع على T 76
- الجدول IV.19. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي T 77
- الجدول IV.20. نتائج عملية التحقق الخاصة بالخشونة 80
- الجدول IV.21. نتائج عملية التحقق الخاصة بالحرارة 81

الرموز

الرموز	الوحدة	المعنى
Mc		حركة القطع.
Ma		حركة التقدم.
Mp		حركة الاختراق.
Vc	m/min	سرعة القطع.
Vf	mm/min	سرعة التغذية.
ap	mm	عمق القطع.
f	mm/tr	التغذية.
N	tr/min	سرعة دوران.
D	mm	القطر.
γ	$^{\circ}$	زاوية الجرف.
$^{\circ}$	α	زاوية الخلوص.
$^{\circ}$	β	زاوية السن.
Rt	μm	الخشونة الكلية.
Rz	μm	متوسط الخشونة الكلية.
Ra	μm	متوسط الخشونة الحسابي.
L	m	الطول الكلي.
f		دالة الاستجابة.
η		نموذج الاستجابة.
σ		الانحراف المعياري.
N		عدد الحالات في المصفوفة المتعامدة.
Y_i		النتيجة التجريبية/العديدية للتجربة.
SS_T		المجموع الإجمالي للانحرافات التربيعية.
SS_e		مجموع الخطأ التربيعي.
SS_p		مجموع الانحرافات التربيعية.

المجموع التربيعي.	SC_f
متوسط الاستجابات.	\bar{y}
متوسط الاستجابات المقاسة لكل مستوى i لعامل f.	\bar{y}_i
العدد الإجمالي للتجارب.	N
عدد مستويات كل عامل f.	N_{nf}
المتوسط التربيعي.	MC_i
المجموع التربيعي للأخطاء.	MC_e
مساهمة العوامل في التباين الكلي.	$Cont. \%$
متغير مستقل.	x
متغير تابع.	y
منحدر خط الانحدار.	β_1
نقطة التقاطع لخط الانحدار والمحور y.	β_0
معامل تحديد الانحدار المتعدد.	R^2

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

في ورشة عمل الإنتاج، نجد عمليات التشغيل الآلي الذي يعتمد على إزالة المواد، ويشمل آلات مثل الخراطة والتفريز والتثقيب، ويهدف إلى خفض تكلفة التصنيع وتحسين جودة العمل. بهدف تحسين جودة القطع المصنعة تم إجراء العديد من الدراسات باستخدام النهج العددي والتجريبي لتحليل سلوك القطعة بعد التصنيع، لكن لم يتم إعطاء اهتمام كبير لعلاقة ظروف الآلات وخصائص الأسطح المشغولة، مثل خشونة السطح.

تعتبر جودة ونعومة الأسطح أحد أهم جوانب عمليات التشغيل الآلي، حيث تؤثر بشكل كبير على تحسين درجة التشطيب السطحي والخصائص العديدة والهندسة للأجزاء الميكانيكية. لذلك، من الأهم أن نكون على دراية بتأثير مختلف العوامل التي تشملها عملية القطع، ونستطيع اختيار الشروط المناسبة التي تسمح بالحصول على جودة السطح المرغوبة. وتعتمد هذه الشروط على هندسة الأداة وظروف القطع والظواهر التي ينطوي عليها القطع.

تلعب خشونة السطح دورًا هامًا في تقييم جودة السطح المحققة، حيث تُعبر عن التغيرات الصغيرة في ارتفاع وانخفاض سطح القطعة، تؤثر العديد من العوامل على خشونة السطح، مثل الاهتزاز والتشوه والتآكل، مما يُسبب تأثيرًا سلبيًا على أداء القطعة وعمرها الافتراضي. لذلك، تُعد دراسة تأثير شروط القطع المختلفة على خشونة السطح وتحليل هذه البيانات بشكل شامل وواضح من أهم الأبحاث المتعلقة بصناعة التصنيع.

كما تعتبر حرارة القطع من العناصر الحاسمة في عمليات التصنيع، فهي تتولد نتيجة احتكاك بين الأداة والقطعة المشغلة مما يؤدي إلى تأثيرات عديدة منها تشوه السطح وجودته مما يتسبب في فقدان شكل القطعة، بالإضافة إلى تغير الخواص الميكانيكية للقطعة فيمكن أن تفقد القطعة المشغلة الصلادة والمتانة مما يؤثر على أداء القطعة، كما يجعل الأداة عرضة للتآكل والتلف، لذلك تعتبر دراسة تأثير شروط القطع على حرارة القطع وتحليل بياناتها بمختلف معاملاتهما بالغة الأهمية في التصنيع.

في هذا العمل تم تطبيق منهجية سطح الاستجابة RSM، مع الاعتماد على طريقة التصميم المركب المركزي CCD لتحليل تأثير سرعة القطع VC ، سرعة التغذية Vf ، وعمق القطع ap على خشونة السطح ودرجة حرارة التصنيع، وتم توثيق النتائج باستخدام قياسات Ra ، Rz ، و Rt ، وقياس حرارة القطع T ، بينما تم استخدام طرق تحليل البيانات المتعددة مثل تحليل التباين ANOVA وتحليل الانحدار لفهم وتفسير تأثير هذه الشروط على خشونة المحققة وكذلك دراسة تأثيرها على الحرارة، ويهدف البحث عن شروط القطع المثلى التي تُحقق أفضل جودة سطح ممكنة وأقل درجة حرارة تم انجاز هذه المذكرة والمقسمة إلى أربع فصول، وتتمثل في:

الفصل الأول " الخراطة " قمنا بتغطية جميع جوانب الخراطة، من مبدأ عملها وأنواع آلاتها وعملياتها المختلفة وأدوات القطع وجميع التفاصيل الأخرى ذات صلة. كما تم تسليط الضوء على تركيبة مادة البوليميدات بالإضافة الى أنواعها وخصائصها الميكانيكية والفيزيائية وحتى الكيميائية.

الفصل الثاني "الطرق الإحصائية المستعملة" في هذا الفصل تطرقنا الى الجانب النظري لكل من شروط القطع، خشونة السطح، والطرق الإحصائية المختلفة المستعملة في تحليل النتائج، حيث تم تقديم شرح مفصل لمنهجية سطح الاستجابة RSM وطريقة التصميم المركب المركزي CCD، بالإضافة إلى الطرق الإحصائية المستخدمة في تحليل نتائج التجارب، بما في ذلك تحليل التباين ANOVA وتحليل الانحدار.

الفصل الثالث " الجزء التجريبي " هنا تم التطرق الى كل ما تم القيام به أثناء التجارب من القاء نظرة على الوسائل المستعملة والعينات ومراحل القيام بهذه العملية.

الفصل الرابع " تحليل النتائج " في هذا الفصل تم تحليل النتائج المتحصل عليها في التجارب باستخدام تحليل التباين وأيضاً تحليل الانحدار وتحليل درجات الحرارة.

الفصل الأول:

عموميات حول

الخرائط

1.1. مقدمة :

تشكل عمليات التصنيع العمود الفقري للصناعة الحديثة، حيث تمثل الخطوة الأساسية في تحويل المواد الخام إلى منتجات نهائية تتضمن هذه العمليات مجموعة متنوعة من الخطوات، بدءاً من تصميم المنتج وصولاً إلى المنتج النهائي. تتنوع عمليات التصنيع من تشكيل المواد وقطعها إلى تجميع الأجزاء وضبط الجودة. يعتمد النجاح في هذه العمليات على تنسيق فعال للآلات المختلفة كالخراطة والتفريز والتجليخ وغير ذلك وبين المهارات البشرية، مما يسهم في إنتاج منتجات ذات جودة عالية بكفاءة ممتازة وفي وقت قصير. وهنا تأتي عملية الخراطة إذ تعتبر إحدى أبرز تقنيات التصنيع والتي تتميز بقدرتها على إنتاج أجزاء دقيقة ومعقدة من خلال عملية قطع تدور فيها القطعة المراد تشكيلها حول محورها بينما يتم إزالة المادة عن طريق أداة القطع وهذا ما سنتطرق له في هذا الفصل من تفاصيل تخص الخراطة تغطي كل جوانبها.

2.1. تعريف التصنيع :

التصنيع هو عملية تحويل المواد الخام إلى منتجات نهائية باستخدام عمليات وتقنيات ميكانيكية مثل القطع والتشكيل واللحام..، وينتج عن ذلك إنشاء سطح جديد أو تعديل سطح موجود، يمكن أن يكون التصنيع عملية بسيطة، مثل قطع قطعة من الخشب إلى قطع أصغر، أو يمكن أن تكون عملية معقدة، مثل تشكيل قطعة معدنية معقدة لإعطاء منتج نهائي، واليوم يتم التصنيع بواسطة الآلات الحديثة.

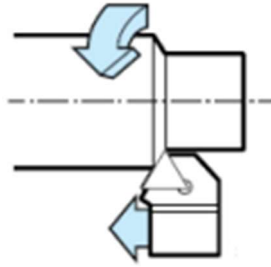
في الأساس، يعتمد التصنيع على أداة قطع تتحرك عبر المادة وتتسبب الأداة في كسر أو نزع المادة، مما يؤدي إلى تكوين شرائح، تعتمد خصائص السطح الناتج على عدة عوامل، بما في ذلك نوع الأداة المستخدمة، وسرعة القطع، وسرعة التغذية، وعمق القطع. [1] تختلف آلات التصنيع من حيث حركة الأداة والقطعة و السطوح التي تنتجها ولكنها تشترك في المبدأ أو مخطط التصنيع المبين في الشكل 1.1.



الشكل 1.1. أحد عمليات التصنيع

3.1. الخراطة :

الخراطة هي عملية تصنيع يتم فيها استخدام أداة ذات حافة قطع واحدة لإنشاء سطح مستدير أو شبه مستدير داخلي أو خارجي على قطعة اسطوانية أو مخروطية، تدور القطعة المراد خراطتها حول محورها، بينما تتحرك الأداة بشكل مستقيم أو منحنى على طول هذا المحور (الشكل 2.1)، تسمح هذه الحركات المشتركة بإزالة المادة من القطعة لتشكيل الشكل المطلوب، تعرف الأجزاء المزالة عن طريق الأداة باسم الراتش. [2]

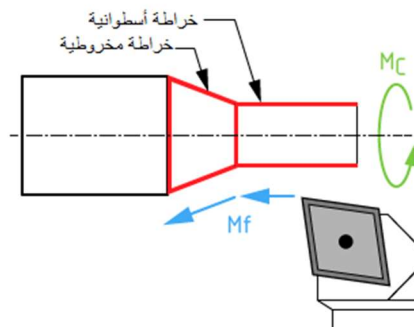


الشكل 2.1. عملية الخراطة [2]

4.1. مختلف عمليات الخراطة :

1.4.1. الخراطة الطولية :

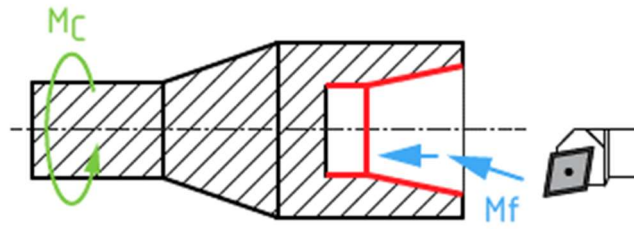
الخراطة الطولية هي عملية إزالة المعدن من قطعة عمل لتشكيل أسطوانة أو مخروط على طول سطحها الخارجي. تدور قطعة العمل في حركة دائرية M_C ، بينما تتحرك أداة القطع على طول محور دورانه M_f . مبدأ عمل الخراطة الطولية مبين في الشكل 3.1 [3]



الشكل 3.1. عملية الخراطة الطولية [3]

2.4.1. التجويف :

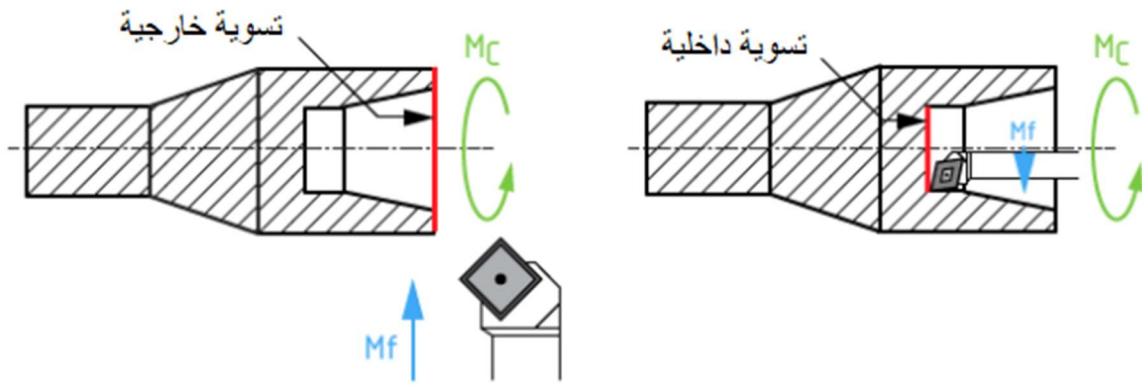
عملية التجويف كما تظهر في الشكل 4.1 هو عملية إزالة المعدن من قطعة عمل لتشكيل أسطوانة أو مخروط في داخلها . [3]



الشكل 4.1. عملية التجويف [3]

3.4.1. التسوية (الخراطة العرضية) :

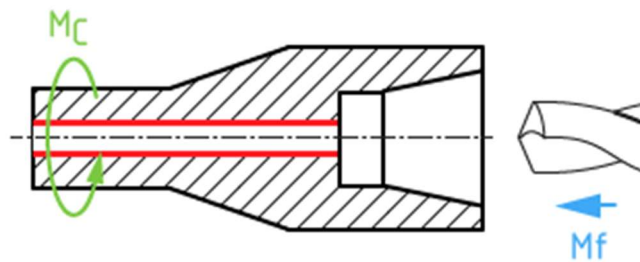
التسوية هي عملية إزالة المعدن من قطعة عمل لتشكيل سطح مستو، سواء كان سطحًا خارجيًا أو داخليًا، الشكل 5.1، بشكل عمودي على محور دوران القطعة. [3]



الشكل 5.1. عملية التسوية (الخراطة العرضية) [3]

4.4.1. التنقيب :

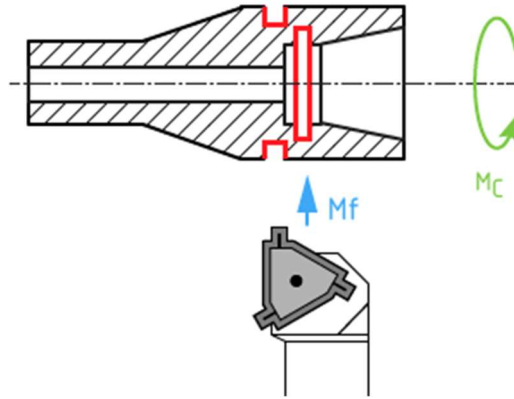
هو عملية إزالة المعدن من قطعة عمل لتشكيل ثقب (المبين في الشكل 6.1 باللون الأحمر) فيها باستخدام أداة تسمى لقمة الثقب. يجب الانتباه إلى عدم الخلط بين محور الثقب ومحور القطعة، حيث أنهما قد لا يكونان متطابقين. [3]



الشكل 6.1. عملية التنقيب [3]

5.4.1. التعنيق :

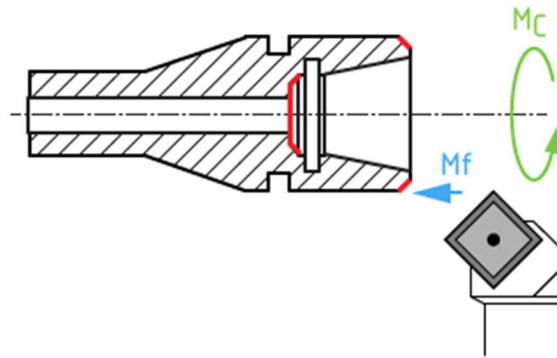
هو عملية إزالة المعدن من قطعة عمل لتشكيل أخدود فيها، إما داخلاً أو خارجاً. في الشكل 7.1 الأخدود الداخلي هو المستطيل الأحمر و أنصاف المستطيلات باللون الأحمر هو عبارة عن أخدود خارجي. يُستخدم هذا الأخدود لربط قطعة أخرى أو لتوفير مكان لحلقة الكبح. [3]



الشكل 7.1. عملية التعنيق [3]

6.4.1. التشطيف :

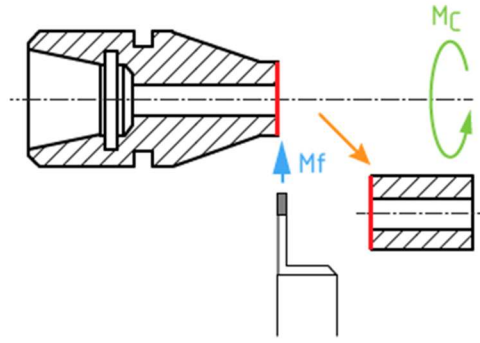
هو عملية إزالة المعدن من الزوايا الحادة لقطعة عمل لتشكيل مخروط صغير ذو أبعاد محددة، الشكل 8.1. تُستخدم هذه العملية لتحسين السلامة وتقليل خطر الإصابة، بالإضافة إلى تحسين المظهر العام للقطعة. [3]



الشكل 8.1. عملية التشطيف [3]

7.4.1. التقطيع :

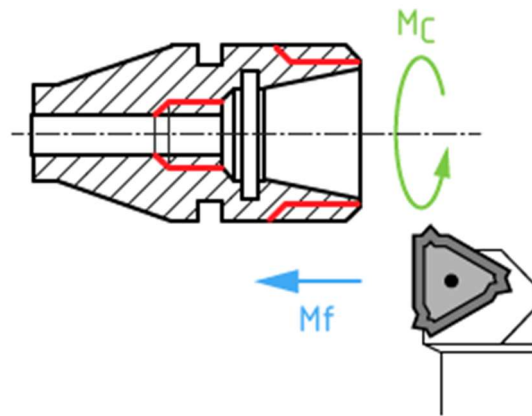
هو عملية إزالة المعدن من قطعة العمل لتشكيل أخدود يصل إلى محورها. يُستخدم هذا الأخدود لفصل جزء من القطعة عن القطعة الرئيسية، الشكل 9.1. [3]



الشكل 9.1. عملية التقطيع [3]

8.4.1. لولبية :

هو عملية إزالة المعدن من قطعة عمل لتشكيل لولب فيها، إما داخليا أو خارجيا. تُستخدم هذه العملية لربط قطعتين أو أكثر معًا، أو لتوفير مكان لتثبيت المسمار [3]. في الشكل 10.1 تظهر اللولبة الداخلية و الخارجية ممثلة باللون الأحمر.

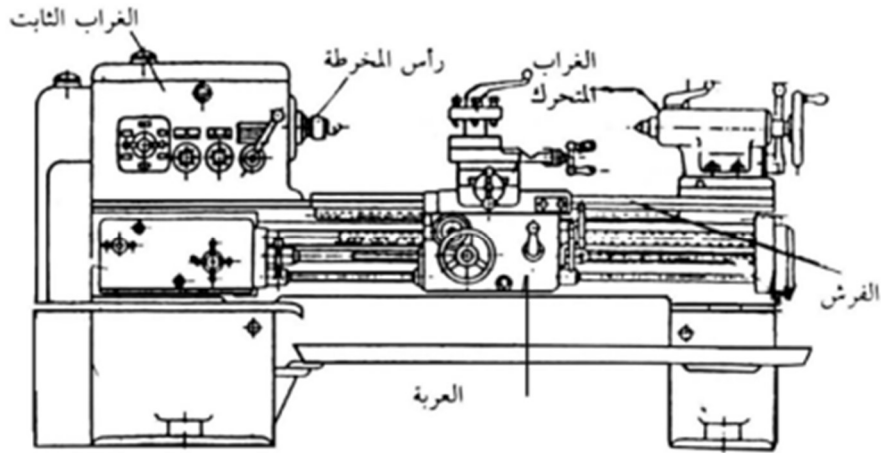


الشكل 10.1. عملية انجاز لولبة [3]

5.1. آلات الخراطة المختلفة :

1.5.1. المخرطة المتوازية :

هي نوع من المخارط يستخدم بشكل شائع في المعامل والورش الصغيرة وورش الصيانة الميكانيكية. تُستخدم هذه الآلات للعمل الفردي أو للسلاسل الصغيرة والمتوسطة، ويمكن استخدامها لقطع قطع بسيطة جدًا. ومع ذلك، فإن المخارط المتوازية ليست مرنة للغاية، ويمكن استخدام الأسطح التي تكون مولداتها متوازية أو متعامدة مع محور المغزل فقط [4]. الشكل 11.1 يظهر المخرطة المتوازية مع الأجزاء المكونة لها.



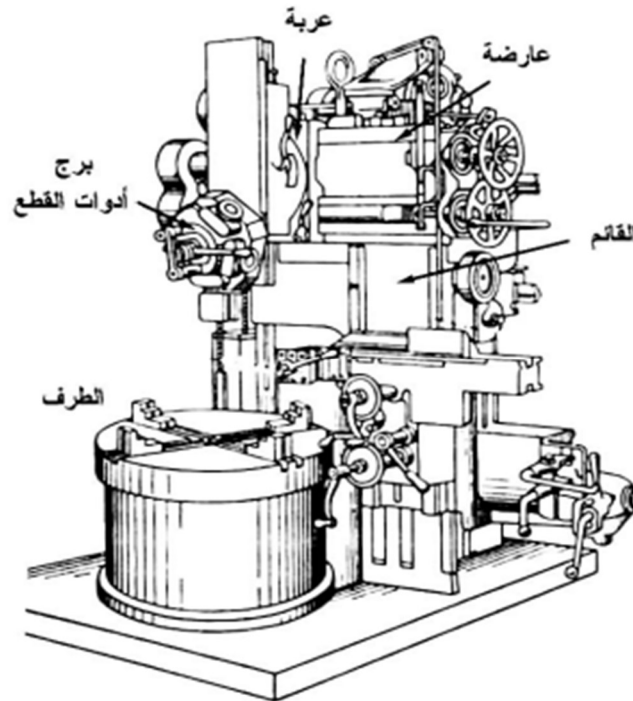
الشكل 11.1. مخرطة متوازية [4]

2.5.1. المخرطة العمودية :

تشبه المخرطة العمودية آلة التفريز من حيث الشكل، حيث يكون طرفها أفقيًا وسكين القطع عموديًا. تُستخدم هذه المخارط في أعمال الخراطة الداخلية للقطع، مثل أسطوانات محركات السيارات، وفي صناعة القوالب الكبيرة.

تُصنع الأنواع الكبيرة من المخارط العمودية بقائمين عموديين، مما يسمح بربطها بأدوات القطع لزيادة الإنتاجية

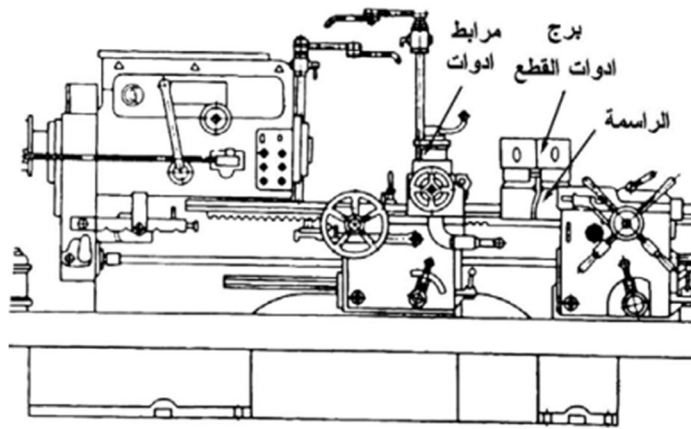
(أنظر الشكل 12.1). [4]



الشكل 12.1. مخرطة عمودية [4]

3.5.1. المخرطة النصف آلية :

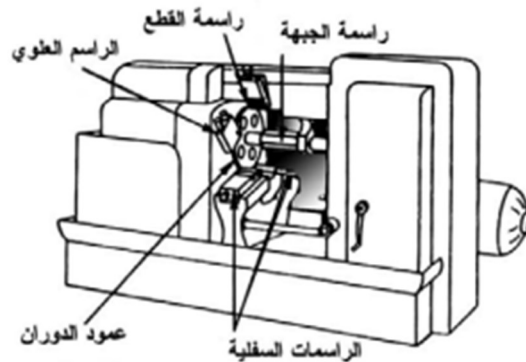
تسمى أيضا بالمخارط البرجية وهي نوع من أنواع المخارط تتميز ببرج مؤشر سداسي يحتوي على 6 مرابط أدوات. تُستخدم هذه المخارط في عمليات الخراطة البسيطة والدقيقة، حيث تسمح الأدوات المصممة خصيصًا للآلة بإجراء العمليات بدقة عالية. يمكن أن يكون التحكم في المخارط البرجية يدويًا أو جزئيًا تلقائيًا، اعتمادًا على متطلبات الإنتاج. ومع ذلك، فإن مرونة هذه المخارط محدودة للغاية، حيث لا يمكن استخدامها في عمليات الخراطة المعقدة. تُستخدم المخارط البرجية بشكل شائع في العمل الإنتاجي متوسط الحجم [4]. الشكل 13.1. المخرطة النصف آلية.



الشكل 13.1. المخرطة النصف آلية [4]

4.5.1. مخارط آلية :

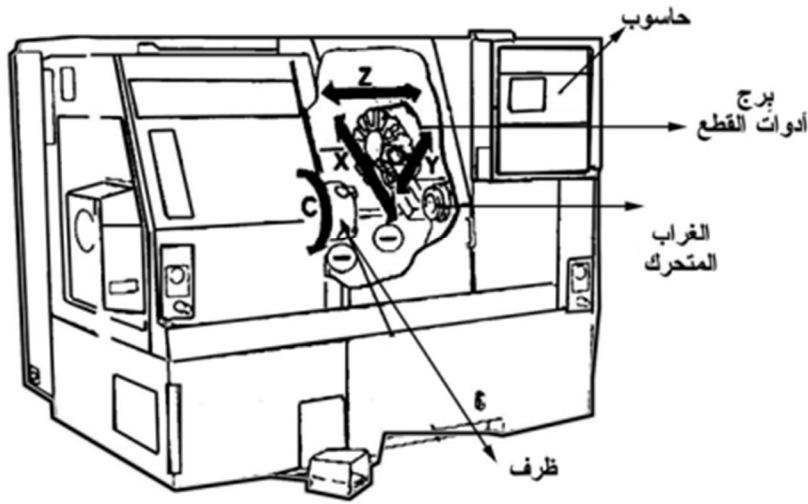
المخرطة الآلية تُستخدم في الإنتاج الكمي، حيث يتم تصنيع مجموعة واحدة من الكامات لكل نوع من المشغولات. تتميز هذه المخارط بإنتاجية عالية، ولكنها أيضًا باهظة الثمن وتتطلب تجهيزًا طويلًا ومكلفًا [4]. الشكل 14.1. يوضح المخرطة الآلية.



الشكل 14.1. مخرطة آلية [4]

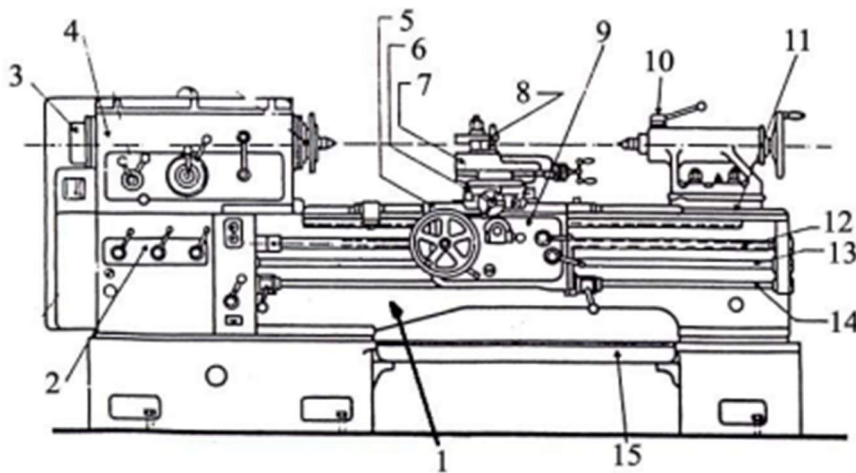
5.5.1. مخرطة ذات تحكم رقمي (CNC) :

آلات الـ CNC هي آلات تحكم رقمية، الشكل الشكل 15.1، مما يعني أن مسار الأداة يتم التحكم فيه بواسطة الكمبيوتر، تستخدم آلات الـ CNC في مجموعة متنوعة من التطبيقات بما في ذلك الخراطة والتفريز وغير ذلك... كما يمكن أن تكون هذه الآلات الرقمية إما مخرط أو مفارز أو غير ذلك...، في حالة المخرط الـ CNC يتم الحصول على مسار الأداة من خلال الحركة المتزامنة لمحورين، يتم تحديد مواقع المحاور بواسطة آلة حاسبة تعمل من برنامج خاص بالقطعة، يتم تجهيز مخرط CNC بجملة أدوات ونظام تحميل أجزاء، تتميز آلات الـ CNC بمرونتها الممتازة مما يجعلها مناسبة للعمل الفردي أو الإنتاج الضخم. [4]



الشكل 15.1. مخرطة ذات تحكم رقمي CNC [4]

6.1. أجزاء المخرطة المتوازية ووظائفها :



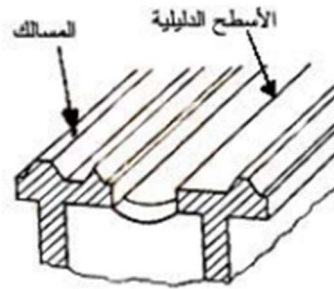
الشكل 16.1. مكونات المخرطة المتوازية

في هذه الدراسة تم استعمال الخرطة المتوازية ولهذا سنتطرق أجزائها ودور كل جزء، الشكل 16.1 يوضح الخرطة المتوازية مع ترقيم كل جزء فيها.

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1- الهيكل (الفرش) | 9-واقى العربة |
| 2- تروس التغذية | 10-الغراب المتحرك |
| 3- المحرك | 11-دليل التوجيه |
| 4- الغراب الثابت | 12-عمود المرشد |
| 5- العربة | 13-عمود الجر |
| 6- الراسمة الكبرى | 14-عمود التوجيه |
| 7- الراسمة الصغرى | 15-حجوز تلقي الرائش |
| 8- حامل القلم | |

1.6.1. الفرش :

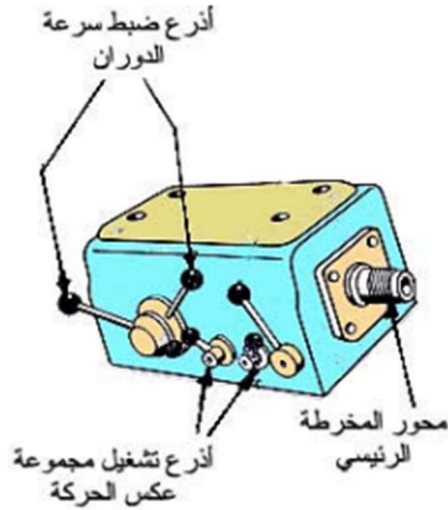
الفرش هو الجزء الذي يحمل الأجزاء الرئيسية الثابتة والمتحركة للخرطة. فهو ضروري لتوجيه الأجزاء المتحركة للألة ومنع التشوهات. يجب تنظيف وتشحيم الفرش بانتظام للحفاظ على أدائه الأمثل. سيساعد ذلك في منع الاحتكاك غير الضروري وضمان قياسات قطع العمل الدقيقة، الشكل 17.1 يظهر الفرش بوضوح أكثر. [5]



الشكل 17.1. الفرش [5]

2.6.1. الغراب الثابت :

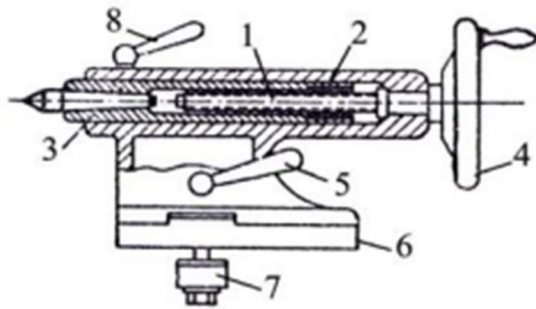
الشكل 18.1 يوضح صندوقاً مغلقاً يشبه العمود، وهو عمود دوران الخرطة. يحتوي العمود على تروس يمكن استخدامها لتثبيت أطراف الخرطة وأدوات الشد الأخرى للحصول على سرعات مختلفة. عندما يدور العمود، ترتفع الرافعة وتتحكم فيها. تتعامل الرافعة مع مجموعة من التروس داخل الصندوق. تنقسم هذه المجموعة إلى تروس قيادة وتروس منقادة. يحصل ترس القيادة على الحركة من المحرك الكهربائي عبر عجلة المرفق، ثم ينقل حركته إلى ترس القيادة المثبت على عمود دوران الخرطة. هناك أنواع أخرى من محولات الحركة، مثل محولات الحزام القابل للضغط والمحولات الهيدروليكية. [5]



الشكل 18.1. الغراب الثابت [5]

3.6.1. الغراب المتحرك :

يستخدم الغراب المتحرك (الشكل 19.1) لدعم قطعة العمل بين سنكين أثناء التثبيت أو التشغيل، كما يمكن استخدامه لتركيب خراطيش الحفر وأدوات القطع الأخرى، مثل المثاقب المركزية ولقم الثقب وريش المركزة، ينزلق الغراب طوليا عن طريق قضبان الربط وصامولة الشد. تعتبر السنابك من أهم الأدوات المستخدمة في تحريك الغراب المتحرك [5]، ومنها:



الشكل 19.1. الغراب المتحرك [5]

1. محور مسنن
2. صامولة ذات مقبض
3. أسطوانة تثبيت السنابك
4. عجلة إدارة المحور
5. ذراع تثبيت الغراب مع الفرش
6. لوحة الانزلاق على الفرش
7. صامولة شد لوحة الانزلاق
8. ذراع تثبيت الأسطوانة.

4.6.1. الذنبة واستخداماتها :

تستخدم الذنبة في أعمال الخراطة لدعم قطعة العمل وضبط مركزها، كما تستخدم في الخراطة المركزية واللامركزية بين السنكين. تتوفر السنابك بأنواع ووظائف متعددة [5]، منها:

1.4.6.I. الذنبة الثابتة :

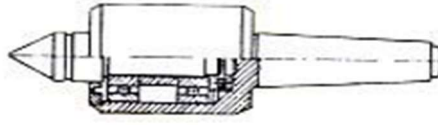
الذنبة الثابتة تحتوي على قضيب مخروطي الشكل 20.1، ويتم تثبيت القضيب المتحرك في تجويف الغراب المتحرك، أو في تجويف القرص المسطح عند تدويره بين نابضين، ويكون الطرف الآخر من الذنبة مدببا، وتكون زاوية الرأس 60°، و مثبتاً في ثقب متمركز في قطعة العمل.



الشكل 20.1. الذنبة الثابتة [5]

2.4.6.I. الذنبة الدوارة :

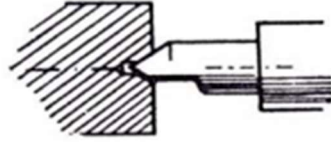
هو نوع من السنك يشبه السنك الثابت في وظيفته وطريقة تركيبه، إلا أنه يتميز بوجود محمل عمود داخل الجسم، مما يسمح لنهايته الأمامية بالدوران مع دوران قطعة الشغل. وبذلك، تمنع قطعة الشغل من الاحتكاك والتمدد بسبب الحرارة المتولدة أثناء العمل. الشكل 21.1 يوضح الذنبة الدوارة.



الشكل 21.1. الذنبة الدوارة [5]

3.4.6.I. الذنبة الثابتة النصفية :

الذنبة الثابتة النصفية الموضحة في الشكل 22.1 هي أداة تستخدم بشكل خاص للخراطة المتقاطعة. وهو يشبه دبوس التثبيت، إلا أن طرفه مشطوف من المنتصف. يسمح هذا التصميم للطرف المدبب للدبوس بالوصول إلى نهاية الفتحة المركزية في قطعة الشغل دون ملامسة الشغلة. وبذلك، يمكن لأداة الخراطة الوصول إلى جميع جوانب قطعة الشغل.



الشكل 22.1. الذنب الثابتة النصفية [5]

5.6.1. العربة :

تتحرك العربة على المزالق لفرش المخرطة، [5] وتحمل الأجزاء التالية :

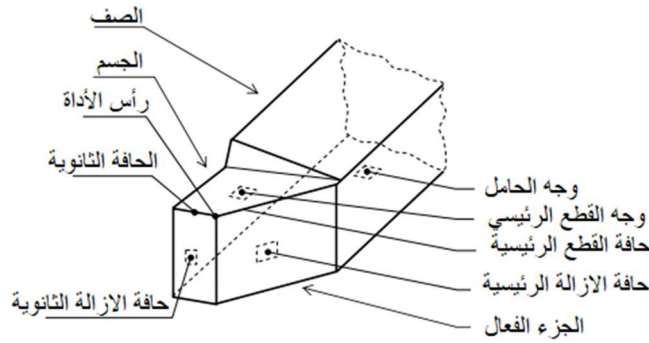
- المنزلق العلوي: يستخدم للتغذية عند اجراء عملية الخراطة على الأجزاء الصغيرة.
- المنزلق العرضي: تسمى التغذية فيها بحركة الايصال أي تعني أن القاطع يقترب من سطح قطعة العمل في اتجاه عمودي على المحور.
- حامل سكين القطع: يستعمل لتثبيت سكين الخراطة على المنزلق في الراسمة.
- أذرع التشغيل اليدوي: تدار كل من الأذرع الطولية والعرضية يدويا وآليا، يؤديان الى حركة تغذية باتجاه موازي لمحور المخرطة.
- مجموعة الجر: يتم تحريك العربة آليا عن طريق كل من عمود الجر وعمود المرشد.
- مجموعة مسننات تعاشيق التغذية: تنقل الحركة الى مجموعة الجر التي تحول الحركة الدورانية الى حركة طولية، ويوجد ضمن هذه المجموعات أيضا محولات لتشغيل وإيقاف الحركة الأوتوماتيكية والتحكم في مختلف عمليات القطع.

7.1. أقلام الخراطة :

هي أداة قطع معدنية يتم تركيبها على الحامل المخصص لها على الراسمة ويسمى حامل القلم. الشكل 23.1 يبرز جميع أجزاء قلم الخراطة وهي معرفة كالتالي [6]:

- جسم الأداة (النصاب): هو الجزء الذي يحمل عناصر القطع التي تتكون منها أداة القطع. يتم تثبيته في مكانه على الراسمة في المخرطة.
- وجه القطع: هو السطح الذي ينزلق عليه الرائش عند القطع.

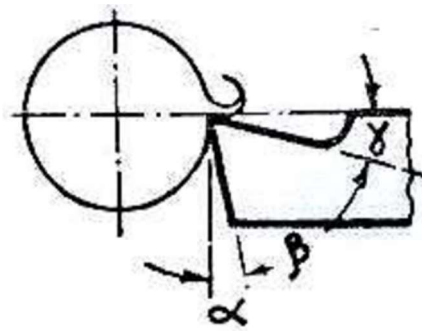
- وجه الرائش: هو السطح الناتج عن مرور الأداة عبر الجزء المراد قطعه. يتكون السطح المقطوع من وجهين: وجه رئيسي ووجه ثانوي. يعطي الوجه الرئيسي تقاطعه مع وجه القطع وحافة القطع الرئيسية.
- حافة القطع الرئيسية: حافة متطورة مخصصة لإزالة المواد، وتتشكل عند تقاطع وجه القطع ووجه البقايا.
- حافة القطع الثانوية: تمتد الحافة الثانوية من نهاية الحافة الرئيسية في اتجاه آخر، وتتشكل عند تقاطع وجه القطع وداخل وجه البقايا. [6]



الشكل 23.1. أجزاء أداة الخراطة [6]

1.7.1. زوايا لقم الخراط :

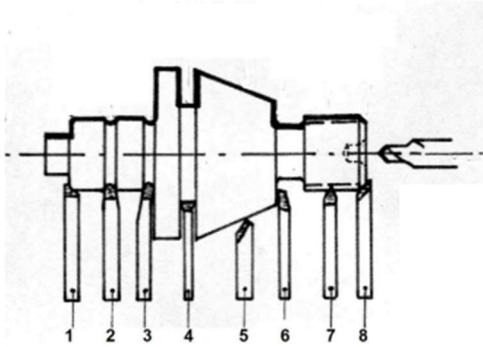
- زاوية الجرف (γ): هذه الزاوية تكون أكبر للمعادن الناعمة، وذلك لسهولة انزلاق الرائش فوقها. أما المعادن الخشنة، فإن الزاوية تكون أقل، وذلك لزيادة الاحتكاك بين الرائش والمعدن، مما يساعد على إزالة المواد بشكل أسرع.
- زاوية الخلوص (α): لمنع احتكاك اللقم مع قطعة العمل.
- زاوية السن (β): تعتمد زاوية السن على سطحي المقطع العرضي على زاوية المقطع العرضي وليونة المعدن الذي يتم قطعه. [7] الشكل 24.1 يوضح زوايا لقم الخراطة.



الشكل 24.1. زوايا لقم الخراطة [7]

8.1. مختلف أدوات الخراطة :

1.8.1. الخراطة الخارجية : الشكل 25.1



الشكل 25.1. أدوات الخراطة الخارجية [8]

و

1. أداة تشكيل

2. أداة تعنيق

3. أداة تخديد

4. أداة قطع

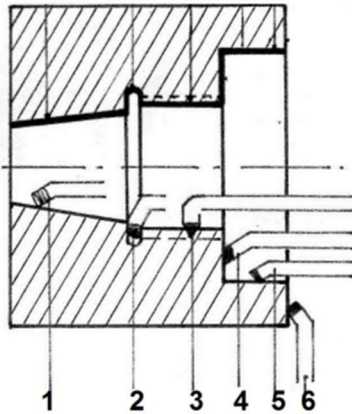
5. أداة خرط طولي

6. أداة تسوية

7. أداة لولبة

8. أداة شطف

2.8.1. الخراطة الداخلية : الشكل 26.1



الشكل 26.1. أدوات الخراطة الداخلية [8]

1. أداة خرط طولي داخلي

2. أداة تعنيق داخلي

3. أداة لولبة داخلية

4. أداة تسوية داخلية

9.1. الحركة النسبية (أداة/قطعة) في عملية الخراطة:

عند توليد سطح بإزالة المادة، تكون حركة الأداة بالنسبة للقطعة هي السبب في توليد السطح، وليتم ذلك يجب توفر ثلاثة حركات أساسية وهي موضحة في الشكل 27.1.

1.9.1. حركة القطع Mc :

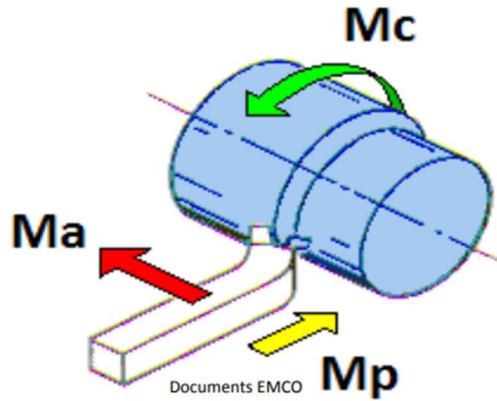
حركة القطع هي حركة نسبية بين الأداة والقطعة، حيث تدور القطعة حول محورها بسرعة عالية وبشكل مستمر حيث تعطى هذه الحركة للقطعة وتُعرف هذه الحركة أيضًا باسم حركة الدوران، ويشار إليها بالرمز Mc. [9]

2.9.1. حركة التقدم Ma :

حركة التقدم هي حركة نسبية بين الأداة والقطعة وهي ضرورية لتوليد سطح العمل، حيث تتحرك الأداة بحركة مستقيمة بطيئة على طول محور القطعة حيث تعطى هذه الحركة للأداة، تُعرف هذه الحركة أيضًا باسم حركة التغذية، ويشار إليها بالرمز Ma . [9]

3.9.1. حركة الاختراق Mp :

حركة الاختراق هي حركة نسبية بين الأداة والقطعة، حيث تتحرك الأداة بحركة مستقيمة بسرعة بطيئة في اتجاه عمودي على محور القطعة، تعطى هذه الحركة للأداة وتُعرف هذه الحركة أيضًا باسم حركة الدفع، ويشار إليها بالرمز Mp . [9]



الشكل 27.1. حركات القطع [9]

10.1. تأثير الحرارة على عملية التصنيع :

للحرارة تأثيرات سلبية على عملية التصنيع ومن بين هذه التأثيرات نجد: [10]

- التآكل: تؤدي الحرارة إلى تآكل أداة القطع بشكل أسرع، خاصةً عند استخدامها لقطع المواد الصلبة أو عند سرعات عالية.
- التشقق: يمكن أن تؤدي الحرارة الزائدة إلى تشقق أداة القطع وكسرها.
- التشوه: يمكن أن تؤدي الحرارة إلى تشوه أداة القطع، مما يؤثر على دقتها وكفاءتها.
- فقدان الصلابة: يمكن أن تؤدي الحرارة إلى فقدان أداة القطع لصلابتها، مما يجعلها أكثر عرضة للتآكل والتشوه.

- التفاعل الكيميائي: يمكن أن تتفاعل الحرارة مع المواد الكيميائية الموجودة في القطعة المراد قطعها، مما يؤدي إلى تآكل أداة القطع.

11.1. مواد التشغيل في الخراطة :

المواد المستخدمة في عملية الخراطة تختلف بناءً على نوع القطعة التي يتم تصنيعها ومتطلبات العملية. ومن بين هذه المواد نجد: المعادن، البلاستيك، والخشب وهذه المواد تعتبر المواد الأكثر شيوعاً في عمليات الخراطة. من بين هذه المواد الحديثة المستخدمة في الخراطة هو POMC (بولي أكسي مثيلين المقوى بالزجاج). POMC هو نوع من البوليمرات الهندسية، ويتميز بقوة عالية وصلابة ممتازة، مما يجعله مادة مثالية للاستخدام في عمليات الخراطة. يتم تقوية مادة POMC بإضافة زجاج مقوى، مما يعزز من قوتها وصلابتها بشكل إضافي. في هذه المذكرة، سنتعرف على البوليمرات وكيفية الحصول على هذه المواد. سنستكشف أيضاً تصنيفاتها وسلوكها أثناء التصنيع.

1.11.1. تعريف البوليمرات :

البوليمر هو جزيء ضخم يتكون من سلسلة طويلة من الوحدات المتكررة. تأتي هذه الوحدات من جزيئات أصغر تسمى المونومرات. يمكن تشبيه البوليمر بقطار طويل من عربات المونومرات، حيث تحمل كل عربة نفس الحمولة، وهي الوحدة المتكررة، مثال بوليمر فينيل، وهو أحد أكثر أنواع البوليمرات شيوعاً في الصناعة مثل H أو CH₃ أو Cl أو C₆H₅ (فينيل). [11]

2.11.1. كيفية الحصول على البوليمرات :

تتضمن عملية الحصول على البوليمرات البلمرة، وهي تجميع المونومرات لتكوين بوليمرات أو جزيئات كبيرة، تعتبر هذه العملية حاسمة في انشاء أنواع مختلفة من البوليمرات مثل البولي إيثيلين والبوليسترين ولبولي فينيل كلوريد، والتي تستخدم على نطاق واسع في المنتجات اليومية، يمكن أن تحدث البلمرة من خلال تفاعلات مختلفة مثل التكتيف المتعدد والاضافة المتعددة، مما يؤدي إلى تكوين هذه المواد متعددة الاستخدامات ذات الخصائص المتنوعة. [12]

3.11.1. تصنيفات البوليمرات :**1.3.11.1. تصنيف البوليمرات حسب المصدر :**

تقسم البوليمرات إلى ثلاثة أنواع رئيسية حسب مصدرها [13] :

- البوليمرات الطبيعية: تُشكل هذه البوليمرات المادة الحية، مثل البروتينات، والأحماض النووية، والسليلوز، والكيتين.
- البوليمرات المعدلة كيميائياً: هي بوليمرات طبيعية تم تعديلها كيميائياً لتحسين خصائصها أو إكسابها خصائص جديدة، مثل ميثيل السليلوز.
- البوليمرات الاصطناعية: هي بوليمرات تم تصنيعها في المختبر، مثل المواد البلاستيكية، والإيلاستومرات، والألياف، واللصقات.

2.3.11.1. تصنيف البوليمرات حسب البنية :

يمكن تقسيم البوليمرات إلى أربع فئات رئيسية حسب بنيتها [13] :

- البوليمرات الخطية: تُشبه هذه البوليمرات سلاسل طويلة من الخرز المترابطة.
- البوليمرات المتفرعة: تُشبه هذه البوليمرات سلاسل طويلة من الخرز مع فروع جانبية.
- البوليمرات المتشابكة: تُشبه هذه البوليمرات شبكات ثلاثية الأبعاد من الخرز المترابطة.
- البوليمرات الشجرية: تُشبه هذه البوليمرات أشجاراً صغيرة، مع ساق رئيسي وفروع متفرعة.

3.3.11.1. تصنيف البوليمرات حسب التركيب الكيميائي :

يمكن تقسيم البوليمرات إلى فئتين رئيسيتين حسب تركيبها الكيميائي [13] :

- الهوموبوليمرات: تتكون هذه البوليمرات من نوع واحد فقط من الوحدات المتكررة، مثل حبات اللؤلؤ المتطابقة على سلسلة.
- الكوبوليمرات: تتكون هذه البوليمرات من نوعين أو أكثر من الوحدات المتكررة، مثل حبات اللؤلؤ المختلفة على سلسلة.

4.3.11.1. تصنيف البوليمرات حسب السلوك الحراري :

يمكن تقسيم البوليمرات إلى ثلاث فئات رئيسية حسب سلوكها الحراري [13] :

• البوليمرات الحرارية:

- تُشبه العلكة: تصبح طرية عند تسخينها وتتصلب عند تبريدها.
- قابلة لإعادة التدوير: يمكن إعادة تشكيلها بسهولة.
- تتكون من سلاسل طويلة من الخرز: متصلة ببعضها البعض بواسطة روابط ضعيفة.
- تستطيع سلاسل الخرز الانزلاق: لتغيير شكلها.

• البوليمرات الحرارية الصلبة:

- تُشبه البيض المسلوق: تتصلب بعد تسخينها ولا يمكن إعادة تشكيلها.
- تتكون من سلاسل قصيرة من الخرز: ترتبط ببعضها البعض بواسطة روابط قوية.
- تتشكل من شبكة ثلاثية الأبعاد: تجعل البوليمر صلبًا وقويًا.
- تستخدم في تصنيع المنتجات التي تتطلب مقاومة عالية للحرارة: مثل الأواني المقاومة للحرارة، ومكونات السيارات.

• الإيلاستومرات:

- تُشبه المطاط: قابلة للتمدد والعودة إلى شكلها الأصلي.
- تتكون من سلاسل طويلة من الخرز المتشابكة: تنزلق على بعضها البعض عند تطبيق القوة.
- تُستخدم في تصنيع المنتجات التي تتطلب مرونة عالية: مثل الإطارات، والأنايب، والوسائد.

4.11.1. سلوك البوليمرات أثناء التصنيع :

تختلف البوليمرات في سلوكها أثناء التصنيع عن المواد التقليدية مثل المعادن. تتأثر خصائصها بكثافة البوليمر، وزنه الجزيئي، وتوزيعه...، تتميز البوليمرات بسلوك غير خطي، مما يعني أن خصائصها تتغير اعتمادًا على القوة المطبقة عليها، يتطلب تصنيع البوليمرات دقة عالية لضمان دقة الأبعاد والخصائص المطلوبة. [13]

تتمثل العوامل المؤثرة على سلوك البوليمرات أثناء التصنيع في:

- الكثافة: تؤثر على سهولة قطع البوليمر. فكلما زادت كثافة البوليمر، زادت صعوبة قطعه.

- الوزن الجزيئي: يؤثر على قوة البوليمر وصلابته. فكلما زاد الوزن الجزيئي، زادت قوة وصلابة البوليمر.
- التوزيع: يؤثر على تناسق خصائص البوليمر. فكلما كان التوزيع أكثر اتساقًا، كانت خصائص البوليمر أكثر تناسقًا.

12.1. خاتمة :

في هذا الفصل تطرقنا الى عملية الخراطة ومختلفة الجوانب المرتبطة بها. حيث بدأنا بتعريف عملية الخراطة ومختلف عملياتها من تعنيق وتجويف وتسوية... الخ، ثم تناولنا أنواع المخارط المستخدمة في عمليات الخراطة. بالإضافة الى ذلك، قمنا بتقديم مختلف مكونات آلة الخراطة المتوازية وأهمية كل جزء منها في تحقيق عملية الخراطة بكفاءة عالية، وقد اخترنا هذا النوع من المخارط لإعطاء تفاصيل عن أجزائه لأنه النوع الذي تم استعماله في عمليات الخراطة التجريبية في هذه الدراسة. كما تناولنا في هذا الفصل الأدوات المستخدمة في الخراطة، بما في ذلك أنواع اللقم وأبرزنا فيما تستخدم هذه الأدوات لضمان نتائج دقيقة وجودة عالية في الإنتاج. وأخيرًا، قدمنا تعريفًا شاملاً للمادة التي ستستخدم في عمليات الخراطة في هذه العمل، وهي من البوليميدات، وبالتحديد POMC (بولي أكسيمثيلين المقوى بالزجاج). حيث تطرقنا الى تعريف مادة البوليميدات، وسلطنا الضوء على تصنيفاتها وخصائصها المميزة التي تجعلها مثالية للاستخدام في عمليات الخراطة. كما قمنا بتوضيح سلوك هذه المواد أثناء عمليات التصنيع. باختتام هذا الفصل، أدركنا أهمية فهم جميع جوانب عملية الخراطة، بما في ذلك المواد المستخدمة، لضمان تحقيق النتائج المرجوة من عمليات التشغيل التجريبية بكفاءة وجودة عالية.

الفصل الثاني: الطرق الإحصائية المستعملة

1.11. مقدمة :

في هذا العمل سنقوم بدراسة تأثير شروط القطع على خشونة السطح ودرجة حرارة التصنيع خلال عملية الخراطة لمادة POMC. من أجل انجاز هذه الدراسة وبدقة تم الاعتماد على احدى طرق تصميم التجارب وذلك بهدف انجاز عدد أقل من التجارب والحصول على النتائج المرجوة وبنفس الدقة. وللقيام بهذه التجارب بالطريقة الصحيحة وبأقل تكلفة وفي نفس الوقت تكون النتائج دقيقة، تم اقتراح بعض الطرق لتصميم التجارب من بينها طريقة منهجية سطح الاستجابة (RSM). منهجية سطح الاستجابة (RSM) هي طريقة لتصميم التجارب وتهدف إلى تحسين عملية الجودة وضمانها. ويتم تحليل النتائج المتحصل عليها بالاعتماد على الطرق الإحصائية.

تم تصميم التجارب في هذه الدراسة بالاعتماد على منهجية سطح الاستجابة (RSM) بهدف دراسة تأثير كل من سرعة القطع، عمق التغذية، وسرعة التغذية على خشونة السطح وحرارة القطع. وقد تم استخدام تحليل التباين (ANOVA) وتحليل الانحدار لتحليل النتائج بالاعتماد على برنامج Design Expert. في هذا الفصل، سنقدم الجانب النظري للعوامل المدروسة والمتمثلة في شروط القطع وكذلك الاستجابة والمتمثلة في خشونة السطح، بالإضافة الى تقديم الجزء النظري لمنهجية سطح الاستجابة (RSM) والطرق الإحصائية المستخدمة.

1.11. شروط القطع :

1.1.1.1. سرعة القطع Vc :

سرعة القطع هي المسافة التي تقطعها الأداة على الشغلة في الدقيقة الواحدة [14] ، وهي موضحة في الشكل 1.11. يعتمد اختيار سرعة القطع Vc على طبيعة العملية التي يتم تنفيذها ومادة الأداة المستعملة (الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمادة المصنعة ومادة التصنيع) في الممارسة العملية. يتم حساب سرعة القطع بالاعتماد على سرعة دوران الآلة (يشار إليها بـ N)، ويتم حسابها بواسطة المعادلة 1.11 التالية:

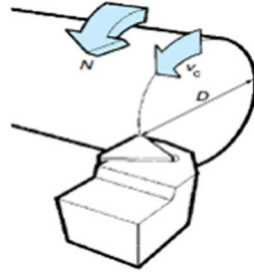
$$Vc = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \dots 1.11$$

Vc : سرعة القطع معبر عنه بالـ m/min.

D : قطر الجزء معبر عنه بالـ mm.

N : سرعة دوران العمود معبر عنه بالـ tr/min.

سرعة القطع لها تأثير كبير على عمر الأداة، ويختلف بشكل خاص مع: المادة المراد تشكيلها، مادة الأداة، طبيعة العملية (إستقرار أو تشطيب)، شكل الحد القاطع للأداة وظروف التزييت.



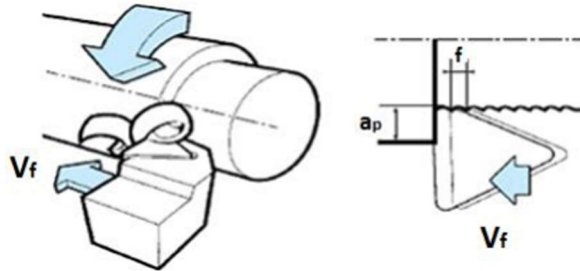
الشكل 1.11. سرعة القطع Vc [14]

2.1.11. التغذية f :

هي المسافة التي تقطعها الأداة بالمليمتر لكل دورة عندما تكون الشغلة في حالة دوران ممثل ما هي ممثلة في الشكل 2.11 [14]. التغذية هي حركة الأداة بالنسبة لقطعة العمل أثناء دورانها. تقاس التغذية بـ mm/tr، ويتم التعبير عنها بالمعادلة 2.11 التالية:

$$f = \frac{V_f}{N} \dots 2.11$$

Vf: سرعة التقدم المعبر عنها بالـ mm/min



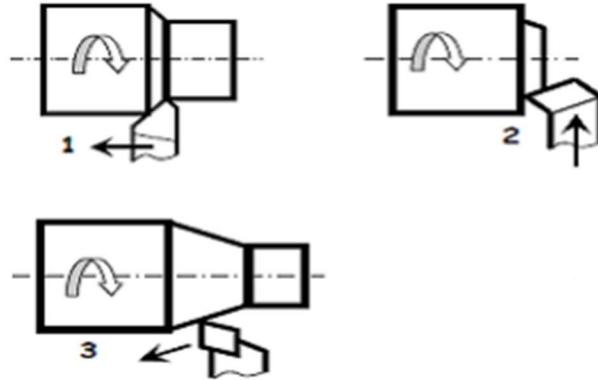
الشكل 2.11. سرعة التغذية Vf [14]

يعتمد التقدم على تردد الدوران، والذي يتم تحديده مسبقاً. وبالتالي، تعتمد سرعة القطع وعمق القطع أيضاً على تردد الدوران. كما نميز 3 أنواع للتغذية (الشكل 3.11):

1. التغذية الطولية: تسمى بالتغذية الطولية إذا تحركت الأداة بشكل موازي لمحور القطعة.

2. التغذية العرضية: تسمى بالتغذية العرضية إذا تحركت الأداة بشكل عمودي على محور القطعة.

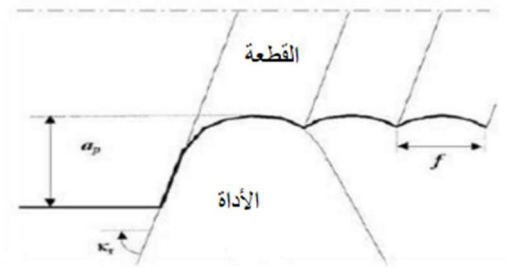
3. التغذية المائلة: تسمى بالتغذية المائلة: إذا تحركت الأداة بزاوية على محور القطعة. [14]



الشكل 3.11. أنواع التغذية [14]

3.1.11. عمق القطع a_p :

يمثل عمق القطع مقدار المادة التي يتم إزالتها من قطعة العمل. يُشار إليه بـ a_p ، ويُقاس بالمليمتر، وهو مقدار حركة الأداة بالنسبة لقطعة العمل وهو موضح في الشكل 4.11. [15]



الشكل 4.11. عمق القطع a_p [15]

2.11. تعريف خشونة السطح :

خشونة السطح هي قياس كمي لانتظام سطح مادة ما وهي تقيس مدى درجة نعومة السطح. يمكن أن تؤثر الخشونة على خصائص المادة، مثل الاحتكاك والتآكل والمقاومة، وهو لا يرتبط باللمس أو البصر.

3.II. أنواع خشونة السطح :

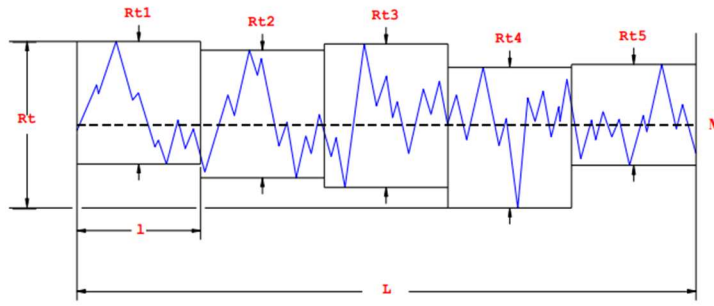
1.3.II. الخشونة الكلية R_t :

هي المسافة العمودية بين أعلى وأدنى نقاط المظهر الجانبي (البروفيل) ضمن طول قطعة الشغلة، وهو مجموع المسافة من الخط المتوسط إلى أعلى قمة والمسافة من الخط المتوسط إلى أدنى انخفاض مثل ما هو موضح في الشكل 5.II. [16] القانون الرياضي لحسابها هو 3.II:

$$[17] R_t = R_p + R_v \dots 3.II$$

R_p : المسافة بين أعلى قمة والخط الوسط.

R_v : المسافة بين أدنى عمق والخط الوسط.

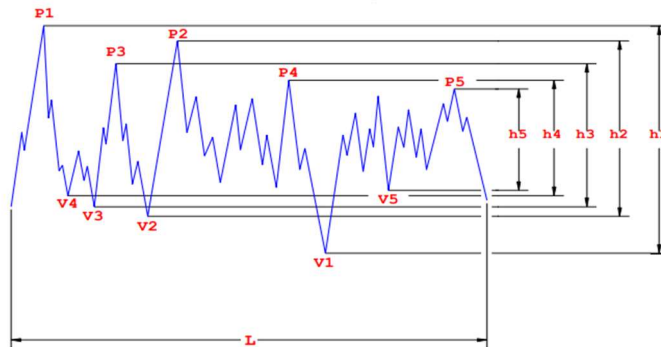


الشكل 5.II. الخشونة الكلية R_t [18]

2.3.II. متوسط الخشونة الكلية R_z :

هو متوسط خمس قيم للارتفاعات وخمس قيم للانخفاضات ضمن طول قطعة الشغل، الشكل 6.II. يحسب متوسط الخشونة الكلية بالعلاقة 4.II [16]

$$[17] R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 h_i \dots 4.II$$

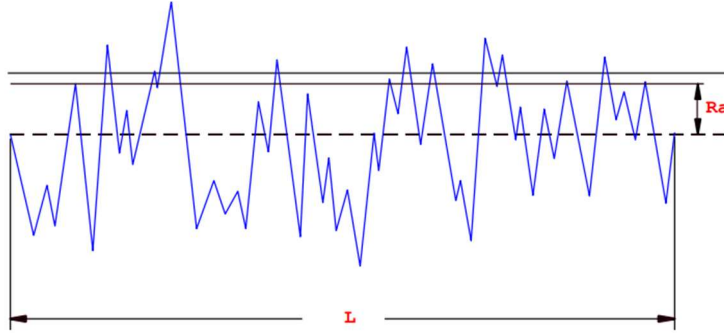


الشكل 6.II. متوسط الخشونة الكلية R_z [16]

3.3.ii. متوسط الخشونة الحسابي Ra :

أكثر معايير الخشونة استخداماً وهو متوسط قيم ارتفاعات البروفيل على طول قطعة الشغل، بعد أخذ القيمة المطلقة لكل القيم الموجودة فوق و تحت المستوي الوسطي وهي موضحة في الشكل II. 7 ويتم حسابه بالمعادلة [16]. 5.II

$$[17] \quad Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \dots 5.II$$



الشكل II. 7. متوسط الخشونة الحسابي Ra [17]

4.ii. منهجية سطح الاستجابة RSM :

خلال انجاز التجارب، قد يكون عدد العوامل ومستوياتها كبيراً جداً. على سبيل المثال، قد يكون هناك عشرة عوامل، لكل منها ثلاثة مستويات. وهذا يعني أنه سيكون هناك $3^{10} = 59049$ تجربة مختلفة يجب إجراؤها لدراسة جميع العوامل الممكنة، ولإجراء هذا العدد الكبير من التجارب، من الضروري توفير كميات معتبرة من المواد، وظروف تجربة مختلفة، وما إلى ذلك. وهذا قد يؤدي إلى عدم التجانس، مما يجعل النتائج التجريبية غير دقيقة. فمثلاً، إذا كانت المواد التجريبية أو ظروف التجربة مختلفة قليلاً عن بعضها البعض، فقد يؤدي ذلك إلى اختلاف النتائج التجريبية. وقد يجعل هذا من الصعب استخلاص استنتاجات دقيقة حول تأثير العوامل على الاستجابة. ومن ثم، يجب الحرص على عدم وجود اختلافات في المواد التجريبية والظروف الخلفية، حتى لا تحيد الاستنتاجات المراد استخلاصها. ولقيام بهذه التجارب بالطريقة المثلى وأقل تكلفة وفي نفس الوقت تكون النتائج دقيقة، تم اقتراح بعض طرق تصميم التجارب من بينها طريقة منهجية سطح الاستجابة (RSM).

منهجية سطح الاستجابة RSM هو مجموعة من الأساليب الإحصائية والرياضية والتقنيات المستخدمة لتطوير وتحسين العمليات. والغرض منه هو تحديد العوامل التي تؤثر بشكل كبير على الاستجابة، وتحديد العلاقة بين هذه العوامل والاستجابة، في الواقع، تعتمد استجابة الإخراج على اختلاف قيم متغيرات الإدخال. يمكن تمثيل هذه

القيم بمتغيرات عشوائية X_i مع $i = 1, \dots, n$ ، والتي يمكن ملاحظتها من خلال التجارب. تسمح المتغيرات العشوائية بتمثيل الاختلافات المكانية والزمانية في قيم متغيرات الإدخال. يمكن استخدام هذه الاختلافات لإنشاء نماذج رياضية تصف العلاقة بين استجابة الإخراج ومتغيرات الإدخال. التمثيل الهندسي لهذه العلاقة يسمى سطح الاستجابة. يتم إنشاء سطح الاستجابة عن طريق تعديل النموذج باستخدام دوال رياضية، مثل كثيرات الحدود. تمر تحليلات السطح بثلاث مراحل [18]:

- بناء الخطة التجريبية: تحدد هذه المرحلة عوامل الإدخال والقيم التي سيتم اختبارها في التجربة.
 - نمذجة الاستجابة: في هذه المرحلة، يتم استخدام البيانات من التجربة لإنشاء نموذج رياضي يصف العلاقة بين استجابة الإخراج ومتغيرات الإدخال.
 - التمثيلات البيانية: في هذه المرحلة، يتم استخدام البيانات لتمثيل سطح الاستجابة.
- يمكن استخدام استجابات السطح لتحسين العمليات في مجموعة متنوعة من المجالات، بما في ذلك التصنيع، الزراعة، الطاقة، والخدمات الصحية. [18]
- تستخدم منهجية سطح الاستجابة (RSM) لتحسين العمليات أو المنتجات التي تتأثر بالعديد من العوامل. حيث يمكن أن تساعد في تحديد العوامل الأكثر أهمية، وتحديد القيم المثلى لكل عامل لتحقيق أفضل نتيجة ممكنة. [18]

تسمى المتغيرات التي يمكن التحكم فيها بالمتغيرات المستقلة. وتستخدم منهجية سطح الاستجابة (RSM) لدراسة العلاقة بين هذه المتغيرات والنتيجة المرجوة. حيث تقوم بتطوير نموذج إحصائي تقريبي لهذه العلاقة، والذي يمكن استخدامه للعثور على القيم المثلى للمتغيرات المستقلة لتحقيق النتيجة المرغوبة، ويمكن تلخيص هذه العلاقة في المعادلة 6.II التالية: [18]

$$y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) + \varepsilon \dots 6.II$$

نظرًا لأن شكل دالة الاستجابة الحقيقية غير معروف وقد يكون معقدًا للغاية، فإن المصطلح ε يمثل مصادر أخرى للتباين غير المدرج في دالة الاستجابة. قد تتضمن هذه المصادر أخطاء القياس، وضوضاء الخلفية، وتأثيرات أخرى للمتغيرات التي لم يتم أخذها في الاعتبار. عادةً ما يتم التعامل مع ε كخطأ إحصائي، ويُفترض غالبًا أنه توزيع طبيعي بمتوسط 0 وتباين σ^2 ومنه النموذج الرياضي للاستجابة ممثل في المعادلة 7.II [18]:

$$E(y) = \eta = E[f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)] + E(\varepsilon) = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) \dots 7.II$$

في المعادلة السابقة، تسمى المتغيرات $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_3$ بالمتغيرات الطبيعية، ويتم التعبير عنها بوحدات القياس الطبيعية، مثل الدرجة المئوية. ومع ذلك، في الكثير من تطبيقات RSM، يكون من المناسب تحويل المتغيرات الطبيعية إلى متغيرات مشفرة. تُعرف المتغيرات المشفرة بأنها بلا أبعاد بمتوسط 0 ونفس الانحراف المعياري. عند التعبير عن دالة الاستجابة بالمتغيرات المشفرة، تأخذ الشكل العلاقة 8.II التالي [18]:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \dots 8.II$$

نظرًا لأن شكل دالة الاستجابة f الحقيقي غير معروف، فيجب علينا استخدام نموذج رياضي لتقريبها. يعتمد نجاح RSM على قدرة الباحث على تطوير نموذج مناسب. غالبًا ما تكون كثيرات الحدود ذات الترتيب المنخفض مناسبة في المناطق الصغيرة نسبيًا من مساحة المتغير المستقل. في كثير من الحالات، يتم استخدام نموذج الدرجة الأولى أو نموذج الدرجة الثانية. [18]

من المرجح أن يكون نموذج الدرجة الأولى مناسبًا عندما يكون الباحث مهتمًا بتقريب سطح الاستجابة الحقيقي في منطقة صغيرة نسبيًا من مساحة المتغير المستقل، في موقع يوجد به انحناء قليل في f .

في حالة وجود متغيرين مستقلين نموذج الرتبة الأولى يعطى بالعلاقة 9.II من حيث ترميز المتغيرات هي: [18]

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots 9.II$$

يُعرف نموذج الدرجة الأولى في المعادلة السابقة باسم نموذج التأثيرات الرئيسية، لأنه يتضمن فقط تأثيرات المتغيرات المستقلة الفردية. يمكن إضافة التفاعلات بين المتغيرات المستقلة إلى النموذج بسهولة، كما هو موضح أدناه في المعادلة 10.II [18]:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \dots 10.II$$

يتضمن نموذج الدرجة الأولى مع التفاعل مصطلح التفاعل، والذي يوفر انحناءً في وظيفة الاستجابة. غالبًا ما يكون الانحناء في سطح الاستجابة الحقيقي قويًا جدًا بحيث يكون نموذج الدرجة الأولى غير كافٍ. في هذه المواقف، من المرجح أن يكون نموذج من الدرجة الثانية مطلوبًا. في حالة وجود متغيرين، يكون نموذج الرتبة الثانية موضح بالمعادلة 11.II التالية: [18]

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \dots 11.II$$

من المحتمل أن يكون هذا النموذج مفيدًا كتقريب لسطح الاستجابة الحقيقي في a منطقة صغيرة نسبيًا. يستخدم نموذج الترتيب الثاني على نطاق واسع في RSM لعدة أسباب [18]:

• مرونة نموذج الترتيب الثاني، حيث يمكنه التقريب لسطح الاستجابة الحقيقي بمجموعة واسعة من الأشكال الوظيفية.

• سهولة تقدير معاملات الترتيب الثاني باستخدام المربعات الصغرى.

خبرة عملية كبيرة تشير الى النماذج من الدرجة الثانية في حل مشاكل الاستجابة الحقيقية. بشكل عام، نموذج الدرجة الأولى [18] ممثل بالعلاقة II. 12:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \dots 12. II$$

العلاقة II. 13 تمثل نموذج الدرجة الثانية [18]

$$\eta = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j \dots 13. II$$

في بعض الحالات النادرة، يتم استخدام كثيرات الحدود التقريبية ذات الرتبة الأكبر من اثنين، يعتمد الدافع العام لتقريب متعدد الحدود لوظيفة الاستجابة الحقيقية f على توسعة متسلسلة تايلور حول النقطة.

وأخيراً، هناك علاقة وثيقة بين RSM وتحليل الانحدار الخطي [18]، مثل المثال المعطى بالعلاقة II. 14 التالية:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \dots 14. II$$

II. 5. تصميم المركب المركزي (CCD) :

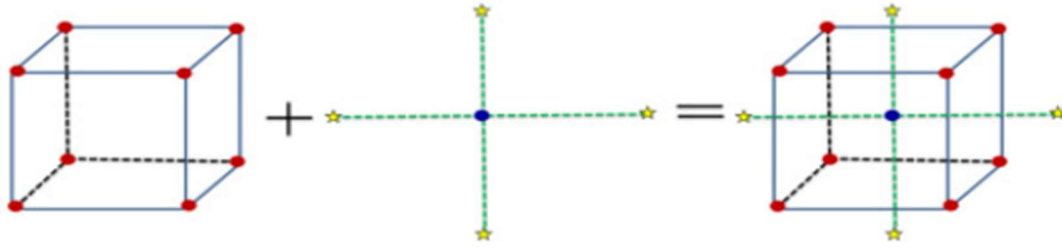
تعد منهجية تصميم المركب المركزي من أنواع منهجية سطح الاستجابة بالإضافة الى منهجية Box-Behnken. يُعد تصميم المركب المركزي (CCD) من أكثر الأدوات الإحصائية شيوعاً وتتنوعاً في مجال تصميم مساحة الاستجابة. يعتمد هذا التصميم على مستويين (عدد المستويات 2) وعوامل تأثير عددها k، ويتضمن نقاط محورية ونقاط مركزية. في البداية ينتج 2^k أو 2^{k-p} من التصميم بملاءمة الحدود والعلاقات من الرتبة الأولى والثانية، بينما تساعد النقاط المحورية على توفير المستوى الإضافي المطلوب لملاءمة النموذج من الرتبة الثانية [19]

يتم تطبيق تصميم المركب المركزي من خلال خطوتين:

• إنشاء تصميم عاملي 2^k أو تصميم عاملي جزئي 2^{k-p} .

• إضافة تشغيلات إضافية تسمى بالنقاط المحورية.

يمكن استخدام تصميم المركب المركزي في مجموعة متنوعة من التطبيقات، مثل تقدير تأثير العوامل على استجابة معينة، وتحسين عملية أو نظام، وتحديد أفضل مجموعة من العوامل لتحقيق النتيجة المرجوة. [19]



الشكل 8.11. التصميم المركب المركزي (CCD) [19]

6.11. أنواع التصميم المركب المركزي (CCD)

6.11.1. تصميم مركب مركزي محيطي (CCC)

يُعد تصميم مركب مركزي محيطي (CCC) نوعاً من تصميمات التجارب التي تُستخدم لدراسة تأثير العوامل على استجابة معينة. يتميز هذا التصميم بوجود خمسة مستويات لكل عامل، مما يجعله أكثر دقة من التصميمات التي تحتوي على مستويات أقل. [20]

خصائص تصميم مركب مركزي محيطي (CCC):

- نقاط ركنية: تقع على أطراف التصميم، مما يسمح بتقييم تأثير العوامل على الاستجابة عند مستوياتها القصوى.
- نقاط مركزية: تقع في وسط التصميم، مما يسمح بتقدير تأثير التفاعلات بين العوامل.
- نقاط مستخرجة: تقع على الأضلاع الجانبية انطلاقاً من النقطة المركزية، مما يسمح بتحسين دقة التقدير.
- تناظر دائري أو كروي أو فائق الكروية: يسمح بتحليل البيانات بشكل أكثر كفاءة.
- دوار (rotatable design): يعني أن خطأ التنبؤ متطابق من جميع النقاط إلى النقاط المركزية على نفس المسافة.

6.11.2. تصميم المركب المركزي الداخلي (CCI) :

وهو أداة قوية لتحليل البيانات ويُعد تصميم المركب المركزي الداخلي (CCI) أداة إحصائية قوية لتقييم تأثير العوامل على استجابة معينة في سياق وجود قيود محددة على مستويات العوامل. يُعرف هذا التصميم أيضاً باسم "تصميم المركب المركزي المُقسّم". [20]

❖ خصائص تصميم المركب المركزي الداخلي (CCI) :

- نقاط نجمية: تتكون من إعدادات العوامل المحددة.
- تصميم عاملي: يتم إنشاؤه داخل القيود المحددة لمستويات العوامل.
- نسخة معدلة من تصميم المركب المركزي المحيطي (CCC): يتم إنشاء نموذج تصميم مركب مركزي داخلي (CCI) عن طريق تقسيم تصميم المركب المركزي المحيطي (CCC) على قيمة α .
- تصميم دوار (rotational mode): يُعد كل من التصميم المركزي المحيطي (CCC) والتصميم المركزي الداخلي (CCI) تصميمين دوارين.

3.6.II. تصميم المركب المركزي الأمامي (CCF) :

وهو أداة فعالة لفهم مساحة العوامل ويُعد تصميم المركب المركزي الوجوهي (CCF) أداة إحصائية قوية لفهم تأثير العوامل على استجابة معينة في سياق وجود ثلاثة مستويات لكل عامل. يتميز هذا التصميم بخصائص فريدة تجعله مناسباً لتطبيقات محددة.

❖ خصائص تصميم مركب مركزي أمامي (CCF):

- نقاط نجمية كنقاط مركزية للوجوه: في تصميم المركب المركزي الوجوهي (CCF) ، تقع النقاط النجمية في مركز كل وجه من مساحة العوامل (factorial space).
- قيمة α تساوي 1: وبالتالي، فإن قيمة α المستخدمة في حساب موضع النقاط النجمية تساوي 1.
- مستويات العوامل: يتطلب تصميم المركب المركزي الوجوهي (CCF) ثلاثة مستويات لكل عامل.
- تصميم غير دوار (non-rotatable design): على عكس التصميمين السابقين، لا يُعد تصميم المركب المركزي الوجوهي (CCF) تصميمًا دوارًا. [20]

7.II. مقارنة بين الأنواع الثلاثة لتصميم المركب المركزي (CCD) :

الشكل 9.II يقدم بوضوح أكثر الفرق بين الأنواع الثلاثة لتصميم المركب المركزي.

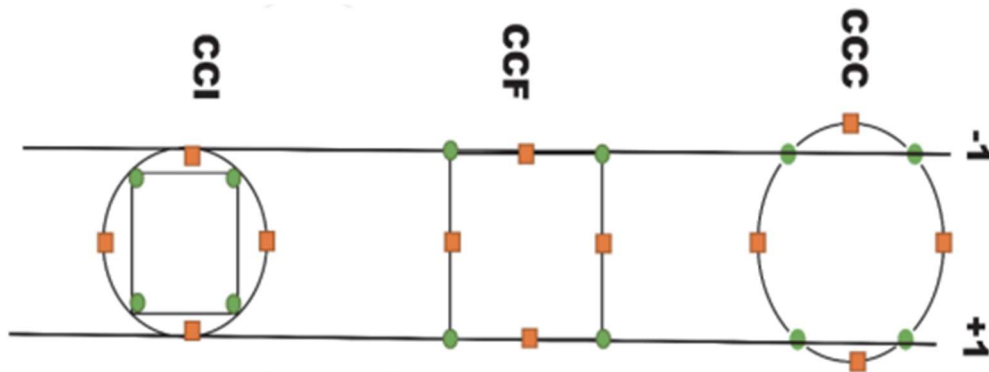
❖ استكشاف مجال العملية:

- يستكشف تصميم المركب المركزي الداخلي (CCI) أصغر مجال للعملية.

- يستكشف تصميم المركب المركزي المحيطي (CCC) أكبر مجال للعملية.
- يستكشف تصميم المركب المركزي الوجوهي (CCF) مساحة العوامل مع التركيز على الوجوه.

❖ دوران التصميم:

- تصميم المركب المركزي المحيطي (CCC) و تصميم دوار .
- تصميم المركب المركزي الداخلي (CCI) هو تصميم دوار .
- تصميم مركب مركزي وجوهي (CCF) هو تصميم غير دوار . [20]



الشكل 9.11. المقارنة بين الأنواع الثلاثة للتصميم المركب المركزي [20]

8.11. تحليل التباين ANOVA :

تحليل التباين (ANOVA) هو اختبار إحصائي يستخدم لمقارنة متوسطات قيم المتغير التابع في مجموعات مختلفة من المتغير المستقل. يعتمد تحليل التباين على تقسيم التباين الكلي في قيم المتغير التابع إلى مكونات تُعزى إلى عوامل مختلفة، مثل المتغير المستقل، يتم استعمال ANOVA لفحص أهمية كل معلمة، يتم تعيين أهمية كل عامل باستخدام تحليل ANOVA بحساب القيم الإحصائية التالية: [21]

يحسب العامل SST وهو إجمالي الانحرافات التربيعية بالاعتماد على العلاقة 15.II التالية:

$$SS_T = \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \dots 15.II$$

حيث:

N : هو عدد الحالات في المصفوفة المتعامدة.

Y_i : هو النتيجة التجريبية/العديدية للتجربة.

\bar{Y} : هو المتوسط الحسابي للمتغير Y_i حيث:

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \dots 16.II$$

المجموع الإجمالي للانحرافات التربيعية SS_T يتكون من مجموع الخطأ التربيعي SS_e ومجموع الانحرافات التربيعية SS_p المستحقة لكل معلمة عملية، لذلك تم تعريف SS_p على أنه (المعادلة 17.II) : [21]

$$SS_p = \sum_{j=1}^t \frac{(SY_j)^2}{t} - \frac{1}{N} [\sum_{i=1}^N Y_i]^2 \dots 17.II$$

حيث:

P : هو أحد المعلمات.

z : هو رقم مستوى هذه المعلمة P.

t : هو تكرار كل مستوى من المعلمة P.

SYj : النتائج التجريبية التي تنطوي على مجموع المعلمة P والمستوى z.

مجموع المربعات من معلمات الخطأ SS_e تعطى بالعلاقة 18.II التالية: [21]

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D - SS_E \dots 18.II$$

الدرجة الكلية للحرية تعرف بـ: [21]

$$D_T = N - 1 \dots 19.II$$

درجة الحرية لكل معلمة تم اختبارها: [21]

$$D_p = N - 1 \dots 20.II$$

تباين المعلمة التي تم اختبارها: [21]

$$V_p = \frac{SS_p}{D_p} \dots 21.II$$

قيمة F لكل معلمة تصميم هي ببساطة نسبة متوسط انحرافات المربعات الى متوسط الخطأ التربيعي

$$F_p = \frac{V_p}{V_e} \dots 22.II$$

تم حساب النسبة المئوية للمساهمة ρ كما في الشكل: [21]

$$\beta_P = \frac{SS_P}{SS_T} \dots 23.II$$

يتم استخدام مجموع المربعات SC لتقدير مربع الانحراف عن المتوسط حيث يتم التعبير عنه بالمعادلة 24.II: [22]

$$SC_f = \frac{N}{N_{nf}} \sum_{i=1}^{N_{nf}} (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \dots 24.II$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \dots 25.II$$

\bar{y} : متوسط الاستجابات.

\bar{y}_i : الاستجابة المتوسطة في التجربة.

N : العدد الإجمالي للتجارب.

N_{nf} : مستوى كل عامل f .

يمكن إيجاد قيمة المتوسط التربيعي MC بقسمة مجموع المربعات SC على عدد درجات الحرية حيث يتم التعبير عنه بالمعادلة 26.II: [22]

$$MC_i = \frac{SC_i}{df_i} \dots 26.II$$

لتحديد ما إذا كان النموذج يناسب البيانات بشكل جيد، نستخدم مؤشر F-value. إذا كانت قيمة F-المحسوبة أعلى من قيمة F-المعطاة في جدول F عند مستوى دلالة معين، فإننا نقول أن النموذج يناسب البيانات بشكل جيد، حيث يتم التعبير عنه بالمعادلة: [22]

$$F_i = \frac{MC_i}{MC_e} \dots 27.II$$

حيث:

MC_e : المجموع التربيعي للأخطاء.

عمود (Cont.%) في جدول ANOVA يوضح النسبة المئوية التي تساهم بها العوامل في التباين الكلي، مما يشير إلى مدى تأثيرها على الإستجابة بالنسبة المئوية، ويتم التعبير عنه بالمعادلة 28.II: [22]

$$Cont. \% = \frac{SC_f}{SC_T} \times 100 \dots 28.II$$

9.II. تحليل الانحدار :Analyse de Regression

هو أحد الأساليب الإحصائية الأكثر استخداما في مختلف المجالات منها العلوم الفيزيائية التي تتضمن تحديد وتقييم العلاقة بين متغير تابع ومتغير مستقل أو أكثر، وتسمى أيضا المتغيرات المتنبئة أو التوضيحية، إنه مفيد بشكل خاص لتقييم وتعديل الاريباك، تم افتراض نموذج العلاقات وتقديرات قيم المعلمات التي يتم استخدامها لتطوير معادلة الانحدار المقدر، ثم يتم استخدام اختبارات مختلفة لتحديد ما إذا كان النموذج مرضيا أم لا. يمكن استخدام معادلة الانحدار للتنبؤ بقيمة المتغير التابع بقيم معينة للمتغيرات المستقلة. [23]

يستكشف الانحدار الخطي العلاقات التي يمكن وصفها بسهولة بالخطوط المستقيمة أو تعميمها على أبعاد عديدة، يمكن حل عدد كبير من المشاكل عن طريق الانحدار الخطي، وأكثر من ذلك عن طريق تحويل المتغيرات الأصلية كما يؤدي الى علاقات خطية بين المتغيرات المحولة. [23]

عندما يكون هناك متغير تابع واحد مستمر ومتغير مستقل فإنه يسمى بتحليل الانحدار الخطي البسيط، يفترض هذا التحليل أن هناك ارتباط خطي بين المتغيرين، الانحدار المتعدد هو معرفة المزيد عن العلاقة بين عدة متغيرات مستقلة أو متوقعة ومعيار تابع (عامل). [23]

10.II. أهداف تحليل الانحدار :

يستخدم تحليل الانحدار لشرح التباين في المتغير التابع عن طريق واحد أو المزيد من المتغيرات المستقلة أو الضابطة وتحليل العلاقات بين المتغيرات والإجابة على مسألة مدى تغير المتغير التابع مع التغيرات في كل من المتغيرات المستقلة، والتنبؤ بقيمة المتغير التابع على أساس قيم المتغيرات المستقلة.

والهدف الأساسي من الانحدار هو تطوير علاقة خطية بين استجابة المتغير والمتغيرات التوضيحية لأغراض التنبؤ، يفترض أنه توجد علاقة خطية وتتفوق عن الأساليب البديلة (الانحدار الوظيفي). [23]

11.II. نموذج عن تحليل الانحدار :

الانحدار الخطي البسيط هو طريقة إحصائية تستخدم لوصف العلاقة بين متغيرين مستمرين، أحدهما يسمى المتغير المستقل والآخر يسمى المتغير التابع.

المتغير المستقل هو السبب، أي أنه يؤثر على المتغير التابع. على سبيل المثال، قد يكون المتغير المستقل هو عدد الساعات التي يقضيها الطالب في الدراسة، بينما يكون المتغير التابع هو درجة الطالب في الاختبار.

المتغير التابع هو النتيجة، أي أنه يتأثر بالمتغير المستقل. في المثال السابق، فإن درجة الطالب في الاختبار هي نتيجة عدد الساعات التي يقضيها في الدراسة.

مربعات الصغرى للانحدار الخطي هي طريقة تستخدم لتقدير العلاقة بين المتغيرين المستقل والتابع. تتمثل الفكرة الأساسية في إيجاد خط يمر بالقرب من أكبر عدد ممكن من نقاط البيانات.

• يعتبر أحد المتغيرات المشار إليه بـ x بمثابة متنبئ أو توضيح أو مستقل عامل.

• أما المتغير الآخر المشار إليه بـ y فيعتبر الاستجابة أو النتيجة أو تابع عامل.

رياضيا يتم تمثيل نموذج الانحدار بالمعادلة 29.II:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \epsilon_1 \dots 29.II$$

حيث:

• x : متغير مستقل.

• y : متغير تابع

• β_1 : منحدر خط الانحدار المعروف بالعلاقة 30.II.

• β_0 : نقطة التقاطع لخط الانحدار والمحور y والمعرف بالعلاقة 31.II.

$$\beta_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots 30.II$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \cdot \bar{x} \dots 31.II$$

حيث:

n : عدد الحالات أو الأفراد.

$\sum xy$: مجموع المنتج التابع والمتغيرات المستقلة.

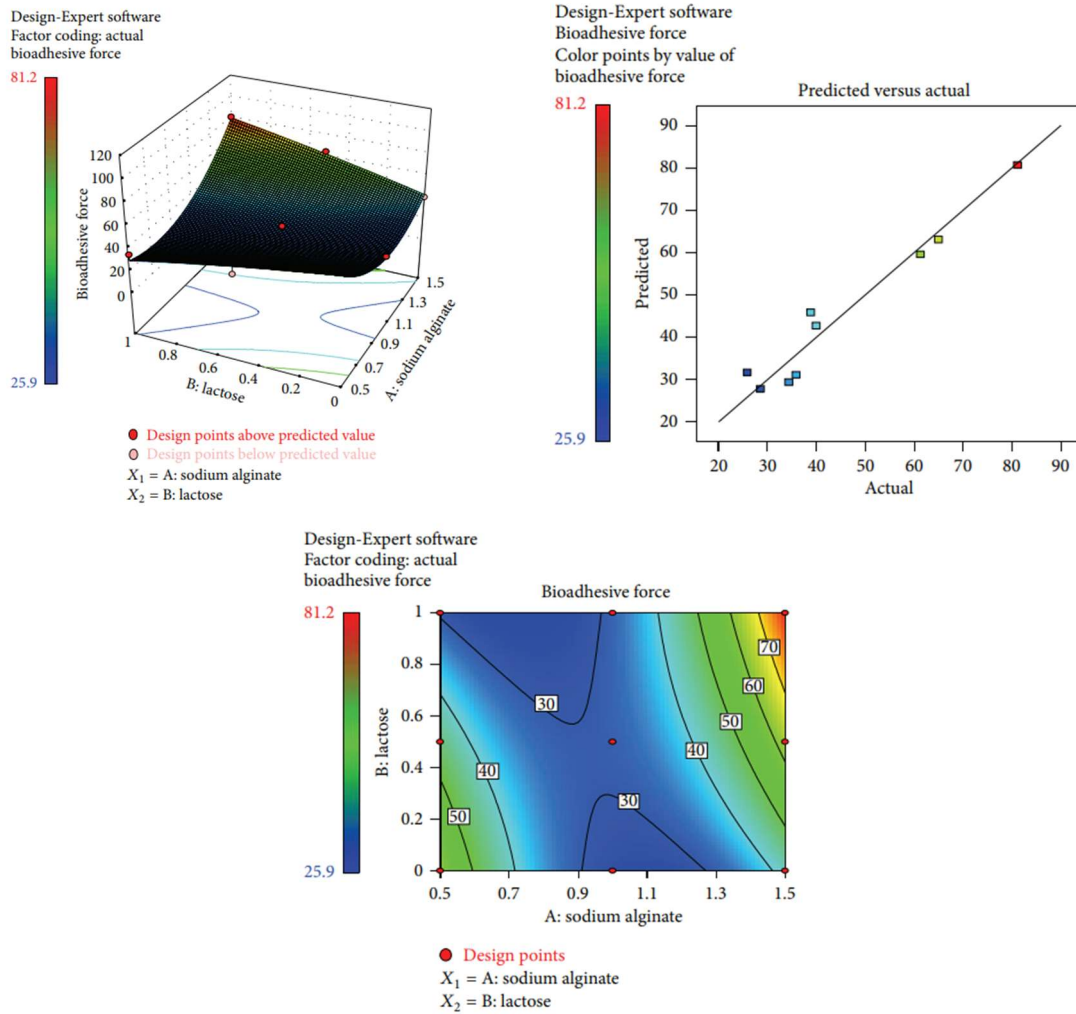
$\sum x$: مجموع المتغير المستقل.

$\sum y$: مجموع المتغير التابع.

$\sum x^2$: مجموع مربع المتغير المستقل. [23]

12.ii . برنامج Design Expert :

Design Expert هو برنامج يجمع بين الاحصائيات وأساليب تصميم التجارب، اذ يعتبر أداة برمجية قوية تساعد المستخدمين على تصميم التجارب وتحليلها في مجالات مختلفة، مثل المستحضرات الصيدلانية و علوم الحياة والأجهزة وغير ذلك... [24]، يوفر هذا البرنامج واجهة سهلة الاستخدام ومجموعة واسعة من الميزات بما في ذلك [25]:



الشكل 10.ii . مختلف المخططات المنجزة ببرنامج Design Expert [26]

- تصميم التجربة: حيث يوفر Design Expert أدوات لإنشاء تجارب مثالية للعمليات أو مجموعة العوامل.
- تحليل البيانات: يسهل البرنامج تحليل البيانات وتحديد العوامل ذات الأهمية الإحصائية ونموذج النتائج بدقة.

- التصور: يقدم Design Expert مجموعة مختارة من الرسوم البيانية لمساعدة المستخدمين على تحديد التأثيرات البارزة وتصور نتائجهم.
 - التصميمات المخصصة: يمكن للبرنامج إنشاء تصميمات مخصصة (مثالية) تجمع بين مكونات الخليط وعوامل المعالجة، مثل الوقت ودرجة الحرارة والكمية...
 - التخطيط العملي: حيث يقوم البرنامج بإرشاد المستخدمين خلال عملية اختيار التصميم، وفحص تخطيط التصميم للتأكد من أن جميع مجموعات العوامل آمنة للتشغيل ومن المحتمل أن تقدم نتائج مفيدة الشكل.
- 10.11 يمثل بعض المخططات التي يمكن إنجازها بالاعتماد على برنامج Design Expert.

13.11. الخاتمة :

في هذا الفصل، تم تقديم الجانب النظري لكل العوامل (شروط القطع) والاستجابة المدروسة (خشونة السطح) التي تم استعمالها في هذا العمل التجريبي. بالإضافة الى تسليط الضوء على أهمية منهجية سطح الاستجابة (RSM) في تصميم التجارب ودورها في تقليل عدد التجارب من جهة والحفاظ على دقة النتائج من جهة أخرى. كما تم استعراض تطبيق مختلف الأساليب الإحصائية لتحليل وتحسين الاستجابات المتمثلة في خشونة السطح وحرارة القطع. بالإضافة إلى ذلك، تم تناول تحليل البيانات المتحصل عليها باستخدام تحليل التباين وتحليل الانحدار بالاعتماد على برنامج Design Expert الذي تم في الأخير إعطاء نظرة عامة عنه.

الفصل الثالث:

الجزء التجريبي

1.1.111. مقدمة :

في هذا الفصل، سنوضح تفاصيل التجربة التي أجريت لدراسة تأثير شروط القطع على خشونة السطح ودرجة حرارة التصنيع في الخراط الطولي لمادة POMC. تم استخدام منهجية سطح الاستجابة CCD لإجراء التجارب. تم انجاز تجارب على مخرطة نصف آلية، أما بالنسبة للاستجابات المتمثلة في خشونة السطح وحرارة القطع فقد تم استعمال جهاز لقياس الخشونة وكاميرا حرارية لقياس الحرارة. في هذا الفصل سيتم ابراز مواصفات وخصائص كل من آلة الخراطة وكل اللواحق التابعة لها التي تم استعمالها، جهاز قياس الخشونة، والكاميرا الحرارية، خصائص المادة التي تم تشغيلها، بالإضافة الى شرح مفصل لجميع مراحل التجارب. أجريت هذه التجارب في مركز البحث في الميكانيك (CRM).

1.1.112. الوسائل المستعملة :

تجرب الخراطة أجريت في في مركز البحث في الميكانيك (CRM) وهو قطب بحثي يقع في حرم جامعة الاخوة منتوري بقسنطينة يهدف الى تسريع تقدم المعرفة واكتشاف توجهات علمية جديدة في مجال الميكانيكا ، حيث تم استعمال آلة الخراطة الموضحة في الشكل 1.111 وهي آلة خراطة نصف آلية من طراز TURNADO 230/1500 V، المصنعة من شركة KNUTH الألمانية كما هو مبين في الشكل 2.111، وتبلغ استطاعتها 5.5 kW وأقصى سرعة دوران فيها هي 3000 tr/min.

استخدام آلة الخراطة النصف آلية خلال إجراء التجارب جعل عملية التشغيل أكثر سهولة، بالإضافة إلى ضمان الدقة من حيث الالتزام بشروط القطع أو من حيث العينات المتحصل عليها.



الشكل 2.111. طراز الآلة الخراطة



الشكل 1.111. مخرطة نصف آلية

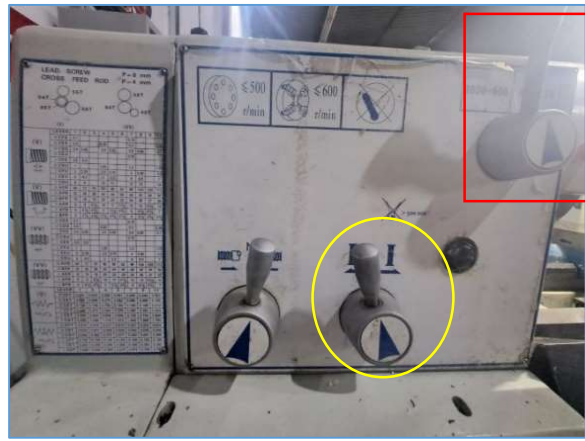
تتميز آلة الخراطة النصف آلية بإمكانية ضبط سرعات الدوران المختلفة، وذلك من خلال الزر والمقبض الموضحين باللون الأحمر في الشكلين 3.111 و 4.111، يتم اختيار سرعة الدوران المطلوبة حسب كل تجربة معطاة. تصل أقصى سرعة دوران للماكينة إلى 3000 tr/min.

تعرض الشاشة الرقمية الموضحة في الشكل 5.111 سرعة الدوران وإحداثيات أداة القطع، كما يمكن من خلالها إعادة ضبط الآلة وإعادة المرجع الى الصفر. سرعة التغذية يتم ضبطها من خلال المقبض المبين باللون الأصفر في الشكل 3.111 والمقايض الموضحة في الشكل 4.111 .

يعرض الجدول الموضح في الشكل 6.111 مختلف قيم التغذية المتوفرة في هذه الآلة و يستعمل أيضا في معرفة الطريقة الصحيحة لضبط المقايض للحصول على قيمة التغذية المختارة حسب العملية التي ستقوم بها.



الشكل 4.111. مقايض التحكم في سرعة التغذية



الشكل 3.111. مقبض اختيار سرعة الدوران

الشكل 6.111. جدول قيم التغذية



الشكل 5.111. شاشة عرض سرعة الدوران وإحداثيات أداة القطع

3.111. عينات الاختبار :

القطع المستخدمة في التجارب هي قطع مصنوعة من مادة البولييميدات POMC، وهي عبارة عن 5 قطع أسطوانية متطابقة الأبعاد. يبلغ طول كل قطعة منها 190 mm، ويبلغ قطرها 22 mm. عينات POMC المستخدمة في التجارب موضحة في الشكل 7.111.



الشكل 7.111. عينات الاختبار

4.111. خصائص مادة الصنع :

عينات الاختبار مصنوعة من مادة البولييميدات C₂₂H₁₀N₂O₅. وتتوضح كل من خصائصه الكيميائية والفيزيائية في الجدولين 1.111 و 2.111 :

الجدول 1.111. الخصائص الكيميائية لـ POMC

العنصر	ألياف بوليستر	ألياف زجاجية
النسبة	70%	30%

الجدول 2.111. الخصائص الفيزيائية لـ POMC

الخاصية	قيمتها
الكثافة	0.9–2.5 g/cm ³
درجة الانصهار	180–250 C°
معامل المرونة	1000–2000 MPa
نسبة الاستطالة	1–10 %
التوصيل الحراري	0.1–0.5 W/K

يتميز هذا النوع من البوليميدات (POM-C : C22H10N2O5) بعدة خصائص نذكر منها:

- القوة: مادة قوية ومقاومة للتلف.
- الخفة: مادة خفيفة الوزن، مما يجعلها مثالية للتطبيقات التي تتطلب وزناً أقل.
- مقاومة الحرارة: مادة مقاومة للحرارة، مما يجعلها مثالية للتطبيقات التي تتطلب درجات حرارة عالية.
- مقاومة التآكل: مادة مقاومة للتآكل، مما يجعلها مثالية للتطبيقات التي تتعرض للمواد الكيميائية أو الطقس.

5.III. أدوات القطع :

1.5.III. أداة التعنيق :

تم إجراء عملية التعنيق لفصل عينات التجارب عن بعضها وذلك من خلال انجاز عنق بين كل عينة وعينة في الأسطوانة الواحدة، والتي سيتم إجراء الخراط الطولي عليها، حيث يبلغ طول كل عينة 40 mm. وذلك لجعل التجارب أكثر دقة وتحقيق أفضل النتائج. وقد تم تحديد الأداة المناسبة لعملية التعنيق وهي -ADKT-ZCC2- 2525-3-T12 . أداة التعنيق موضحة في الشكلين 8.III و 9.III.



الشكل 9.III. تعيين أداة التعنيق



الشكل 8.III. أداة التعنيق

2.5.III. أداة الخراط الطولي :

استخدمنا أداة الخراط الطولي MWLNR2525M08 لإجراء التجارب. وقد اخترنا هذه الأداة بناءً على المعلومات الواردة في الكتالوج الذي تم الرجوع إليه. الشكلين 10.III و 11.III يوضحان أداة الخراط الطولية و تعيينها على الترتيب.



الشكل 11.iii. تعيين أداة الخراط الطولي

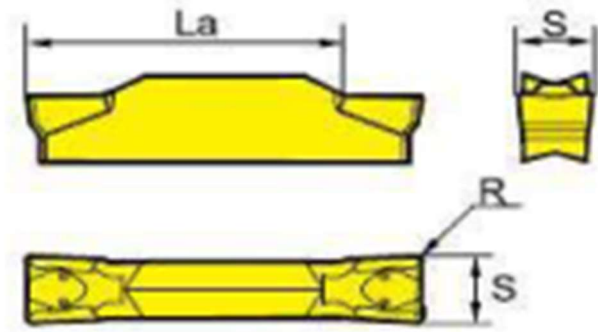


الشكل 10.iii. أداة الخراط الطولي

6.iii. لقم الأدوات :

1.6.iii. لقم التعنيق :

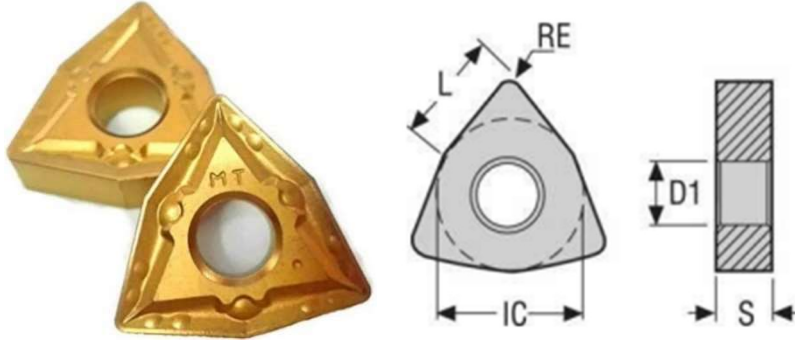
أُجريت عملية التعنيق باستخدام لقم من مادة الكربيد، هذه الأداة تحمل رقم الطراز ZTFD 302YBG -0303 .MG الصور التوضيحية للقم التعنيق وأبعاده مبينة في الشكل 12.iii .



الشكل 12.iii. لقم التعنيق

2.6.iii. لقم الخراط الطولي :

تم استخدام لقم الخراط الطولي من مادة الكربيد، رقم الطراز WNMG 2501TP 5M-080412، لإجراء عمليات الخراط الطولي في كل التجارب. الشكل 13.iii يوضح لقم الخراط الطولي المستعمل في التجارب الـ 15 التي تم إنجازها.



الشكل 13.3. لقم الخرط الطولي

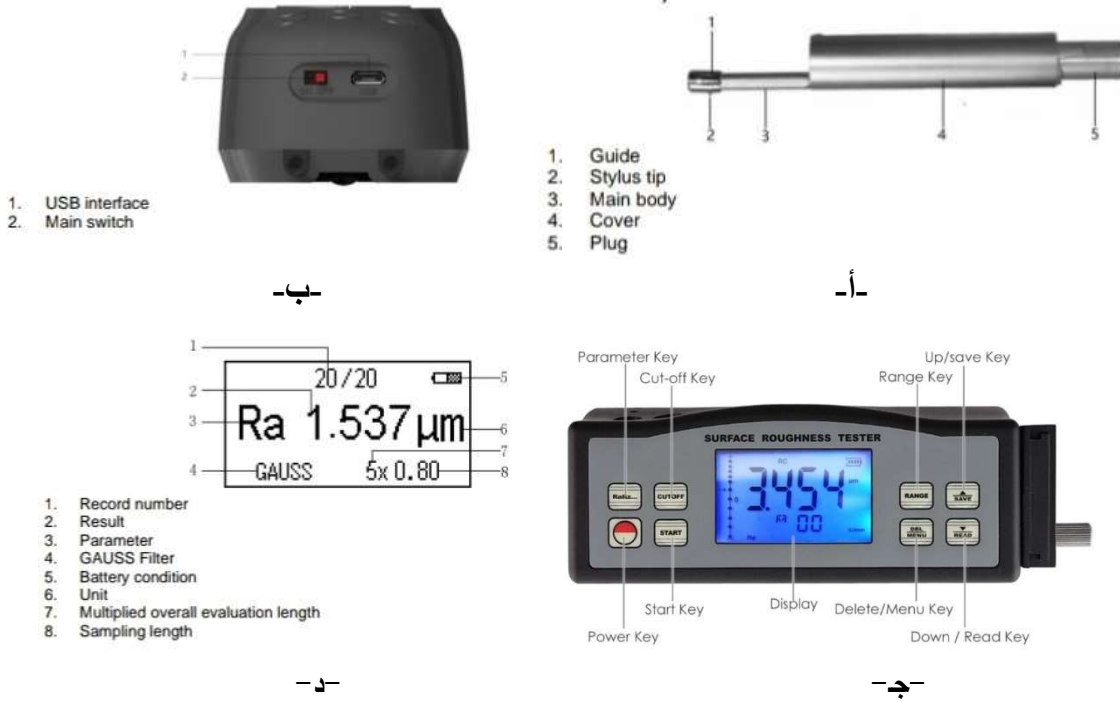
7.3. جهاز قياس خشونة الأسطح :

جهاز قياس خشونة السطح RT-PCE1200 هو أداة دقيقة وسهلة الاستخدام لقياس وتحليل خشونة السطح. يتكون الجهاز من قلم قياس صغير وحساس يتحرك عبر السطح المراد قياسه، القلم موضح في الشكل 14.3. أ. يستخدم الجهاز تقنية الاهتزاز والاستجابة الكهرومغناطيسية لتحديد مستوى الخشونة. يعرض الجهاز القراءات على شاشة LCD ويسمح للمستخدم بتخزين القراءات وتحليلها.

1.7.3. مميزات جهاز خشونة الأسطح:

يتميز جهاز RT-PCE1200 بمجموعة متنوعة من الميزات التي تجعله أداة مثالية لتطبيقات مراقبة الجودة والبحث والتطوير والتصنيع والصيانة نذكر منها:

- دقة عالية: يوفر جهاز RT-PCE1200 دقة قياس تصل إلى 0.001 ميكرون.
- قابلية التنقل: يعد جهاز RT-PCE1200 جهازاً محمولاً وسهل الاستخدام يمكن استخدامه في أي مكان.
- تنوع المواد: يمكن استخدام جهاز RT-PCE1200 لقياس خشونة مجموعة متنوعة من المواد، بما في ذلك المعادن والبلاستيك والخشب والزجاج والسيراميك.
- شاشة LCD واضحة: يعرض جهاز RT-PCE1200 القراءات على شاشة LCD واضحة لسهولة القراءة. الشكل 14.3. ج يوضح شاشة LCD و تسميات الأزرار الموجودة على الجهاز و الشكل 14.3. د يوضح ماتعرضه الشاشة.
- تخزين وتحليل البيانات: يسمح جهاز RT-PCE1200 للمستخدم بتخزين القراءات وتحليلها باستخدام برنامج PCE-Surf.



الشكل 14. III. مكونات جهاز قياس الخشونة

8. III. كاميرا التقاط الحرارة :

من أجل قياس درجة حرارة القطع T تم استعمال كاميرا T650sc الموضحة في الشكل III. 15. وهي كاميرا تصوير حراري محمولة من إنتاج شركة FLIR Systems. تتميز هذه الكاميرا بدقة 480×640 بكسل ودرجة حرارة نطاق التشغيل من -40°C إلى 2000°C . كما أنها مزودة بمميزات متقدمة مثل التصوير المرئي الحراري متعدد الأطياف (MSX) والتصحيح التلقائي للصورة لتحسين الرؤية.



الشكل 15. III. كاميرا التقاط درجة الحرارة

تستخدم كاميرا T650sc على نطاق واسع في مجموعة متنوعة من التطبيقات، بما في ذلك:

- مراقبة المرافق الصناعية.

- الكشف عن التسريبات.
- فحص المعدات.
- سلامة الطيران.
- البحث والإنقاذ.

9.iii. تحضير قطعة الاختبار :

تهدف التجارب المنجزة في هذا العمل الى قياس خشونة السطح ومراقبة الحرارة المتولدة في منطقة الاحتكاك بين الأداة والشغلة أثناء عملية الخراط الطولي لأسطوانة البوليميدات. خمس أسطوانات POMC التي تم تشغيلها على مخرطة نصف آلية والموضحة في الشكل 16.iii، تم تحضيرها قبل إجراء التجارب عليها، وذلك وفقاً للخطوات التالية:

1. تم ترقيم أسطوانات POMC، وعددها 5 أسطوانات، التي ستجرى عليها التجارب وعددها 15 تجربة. مصفوفة تصميم التجارب بالاعتماد على منهج CCD أعطت 20 عملية تشغيل على المخرطة توجد فيها تجربة مكررة 6 مرات ولهذا فقد تم انجاز التجربة المكررة مرة واحدة فقط. أي أنه سيتم انجاز 15 تجربة فقط بدلا من انجاز 20 تجربة على أربع أسطوانات، أم الأسطوانة الخامسة فقد تم عليها انجاز تجارب التحقق. أسطوانات POMC الخمسة موضحة في الشكل 16.iii.



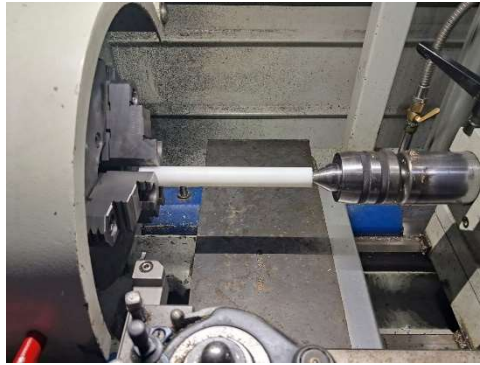
الشكل 16.iii. عينات الاختبار المرقمة

2. للحفاظ على قطعة POMC طويلة ودون تعرضها لقوى الانحناء قمنا بتثبيتها أيضا من الجهة المعاكسة، وذلك عن طريق احداث ثقب تمرکز عن طريق أداة التنقيب للمركزة المثبتة في الغراب المتحرك كما يبينه الشكل 17.iii.



الشكل 17.iii. احداث ثقب تمرکز

3. بعد ذلك استبدلنا أداة التثقيب بالذنب المضادة وتقريبها من القطعة بالضبط في مكان الثقب الذي احداثاه سابقا وتثبيت الغراب المتحرك لتصبح القطعة مثبتة ومحمية من أي قوى مؤثرة (الشكل 18.iii).



الشكل 18.iii. تثبيت الذنب المضادة



الشكل 19.iii. انجاز 5 مقاطع متطابقة

4. في الأسطوانة الواحدة قمنا بالفصل بين عينات التجارب. باستخدام أداة التعنيق الموضحة سابقا، فصلنا عينات التجارب في الأسطوانة الواحدة إلى خمسة عينات، أربع عينات لإنجاز عمليات الخراطة بطول 40mm لتبقى العينة الخامسة بطول 22mm تستعمل لتثبيت الأسطوانة في الظرف، العينات التي تم فصلها في الأسطوانة بإنجاز أربعة أعناق موضحة في الشكل 19.iii. تم قياس العينات باستخدام القدم القنوية. قمنا بتحديد سرعة دوران الآلة والتغذية المناسبة عن طريق الزر المدرج بما يتناسب مع متطلبات

عملية التعنيق، حيث تم انجاز عملية تعنيق بعرض 2mm. تم تكرار هذه الخطوات من أجل الأسطوانة المتبقية.

5. تم استبدال أداة التعنيق بأداة الخراطة المنحنية لإجراء عمليات الخراط الطولي الـ15 وتعيين كل من سرعة الدوران والتغذية وعمق القطع في آلة الخراطة على حسب الشروط المبينة في المصفوفة المنجزة باستخدام منهج CCD. أثناء انجاز عمليات الخراطة تم القيام بمراقبة الحرارة في كل تجربة باستعمال الكاميرا T650sc وتدوين النتائج في الجدول المخصص له، عند الانتهاء من تجارب الخراطة على الأسطوانة الواحدة تنزع الأسطوانة من الآلة ليتم قياس معايير الخشونة لكل عينة في الأسطوانة بالاعتماد على جهاز قياس الخشونة. عملية الخراطة الطولية لإحدى العينات موضحة في الشكل 20.iii .



الشكل 20.iii. عملية الخراط الطولي

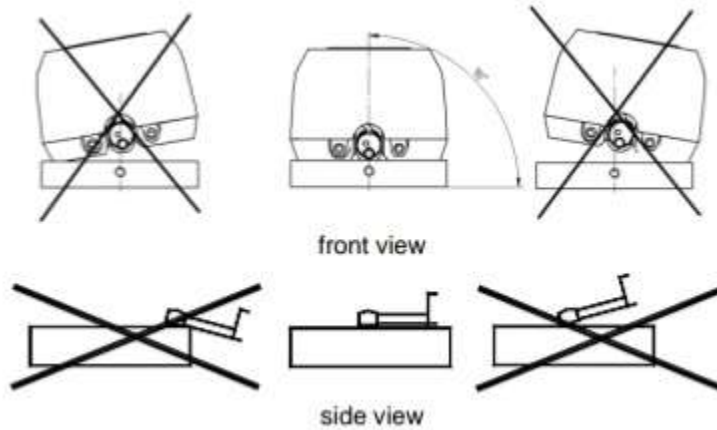
10.iii. عملية قياس الخشونة :

تم إجراء عملية قياس الخشونة على عدة مراحل، وتتمثل فيما يلي:

1. قمنا بتشغيل الجهاز أولاً، ثم تأكدنا من أن البطارية مشحونة بالكامل لاستكمال عملية القياس لكل العينات. ضبطنا وضع القياس المناسب وإعدادات الاختيار المطلوبة والتحقق من دقة الجهاز عن طريق وضعه على عينة قياسية كمرجع، كما هو موضح في الشكل 21.iii.
2. ضبط إعدادات القراءة المطلوبة، مثل Ra ، RZ ، Rt ، ومرجع القياس بحيث المؤشر يكون موجهاً للصفر.
3. احضار العينة من آلة الخراطة ووضعها على الطاولة مع تنظيفها من الشوائب حتى لا تؤثر على عملية القياس.
4. ضبط تموضع الجهاز بالطريقة الصحيحة كما هو موضح في الشكل 22.iii.



الشكل 21. III. ضبط مع التحقق من دقة القياس على المرجع



الشكل 22. III. تموضع الجهاز بالطريقة الصحيحة

5. وضعنا مستشعر القياس على السطح المراد قياسه، مع التأكد من ملامسة المستشعر للسطح مباشرة دون الضغط عليه.

6. بعد وضع قلم القياس على السطح، نضغط على زر بدء القياس على الجهاز. يبدأ الجهاز في قياس الاهتزازات والتغيرات في السطح وتحويلها إلى قراءات رقمية.

7. ظهور قيم كل من R_t ، R_z ، R_a على الشاشة الرقمية للجهاز ثم نقوم بكتابة النتائج في الجدول المخصص بالبحث.

11. III. عملية التقاط درجة الحرارة :

تم القيام بعملية متابعة درجة الحرارة أثناء عملية الخراط الطولي لقطعة POMC وتم هذا عبر مراحل التالية:

1. تشغيل الكاميرا مع التأكد من الشحن الكامل للبطارية حتى لا تعيق سير عملية التقاط درجة حرارة أثناء التجربة.

2. ضبط الاعدادات اللازمة للكاميرا من مسافة ومدى القياس وغير ذلك مما يتيح عوامل أحسن للقياس.
3. متابعة درجة الحرارة في منطقة الاحتكاك بين الأداة والشغلة بواسطة الكاميرا أثناء عملية الخراط الطولي من طرف المختص وعند وصول الحرارة لقيمتها الأعظمية يتم التقاطها عن طريق فيديو، ويتم حفظه وتسجيل الرقم الخاص به.
4. يخزن الفيديو في حاسوب من أجل المعالجة، تتم معالجتهم عند طريق برنامج خاص وذلك بمتابعة الفيديو ثانية بثانية فعند بلوغ الدرجة الحرارة القيمة الأعظمية مع ظهور لون الأحمر او يقترب منه يتم التقاط صورة لها مع تسجيل رقم الصورة ودرجة حرارتها.
5. تُعاد هذه العملية مع كل تجارب الخراط الطولي وتسجل قيم الحرارة في كل تجربة. عملية قياس حرارة القطع موضحة في الشكل 23.iii.



الشكل 23.iii. التقاط درجة الحرارة بالكاميرا

12.iii. الخاتمة :

في هذا الفصل تم وصف بالتفصيل كل مجريات التجارب المنجزة انطلاقا من آلة الخراطة وكيفية ضبط شروط القطع فيها، كيفية تجهيز الأسطوانات من أجل تجارب الخراطة، كيفية انجاز تجارب الخراطة وصولا الى عمليات القياس. وقبل ذلك قمنا بتقديم خصائص جميع الوسائل والأدوات المستعملة في هذه التجارب مثل آلة الخراطة، لقم وأدوات الخراطة والتعنيق. كما قدمنا تفاصيل عن وسائل وطرق القياس مثل جهاز قياس الخشونة وكاميرا التصوير الحراري. كل هذه التفاصيل الصغيرة والكبيرة ساهمت في إعطاء نتائج دقيقة للخشونة وحرارة القطع.

الفصل الرابع: نتائج وتحليل

1.IV. مقدمة :

بعد إنجاز التجارب بالاعتماد على منهجية RSM–central composite في تصميم التجارب، تم الحصول على نتائج قياس الخشونة، بما في ذلك متوسط الخشونة الحسابي (Ra) والخشونة الكلية (Rt) ومتوسط الخشونة الكلية (Rz) ، بالإضافة الى نتائج قياس حرارة القطع. في هذا الفصل سنتطرق الى تحليل هذه النتائج بالاعتماد على تحليل التباين ANOVA وتحليل الانحدار باستعمال برنامج Design Expert من أجل معرفة أي الشروط لها تأثير أكبر على نوعية الأسطح وتحديد الشروط المثلى للحصول على أفضل قيمة للخشونة وحرارة القطع.

2.IV. وصف التجربة :

يهدف تقييم تأثير شروط القطع في الخراط الطولي على خشونة السطح ودرجة حرارة القطع، تم انجاز تجارب تضمنت ثلاثة عوامل رئيسية: سرعة القطع (Vc) وسرعة التغذية (Vf) وعمق القطع (ap) تم اختبار كل عامل على ثلاثة مستويات مختلفة وبالاعتماد على منهجية سطح الاستجابة RSM لتصميم التجارب أدى إلى انجاز 15 تجربة تم إجراؤها بالخراط الطولي. تم أخذ ثلاثة معايير لخشونة السطح Ra و Rt و Rz . شروط القطع المختارة ومستوياتها مبينة في الجدول 1.IV.

الجدول 1.IV. شروط القطع ومستوياتها

Niveaux	1	2	3
Vc (m/min)	100	130	160
Vf (mm/min)	0.05	0.1	0.15
ap (mm)	1	1.5	2

3.IV. تطبيق منهجية سطح الاستجابة RSM :

تُعد طريقة استجابة السطح RSM أداة قوية لتحسين العمليات التجريبية، حيث تُمكن من تقليل عدد التجارب المطلوبة بشكل كبير مع الحفاظ على دقة النتائج. في هذه الدراسة، تم استخدام طريقة RSM لتحسين شروط القطع في الخراط الطولي لتحديد أفضل مجموعة من شروط القطع للحصول على خشونة سطح مرغوبة ودرجة حرارة قطع منخفضة. تم تصميم التجارب لدراسة تأثير شروط القطع، واختبار كل شرط من تلك الشروط على ثلاثة مستويات مختلفة، مما أدى إلى 27 تجربة بدون استخدام طريقة RSM.

ومع ذلك، باستخدام المصفوفة المتعامدة لـ RSM central composite ، تم تقليل عدد التجارب المطلوبة إلى 20 تجربة فقط. توفر هذه المصفوفة معلومات كافية عن تأثير كل عامل على خشونة السطح، مما يسمح بتحسين شروط القطع بشكل أسرع وأكثر فعالية، يوضح الجدول 2.IV مخطط التجارب وفق RSM. من خلال المصفوفة الموضحة في الجدول 2.IV، تبين وجود 6 تجارب مكررة ولهذا فقد تم انجاز تجربة واحدة من بين الـ 6 فأصبح لدينا 15 تجربة فقط.

الجدول 2.IV. خطة التجربة

N°	Vc (m/min)	ap (mm)	Vf (mm/min)
1	160	1	0.15
2	100	2	0.152
3	100	1	0.15
4	160	2	0.15
5	130	1.5	0.1
6	130	1.5	0.1
7	100	1	0.05
8	100	2	0.05
9	130	1.5	0.1
10	130	1.5	0.1
11	130	1.5	0.016
12	160	1	0.053
13	130	0.66	0.106
14	180.4	1.5	0.106
15	130	1.5	0.1
16	160	2	0.053
17	79.5	1.5	0.1
18	130	1.5	0.18
19	130	1.5	0.1
20	130	2.3	0.1

4.IV. النتائج الخاصة بخشونة السطح:

لضمان دقة قياس الخشونة وتقليل تأثير الأخطاء العشوائية، تم تكرار عملية القياس ثلاث مرات لكل مقطع ولكل مقدار خشونة وتتمثل في: متوسط الخشونة الحسابي (Ra) والخشونة الكلية (Rt) ومتوسط الخشونة الكلية (Rz). تم عرض نتائج قياس الخشونة لكل مقطع ولكل مقدار خشونة في الجدول 3.IV.

لتحسين دقة النتائج وزيادة موثوقية البيانات، تم حساب متوسط الخشونة لكل مقدار بعد حساب متوسط القياسات الثلاث. تم عرض متوسط الخشونة لكل مقدار في الجدول 4.IV.

الجدول 3.IV. نتائج القياس

N°	N° 1			N° 2			N° 3		
	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt
1	5.320	15.040	15.190	3.160	8.937	9.025	5.573	15.760	17.680
2	7.200	20.360	20.560	7.469	21.120	21.600	9.279	26.240	26.720
3	1.563	4.420	4.720	2.588	7.320	7.600	2.037	5.760	6.080
4	1.740	4.921	4.970	2.220	6.280	6.880	2.164	6.120	6.520
5	1.260	3.563	3.598	1.280	3.620	3.656	1.365	3.860	4.100
6	1.260	3.563	3.598	1.280	3.620	3.656	1.365	3.860	4.100
7	1.750	4.949	4.998	1.358	3.840	4.000	1.598	4.520	4.920
8	0.820	2.313	2.342	0.516	1.460	1.520	0.306	0.866	0.874
9	1.260	3.563	3.598	1.280	3.260	3.656	1.365	3.860	4.100
10	1.260	3.563	3.598	1.280	3.260	3.656	1.365	3.860	4.100
11	3.578	10.120	10.800	5.856	16.560	17.370	4.150	11.700	11.820
12	4.540	12.840	12.960	7.356	20.800	21.920	5.160	14.590	14.730
13	1.647	4.660	4.940	1.370	3.874	3.912	1.690	4.780	5.400
14	1.513	4.280	4.440	0.850	2.403	2.427	1.680	4.751	4.798
15	1.260	3.563	3.598	1.280	3.620	3.656	1.365	3.860	4.100
16	1.138	3.220	3.380	1.265	3.577	3.612	1.591	4.500	4.820
17	1.563	4.420	4.640	1.720	4.864	4.912	0.873	2.470	2.560
18	5.346	15.120	16.640	4.752	13.440	14.320	3.980	11.250	11.360
19	1.260	3.563	3.598	1.280	3.620	3.656	1.365	3.860	4.100
20	1.216	3.440	3.660	1.120	3.167	3.198	1.520	4.300	4.600

الجدول 4.VI. النتائج النهائية

N°	العوامل			الاستجابات		
	Vc	ap	Vf	Ra moy	Rz moy	Rt moy
1	160	1	0.15	4.684	13.245	13.965
2	100	2	0.152	7.982	22.570	22.960
3	100	1	0.15	2.062	5.833	6.133
4	160	2	0.15	2.041	5.773	6.123
5	130	1.5	0.1	1.301	3.681	3.784
6	130	1.5	0.1	1.301	3.681	3.784
7	100	1	0.05	1.568	4.436	4.639
8	100	2	0.05	0.547	1.548	1.578
9	130	1.5	0.1	1.301	3.681	3.784
10	130	1.5	0.1	1.301	3.681	3.784
11	130	1.5	0.016	4.528	12.793	13.330
12	160	1	0.053	5.685	16.076	16.536
13	130	0.66	0.106	1.569	4.438	4.750
14	180.4	1.5	0.106	1.347	3.811	3.888
15	130	1.5	0.1	1.301	3.681	3.784
16	160	2	0.053	1.331	3.765	3.937
17	79.5	1.5	0.1	1.385	3.918	4.037
18	130	1.5	0.18	4.692	13.270	14.106
19	130	1.5	0.1	1.301	3.681	3.784
20	130	2.3	0.1	1.285	3.635	3.819

5.IV. تحليل النتائج الخاصة بالخشونة :

1.5.IV. بالنسبة لمتوسط الخشونة الحسابي Ra :

من خلال الجدول 5.IV. يتبين لنا أن أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بمتوسط الخشونة الحسابي Ra هو النموذج التربيعي Quadratic بنسبة 79%:

الجدول 5.IV. أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بمتوسط الخشونة الحسابي Ra.

المصدر	القيم الاحتمالية المتسلسلة p	معامل التحديد المعدل R ²	معامل التحديد المتوقع R ²	
خطي	0,7495	-0,1031	-0,6495	
2FI	0,0202	0,3455	-0,5606	
تربيعي	0,0020	0,7952	0,1095	المقترح
تكعيبي	0,0258	0,9330	-3,6639	المستعار

1.1.5.IV. تحليل التباين ANOVA :

الجدول 6.VI يوضح نتائج تحليل التباين ANOVA لتأثير شروط القطع (Vc ، Vf ، ap) على خشونة السطح Ra .

هدفت هذه الدراسة إلى تحديد تأثير شروط القطع على متوسط الخشونة الحسابي (Ra) باستخدام تحليل التباين (ANOVA) بمستوى دلالة 5% (α) ومستوى ثقة 95%. تم اختبار أهمية عوامل التحكم في ANOVA من خلال مقارنة قيم P لكل عامل.

لكل عامل أو شرط من شروط القطع تأثير ملحوظ على الاستجابة المقاسة، ويظهر ذلك من خلال خاصية (F) الإحصائية والنسبة المئوية للمساهمة (contribution %) لكل عامل ولجميع التفاعلات المختلفة، حيث أن النسبة المئوية للمساهمة تعكس مدى تأثير العوامل على النتائج. حيث كلما ارتفعت نسبة المساهمة (contribution %) كان تأثير العامل أكبر على المعلمات المدروسة.

تشير القيم الاحتمالية (p-value) الأقل من 0.05 إلى العوامل الأكثر تأثيراً، من خلال الجدول 6.IV. نلاحظ أن تفاعلات عوامل كل من cap59 و Vf ap و Vf² تعتبر من العوامل الأكثر أهمية وهي تؤثر على خشونة

السطح Ra، حيث تؤثر سرعة التغذية بنسبة 6.22% كعامل منفرد أما تأثير تفاعلات العوامل ببعضها فنجد Vf^2 الأكثر مساهمة بنسبة 33.90% يليه $cap60$ بنسبة مساهمة تقدر بـ 23.97% يليه $Vf \cdot ap$ بنسبة مساهمة 12.68%، تشير القيم الأكبر من 0.05 إلى العوامل الأقل تأثير على الخشونة Ra.

الجدول 6.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع على Ra.

المصدر	المجموع التربيعي	درجات الحرية	المتوسط التربيعي	نسبة المساهمة %	معامل تناسب البيانات F	الاحتمالية p
النموذج واضح	65,82	9	7,31		9,20	0,0009
A-Vc	0,1688	1	0,1688	0,22	0,2123	0,6548
B-Vf	4,59	1	4,59	6,22	5,77	0,0372
C-ap	0,4858	1	0,4858	0,65	0,6111	0,4525
AB	8,45	1	8,45	11,45	10,62	0,0086
AC	17,69	1	17,69	23,97	22,25	0,0008
BC	9,36	1	9,36	12,68	11,77	0,0064
A ²	0,4189	1	0,4189	0,56	0,5270	0,4845
B ²	25,01	1	25,01	33,90	31,46	0,0002
C ²	0,5316	1	0,5316	0,71	0,6688	0,4325
الباقى	7,95	10	0,7949			
نقص الملائمة واضح	7,95	5	1,59	9,64		
الخطأ الخالص	0,0000	5	0,0000			
المجموع	73,77	19		100		

2.1.5.IV : Analyse de Regression تحليل الانحدار

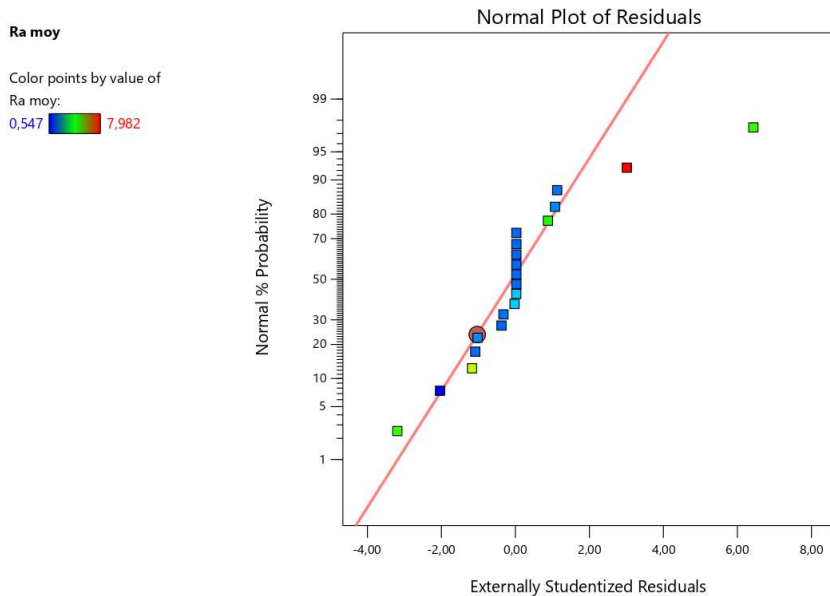
النموذج الرياضي للاستجابة Ra يعطى بالمعادلة 1.IV التالية

$$Ra_{moy} = 1.28 + 0.1112Vc + 0.5795Vf - 0.1886ap - 1.03VcVf - 1.49Vc ap + 1.08Vf ap + 0.1705Vc^2 + 1.32Vf^2 + 0.1921ap^2 \dots 1.IV$$

الجدول 7.VI. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Ra

الانحراف المعياري	0,8916	معامل التحديد R ²	0,8922
المتوسط	2,43	معامل التحديد المعدل R ²	0,7952
معامل الاختلاف %	36,76	معامل التحديد المتوقع R ²	0,1095
		دقة الملازمة	9,6338

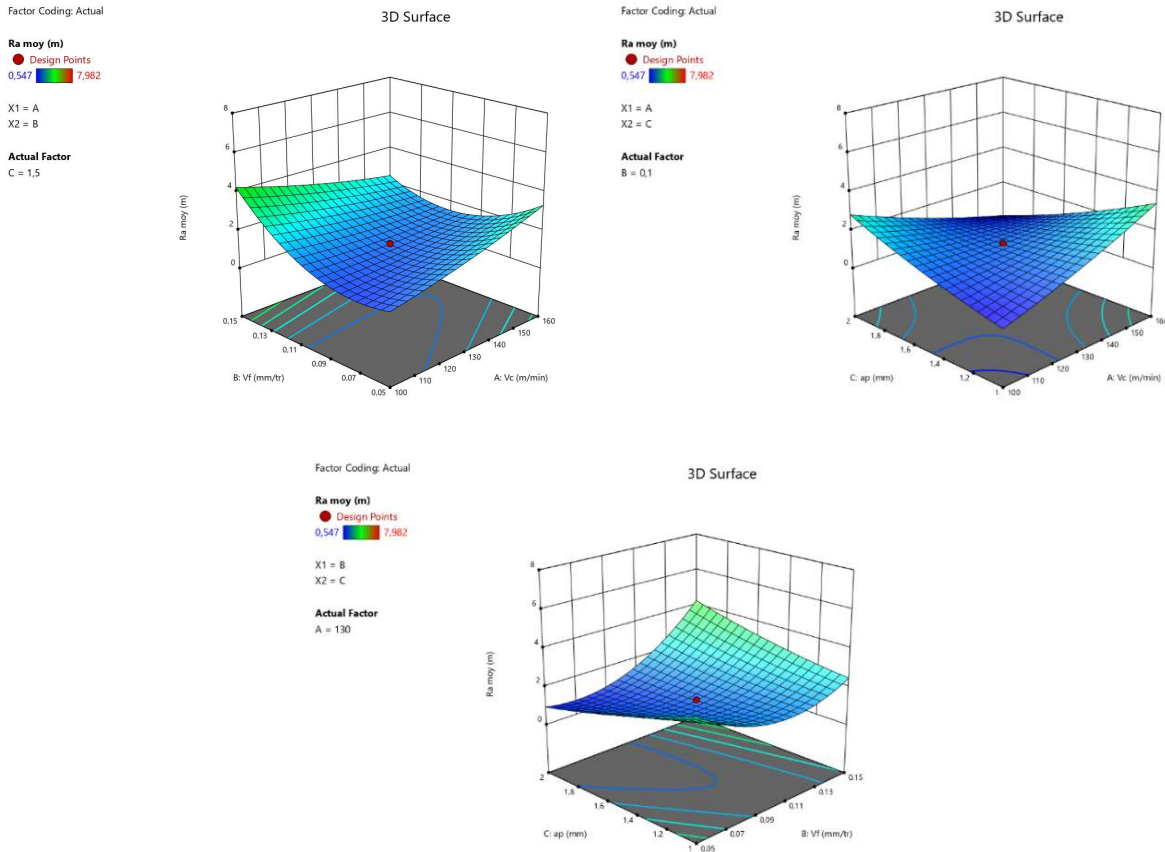
في هذه الدراسة، تم استخدام نموذج الانحدار الخطي لتحديد العوامل المؤثرة على متوسط الخشونة الحسابي (Ra) لشروط القطع المختلفة. تم حساب معامل التحديد R² لقياس مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم المتنبأ بها من قبل النموذج في الجدول 8.IV. ، فيمكننا أن نرى أن نموذج الانحدار الخطي لمتوسط الخشونة Ra له معامل تحديد يساوي الى R² = 89.22% .



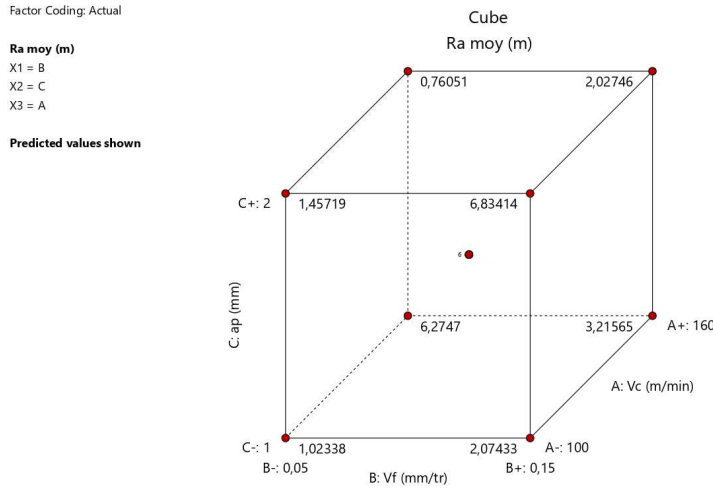
الشكل 1.VI. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Ra.

تتم مقارنة القيم المتوقعة للنموذج الذي تم الحصول عليه بالبيانات التجريبية (الشكل 1.٧١) وتفسر النتائج الاتفاق الجيد بين التجريب والتنبؤ، ونتيجة لذلك، يمكن اعتبار النموذج المطور أكثر تماسكا وملائمة للتنبؤ بمتوسط الخشونة الحسابي Ra .

يظهر الشكل 2.١٧. تأثير شروط القطع الثلاث على الخشونة Ra، فكما نرى أن الألوان تلعب دورا هاما في تحديد احداثيات والعوامل التي تتحكم في نعومة السطح، فكما تدرج لون النموذج الى الأزرق نقصت قيمة الخشونة، فمن الشكل نجد أن الخشونة Ra تتناقص بتناقص Vf، بينما أن كل من سرعة القطع Vc و عمق القطع ap عندما تتناقص قيمتهما معا فان نسبة الخشونة Ra تتناقص، وبالنسبة لـ Vf و ap معا لهم علاقة عكسية تقريبا، فعندما تزداد قيمة ap و تتناقص Vf في نفس الوقت فان نسبة الخشونة تتناقص، بينما نرى أن Vc و ap ليس لهم تأثير كعوامل مستقلة.



الشكل 2.١٧. تأثير كل من شروط القطع الثلاث على متوسط الخشونة الحسابي Ra.



الشكل 3.IV. تمثيل القيم باستعمال مكعب RSM Central composite لـ Ra

يمثل الشكل 3.IV مكعب RSM central compsite ويتألف من مجموعة من النقاط المحورية والنقاط الفعالة للتجربة، حيث تقع هذه النقاط على رؤوس المكعب وفي مركزه نجد نقطة واحدة وتستخدم لتقدير التأثيرات القصوى للمتغيرات المستقلة وبها يمكن تحديد الحد الأعلى والحد الأدنى لكل متغير. ففي الشكل السابق نلاحظ قيم الخشونة Ra في رؤوس المكعب وذلك حسب قيم شروط القطع الثلاث عند حروف المكعب. فإذا أخذنا على سبيل المثال حرف المكعب الذي يمثل سرعة القطع فاننا نلاحظ قيم أقصى وأدنى مستويين لهذا العامل ممثلين في رأسي هذا الحرف، حيث انه عندما كانت $Vc=100$ m/min كانت قيمة $Ra=2.074$ μ m وعند $Vc=160$ m/min كانت قيمة Ra تساوي الى 3.215 μ m، وهذا يعني أن جودة السطح تتخفض عند ارتفاع سرعة القطع.

2.5.IV. بالنسبة لمتوسط الخشونة الكلي Rz :

من الجدول 8.VI نرى أن أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بمتوسط الخشونة الكلي Rz هو النموذج التربيعي Quadratic بنسبة 79% .

الجدول 8.VI. أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بمتوسط الخشونة الكلي Rz.

المصدر	القيم الاحتمالية المتسلسلة p	معامل التحديد المعدل R^2	معامل التحديد المتوقع R^2	
خطي	0,7489	-0,1030	-0,6493	
2FI	0,0201	0,3459	-0,5603	
تربيعي	0,0020	0,7953	0,1098	المقترح
تكعيبي	0,0260	0,9328	-3,6744	المستعار

1.2.5.IV . تحليل التباين ANOVA :

نتائج تحليل التباين ANOVA لتأثير شروط القطع (V_c, V_f, a_p) على خشونة السطح Rz، مبينة في الجدول 9.IV.

من نتائج الجدول 9.IV نلاحظ أن كل من سرعة القطع V_c وعمق القطع a_p لا يمكنهم المساهمة في مقاييس الأداء حيث من خلال الجدول نرى أن القيمة الخاصة بكل منهم أكبر من 0.05.

الجدول 9.IV . تحليل التباين لتأثير شروط القطع على Rz.

المصدر	المجموع التربيعي	درجات الحرية	المتوسط التربيعي	نسبة % المساهمة	معامل تناسب البيانات F	الاحتمالية p
النموذج واضح	526,13	9	58,46		9,20	0,0009
A- V_c	1,35	1	1,35	0,22	0,2121	0,6550
B- V_f	36,74	1	36,74	6,23	5,78	0,0370
C- a_p	3,88	1	3,88	0,65	0,6112	0,4524
AB	67,54	1	67,54	11,45	10,63	0,0086
AC	141,41	1	141,41	23,98	22,26	0,0008
BC	74,83	1	74,83	12,69	11,78	0,0064
A^2	3,35	1	3,35	0,56	0,5280	0,4841
B^2	199,80	1	199,80	33,88	31,45	0,0002
C^2	4,25	1	4,25	0,72	0,6695	0,4323
الباقي	63,52	10	6,35			
نقص الملائمة	63,52	5	12,70			
الخطأ الخالص	0,0000	5	0,0000	9,62		
المجموع	589,65	19		100		

تشير القيم الاحتمالية (p-value) الأقل من 0.05 إلى العوامل الأكثر تأثير. من خلال الجدول 9.IV نلاحظ أن كل من V_f يساهم بنسبة 6.23% على خشونة السطح كعامل مستقل ونجد كل من a_p و V_c و

Vf^2 كتفاعلات بين العوامل تساهم أيضا في نتائج RZ. تعتبر كل من العوامل سابقة الذكر الأكثر أهمية وهي تؤثر على نتائج القيم الخاصة بـ RZ. بالنسبة لتفاعلات العوامل مع بعض نجد Vf^2 الأكثر مساهمة بنسبة 33.88% بينما يساهم $Vc Ap$ بنسبة 23.98% ثم يأتي بعده $Vf ap$ بنسبة مساهمة تقدر بـ 12.69%. تشير القيم الأكبر من 0.05 إلى العامل الأقل تأثير على الخشونة RZ.

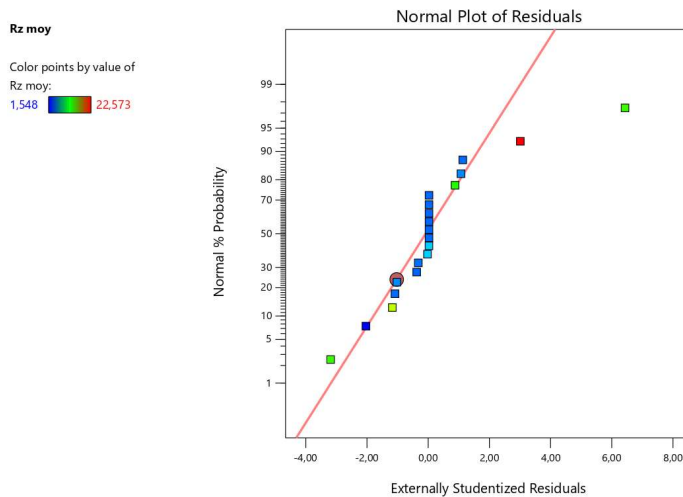
2.2.5. تحليل الانحدار : Analyse de Regression

النموذج الرياضي للاستجابة RZ يعطى في العلاقة (2.1V) التالية:

$$Rz_{moy} = 3.62 + 0.3141Vc + 1.64Vf - 0.5332ap - 2.91Vc Vf - 4.20Vc ap + 3.06Vf ap + 0.4824Vc^2 + 3.72Vf^2 + 0.5432ap^2 \dots 2.1V$$

الجدول 10.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي RZ

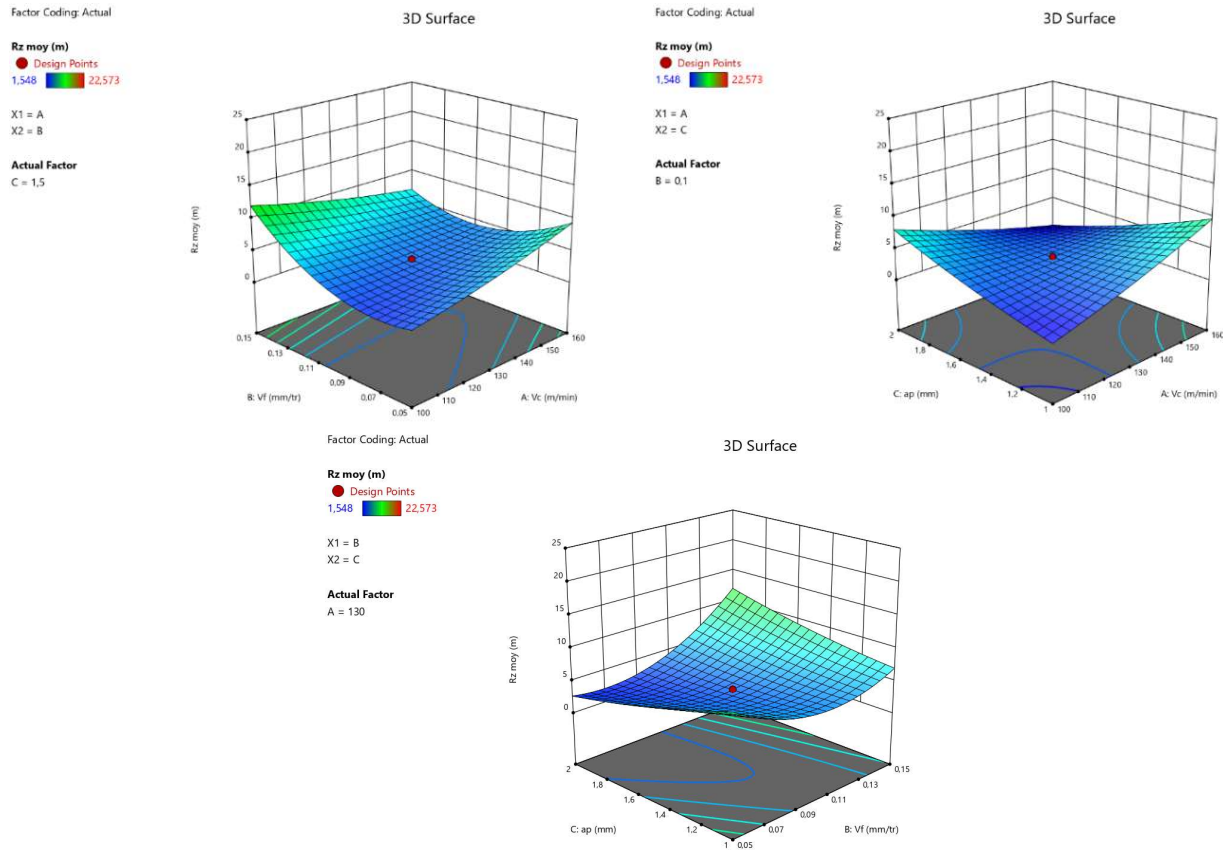
الانحراف المعياري	2,52	معامل التحديد R^2	0,8923
المتوسط	6,86	معامل التحديد المعدل R^2	0,7953
معامل الاختلاف %	36,74	معامل التحديد المتوقع R^2	0,1098
		دقة الملازمة	9,6390



الشكل 4.IV. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي RZ.

تشير القيمة R^2 الى وجود توافق نوعي بين البيانات المرصودة والقيم التي يتنبؤ بها النموذج الاحصائي ومن الجدول 10.IV نرى أن نموذج الانحدار الخطي الخاص بمتوسط الخشونة الكلي RZ يحوز على معامل تحديد عالي بنسبة $R^2 = 89.23\%$.

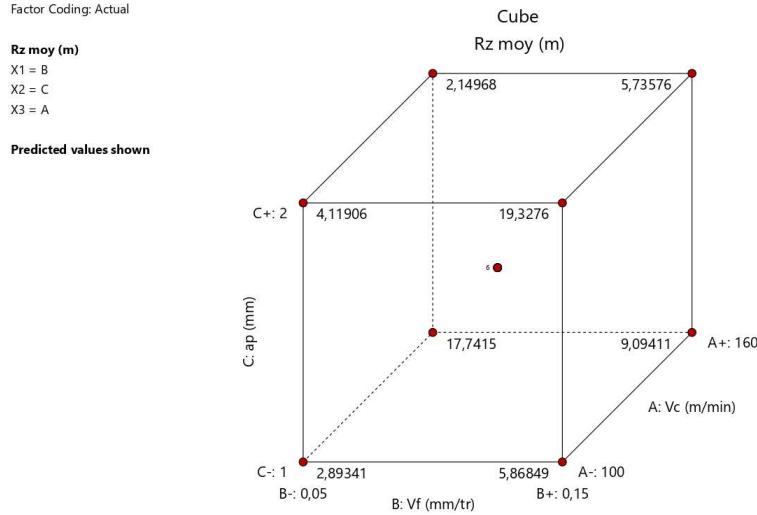
يُظهر المخطط المبين في الشكل 4.1V توافقاً هاماً بين النتائج التجريبية والتنبؤات التي قدمها النموذج في المعادلة 2.1V حيث يمثل دليلاً قاطعاً على نجاح النموذج المُطور في التنبؤ بدقة بالخشونة الكلية RZ، حيث تظهر النقاط والتي تمثل القيم التجريبية قريبة من التمثيل البياني للنموذج الرياضي و الذي يتنبأ بقيم RZ. وهذا القرب يدل على توافق القيم بين التنبؤ و التجريب.



الشكل 5.1V. تأثير كل من شروط القطع الثلاث على متوسط الخشونة الكلي RZ.

من الشكل 5.1V نرى تشابه النموذج مع النموذج السابق المبين في الشكل 2.1V، حيث يتبين جلياً أن الخشونة تتماشى طردياً مع سرعة التغذية Vf فكلما انخفضت قيم Vf انخفضت معها قيم الخشونة RZ، بينما نجد عند تناقص كل من Vc و ap نلاحظ انخفاضاً ملحوظاً في قيم الخشونة RZ.

نلاحظ في الشكل 6.1V النقاط الحمراء التي تقع في رؤوس مكعب RSM central composite والتي تمثل أقصى وأدنى مستويين لكل عامل، بالإضافة إلى قيمة متوسط الخشونة الكلية RZ عند هذين المستويين. مثلاً إذا أخذنا حرف المكعب الخاص بالعامل Vf فاننا نلاحظ أن قيمة الخشونة تساوي إلى 5.87 μm و إلى 2.89 μm عند أدنى ($Vf=0.05\text{mm/tr}$) وأقصى ($Vf=0.15\text{mm/tr}$) مستوى لسرعة التغذية على التوالي وهذا يعني أن نوعية السطح تتدهور عندما ترتفع قيمة Vf.



الشكل 6.IV. تمثيل القيم باستعمال مكعب RSM Central composite لـ Rz

3.5.IV. بالنسبة للخشونة الكلية Rt :

ان أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بالخشونة الكلية Rt هو النموذج التربيعي Quadratic بنسبة 80% وهذا ما يبينه الجدول 11.IV:

الجدول 11.IV. أفضل نموذج لتحليل القيم الخاصة بالخشونة الكلية Rt.

المصدر	القيم الاحتمالية المتسلسلة p	معامل التحديد المعدل R ²	معامل التحديد المتوقع R ²	
خطي	0,7238	-0,0959	-0,6344	
2FI	0,0247	0,3278	-0,5715	
تربيعي	0,0015	0,8013	0,1347	المقترح
تكعيبي	0,0218	0,9387	-3,2659	المستعار

1.3.5.IV. تحليل التباين ANOVA :

الجدول 12.IV يبين تحليل التباين ANOVA لتأثير شروط القطع (Vc، Vf، ap) على خشونة السطح Rt. من نتائج الجدول 12.IV. نلاحظ أن كل من سرعة القطع Vc وعمق القطع ap لا يمكنهم المساهمة بتاتا في مقاييس الأداء حيث من خلال الجدول نرى أن القيمة الخاصة بكل منهم أكبر من 0.05.

تشير القيم الاحتمالية (p-value) الأقل من 0.05 إلى العوامل الأكثر تأثيراً، أي أن نسبة الثقة تقدر بـ 95%، حيث نلاحظ أن معامل منفرد والتفاعلات بين كل من V_f و V_c هي عوامل لها التأثير الأكبر.

الجدول 12.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع على R_t .

المصدر	المجموع التربيعي	درجات الحرية	المتوسط التربيعي	نسبة المساهمة %	معامل تناسب البيانات F	الاحتمالية p
النموذج واضح	560,54	9	62,28		9,51	0,0008
A-Vc	1,83	1	1,83	0.29	0,2797	0,6084
B-Vf	41,46	1	41,46	6.62	6,33	0,0306
C-ap	4,97	1	4,97	0.79	0,7597	0,4039
AB	67,63	1	67,63	10.80	10,33	0,0093
AC	146,26	1	146,26	23.36	22,34	0,0008
BC	75,92	1	75,92	12.12	11,60	0,0067
A ²	3,24	1	3,24	0.51	0,4949	0,4978
B ²	221,81	1	221,81	35.43	33,89	0,0002
C ²	4,98	1	4,98	0.79	0,7610	0,4035
الباقي	65,46	10	6,55			
نقص الملائمة	65,46	5	13,09			
الخطأ الخالص	0,0000	5	0,0000	9,29		
المجموع	625,99	19		100		

من الجدول 12.IV يتبين أن V_f يؤثر بنسبة 6.62% على الخشونة R_t وبالنسبة للتفاعلات بين العوامل نجد V_f^2 الأكثر مساهمة بنسبة 35.43% يليه V_c بنسبة مساهمة تبلغ 23.36% ثم V_f بنسبة مساهمة 12.12%، كما تشير القيم الأكبر من 0.05 إلى العوامل الأقل تأثيراً على الخشونة R_t .

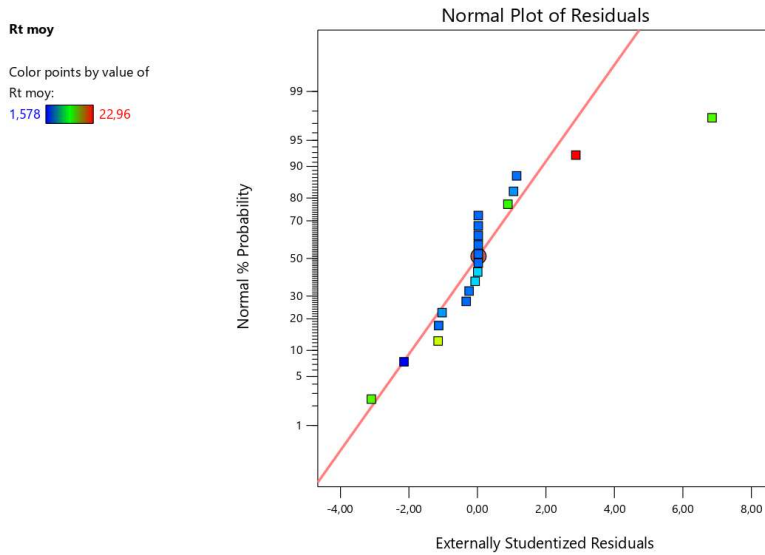
2.3.5.IV : Analyse de Regression تحليل الانحدار

النموذج الرياضي للاستجابة R_t يعطى في المعادلة 3.IV التالية

$$Rt_{moy} = 3.72 + 0.3661Vc + 1.74Vf - 0.6034ap - 2.91Vc Vf - 4.28Vc ap + 3.08ap + 0.4741Vc^2 + 3.92Vf^2 + 0.5876ap^2 \dots 3.IV$$

الجدول 13. IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Rt

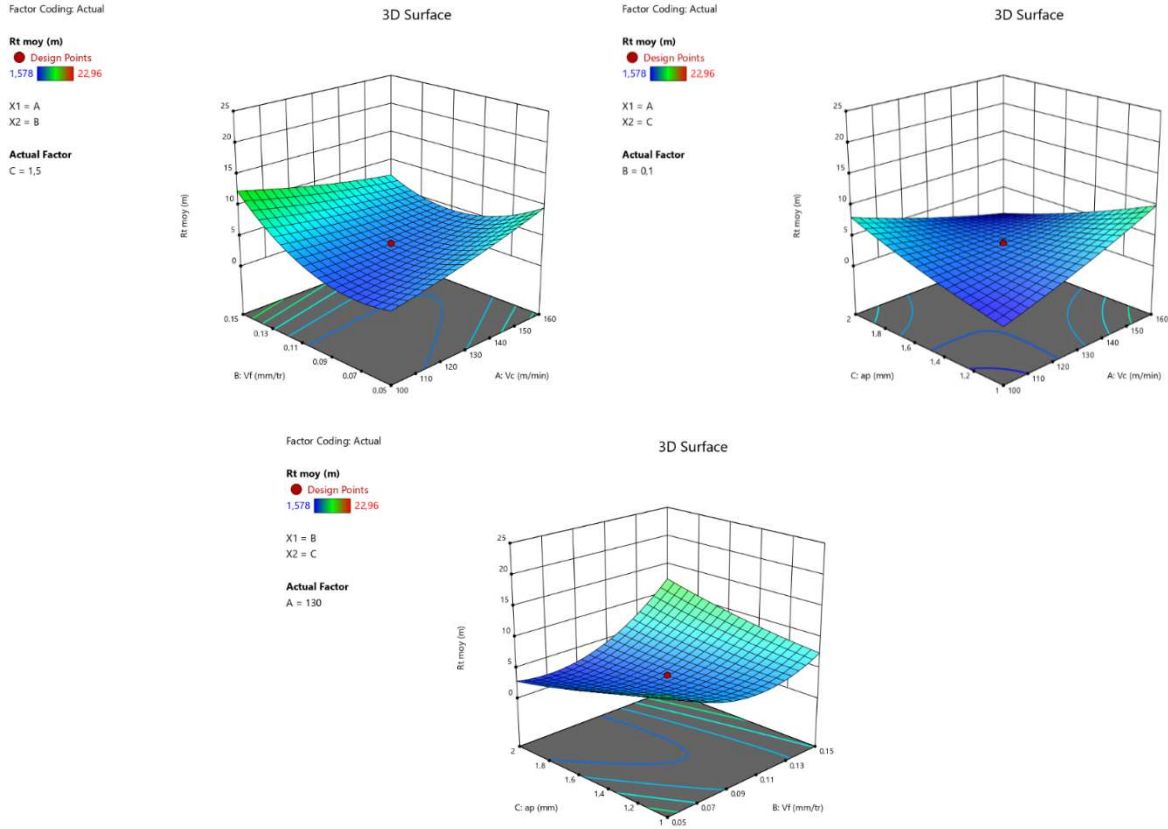
الانحراف المعياري	2,56	معامل التحديد R ²	0,8954
المتوسط	7,13	معامل التحديد المعدل R ²	0,8013
معامل الاختلاف %	35,91	معامل التحديد المتوقع R ²	0,1347
		دقة الملائمة	9,6541



الشكل 7. IV. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي Rt.

بناءً على المعلومات التي تم الحصول عليها للخشونة الكلية Rt، يمكننا القول أن نموذج الانحدار الخطي يتمتع معامل تحديد جيد حيث يبلغ R²=89.54% المبين في الجدول 13.IV حيث يشير هذا الرقم إلى وجود توافق نوعي بين البيانات المرصودة والقيم التي يتنبأ بها النموذج الإحصائي.

من خلال تحليل مخطط الشكل 7. IV، نلاحظ توافقاً هاماً بين النتائج التجريبية والتنبؤات التي قدمها النموذج المُطور. يُعد هذا التوافق دليلاً قوياً على صحة النموذج وقدرته على التنبؤ بدقة بالخشونة الكلية Rt.



الشكل 8.IV. تأثير كل من شروط القطع الثلاث على الخشونة الكلية Rt.

في الشكل 8.IV. نرى العلاقة بين الخشونة الكلية Rt وشروط القطع الثلاث، نجد أن الخشونة الكلية تتماشى طرديا مع سرعة التغذية Vf، بينما عمق القطع ap و سرعة القطع Vc يتماشون طرديا مع Rt، وبالنسبة لـ ap مع Vf فالعلاقة العكسية بينهما تتحكم في مسار الخشونة Rt، فعند تناقص قيم Vf مع زيادة قيم ap فان الخشونة الكلية Rt تتناقص.

كما نرى في الشكل 9.IV. أن قيم الخشونة Rt تقع في رؤوس المكعب حيث عند كل نقطة في رأس المكعب نلاحظ قيمة خشونة والتي ترافقها قيم شروط القطع المؤثرة عليها. حيث مثلا اذا أخذنا على سبيل المثال الحرف الممثل عليه عمق التغذية فاننا نلاحظ أنه في رؤوس هذا الحرف القيمة الدنيا و العليا لمستويي هذا العامل. فعند ادنى مستوى لقيمة عمق التغذية والذي يساوي الى 1 mm كانت قيمة الخشونة الكلية $3.098 \mu m$ ولما كانت $ap = 2mm$ وهو أقصى مستوى لها كانت $Rt = 4.282 \mu m$ وهذا يعني أن قيمة الخشونة الكلية ترتفع عندما يرتفع مستوى عمق القطع.

Factor Coding: Actual

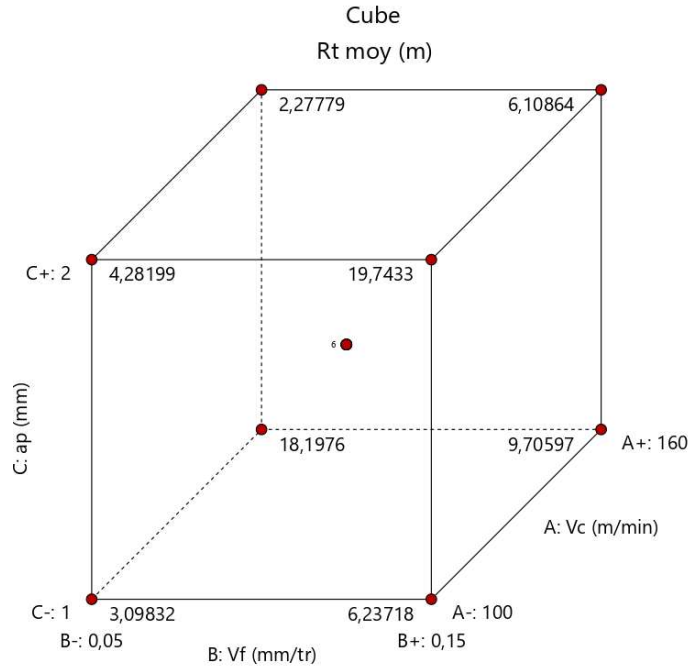
Rt moy (m)

X1 = B

X2 = C

X3 = A

Predicted values shown



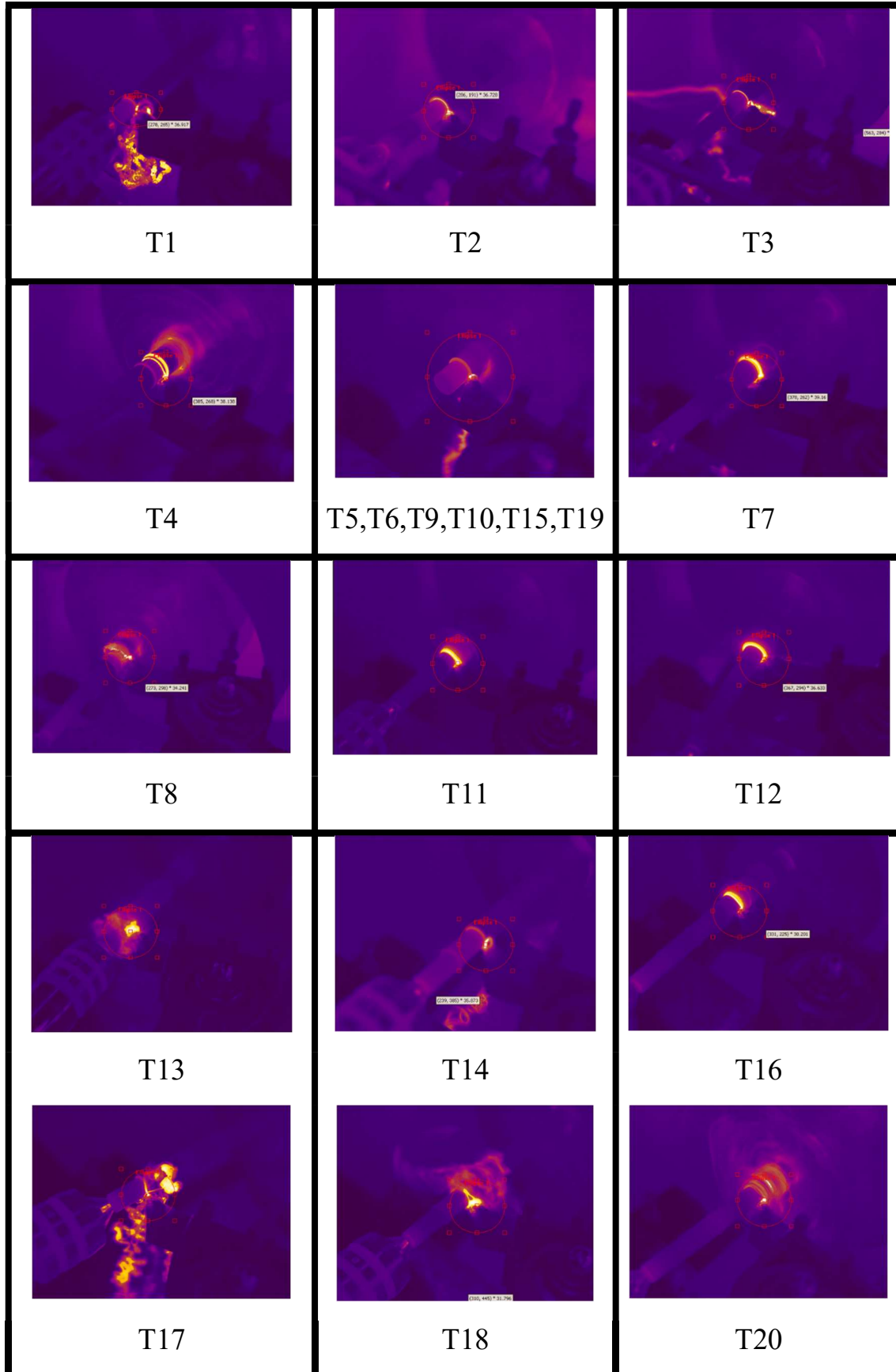
الشكل 9.IV. تمثيل القيم باستعمال مكعب RSM Central composite لـ Rt

6.IV. النتائج الخاصة بحرارة القطع:

1.6.IV. مراقبة درجات الحرارة :

في هذه العمل يتم أيضا دراسة تأثير شروط القطع على حرارة القطع. قياس درجة حرارة القطع تم خلال تجارب الخراط الطولي المنجزة سابقا في منطقة الاحتكاك بين الأداة والقطعة المراد تصنيعها، فخلال كل تجربة يتم التقاط فيديو لدرجات الحرارة الخاصة بكل تجربة بواسطة الكاميرا T650sc تم معالجة هذه الفيديوهات بواسطة البرنامج FLIR ResearchIR Max وتحديد درجة حرارة القطع القصوى خلال التجربة ومنه تم الحصول على الصور المبينة في الجدول 14.IV. وأثناء عملية التتبع لفيديوهات درجة الحرارة تم رصد مجموعة من القيم والتي تتجلى في الجدول 15.IV.

الجدول 14.IV. صور الحرارة الملتقطة لكل عملية



الجدول 15.IV. القيم الخاصة بصور الحرارة الملتقطة

<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 51.5</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>17.1</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(260.0, 247.0) 119.4</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(259, 245) * 134.1</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(305, 259) * 32.7</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>7415</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T1</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 51.5	Std. Dev. [°C]	17.1	Center [°C]	(260.0, 247.0) 119.4	Maximum [°C]	(259, 245) * 134.1	Minimum [°C]	(305, 259) * 32.7	Number of Pixels	7415	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 43.4</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>12.9</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(280.0, 249.0) 126.4</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(278, 252) 144.8</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(263, 309) * 33.4</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>11891</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T2</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 43.4	Std. Dev. [°C]	12.9	Center [°C]	(280.0, 249.0) 126.4	Maximum [°C]	(278, 252) 144.8	Minimum [°C]	(263, 309) * 33.4	Number of Pixels	11891	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 44.5</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>16.4</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(298.0, 231.0) 133.9</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(296, 233) 162.2</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(294, 289) * 32.5</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>11891</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T3</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 44.5	Std. Dev. [°C]	16.4	Center [°C]	(298.0, 231.0) 133.9	Maximum [°C]	(296, 233) 162.2	Minimum [°C]	(294, 289) * 32.5	Number of Pixels	11891	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 51.5																																																																									
Std. Dev. [°C]	17.1																																																																									
Center [°C]	(260.0, 247.0) 119.4																																																																									
Maximum [°C]	(259, 245) * 134.1																																																																									
Minimum [°C]	(305, 259) * 32.7																																																																									
Number of Pixels	7415																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 43.4																																																																									
Std. Dev. [°C]	12.9																																																																									
Center [°C]	(280.0, 249.0) 126.4																																																																									
Maximum [°C]	(278, 252) 144.8																																																																									
Minimum [°C]	(263, 309) * 33.4																																																																									
Number of Pixels	11891																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 44.5																																																																									
Std. Dev. [°C]	16.4																																																																									
Center [°C]	(298.0, 231.0) 133.9																																																																									
Maximum [°C]	(296, 233) 162.2																																																																									
Minimum [°C]	(294, 289) * 32.5																																																																									
Number of Pixels	11891																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 53.9</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>23.9</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(332.0, 233.0) * 94.7</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(325, 227) 171.3</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(345, 279) * 33.5</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>11891</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T4</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 53.9	Std. Dev. [°C]	23.9	Center [°C]	(332.0, 233.0) * 94.7	Maximum [°C]	(325, 227) 171.3	Minimum [°C]	(345, 279) * 33.5	Number of Pixels	11891	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 43.4</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>11.2</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(278.0, 217.0) 134.7</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(275, 218) 153.9</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(279, 267) * 34.7</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>11891</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T5,T6,T9,T10,T15,T19</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 43.4	Std. Dev. [°C]	11.2	Center [°C]	(278.0, 217.0) 134.7	Maximum [°C]	(275, 218) 153.9	Minimum [°C]	(279, 267) * 34.7	Number of Pixels	11891	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 54.3</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>21.6</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(316.0, 238.0) 103.7</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(324, 227) 142.5</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(321, 293) * 37.1</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>11891</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T7</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 54.3	Std. Dev. [°C]	21.6	Center [°C]	(316.0, 238.0) 103.7	Maximum [°C]	(324, 227) 142.5	Minimum [°C]	(321, 293) * 37.1	Number of Pixels	11891	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 53.9																																																																									
Std. Dev. [°C]	23.9																																																																									
Center [°C]	(332.0, 233.0) * 94.7																																																																									
Maximum [°C]	(325, 227) 171.3																																																																									
Minimum [°C]	(345, 279) * 33.5																																																																									
Number of Pixels	11891																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 43.4																																																																									
Std. Dev. [°C]	11.2																																																																									
Center [°C]	(278.0, 217.0) 134.7																																																																									
Maximum [°C]	(275, 218) 153.9																																																																									
Minimum [°C]	(279, 267) * 34.7																																																																									
Number of Pixels	11891																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 54.3																																																																									
Std. Dev. [°C]	21.6																																																																									
Center [°C]	(316.0, 238.0) 103.7																																																																									
Maximum [°C]	(324, 227) 142.5																																																																									
Minimum [°C]	(321, 293) * 37.1																																																																									
Number of Pixels	11891																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 49.4</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>15.5</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(243.0, 242.0) 135.6</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(241, 242) 144.1</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(234, 295) * 33.3</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>11891</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T8</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 49.4	Std. Dev. [°C]	15.5	Center [°C]	(243.0, 242.0) 135.6	Maximum [°C]	(241, 242) 144.1	Minimum [°C]	(234, 295) * 33.3	Number of Pixels	11891	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 51.0</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>20.9</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(297.0, 254.0) 120.8</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(296, 250) 141.1</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(296, 312) * 34.7</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>11891</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T11</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 51.0	Std. Dev. [°C]	20.9	Center [°C]	(297.0, 254.0) 120.8	Maximum [°C]	(296, 250) 141.1	Minimum [°C]	(296, 312) * 34.7	Number of Pixels	11891	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 53.1</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>22.7</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(332.0, 244.0) 102.2</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(332, 236) 166.4</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(371, 248) * 35.6</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>11891</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T12</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 53.1	Std. Dev. [°C]	22.7	Center [°C]	(332.0, 244.0) 102.2	Maximum [°C]	(332, 236) 166.4	Minimum [°C]	(371, 248) * 35.6	Number of Pixels	11891	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 49.4																																																																									
Std. Dev. [°C]	15.5																																																																									
Center [°C]	(243.0, 242.0) 135.6																																																																									
Maximum [°C]	(241, 242) 144.1																																																																									
Minimum [°C]	(234, 295) * 33.3																																																																									
Number of Pixels	11891																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 51.0																																																																									
Std. Dev. [°C]	20.9																																																																									
Center [°C]	(297.0, 254.0) 120.8																																																																									
Maximum [°C]	(296, 250) 141.1																																																																									
Minimum [°C]	(296, 312) * 34.7																																																																									
Number of Pixels	11891																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 53.1																																																																									
Std. Dev. [°C]	22.7																																																																									
Center [°C]	(332.0, 244.0) 102.2																																																																									
Maximum [°C]	(332, 236) 166.4																																																																									
Minimum [°C]	(371, 248) * 35.6																																																																									
Number of Pixels	11891																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 58.2</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>23.5</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(243.0, 237.5) 125.0</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(241, 231) 136.5</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(289, 263) * 29.2</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>12598</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T13</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 58.2	Std. Dev. [°C]	23.5	Center [°C]	(243.0, 237.5) 125.0	Maximum [°C]	(241, 231) 136.5	Minimum [°C]	(289, 263) * 29.2	Number of Pixels	12598	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 38.4</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>13.4</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(369.0, 269.5) 113.8</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(368, 265) 123.8</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(348, 299) * 27.2</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>12598</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T14</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 38.4	Std. Dev. [°C]	13.4	Center [°C]	(369.0, 269.5) 113.8	Maximum [°C]	(368, 265) 123.8	Minimum [°C]	(348, 299) * 27.2	Number of Pixels	12598	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 42.7</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>20.5</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(277.0, 189.5) * 91.7</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(278, 182) 148.5</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(260, 239) * 27.9</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>12598</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T16</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 42.7	Std. Dev. [°C]	20.5	Center [°C]	(277.0, 189.5) * 91.7	Maximum [°C]	(278, 182) 148.5	Minimum [°C]	(260, 239) * 27.9	Number of Pixels	12598	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 58.2																																																																									
Std. Dev. [°C]	23.5																																																																									
Center [°C]	(243.0, 237.5) 125.0																																																																									
Maximum [°C]	(241, 231) 136.5																																																																									
Minimum [°C]	(289, 263) * 29.2																																																																									
Number of Pixels	12598																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 38.4																																																																									
Std. Dev. [°C]	13.4																																																																									
Center [°C]	(369.0, 269.5) 113.8																																																																									
Maximum [°C]	(368, 265) 123.8																																																																									
Minimum [°C]	(348, 299) * 27.2																																																																									
Number of Pixels	12598																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 42.7																																																																									
Std. Dev. [°C]	20.5																																																																									
Center [°C]	(277.0, 189.5) * 91.7																																																																									
Maximum [°C]	(278, 182) 148.5																																																																									
Minimum [°C]	(260, 239) * 27.9																																																																									
Number of Pixels	12598																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 60.5</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>27.1</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(287.0, 222.5) 136.2</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(289, 222) 140.2</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(254, 173) * 27.4</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>12598</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T17</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 60.5	Std. Dev. [°C]	27.1	Center [°C]	(287.0, 222.5) 136.2	Maximum [°C]	(289, 222) 140.2	Minimum [°C]	(254, 173) * 27.4	Number of Pixels	12598	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 50.2</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>22.6</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(341.0, 246.5) * 84.0</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(329, 237) 124.2</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(328, 286) * 27.5</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>12598</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T18</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 50.2	Std. Dev. [°C]	22.6	Center [°C]	(341.0, 246.5) * 84.0	Maximum [°C]	(329, 237) 124.2	Minimum [°C]	(328, 286) * 27.5	Number of Pixels	12598	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Statistic [units]</th> <th>Ellipse 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Mean [°C]</td><td>* 53.7</td></tr> <tr><td>Std. Dev. [°C]</td><td>17.5</td></tr> <tr><td>Center [°C]</td><td>(335.0, 234.5) 119.3</td></tr> <tr><td>Maximum [°C]</td><td>(331, 233) 137.6</td></tr> <tr><td>Minimum [°C]</td><td>(339, 285) * 32.3</td></tr> <tr><td>Number of Pixels</td><td>12598</td></tr> <tr><td>Single Pixel Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Area [cm²]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>Length [cm]</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>u Emissivity</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>u Distance [m]</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T20</p>	Statistic [units]	Ellipse 1	Mean [°C]	* 53.7	Std. Dev. [°C]	17.5	Center [°C]	(335.0, 234.5) 119.3	Maximum [°C]	(331, 233) 137.6	Minimum [°C]	(339, 285) * 32.3	Number of Pixels	12598	Single Pixel Area [cm ²]	N/A	Area [cm ²]	N/A	Length [cm]	N/A	u Emissivity	0.55	u Distance [m]	1
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 60.5																																																																									
Std. Dev. [°C]	27.1																																																																									
Center [°C]	(287.0, 222.5) 136.2																																																																									
Maximum [°C]	(289, 222) 140.2																																																																									
Minimum [°C]	(254, 173) * 27.4																																																																									
Number of Pixels	12598																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 50.2																																																																									
Std. Dev. [°C]	22.6																																																																									
Center [°C]	(341.0, 246.5) * 84.0																																																																									
Maximum [°C]	(329, 237) 124.2																																																																									
Minimum [°C]	(328, 286) * 27.5																																																																									
Number of Pixels	12598																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									
Statistic [units]	Ellipse 1																																																																									
Mean [°C]	* 53.7																																																																									
Std. Dev. [°C]	17.5																																																																									
Center [°C]	(335.0, 234.5) 119.3																																																																									
Maximum [°C]	(331, 233) 137.6																																																																									
Minimum [°C]	(339, 285) * 32.3																																																																									
Number of Pixels	12598																																																																									
Single Pixel Area [cm ²]	N/A																																																																									
Area [cm ²]	N/A																																																																									
Length [cm]	N/A																																																																									
u Emissivity	0.55																																																																									
u Distance [m]	1																																																																									

الفيديوهات الحرارية التي تم التقاطها خلال عمليات تشغيل POMC، تم بعدها تسجيلها ومعالجتها بالاعتماد على برنامج FLIR ResearchIR Max الذي بواسطته يمكن استخراج أقصى درجة حرارة تم التقاطها أثناء عملية الخراطة. النتائج الخاصة بدرجات حرارة القطع خلال الخراطة موضحة في الجدول 16.IV.

الجدول 16.IV. قيم الحرارة المتحصل عليها

N°	Vc	ap	Vf	Température(°)
1	160	1	0.15	119.4
2	100	2	0.152	126.4
3	100	1	0.15	133.9
4	160	2	0.15	94.7
5	130	1.5	0.1	134.7
6	130	1.5	0.1	134.7
7	100	1	0.05	103.7
8	100	2	0.05	135.6
9	130	1.5	0.1	134.7
10	130	1.5	0.1	134.7
11	130	1.5	0.016	120.8
12	160	1	0.053	102.2
13	130	0.66	0.106	125.0
14	180.4	1.5	0.106	113.8
15	130	1.5	0.1	134.7
16	160	2	0.053	91.7
17	79.5	1.5	0.1	136.2
18	130	1.5	0.18	84.0
19	130	1.5	0.1	134.7
20	130	2.3	0.1	119.3

7.IV. تحليل النتائج الخاصة بالحرارة :

الجدول 17.IV يظهر لنا أن أفضل وأنسب نموذج لتحليل نتائج الحرارة الخاصة بالعينات هو النموذج التربيعي Quadratic بنسبة 64% .

الجدول 17.IV. أفضل نموذج لتحليل قيم الحرارة

المصدر	القيم الاحتمالية المتسلسلة p	معامل التحديد المعدل R ²	معامل التحديد المتوقع R ²	
خطي	0,2150	0,0947	-0,2491	
2FI	0,4043	0,1027	-0,9677	
تربيعي	0,0066	0,6396	-0,4639	المقترح
تكعيبي	< 0.0001	0,9928	0,4982	المستعار

1.7.IV. تحليل التباين ANOVA :

نتائج تحليل التباين ANOVA لكل تأثير شروط القطع (V_c, V_f, a_p) على الحرارة مبينة في الجدول 18.IV. من نتائج الجدول 18.IV. نلاحظ أن كل من سرعة التغذية V_f وعمق القطع a_p لا يمكنهم المساهمة بناتا في مقاييس الأداء حيث من خلال الجدول نرى أن القيمة الخاصة بكل منهم أكبر من 0.05.

قيم الاحتمالية (p-value) الأقل من 0.05 تشير إلى دلالة إحصائية للمعاملات المرتبطة بها. في هذه الحالة، فإن كل من المعاملات V_f^2 و V_c لها دلالة إحصائية ، مما يعني أن لها تأثيراً مهماً على المتغير التابع في النموذج، كما أن هذه المعاملات تعتبر الأكثر مساهمة حيث أن V_f^2 هي الأكثر مساهمة بمقدار 37.31% يليه V_c بمقدار 22.62% .

على العكس، تشير قيم الاحتمالية الأكبر من 0.05 إلى عدم وجود دلالة إحصائية للمعاملات. فإذا وجدت العديد من هذه المعاملات غير المؤثرة.

الجدول 18.IV. تحليل التباين لتأثير شروط القطع على T.

المصدر	المجموع التربيعي	درجات الحرية	المتوسط التربيعي	نسبة % المساهمة	معامل تناسب البيانات F	الاحتمالية p
النموذج واضح	4383,76	9	487,08		4,75	0,0115
A-Vc	1223,66	1	1223,66	22,62	11,93	0,0062
B-Vf	31,35	1	31,35	0,58	0,3055	0,5926
C-ap	30,43	1	30,43	0,56	0,2966	0,5980
AB	0,0800	1	0,0800	0,0014	0,0008	0,9783
AC	444,02	1	444,02	8,21	4,33	0,0642
BC	359,12	1	359,12	6,64	3,50	0,0909
A ²	212,93	1	212,93	3,94	2,08	0,1803
B ²	2018,26	1	2018,26	37,31	19,67	0,0013
C ²	339,20	1	339,20	6,27	3,31	0,0991
الباقي	1026,09	10	102,61			
نقص الملائمة	1026,09	5	205,22			
الخطأ الخالص	0,0000	5	0,0000	13,86		
المجموع	5409,85	19		100		

2.7.IV. تحليل الانحدار Analyse de regression :

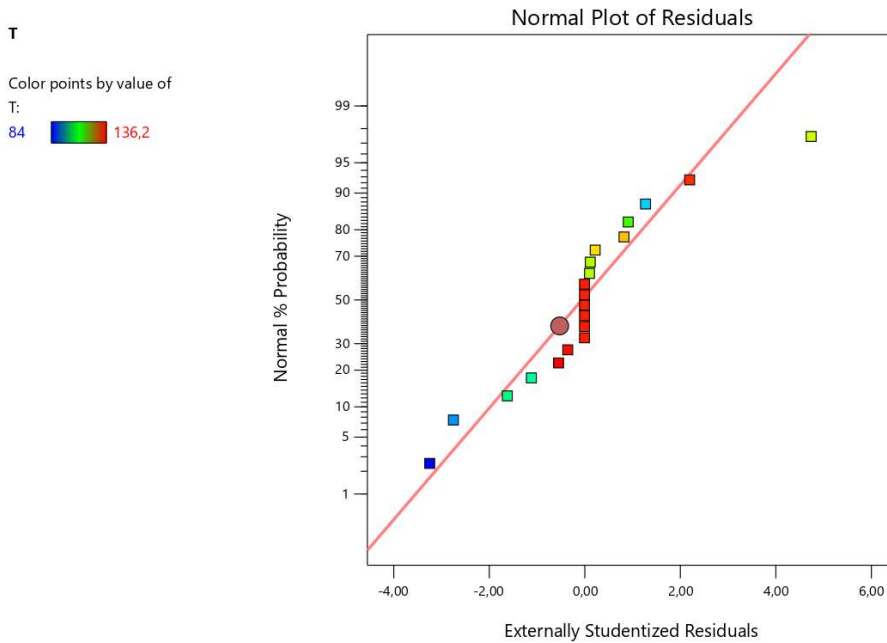
النموذج الرياضي للاستجابة T يعطى على الشكل التالي: (4.IV).

$$T = 134.76 - 9.74Vc - 1.51Vf - 1.49ap - 0.1VcVf - 7.45Vcap - 6.70Vfap - 3.84Vc^2 - 11.83Vf^2 - 4.85ap^2 \dots 4.IV$$

كما نرى في الجدول 19.IV. هناك توافق نوعي بين البيانات المرصودة والقيم المتنبأة من طرف النموذج الإحصائي، ومن الجدول السابق نجد أن نموذج الانحدار يتمتع بمعامل تحديد عالي مقداره $R^2 = 81.03\%$

الجدول 19.IV. نسبة توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي T

الانحراف المعياري	10,13	معامل التحديد R ²	0,8103
المتوسط	120,74	معامل التحديد المعدل R ²	0,6396
معامل الاختلاف %	8,39	معامل التحديد المتوقع R ²	-0,4639
		دقة الملازمة	7,3018

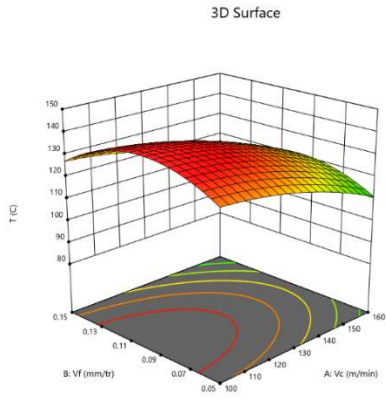


الشكل 10.IV. مخطط مدى توافق البيانات المرصودة مع القيم التي يتنبؤ بها النموذج الإحصائي T .

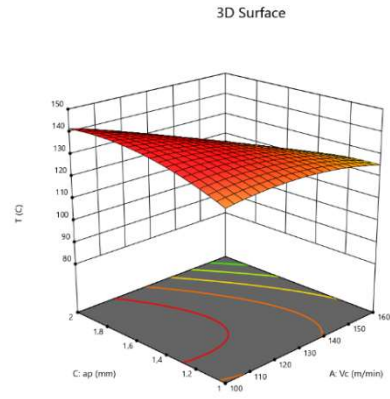
من خلال تحليل مخطط الشكل 10.IV. ، نلاحظ توافقاً هاماً بين النتائج التجريبية والتنبؤات التي قدمها النموذج المطور. يُعد هذا التوافق دليلاً قوياً على صحة النموذج وقدرته على التنبؤ بدقة بالحرارة T .

يبين الشكل 11.IV. تأثير شروط القطع على الحرارة، كما نلاحظ أن كل من سرعة القطع VC و سرعة التغذية Vf لهم تأثير ملحوظ على الحرارة، فعند زيادة سرعة القطع VC تنخفض درجة الحرارة، وعند سرعة التغذية Vf نلاحظ تناقص درجة الحرارة بشكل تدريجي عند القيم العليا والدنيا.

Factor Coding: Actual
 T (C)
 Design Points
 84 136,2
 X1 = A
 X2 = B
 Actual Factor
 C = 1,5

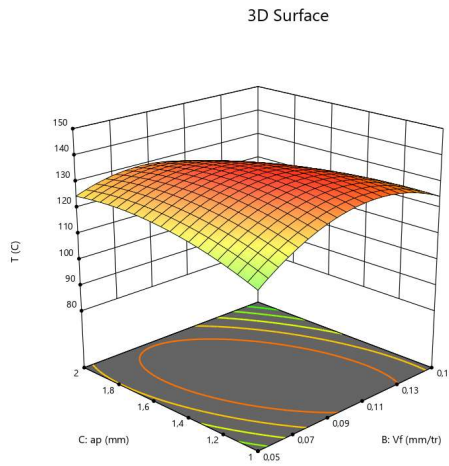


Factor Coding: Actual
 T (C)
 Design Points
 84 136,2
 X1 = A
 X2 = C
 Actual Factor
 B = 0,1



Factor Coding: Actual

T (C)
 Design Points
 84 136,2
 X1 = B
 X2 = C
 Actual Factor
 A = 130

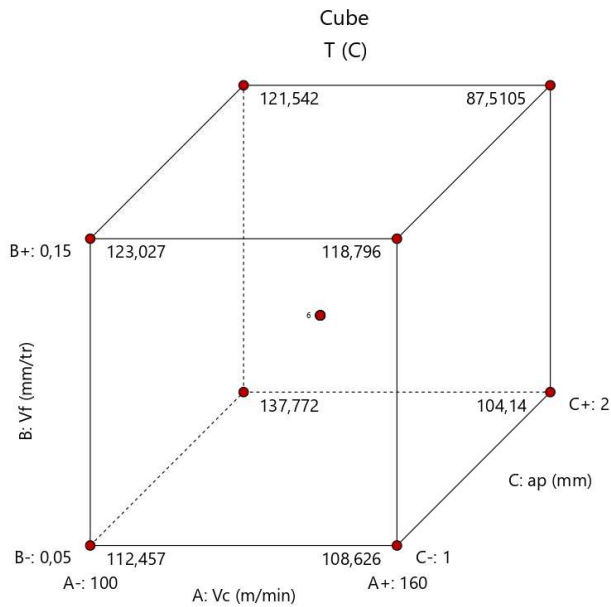


الشكل 11.IV. تأثير كل من شروط القطع الثلاث على الحرارة T.

Factor Coding: Actual

T (C)
 X1 = A
 X2 = B
 X3 = C

Predicted values shown



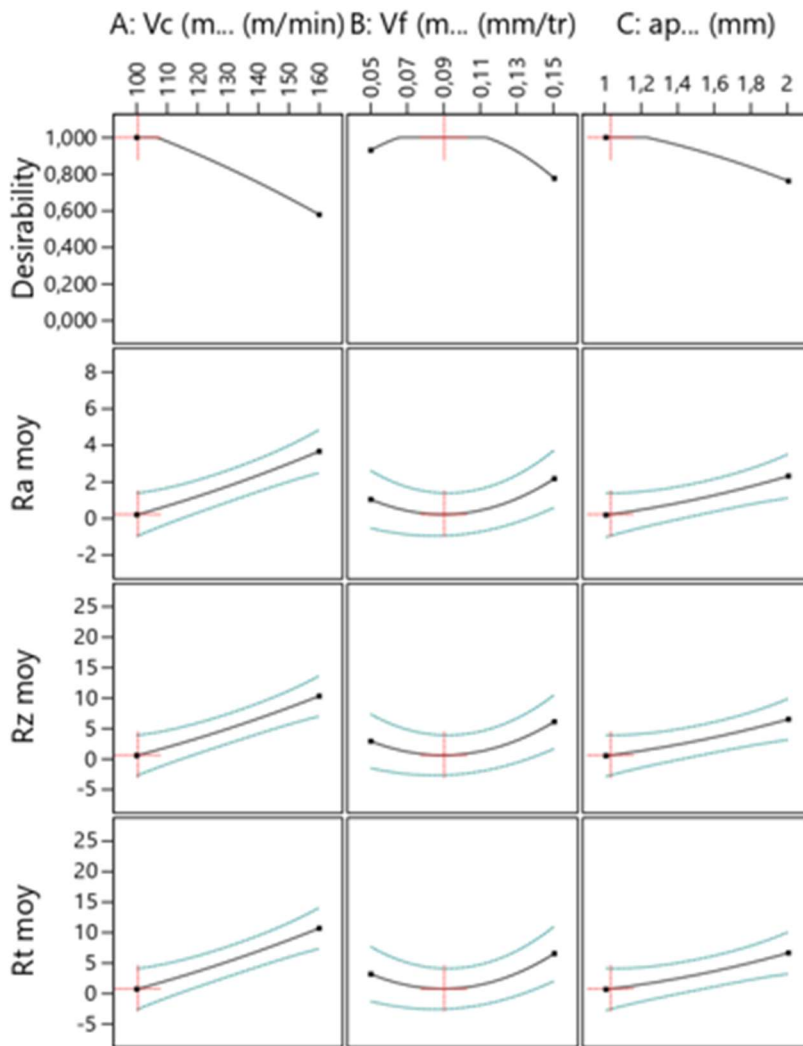
الشكل 12.IV. تمثيل القيم باستعمال مكعب RSM Central composite للحرارة

في الشكل 12.1V. نجد القيم الأكثر تأثيرا على الحرارة والتي تقع على رؤوس المكعب حيث تعطي قيم أعلى وقيم أدنى للحرارة. منه يمكن تحديد شروط القطع المؤثرة.

8.1V. نتائج عملية التحقق :

1.8.1V. النتائج الخاصة بالخشونة:

القيم المثلى لشروط القطع يمكن استخراجها من الشكل 13.1V الذي يمثل منحنى تحسين الاستجابة، حيث أن القيم المثلى لشروط القطع هي: $V_c=100$ mm/min، $V_f=0.09$ mm/tr، و $a_p=1.026$ mm. القيم المثلى لشروط القطع تحدد من خلال تقاطع المنحنى الخاص بـ Desirability عند القيمة 1.000 مع قيمة كل شرط من شروط القطع والتي تعطي القيمة الأدنى لكل معايير الخشونة R_t, R_z, R_a تعني أن الاستجابة المرغوبة محققة بنسبة 100%.



الشكل 13.1V. منحنى تحسين الاستجابة الخاص بشروط القطع المثلى بالنسبة للخشونة

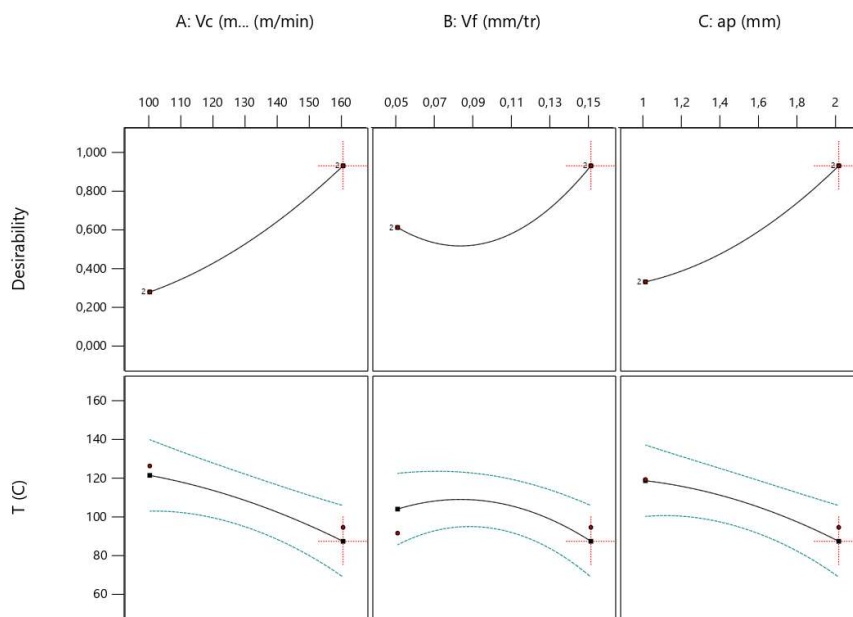
هذه القيم المثلى أعطت أفضل نوعية للسطح المشغل أي أعطت أصغر قيمة للمعايير الثلاث لخشونة السطح. ومن أجل التحقق من قيم الشروط المثلى تم القيام بتجربة إضافية مع القيام بعملية تشغيل POMC بنفس الشروط المثلى. نتائج الخشونة الخاصة بتجربة التحقق موضحة في الجدول 20.IV. من خلال هذا الجدول نلاحظ تقارب في قيم الخشونة النظرية والتجريبية، وهذا ما يؤكد صحة النتائج المتوصل إليها سواء فيما يخص قيم الشروط المثلى أو النموذج الرياضي الخاص بمعايير الخشونة.

الجدول 20.IV. النتائج عملية التحقق الخاصة بالخشونة.

	Vc	Vf	ap	Ra	Rz	Rt
نظرية	100	0.090	1.026	0.236	0.669	0.745
تجريبية	100	0.1	1	0.490	1.386	1.441

2.8.IV. النتائج الخاصة بالحرارة:

من خلال الشكل 14.IV. نلاحظ أن القيم المثلى لشروط القطع يتم تعيينها عند وصول المنحنيات الخاصة بـ Desirability إلى 1.000 حيث تتقاطع قيمة كل شرط من شروط القطع مع القيمة 1.000. فتتقاطع مع القيمة الأدنى للحرارة في نفس المستوى. وبهذا يتم تعيين شروط القطع المثلى التي تقدم أقل درجة حرارة قطع والمتمثلة في ($ap=2 \text{ mm}, Vf=0.15 \text{ tr/min}, Vc=160 \text{ mm/min}$)



الشكل 14.IV. منحنى تحسين الاستجابة الخاص بشروط القطع المثلى بالنسبة للحرارة

الجدول 21.1V. يبين القيم التجريبية والقيم النظرية لحرارة القطع التي تم الحصول عليها عند ادخال شروط القطع المثلى. القيم النظرية لهذه الشروط تم الحصول عليها بالاعتماد على النموذج الرياضي الخاص بحرارة القطع. من خلال هذا الجدول نلاحظ تقارب في قيم الحرارة النظرية والتجريبية، وهذا ما يؤكد صحة النتائج المتوصل اليها سواء فيما يخص قيم الشروط المثلى أو النموذج الرياضي الخاص بحرارة القطع.

الجدول 21.1V. النتائج عملية التحقق الخاصة بالحرارة.

	Vc	ap	Vf	Température(°)
النظرية	160	2	0.15	87.5
التجريبية	160	2	0.15	83.1

9.1V. خاتمة :

تناولت هذه الدراسة تأثير شروط القطع الثلاثة الرئيسية (سرعة القطع، سرعة التغذية، وعمق القطع) على خشونة سطح المواد ودرجة حرارة القطع. تم تصميم التجارب باستخدام طريقة RSM Central-Composite ، حيث تم تغيير كل عامل على ثلاث مستويات. أظهرت النتائج ما يلي:

1. بالاعتماد على تحليل التباين، تبين لنا أن العامل الأكثر مساهمة في التأثير على معايير الخشونة الثلاث (R_t , R_z , R_a) هي سرعة التغذية V_f^2 حيث كانت نسبة مساهمتها حوالي 34% تليها كل من سرعة القطع V_c و عمق القطع a_p معاً بنسبة مساهمة تبلغ 24%، ثم تليها كل من السرعة التغذية وعمق القطع معاً بنسبة مهامة تقدر بـ 13%، لتبقى النسبة المتبقية موزعة على كل من سرعة القطع وعمق القطع والتغذية بمقادير صغيرة إضافة الى عوامل خارجية كالاختزازات. كذلك بالاعتماد على تحليل التباين، تبين لنا أن العامل الأكثر مساهمة في التأثير على حرارة القطع هي سرعة التغذية V_f^2 حيث كانت نسبة مساهمتها حوالي 37%، تليها سرعة القطع V_c بنسبة مساهمة تقدر بـ 23%.

2. أظهر تحليل الانحدار أن النماذج المطورة لكل من خشونة السطح وحرارة التصنيع تتوافق مع النتائج التجريبية، وهي قادر على التنبؤ بدقة بخشونة سطح وحرارة القطع.

3. منحنيات تحسين الاستجابة أعطت القيم المثلى لشروط القطع المتمثلة في $V_c=100$ mm/min، $V_f=0.09$ mm/tr و $a_p=1.026$ mm التي أعطت أقل لمقادير الخشونة و $V_c=160$

منها بالاعتماد على تجارب تأكيدية. هذه التجارب بالإضافة أنها أكدت صحة القيم المثلى لشروط القطع التي أعطت أحسن نوعية سطح وأخفض درجة حرارة قطع فقد أكدت أيضا على صحة النماذج الرياضية المطورة للنتبؤ بالخشونة وحرارة القطع.

خاتمة عامة

خاتمة عامة:

لضمان عمل النظام الميكانيكي بشكلٍ سليمٍ وسلسٍ، يجب تصنيع جميع مكوناته بدقةٍ عاليةٍ، مُلبيةً المواصفات المطلوبة من حيث الأبعاد والخصائص الميكانيكية، ومن أهم هذه الخصائص جودة حالة السطح (الخشونة)، حيث تلعب خشونة السطح دورًا هامًا في عمل الأنظمة الميكانيكية، فمثلاً في محرك الاحتراق الداخلي، يجب أن يكون السطح الداخلي للأسطوانة ذا جودة عالية (خشونة منخفضة) لضمان عمل المكبس والحلقة المشقوقة بشكلٍ سلسٍ دون تآكلٍ سريعٍ، يعتمد تحقيق جودة سطحٍ عاليةٍ على التحكم في العديد من شروط القطع، مثل سرعة القطع، سرعة التغذية، عمق القطع من خلال التحكم في هذه الشروط بدقةٍ عاليةٍ، يمكننا ضمان عمل النظام الميكانيكي بشكلٍ سليمٍ وفعالٍ لفتراتٍ طويلةٍ.

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير شروط القطع، مثل سرعة القطع وسرعة التغذية وعمق القطع على جودة حالة السطح و على الحرارة المتولدة أثناء عملية الخراطة الطولية. تم استخدام منهجية سطح الاستجابة RSM، وخاصة طريقة التصميم المركب المركزي CCD، لتصميم التجارب وتحليل النتائج.

في البداية، تم إعداد عينات من البوليميدات POMC، ثم تم تقسيم كل عينة إلى 4 مقاطع، كل مقطع مخصص لتجربة واحدة. أثناء عملية التشغيل تم تسجيل فيديو حراري باستعمال كاميرا حرارية من أجل تحديد أقصى درجة حرارة قطع تم الوصول إليها وبعد اكتمال التشغيل، تم قياس خشونة السطح في كل قطعة اختبار باستخدام جهاز قياس الخشونة. تم تحليل النتائج بالاعتماد على تحليل التباين (ANOVA) وتحليل الانحدار من أجل تحديد شروط القطع الأكثر مساهمة وتعيين الظروف المثلى للتشغيل وتحديد نموذج رياضي لخشونة السطح وحرارة القطع وذلك بهدف رفع نوعية السطح المشغل وتخفيض حرارة القطع التي بدورها يمكن أن تؤثر على جودة السطح.

هذا العمل فتح لنا مجالاً للتعرف على كيفية اعداد بحث علمي متمثلا في الفصلين الأول والثاني حيث تم تناول كل جوانب الخراطة في الفصل الأول، وشرح جميع الطرق المتبعة في هذا البحث في الفصل الثاني، كما أتاح لنا هذا العمل بالقيام بعمل ميداني على أرض الواقع بمتابعة تطورات التجارب عن كثب واستخدام المعدات لقياس حالة السطح في الفصل الثالث، ومتابعة وتفسير وتحليل النتائج من خلال الطرق المذكورة سلفاً في الفصل الثاني وكل هذا تم في الفصل الرابع.

وفي الأخير نرى أنه حتى يتم الحصول على المواصفات المرغوبة في القطعة الميكانيكية يجب دراسة وتطبيق التحسين للحصول على مجموعة من شروط القطع المثلى.

المراجع

المراجع:

- [1] **Christophe RAMIREZ**, (2017). Critères d'optimisation des alliages de Titane pour améliorer leur Usinabilité, thèse de doctorat, ENSAM de Cluny.
- [2] **A. Passeron**, « Le tournage », Technique de l'ingénieur, traité génie mécanique, Paris, 2000.
- [3] [https://analyse-fabrication.univ-lille.fr/co/chapitre_2_4_1_1.html voir 01/04/2024].
- [4] «أنواع المخارط وأجزائها»، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني المملكة العربية السعودية، 2007 م.
- [5] **أحمد محمد عبد الرحمن المعمرى**، «تجهيز و تشغيل المخرطة المتوازية وخدماتها»، الطبعة الأولى لوزارة التعليم الفني والتدريب المهني، 41ص، 1425هـ / 2004م.
- [6] **C. Barlier, L. Girardin**, « MémoTech : Productique, Matériaux et usinage », 3ème Edition Paris, CASTELLA 1992.
- [7] **عبد المسيح جرجس منقريوس، سعيد بيومي الشيخ**، «تكنولوجيا الخراطة تخصص تشغيل المعادن»، 222ص، 03 ماي 2011.
- [8] Cours de technologie générale, classe de BTS.BE, 1973.
- [9] **GARA.Souhir**, «Cours interactif : Le tournage», Ingénieur de l'ENIT &Technologue à l'ISET de Nabeul, Année universitaire 2015/2016.
- [10] **Mehdi Hourmand, Mohammed Uddin, Ahmed A.D.Serhan**, «Processing of Titanium by Machining: A Closer Look Into Performance Metrics in Bio-Fabrications», ResearchGate, 24 pages, January 2017.
- [11] **I. Teraoka, Polymer Solutions**, « An introduction to physical properties », Ed. Polytechnic University Brooklyn, New York, (2002).
- [12] **Yannick TILLIER**, «IDENTIFICATION PAR ANALYSE INVERSE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DES POLYMERES SOLIDES ; APPLICATIONS AUX SOLLICITATIONS MULTIAXIALES ET RAPIDES», L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE PARIS, 252 pages,09 mars 1998.

- [13] **Salah Eddine Hachani** , « SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION D'UN NOUVEAU MATÉRIAU COMPOSITE A BASE DE POLYSTYRÈNE», Université Mohamed Khider–Biskra, 93 pages, 13/11/2017.
- [14] **REMLI.Fethi**, «L'effet d'usinage par tournage sur un acier XC18», thèse de doctorat, Université de Mohamed Khider – Biskra, 16 octobre 2016.
- [15] **N.Belhamra**, Réalisations et Caractérisations de Revêtements Durs à Base de Nitrures et de Carbures : Applications à l'Usinage des Métaux, Thèse de Doctorat, Université de Biskra, 2014.
- [16] 3975–OP PARAMETER DEFINITIONS.
- [17] **TOKYO SEIMITSU**, «Surface Texture · Contour Measuring Instruments»
- [18] **Myers Raymond H. & D.C. Montgomery, 2002.** «Response Surface Methodology: process and product optimization using designed experiment,» . A Wiley–Interscience Publication.
- [19] **Sai Datri, Nataraj K , Lakshmana Rao**, « Response Surface Methodology–A Statistical Tool for the Optimization of Responses », University College of Pharmaceutical Sciences, Andhra University, Visakhapatnam, India ,07 pages, May 03, 2023.
- [20] **Sankha Amal Krishna Bhattacharya**, «Central Composite Design for Response Surface Methodology and Its Application in Pharmacy », Web of Science™ Core Collection (BKCI),19 pages, January 2021.
- [21] **Bahadir Erman Yuce, Peter Vilhelm Nielsen, Pawel Wargocki**, « The use of Taguchi, ANOVA, and GRA methods to optimize CFD analyses of ventilation performance in buildings »,13 pages, 2022.
- [22] **Amel CHABBI**, «Modélisation et optimisation des paramètres d'usinage lors du tournage du polyacétal POMC», L'université de 8 Mai 1945 Guelma, 160 pages, Juin 2018.
- [23] **Dr. Mohamed Ahmed Zaid**, «Correlation and Regression Analysis», ORGANISATION OF ISLAMIC COOPERATION STATISTICAL ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH AND TRAINING CENTRE FOR ISLAMIC COUNTRIES, 33 pages, 2015.
- [24] **IYAN SOPYAN , DOLIH GOZALI, SRIWIDODO, RIZKA KHOIRUNNISA GUNTINA**, «DESIGN–EXPERT SOFTWARE (DOE): AN APPLICATION TOOL FOR OPTIMIZATION IN

PHARMACEUTICAL PREPARATIONS FORMULATION», International Journal of Applied Pharmaceutics, 63 pages, 01 Jun 2022.

[25] Stat-Ease, Inc.1300 Godward Street NE, Suite 6400, Minneapolis, MN 55413 USA.

[26] **Prithviraj Chakraborty, Surajit Dey, Versha Parcha, Shiv Sankar Bhattacharya, Amitava Ghosh**, « Design Expert Supported Mathematical Optimization and Predictability Study of Buccoadhesive Pharmaceutical Wafers of Loratadine », Yoshinori Onuki, 12 pages ,2 May 2013.

