



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي _ سكيكدة _

قسم التكنولوجيا

التخصص: هندسة ميكانيكية

مذكرة لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي

بعنوان:

دراسة تأثير شروط القطع على خراطة POMC بالاعتماد على طريقة
تاغوشي وتحليل العلاقة الرمادي

من إعداد:

- مروة حاكم
- مريم شابي

تحت إشراف الأساتذة:

- المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي - سكيكدة -
- جامعة 8 ماي 1945 - قالمة -

- بوهالي ريمة
- بوشلاغم هجيرة

لجنة المناقشة:

- رئيس اللجنة
- الأستاذ المشرف
- مساعد مشرف
- أستاذ مناقش

- أستاذ محاضر قسم ب
- أستاذ محاضر قسم أ
- أستاذ محاضر قسم ب
- أستاذ محاضر قسم أ

- مريمش ايمان
- بوهالي ريمة
- بوشلاغم هجيرة
- لعداسي نوري

السنة الجامعية 2024/2025

شكر و عرفان:

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله يُدرك النجاح وتُذلل الصعاب. ونسأله تعالى أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم وأن ينفع به الأمة.

نتقدم بخالص عبارات الشكر والامتنان إلى أستاذتنا المشرفة على هذه المذكرة، الدكتورة/الأستاذة ريمة بوهالي، على توجيهاتها القيمة وملاحظاتها البناءة التي كان لها الأثر البالغ في إنجاز هذا العمل.

كما نتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى أستاذتنا التي أشرفت على الجانب التطبيقي، الدكتورة/الأستاذة بوشلاغم هجيرة، على دعمها وتوجيهاتها التي ساعدنا في ترجمة الجانب النظري إلى تطبيق فعلي.

ولا يفوتنا أن نشكر الأستاذة مريمش ايمان رئيس لجنة المناقشة، وكذا الأستاذ المناقش لعداسي نوري، على قبولهم مناقشة هذا العمل وعلى ملاحظاتهم العلمية القيمة.

أخيراً، نقدم شكرنا الخالص لكل من ساندنا وقدم لنا يد العون، من قريب أو من بعيد، في إنجاز هذا العمل.

الحمد لله حمدا يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه، الحمد لله الذي علم بالقلم، الحمد لله عدد ما يكون وعدد الحركات والسكون، الحمد لله على تمام هذا المشوار، وعلى ما وفق وأعان، وما ستر وألهم.

الإهداء:

بفيضٍ من الامتنان، أرفعُ الحمد والثناء لله جلّ في علاه، فهو صاحب الفضل أولاً وآخرًا، وبه ومنه تنبت البدايات، وتثمر النهايات، وبرحمته وكرمه تسير خُطانا نحو النجاح، وتتفتح أمامنا آفاق الأمل.

أضع بين أيديكم ثمرة جهدي المتواضع، نتاج أيامٍ من الاجتهاد، وليالٍ من السهر والكفاح، أهديه تقديرًا وعرفانًا لكل من آمن بي، وراهن على قدرتي، وكان لي سندًا لا يلين.

أهديه أولاً وأخيرًا إلى والديّ العزيزين، لكما مني كل الشكر على ما غمرتماني به من حب ودعاء.

إلى إخوتي الأعزاء، أنتم سندي حين أميل، وأخص بالذكر: معتر بالله، طيب، شيماء، وأختي التوأم صفاء، وزوج أختي نور الدين، شكرًا لكم على احتضانكم لي في لحظات الانكسار، وعلى تشجيعكم الذي لا يعرف انقطاعًا.

إلى كل رفقاء الدرب الجامعي، وأخص بالذكر رفيقة الدرب: مريم شابي، شكرًا لك على الصبر، والرفقة الطيبة، والضحكات التي خففت عني الكثير.

وأخيرًا، إلى كل من مرّ في حياتي وترك فيها أثرًا طيبًا، إلى كل من دعمني بكلمة، أو دعاء، أو ابتسامة، لكم مني جميعًا أعمق مشاعر الوفاء، والامتنان، والمحبة.

الإهداء:

إلى من غرسا في قلبي حبّ الاجتهاد، وأيقظا فيّ شغف التعلم، وكانا لي في كل محطة من محطات الحياة العون والسند، إلى والديّ العزيزين، منبع القوة والسكينة، ومصدر الإلهام والثبات، أهديكما ثمرة هذا المشوار، عرفانًا بما غرستمه من قيم، وتقديرًا لما بذلتماه من تضحيات.

وإلى إخوتي الأعزاء: محمد، وزين الدين، وحاتم، وجابر، كنتم دومًا عكازي حين تميل بي الحياة، ودرعي حين تعصف بي الأعباء، لكم مني كل الحب والامتنان.

وإلى زهرة البيت، أختي الغالية جيهان، أنتِ الأمان حين يضطرب العالم، والوجه الذي لا يغيب عن القلب، شكرًا لكِ على دفاء وجودك ولطيف دعواتك.

وإلى صديقتي الأقرب، مروة حاكم، أنتِ أكثر من رفيقة درب، لكِ في قلبي مكان لا تصفه الكلمات، لكِ مني خالص الحب والامتنان، وذكراك ستظل محفورة في كل سطر من هذا العمل.

وإلى كل صديقاتي العزيزات، إلى من شاركني الرحلة الجامعية، بكل ما حملته من تعب وسهر وأمل، إلى من وجدت في صحبتكن السكينة، وفي وقوفكن بجانبتي القوة، شكرًا لكنّ على كل لحظة صدق، وكل يدٍ امتدت بالعون، وكل دعاء رفع إلى السماء.

وإلى كل من ساندني، بكلمة، أو ابتسامة، أو دعوة صادقة في الغيب، أهديكم هذا العمل المتواضع، عربون وفاء وتقدير، فأنتم جزء من هذا الإنجاز، وذكري لا تزول من مسيرتي.

المخلص:

تلعب المواد البلاستيكية مثل البولي أسيتال الكوبوليمر (Polyoxymethylene Copolymer POMC) دورًا مهمًا في الصناعات الحديثة بفضل خصائصها المتنوعة، مما جعلها تدخل مجالات متقدمة كالصناعات الإلكترونية والكهرو منزلية، ورغم ذلك فإن هذه الخصائص نفسها تطرح تحديات أثناء عملية القطع، مما يستدعي دراسة شروط القطع المثلى لضمان تشغيل فعال ومنتج.

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد شروط القطع المثلى أثناء خراطة مادة POMC من أجل تحسين جودة السطح، زيادة الإنتاجية، وتقليل التكاليف. ولتحقيق ذلك، تم دراسة تأثير العوامل الرئيسية لعملية القطع، وهي سرعة القطع، التغذية، وعمق القطع، على خشونة السطح (Rz)، زمن التشغيل (tc)، معدل إزالة المادة (MRR)، وقوة القطع (Fx)، من خلال انجاز تجارب الخراطة الطولية باستخدام مصفوفة تاغوشي المتعامدة L9 وأداة من كربيد التنجستن المطلي. شمل تحليل النتائج المتحصل عليها مرحلتين؛ تضمنت الأولى استخدام تحليل التباين (ANOVA) وتحليل الانحدار لدراسة تأثير كل عامل ونمذجة العلاقة بين العوامل والاستجابات، أما المرحلة الثانية فركزت على تحسين الاستجابات باستخدام طريقة تاغوشي للتحسين أحادي الهدف، ثم دالة الرغبة (DF) وطريقة تحليل العلاقة الرمادي (GRA) للتحسين متعدد الأهداف. وقد أظهرت النتائج فعالية طريقة تاغوشي في تحسين استجابة واحدة، بينما كانت GRA أكثر كفاءة في تحسين الاستجابات المتعددة، مما ساهم في تحقيق أفضل توازن ممكن بين جودة السطح والإنتاجية.

الكلمات المفتاحية: شروط القطع، خشونة السطح، طريقة تاغوشي، تحليل التباين، تحليل العلاقة الرمادي.

Résumé :

Les matériaux plastiques tels que le copolymère de Polyoxymethylene (POMC) jouent un rôle important dans les industries modernes grâce à leurs propriétés variées, ce qui leur permet d'être utilisés dans des domaines avancés comme les industries électroniques et électroménagères. Toutefois, ces mêmes propriétés posent des défis lors des opérations d'usinage, rendant nécessaire l'étude des conditions de coupe optimales afin de garantir un usinage efficace et productif.

Cette étude vise à déterminer les conditions de coupe optimales lors du tournage du POMC, dans le but d'améliorer la qualité de surface, d'augmenter la productivité et de réduire les coûts. Pour cela, l'effet des principaux paramètres de coupe – la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe – a été étudié sur la rugosité de surface (R_z), le temps d'usinage (t_c), le taux d'enlèvement de matière (MRR) et la force de coupe (F_x), à travers des essais de tournage basés sur la matrice orthogonale L9 de Taguchi, en utilisant un outil en carbure de tungstène revêtu. L'analyse des résultats obtenues s'est déroulée en deux étapes : la première a consisté à appliquer l'analyse de la variance (ANOVA) et l'analyse de régression afin d'évaluer l'effet de chaque facteur et modéliser la relation entre les conditions de coupes et les réponses; la seconde a été dédiée à l'optimisation des réponses, en utilisant la méthode de Taguchi pour l'optimisation mono-objectif, puis la fonction de désirabilité (DF) et la méthode d'analyse de relation grise (GRA) pour l'optimisation multi-objectif. Les résultats ont montré l'efficacité de la méthode de Taguchi pour l'amélioration d'une seule réponse, tandis que la méthode GRA s'est révélée plus performante pour l'optimisation simultanée de plusieurs réponses, permettant ainsi d'atteindre un équilibre optimal entre la qualité de surface et la productivité.

Mot clés : condition de coupe, rugosité de surface, méthode de Taguchi, ANOVA, GRA.

Abstract:

Plastic materials such as Polyoxymethylene Copolymer (POMC) play a significant role in modern industries due to their diverse properties, which have enabled their use in advanced fields such as electronics and household appliance manufacturing. However, these same properties pose challenges during machining processes, necessitating the study of optimal cutting conditions to ensure efficient and productive operations. This study aims to determine the optimal cutting conditions for turning POMC, with the objective of improving surface quality, increasing productivity, and reducing costs.

This study aims to determine the optimal cutting conditions during the turning of POMC, with the objective of improving surface quality, increasing productivity, and reducing costs. To achieve this, the effect of the main cutting parameters – cutting speed, feed rate, and depth of cut – was investigated on surface roughness (R_z), machining time (t_c), material removal rate (MRR), and cutting force (F_x) through turning experiments based on the L9 orthogonal array of the Taguchi method, using a coated tungsten carbide tool. The analysis of the obtained results was carried out in two stages: the first involved applying analysis of variance (ANOVA) and regression analysis to assess the effect of each factor and to model the relationship between cutting conditions and responses; the second stage focused on response optimization, using the Taguchi method for single-objective optimization, and then the desirability function (DF) and grey relational analysis (GRA) for multi-objective optimization. The results demonstrated the effectiveness of the Taguchi method for improving a single response, while the GRA method proved to be more efficient for the simultaneous optimization of multiple responses, thereby achieving an optimal balance between surface quality and productivity.

Keywords: cutting conditions, surface roughness, Taguchi method, ANOVA, GRA.

الفهرس:

الفصل الأول: عموميات عن الخراطة

3	1.1 المقدمة
3	2.1 تعريف الخراطة
4	3.1 مختلف عمليات الخراطة
4	1.3.1 الخراطة الطولية
4	2.3.1 التنقيق
5	3.3.1 التنقيب
5	4.3.1 بعض العمليات الأخرى
6	4.1 مختلف آلات الخراطة
6	1.4.1 المخرطة العمودية
6	2.4.1 المخرطة ذات التحكم الرقمي CNC
6	3.4.1 المخرطة الآلية
7	4.4.1 المخرطة نصف الآلية
7	5.4.1 المخرطة المتوازية
7	5.1 أجزاء المخرطة المتوازية
8	1.5.1 الفرش
8	2.5.1 الغراب الثابت
8	3.5.1 العربة
9	4.5.1 الغراب المتحرك
10	5.5.1 الذنبة واستخداماتها
11	6.1 مختلف أدوات الخراطة

11.....	1.6.1 أدوات الخراطة الخارجية
12.....	2.6.1 أدوات الخراطة الداخلية
12.....	7.1 أقلام الخراطة
13.....	8.1 زوايا أداة القطع
14.....	9.1 الحركة النسبية في عملية الخراطة
14.....	10.1 قوى القطع
15.....	11.1 زمن التشغيل tc
15.....	12.1 معدل إزالة المواد MRR
16.....	13.1 شروط القطع
18.....	14.1 حالة السطح
18.....	1.41.1 تصنيف عدم استواء الأسطح
19.....	1.42.1 مقاييس الخشونة
21.....	15.1 الخاتمة

الفصل الثاني: طرق تصميم التجارب وتحليل النتائج

23.....	1.2 المقدمة
23.....	2.2 طريقة تاغوشي
24.....	1.2.2 خطوات تطبيق طريقة تاغوشي
24.....	2.2.2 تصميم التجارب («DOE» Design of Experiments)
25.....	3.2.2 مصفوفات تاغوشي
26.....	3.2 تحليل التباين (ANOVA)
26.....	1.3.2 الفرضيات في ANOVA
26.....	2.3.2 الافتراضات الأساسية
27.....	3.3.2 أنواع تحليل التباين

27	4.3.2 خطوات إجراء ANOVA
27	4.2 تحليل الانحدار (Regression)
28	5.2 أنواع تحليل الانحدار
29	1.5.2 أهداف تحليل الانحدار
29	2.5.2 افتراضات تحليل الانحدار الخطي
29	3.5.2 أهمية الانحدار الخطي
29	6.2 تحسين الاستجابة أحادي الهدف (نسبة الإشارة إلى الضوضاء)
30	1.6.2 أنواع نسب الإشارة إلى الضوضاء
31	2.6.2 خطوات استخدام (SNR)
31	7.2 تحسين الاستجابة متعدد الأهداف باستخدام دالة الرغبة (DF)
31	1.7.2 أنواع دوال الرغبة الكمية
33	2.7.2 خطوات التنفيذ
33	3.7.2 الهدف
33	4.7.2 استخداماتها:
33	8.2 تحسين الاستجابة متعدد الأهداف باستخدام تحليل العلاقة الرمادي
34	1.8.2 خطوات تحليل العلاقة الرمادي
34	2.8.2 النمذجة الرياضية
35	9.2 الخاتمة

الفصل الثالث: الجزء التجريبي

36	1.3 المقدمة
36	2.3 عينة الاختبار
36	1.2.3 خصائص المادة المستعملة
38	2.2.3 مجالات استعمالها

38.....	3.3 آلة الخراطة المستعملة
41.....	4.3 أداة الخراطة
41.....	1.4.3 حامل الأداة
42.....	2.4.3 لقم القطع
43.....	5.3 جهاز قياس الخشونة
44.....	6.3 جهاز قياس قوى القطع (Dynamomètre)
46.....	7.3 مكبر الشحنة متعدد القنوات
47.....	8.3 بعض المعدات الأخرى
47.....	9.3 خطوات التجربة
48.....	1.9.3 تطبيق نظرية تاغوشي
49.....	2.9.3 عملية الخرط الطولي
51.....	3.9.3 قياس الخشونة Rz
52.....	10.3 قياس زمن التشغيل tc
52.....	11.3 قياس معدل إزالة المادة MRR
52.....	12.3 قياس القوة المحورية Fx
53.....	13.3 الخاتمة

الفصل الرابع: تحليل النتائج وتحسين الاستجابة

54.....	1.4 المقدمة
54.....	1.4 نتائج التجارب
55.....	2.4 تحليل نتائج خشونة السطح (Rz)
55.....	1.2.4 تحليل التباين (ANOVA)
55.....	2.2.4 الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية للمتوسط (Rz) ومخطط التفاعل لخشونة السطح
57.....	3.2.4 تحليل الانحدار لـ Rz

57.....	3.4 تحليل نتائج معدل إزالة المادة MRR
57.....	1.3.4 تحليل التباين لـ MRR
58.....	2.3.4 الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية لـ (MRR) ومخطط التفاعل
59.....	3.3.4 تحليل الانحدار لـ MRR
60.....	4.4 تحليل نتائج زمن التشغيل tc
60.....	1.4.4 تحليل التباين لـ tc
61.....	2.4.4 الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية لـ (tc) ومخطط التفاعل
62.....	3.4.3 تحليل الانحدار لـ tc
63.....	5.4 تحليل نتائج القوة المحورية Fx
63.....	1.5.4 تحليل التباين لـ Fx
64.....	2.5.4 الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية للمتوسط (Fx) ومخطط التفاعل
65.....	3.5.4 تحليل الانحدار لـ Fx
66.....	6.4 تحسين الاستجابة بطريقة تاغوشي (أحادية الهدف)
67.....	1.6.4 الشروط المثلى لـ Rz
68.....	2.6.4 الشروط المثلى لـ MRR
69.....	3.6.4 الشروط المثلى لـ tc
70.....	4.6.4 الشروط المثلى لـ Fx
71.....	7.4 تحسين الاستجابة بدالة الرغبة متعددة الأهداف (La fonction de désirabilité)
72.....	8.4 تحسين الاستجابة بالعلاقة الرمادي (GRA) متعددة الاستجابات
73.....	9.4 الخاتمة

فهرس الأشكال:

الفصل الأول: عموميات عن الخراطة

- الشكل.1.1. 1. عملية الخراطة. 3.....
- الشكل.1.2. 2. الخراط الطولي. 4.....
- الشكل.1.3. 3. التعنيق. 4.....
- الشكل.1.4. 4. التثقيب. 5.....
- الشكل.1.5. 5. المخرطة المتوازية. 7.....
- الشكل.1.7. 7. الفرش. 8.....
- الشكل.1.8. 8. الغراب الثابت. 8.....
- الشكل.1.9. 9. العربة. 9.....
- الشكل.1.10. 10. الغراب المتحرك. 10.....
- الشكل.1.11. 11. الذنبة الثابتة. 10.....
- الشكل.1.12. 12. الذنبة الدوارة. 10.....
- الشكل.1.13. 13. الذنبة نصف الثابتة. 11.....
- الشكل.1.14. 14. أدوات الخراطة الخارجية. 11.....
- الشكل.1.15. 15. أدوات الخراطة الداخلية. 12.....
- الشكل.1.16. 16. أقلام الخراطة. 13.....
- الشكل.1.17. 17. زوايا القطع. [13]. 14.....
- الشكل.1.18. 18. الحركة النسبية في عملية الخراطة. 14.....
- الشكل.1.19. 19. قوى القطع. 15.....
- الشكل.1.20. 20. أنواع الرائش. 16.....
- الشكل.1.21. 21. سرعة القطع V_c 16.....
- الشكل.1.22. 22. عمق القطع a_p 17.....
- الشكل.1.23. 23. سرعة التغذية V_f 18.....
- الشكل.1.24. 24. انحرافات الأسطح. 19.....
- الشكل.1.25. 25. الخشونة المتوسطة. [22]. 19.....
- الشكل.1.26. 26. عمق الخشونة R_t . [22]. 20.....
- الشكل.1.27. 27. عمق التسطیح (الاستواء). [22]. 20.....
- الشكل.1.28. 28. العمق الأدنى للخشونة R_v . [22]. 20.....
- الشكل.1.29. 29. متوسط أقصى انحرافات للسطح R_z . [22]. 21.....

الفصل الثالث: الجزء التجريبي

- الشكل.3. 1. العينة المستعملة..... 36
- الشكل.3. 2. المخرطة المتوازية SN 40 C..... 38
- الشكل.3. 3. طراز آلة الخراطة..... 39
- الشكل.3. 4. لوحة التحكم..... 39
- الشكل.3. 5. ضبط سرعة الدوران..... 40
- الشكل.3. 6. ضبط قيمة التغذية..... 40
- الشكل.3. 7. ضبط عمق القطع..... 40
- الشكل.3. 8. أداة الخراط الطولي..... 41
- الشكل.3. 9. حامل الأداة..... 41
- الشكل.3. 10. لقم القطع SNMG 120408 UE6020..... 43
- الشكل.3. 11. جهاز قياس الخشونة SJ-210..... 44
- الشكل.3. 12. جهاز قياس قوى القطع..... 44
- الشكل.3. 13. رسم تخطيطي لجهاز قياس قوى القطع..... 46
- الشكل.3. 14. مكبر الشحنة متعدد القنوات..... 46
- الشكل.3. 15. واجهة برنامج Minitab..... 47
- الشكل.3. 16. تثبيت الأداة..... 49
- الشكل.3. 17. تثبيت القطعة..... 49
- الشكل.3. 18. عملية الخراط الطولي..... 50
- الشكل.3. 19. شكل الرائش الناتج..... 50
- الشكل.3. 20. قياس الخشونة..... 51
- الشكل.3. 21. قياس القوة المحورية Fx..... 52

الفصل الرابع: تحليل النتائج وتحسين الاستجابة

- الشكل.4. 1. تأثير عوامل القطع على خشونة السطح..... 56
- الشكل.4. 2. مخطط التفاعلات ل RZ..... 56
- الشكل.4. 3. الرسم البياني لاحتمالية هنري ل RZ..... 57
- الشكل.4. 4. تأثير عوامل القطع على معدل إزالة المادة..... 58
- الشكل.4. 5. مخطط التفاعلات ل MRR..... 59
- الشكل.4. 6. الرسم البياني لاحتمالية هنري ل MRR..... 60
- الشكل.4. 7. تأثير العوامل الرئيسية على زمن التشغيل..... 61

62	الشكل.4. 8. مخطط التفاعلات لـ tc.
63	الشكل.4. 9. الرسم البياني لاحتتمالية هنري لـ tc.
64	الشكل.4. 10. تأثير العوامل الرئيسية على Fx.
65	الشكل.4. 11. مخطط التفاعلات لـ Fx.
66	الشكل.4. 12. الرسم البياني لاحتتمالية هنري لـ Fx.
67	الشكل.4. 13. عوامل التشغيل المثلى لخشونة السطح.
68	الشكل.4. 14. عوامل التشغيل المثلى لمعدل إزالة المادة.
69	الشكل.4. 15. عوامل التشغيل المثلى لزمن التشغيل.
70	الشكل.4. 16. عوامل التشغيل المثلى للقوة المحورية Fx.
71	الشكل.4. 17. منحنى دالة الرغبة للمعاملات المثلى.

فهرس الجداول:

الفصل الأول: عموميات عن الخراطة

الجدول.1.1. 1. البعض من عمليات الخراطة. 5.....

الفصل الثالث: الجزء التجريبي

الجدول.3.1. الخصائص الكهربائية. 37.....

الجدول.3.2. الخصائص الميكانيكية والفيزيائية. 37.....

الجدول.3.3. خصائص حامل الأداة. 42.....

الجدول.3.4. الخواص الميكانيكية والفيزيائية. 42.....

الجدول.3.5. التصميم الهندسي. 42.....

الجدول.3.6. الطلاء وخصائصه. 43.....

الجدول.3.7. المواصفات التقنية لجهاز قياس قوى القطع. 45.....

الجدول.3.8. قيم شروط القطع المنتقاة. 48.....

الجدول.3.9. جدول توزيع القيم التجريبية لتاغوشي. 48.....

الجدول.3.10. نتائج قياس الخشونة المتوسطة RZ. 51.....

الفصل الرابع: تحليل النتائج وتحسين الاستجابة

الجدول.4.1. نتائج التجارب. 54.....

الجدول.4.2. تحليل التباين ل RZ. 55.....

الجدول.4.3. تحليل التباين ل MRR. 58.....

الجدول.4.4. تحليل التباين ل Tc. 60.....

الجدول.4.5. تحليل التباين ل Fx. 63.....

الجدول.4.6. نتائج حساب نسبة الإشارة الى الضوضاء. 66.....

الجدول.4.7. المستويات المثلى ل RZ. 67.....

الجدول.4.8. المستويات المثلى ل MRR. 68.....

الجدول.4.9. المستويات المثلى ل Tc. 69.....

الجدول.4.10. المستويات المثلى ل Fx. 70.....

الجدول.4.11. الحل المقترح. 71.....

الجدول.4.12. توحيد القيم. 72.....

الجدول.4.13. قيم δ لكل تجربة. 72.....

الجدول.4.14. قيم معامل ودرجة العلاقة الرمادي. 73.....

قائمة الاختصارات

POMC : Polyoxymethylene Copolymer, مادة البولي أسيثال كوبوليمر,

CNC : Computre Numerical Control, التحكم الرقمي بالحاسوب,

MRR : Material Removal Rate, معدل إزالة المواد,

DOE : Design of Experiments, تصميم التجارب,

ANOVA : Analysis of Variance, تحليل التباين,

SNR : RSB : Signal-to-Noise Ratio, نسبة الإشارة إلى الضوضاء,

STB : Smaller-the-Better, الأصغر هو الأفضل,

NTB : Nominal-the-Better, الهدف هو الأفضل أو القيمة المستهدفة هي الأفضل,

LTB : Larger-the-Better, الأكبر هو الأفضل,

DF : La fonction de désirabilité, دالة الرغبة,

LSL : Lower Specification Limit, الحد الأدنى المقبول للاستجابة (القيمة المثالية أو القيمة المرجوة),

USL : Upper Specification Limit, الحد الأقصى المقبول للاستجابة (أعلى قيمة يمكن قبولها),

GRA : Grey relationl analysis, تحليل العلاقة الرمادي,

GRG : Grey Relational Grade, درجة العلاقة الرمادي,

LMS : Laboratoire de Mécanique et structure, مخبر الميكانيك والهياكل بجامعة قلمة,

ANSI : American National Standards Institute, المعهد الوطني الأمريكي للمعايير,

JIS : Japanese Industrial Standards, المعايير الصناعية اليابانية,

ISO : nternational Organization for Standardization, المنظمة الدولية للمعايير,

BNC : Bayonet Neill-Concelman (a type of connector), موصل بايونيه (كهربائي),

USB : Universal Serial Bus, الناقل التسلسلي العالمي,

قائمة الرموز:

الرمز	الوحدة	المعنى
Mc		حركة القطع
Mf		حركة التغذية
Mp		حركة الاختراق
β	°	زاوية السن
γ	°	زاوية الجرف
α	°	زاوية الخلوص
Ft	N	القوة العرضية
Fa	N	القوة المحورية
Fr	N	القوة الشعاعية
F	N	القوة الكلية
MRR	Cm ³ /min	معدل إزالة المادة
Fx	N	القوة المحورية على المحور x
tc	S	زمن التشغيل
Vc	m/min	سرعة القطع
ap	Mm	عمق القطع
Vf	mm/min	سرعة التغذية
N	Rpm	دورة لكل دقيقة
D	Mm	القطر
f	mm/tr	التغذية
Ra	μ m	الخشونة المتوسطة
Rt	μ m	عمق الخشونة
Rp	μ m	عمق التسطیح
Rv	μ m	العمق الأدنى للخشونة
Rz	μ m	متوسط أقصر انحرافات السطح
Rq	μ m	متوسط الجذر التربيعي لانحرافات السطح
Y		المتغير التابع
B ₀		الثابت

معاملات الانحدار التي تمثل تأثير المتغيرات المستقلة		$B_{[1..n]}$
المتغيرات المستقلة		$X_{[1..n]}$
الخطأ العشوائي		ξ
مكون الإشارة (القوة الإشارية)		S
مكون الضوضاء (القوة الضوضائية)		N
عدد التجارب		n
قيمة الاستجابة لكل تجربة i		Y_i
متوسط البيانات الملاحظة		Y
التباين أو الانحراف في Y		S^2
معامل التمييز		ξ
زاوية الميل	°	X
زاوية الحافة	°	α
زاوية الارتداد	°	Y
زاوية الانحراف	°	δ
زاوية القطع الأساسية	°	X^r
عزم دوران على المحور X	N.m	M_x
عزم دوران على المحور Y	N.m	M_y
عزم دوران على المحور Z	N.m	M_z
قيمة الاحتمالية		P
F-value		F
معامل الارتباط أو قيمة التحديد	%	R^2

المقدمة العامة

المقدمة العامة

تعد البوليميرات في الوقت الراهن عنصراً أساسياً في أغلب الآلات، وقد احتلت السوق الصناعي بجدارة فنجدها في صناعة السيارات والطيران والصناعة الكهرو منزلية وغيرها، ويعود ذلك لخصائصها الميكانيكية الممتازة وقابليتها الجيدة للإنتاج. ومن بين هذه البوليميرات نجد البولي أسيتال كوبوليمر (POMC)، الذي يعرف بمقاومته العالية للتآكل والاحتكاك، الاستقرار الأبعادي والانزلاق الجيد، إضافة إلى المرونة والصلابة العالية في آن واحد، مما يجعله خياراً جيداً في العديد من التطبيقات الميكانيكية الدقيقة.

ومع ذلك فإن هذه الخصائص ذاتها تشكل تحدياً على الرغم من أنها تمنح المادة أداءً عالياً في الاستعمال، لذلك، فإن الرغبة في تحسين الإنتاجية وجودة السطح تدفعنا للاهتمام بنمذجة العوامل التكنولوجية لعملية التشغيل والبحث عن الشروط المثلى التي تمكننا من الحصول على أعلى جودة سطح بأحسن إنتاجية ممكنة. ومن هنا يأتي السياق الذي انتهجناه في دراستنا.

ينقسم هذا العمل إلى أربعة فصول:

يُخصَّص الفصل الأول لإعطاء عموميات حول عملية الخراطة بمختلف أنواعها، مروراً بالأدوات المستخدمة، والمخارط ومكوناتها، وحركات القطع، ثم استعرضنا العوامل المختلفة المؤثرة في عملية الخراطة، مع التركيز على شروط القطع التي تمثل محور دراستنا. وقد خُتم هذا الفصل بالتطرق إلى حالة السطح ومقاييس الخشونة المختلفة.

أما الفصل الثاني، فيُعنى بعرض بعض منهجيات تحليل وتصميم التجارب المعتمدة في هذه الدراسة، بدءاً بطريقة تاغوشي لتصميم التجارب، ثم تحليل التباين ANOVA، تحليل الانحدار. وصولاً إلى طرق تحسين الاستجابة أحادية الهدف باستعمال نسبة الإشارة إلى الضوضاء، ومتعددة الأهداف باستعمال دالة الرغبة (Desirability Function) وتحليل العلاقة الرمادي (Grey Relational Analysis).

ويتناول الفصل الثالث الجانب التجريبي للدراسة، حيث تم تقديم خصائص العينة المدروسة، إلى جانب عرض مختلف المعدات المستعملة، والخطوات المتبعة لإجراء التجارب وفق مصفوفة تاغوشي المتعامدة L9، مع تسجيل مختلف القياسات (Rz, MRR, tc, Fx).

في الفصل الرابع، تم عرض النتائج وتحليلها إلى جانب تطبيق تقنيات تحسين الاستجابة. وقد ساعد كل من تحليل التباين، الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية (Les graphiques des effets principaux moyennes)، ومخططات التفاعلات بين العوامل، في تحليل تأثير شروط القطع على كل استجابة، كما تم نمذجة العلاقة بين المتغيرات المدخلة (Vc, f, ap) والاستجابات (Rz, MRR, tc, Fx) باستخدام تحليل الانحدار. وساهمت طريقة

تاغوشي من خلال SNR في تحسين الاستجابة أحادية الهدف، بينما استُخدمت كل من تحليل العلاقة الرمادي (GRA) ودالة الرغبة (DF) في التحسين متعدد الأهداف، وذلك باستعمال برنامجي Minitab و Excel.

وقد حُتمت هذه الدراسة بخاتمة عامة، تلتها قائمة بالمراجع البيبليوغرافية المعتمدة.

1 الفصل الأول:

عموميات عن الخراطة

1.1 المقدمة:

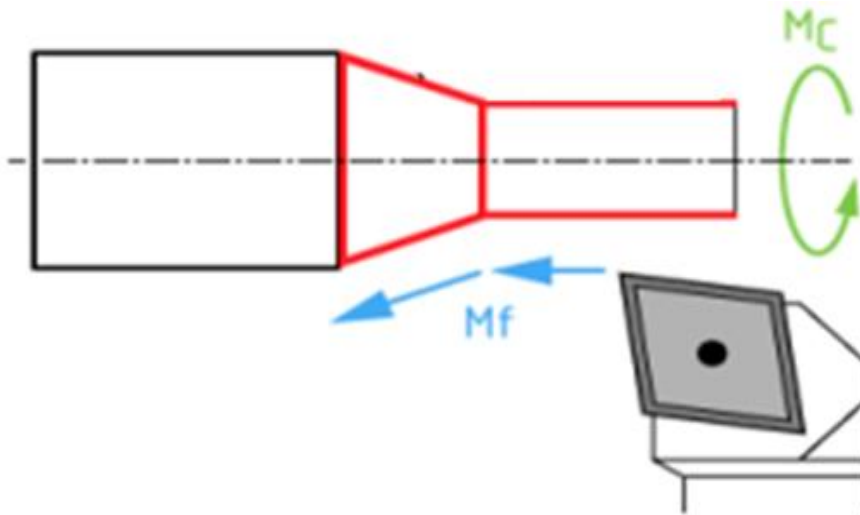
التشغيل الصناعي هو نظام متكامل يتضمن مجموعة واسعة من الأنشطة والمهام التي تهدف إلى تحويل المواد الخام إلى منتجات نهائية تتميز بجودة ودقة عالية، يعتمد هذا النظام على العديد من العمليات الصناعية التي تعمل على تشكيل المعادن وتحسين خصائصها لتلبية متطلبات التصنيع الحديثة، ومن بين هذه العمليات تبرز عملية الخراطة كإحدى أكثر الطرق أهمية وكفاءة في تشكيل المعادن، حيث تُستخدم على نطاق واسع في الصناعات الهندسية .

تُعتبر الخراطة تقنية أساسية تهدف إلى تحويل قطعة العمل الخام إلى الشكل المطلوب باستخدام مخرطة وأدوات قطع دقيقة، ويتم تنفيذ هذه العملية عن طريق إزالة أجزاء من المادة بزواوية وسرعة معينة لإنتاج أبعاد وأسطح دقيقة تتوافق مع التصميم المطلوب، ومن خلال هذه التقنية يمكن تصنيع العديد من الأجزاء الميكانيكية التي تتطلب دقة كبيرة، مثل الأعمدة والمحاور وأجزاء المحركات والقطع ذات الأشكال المخروطية أو الأسطوانية.

2.1 تعريف الخراطة:

الخراطة هي عملية تصنيع بالقطع، تستخدم لإزالة جزء من مادة الشغلة (أسطوانية أو مخروطية) باستخدام أداة قطع حادة، يتم ذلك من خلال دوران قطعة الشغل حول محور ثابت وانتقال الأداة طوليا أو عرضيا بزواوية محددة بشكل مستقيم أو منحنى (الشكل 1.1) بسرعات معينة لإزالة الراتش داخليا أو خارجيا حسب الشكل المطلوب.

[1]



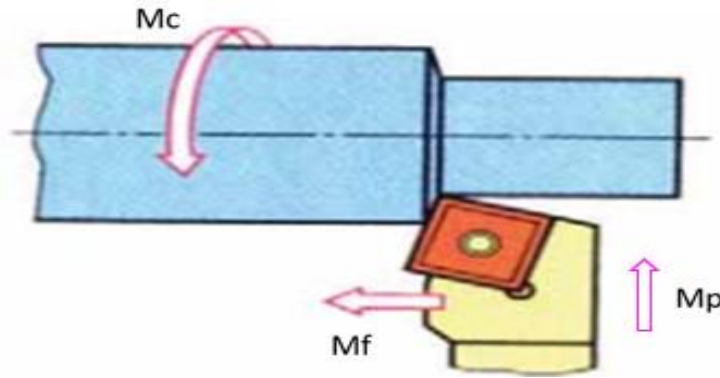
الشكل 1.1.1. عملية الخراطة.

3.1 مختلف عمليات الخراطة:

1.3.1 الخراطة الطولية:

هي عملية تشكيل قطع أسطوانية عن طريق إزالة المادة طولياً على السطح الخارجي بواسطة أداة القطع التي تنتقل بشكل مستقيم موازي لمحور دوران القطعة وبعمق قطع عمودي على المحور. [2]

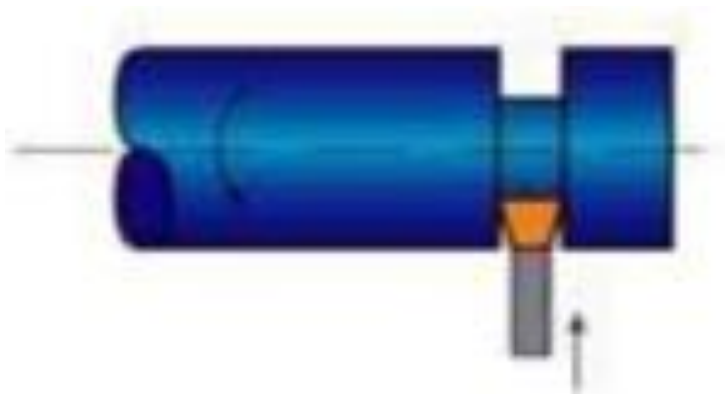
حركة القطع M_c تعطى للقطعة، حركة التغذية M_f وحركة الاختراق M_p تعطى للأداة، كما هو موضح في الشكل (2.1).



الشكل. 1. 2. الخراط الطولي.

2.3.1 التعنيق:

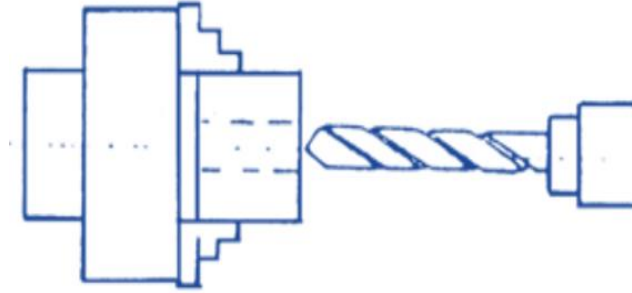
هي عملية ميكانيكية يتم فيها تصغير القطر الخارجي لجزء معين من قطعة العمل، عن طريق تطبيق الضغط بأداة التعنيق على السطح بشكل محوري على النحو الموضح في الشكل (3.1) لتلبية متطلبات تصميمية أو وظيفية (شكل العنق يأخذ شكل الأداة). [3]



الشكل. 1. 3. التعنيق.

3.3.1 التثقيب:

تتكون ريشة المركز من جزأين، أحدهما ذو شكل أسطواني مستقيم، والآخر ذو شكل مخروطي يسمى الخنتوشة، وتُستخدم ريشة المركز في إنجاز ثقوب التمركز، وهناك العديد من أنواع الثقوب تختلف باختلاف شكل المتقاب. يبين الشكل (4.1) طريقة تنفيذ عملية التثقيب. [4]




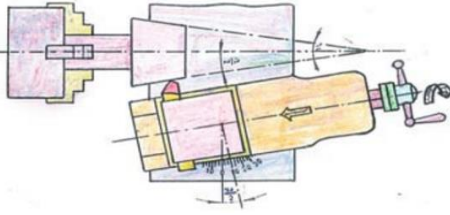
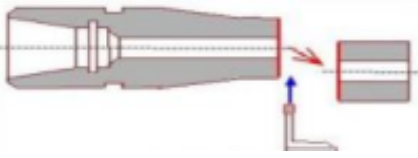
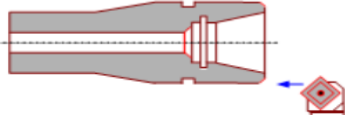
الشكل 1. 4. التثقيب.

4.3.1 بعض العمليات الأخرى:

يظهر الجدول (1.1) بعض العمليات الإضافية لعملية الخراطة:

الجدول 1. 1. البعض من عمليات الخراطة.

اسم العملية	التعريف	رسم توضيحي لعملية الخراطة
الخراطة العرضية	يتم إزالة المادة عرضياً، حيث تنتقل الأداة بشكل مستقيم عمودي على محور الدوران وبعمق قطع موازي لمحور دوران القطعة، وتسمى بالخراطة الوجهية. [2]	
الخراطة الطولية الداخلية	في هذا النوع من الخراطة يتم إزالة المادة للحصول على أسطح داخلية و ثقوب محورية مع السطح الخارجي. من ضمن عمليات الخراطة الداخلية نجد: الخراطة الداخلية المستقيمة، المجاري المستقيمة، التشكيل الداخلي... [5]	
اللولبية	توجد اللولبة الداخلية والخارجية، حيث تدور الشغلة بسرعة ثابتة بينما يتحرك قلم الخراطة طولياً وفقاً لخطوة السن المطلوبة. [2]	

	<p>يتم الاعتماد على شكل الحد القاطع في تحديد شكل السطح الناتج على قطعة العمل. [2]</p>	<p>خراطة التشكيل</p>
	<p>وهي عبارة عن خراطة الأسطح على شكل مخاريط (سلبات) بالاعتماد على زاوية ميل حامل الأداة ، وهناك طرق عديدة لتنفيذها مثل: استعمال الغراب المتحرك أو المسطرة الموجهة... [6] [7]</p>	<p>الخراطة المخروطية</p>
	<p>هو عملية فصل مادة من القطعة باستخدام أداة حادة للحصول على الشكل أو البعد المطلوب. [8]</p>	<p>القطع</p>
	<p>هو إزالة الزاوية الحادة من حواف القطعة بزاوية مائلة لتحسين الأمان وجودة التجميع. [9]</p>	<p>عملية الشطف</p>

4.1 مختلف آلات الخراطة:

1.4.1 المخرطة العمودية:

يتم استغلال هذا النوع من المخارط في عمليات الخراطة الداخلية للمشغولات كبيرة الحجم، فقد يصل قطر طرفها إلى 25م ويزيد، إضافة إلى سهولة تركيب الشغلة كون الطرف أفقياً.

2.4.1 المخرطة ذات التحكم الرقمي CNC:

وهي عبارة عن آلة مبرمجة للقيام بعمليات الخراطة أوتوماتيكياً وبدقة عالية اعتماداً على أكواد رقمية توجه الماكينة لتنفيذ المهام المطلوبة.

3.4.1 المخرطة الآلية:

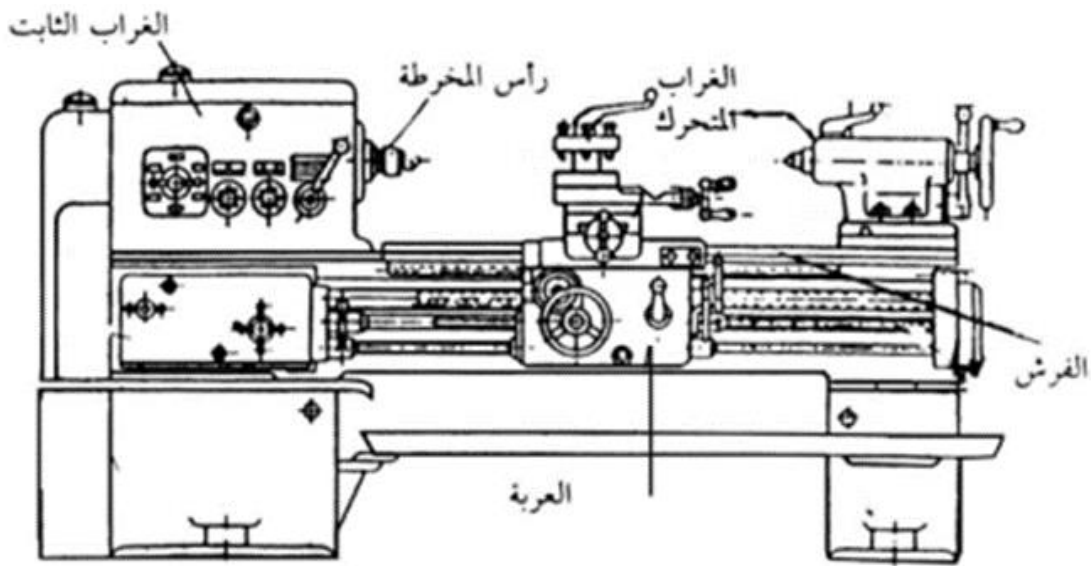
هذه المخارط تعتمد على نظام آلي للقيام بعدة عمليات متتالية دون التدخل البشري، لكنها لا تتميز بأي مرونة ومناسبة أكثر للعمل بالسلاسل الكبيرة.

4.4.1 المخرطة نصف الآلية:

هي مخارط تجمع بين التحكم الآلي واليدوي، حيث أن الأدوات المصممة خصيصا لهذه الماكينة تتيح القيام بعمليات بسيطة (ليست مرنة كفاية للقطع المعقدة) ودقيقة، تستعمل في السلاسل الإنتاجية المتوسطة.

5.4.1 المخرطة المتوازية:

تعتبر من المخارط ذات الاستعمال العام فتتواجد حتى في الورش الصغيرة ومراكز الصيانة الميكانيكية، تستعمل لخراطة القطع البسيطة والسلاسل المتوسطة والصغيرة نظرا لقلّة مرونتها. حيث أن الشكل (5.1) يمثل رسم تخطيطي للمخرطة المتوازية. [10]



الشكل 5.1. المخرطة المتوازية.

5.1 أجزاء المخرطة المتوازية:

تتكون من عدة أجزاء رئيسية تعمل معا لتسهيل عمليات الخراطة المختلفة حيث كل جزء منها له دور محدد في تحسين دقة العمل وكفاءته. [11]

- | | | |
|------------------|-------------------|------------------|
| 1. هيكل (الفرش) | 6. الراسمة الكبرى | 11. أدلة التوجيه |
| 2. تروس التغذية | 7. الراسمة الصغرى | 12. عمود المرشد |
| 3. محرك الإدارة | 8. حامل القلم | 13. عمود الجر |
| 4. الغراب الثابت | 9. واقي العربة | 14. عمود التوجيه |

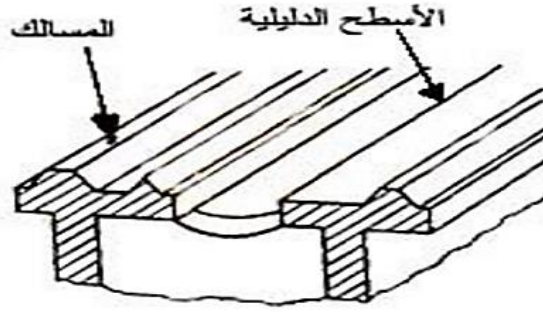
5 . العربة

10 . الغراب المتحرك

15 . حوض تلقي الرأش

1.5.1 الفرش:

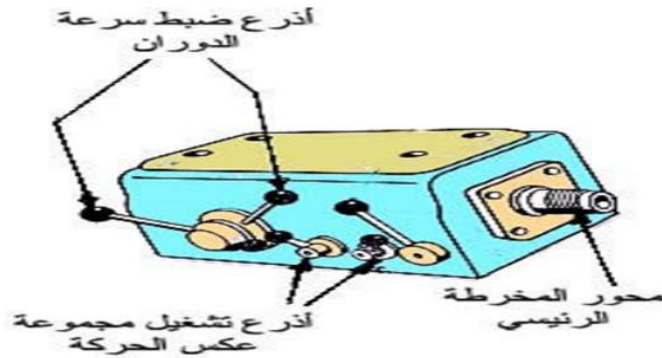
وظيفته حمل الأجزاء الرئيسية الثابتة والمتحركة، حيث يتوضح في الشكل 7.1 الأسطح الدليلية والمسالك التي تنتقل على طولها الأجزاء المتحركة (من ضمن التوصيات: تزييتها وتنظيفها باستمرار لضمان جودة الإنتاج).



الشكل 1.6 . الفرش.

2.5.1 الغراب الثابت:

هو الجزء الثابت في المخرطة، يحتوي على تروس تغيير السرعة (تحويلية) وعمود الدوران ونظام تثبيت الشغلة (أطراف المخرطة وأدوات الشد). كما يحوي محولات السيور القابلة للضبط ومحولات هيدروليكية، الشكل (8.1).



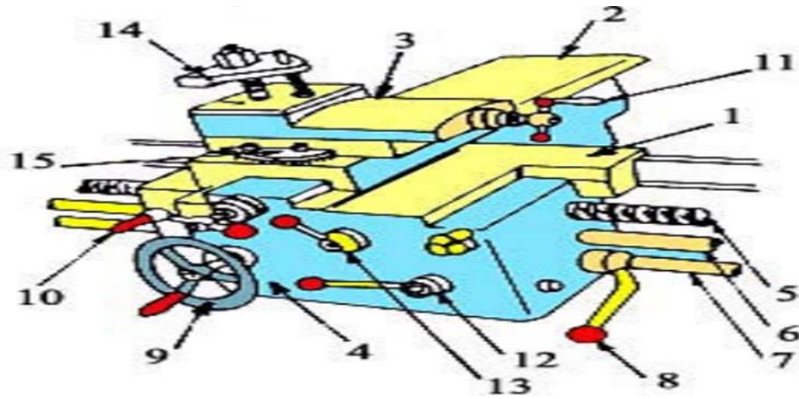
الشكل 1.7 . الغراب الثابت.

3.5.1 العربة:

هو الهيكل الذي يتم تثبيت جميع الأجزاء عليه، يُعرض ذلك في الشكل (9.1)، يتميز بالصلابة والثبات ومقاومته الكبيرة للاهتزازات أثناء التشغيل، من هاته الأجزاء نذكر:

1 . المنزلق العلوي الذي يستخدم للتغذية عند خرابطة السلبات.

- 2 . المنزلق العرضي الذي يستخدم للتغذية في الخراطة العرضية.
- 3 . حامل أداة القطع المثبت على المنزلق العرضي لتثبيت السكين.
- 4 . أذرع التشغيل اليدوي للمنزلق السفلي والعرضي (تدار يدويا أول آليا) وذراع تشغيل العربة المسؤول على حركة التغذية في الاتجاه الموازي لمحور دوران القطعة.
- 5 . مجموعة الجر: عمود الجر وعمود المرشد لتحريك العربة آليا.
- 6 . مجموعة مسننات تعاشيق التغذية.

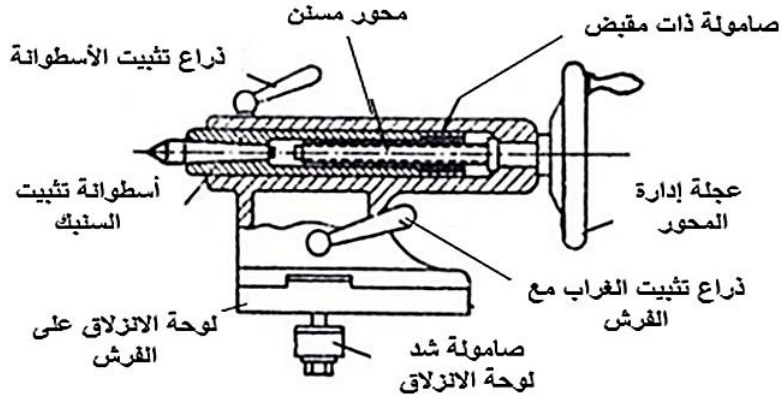


الشكل 1. 8. العربة.

- | | | |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 11 . ذراع المنزلق العلوي | 6 . عمود التغذية | 1 . العربة |
| 12 . ذراع تشغيل القلوطة | 7 . عمود التشغيل | 2 . المنزلق العرضي |
| 13 . ذراع الحركة للمنزلق العرضي | 8 . ذراع عمود التشغيل | 3 . المنزلق العلوي |
| 14 . حامل أداة القطع | 9 . عجلة العربة | 4 . واقي العربة |
| 15 . قاعدة إمالة المنزلق العلوي | 10 . ذراع المنزلق | 5 . عمود الجر |

4.5.1 الغراب المتحرك:

هو جزء ثابت يمكن تحريكه على طول الفرش، يستخدم في محاذاة الشغل وفي عمليات التنقيب. حيث يوضح الشكل (10.1) الأجزاء المكونة للغراب المتحرك.



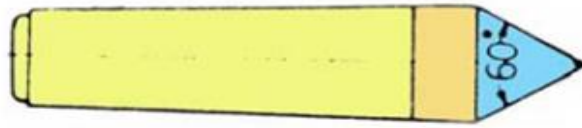
الشكل 1. 9. الغراب المتحرك.

5.5.1 الذنبة واستخداماتها:

تستعمل لدعم القطعة وضبط مركزتها في الخراطة المركزية أو اللامركزية. وتتوفر بأنواع ووظائف مختلفة فنذكر:

✓ **الذنبة الثابتة:** تتميز بجذع مخروطي يثبت في غراب متحرك أو قرص مستو، بينما الطرف المدبب

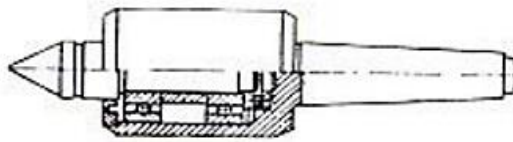
بزاوية 60 درجة (الشكل 11.1) يدخل في ثقب مركزة قطعة العمل.



الشكل 1. 10. الذنبة الثابتة.

✓ **الذنبة الدوارة:** تشبه الذنبة الثابتة في الوظيفة والتركيب، لكنه يتميز بدوران مقدمته مع دوران قطعة

العمل بفعل محمل العمود (الشكل 12.1)، مما يقلل الاحتكاك ويمنع تمدد القطعة بفعل الحرارة أثناء التشغيل.

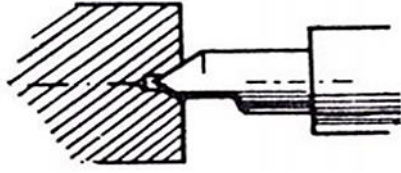


الشكل 1. 11. الذنبة الدوارة.

✓ **الذنبة نصف الثابتة:** يستعمل بشكل خاص للخراطة العرضية، ويتميز عن الذنبة الثابتة بأن رأسه المدبب

مشطوب من المنتصف وهذا ما يوضحه الشكل (13.1)، مما يسمح للحد القاطع بالوصول إلى طرف ثقب المركز

دون الاحتكاك بالجسم المدبب، وبالتالي يتمكن من خراطة وجه قطعة العمل بشكل كامل. [11]



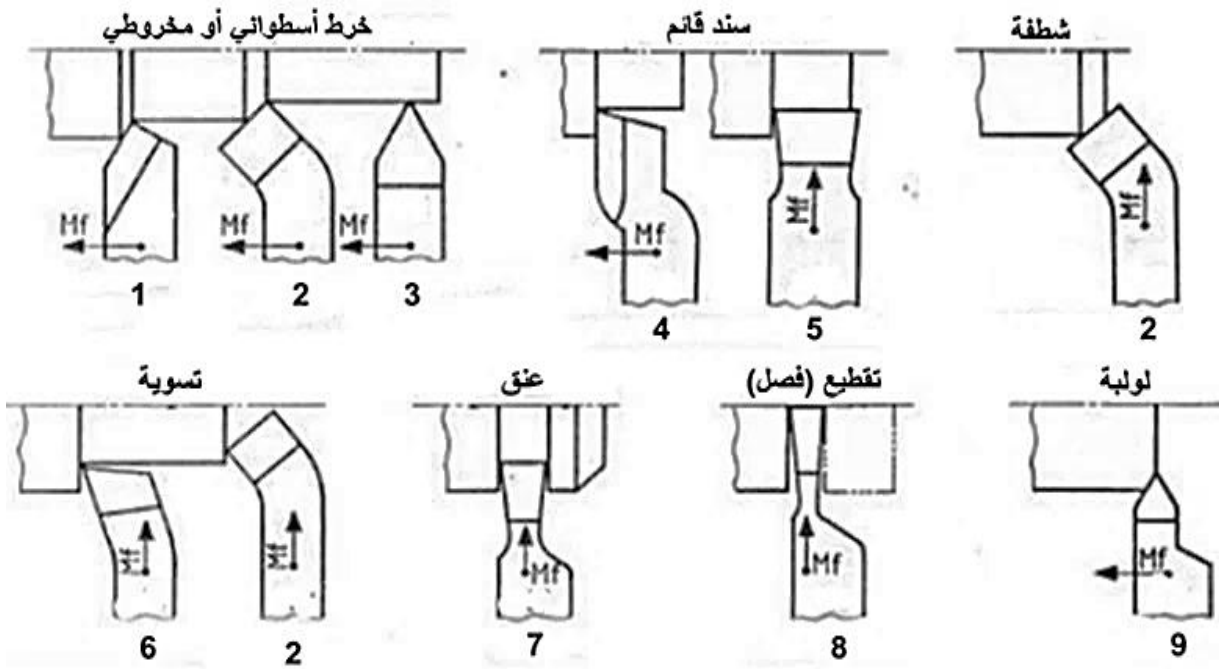
الشكل 1.12. الذنب نصف الثابتة.

6.1 مختلف أدوات الخراطة:

تتنوع وفقا لنتوع العمليات المطلوبة، ويمكن تقسيمها لمجموعتين: أدوات الخراطة الداخلية وأدوات الخراطة الخارجية.

1.6.1 أدوات الخراطة الخارجية:

هي الأدوات التي تستعمل لإزالة المادة من السطح الخارجي للقطعة لتشكيلها وفق الأبعاد المطلوبة، كما تم توضيحها في الشكل (14.1)، فنذكر:

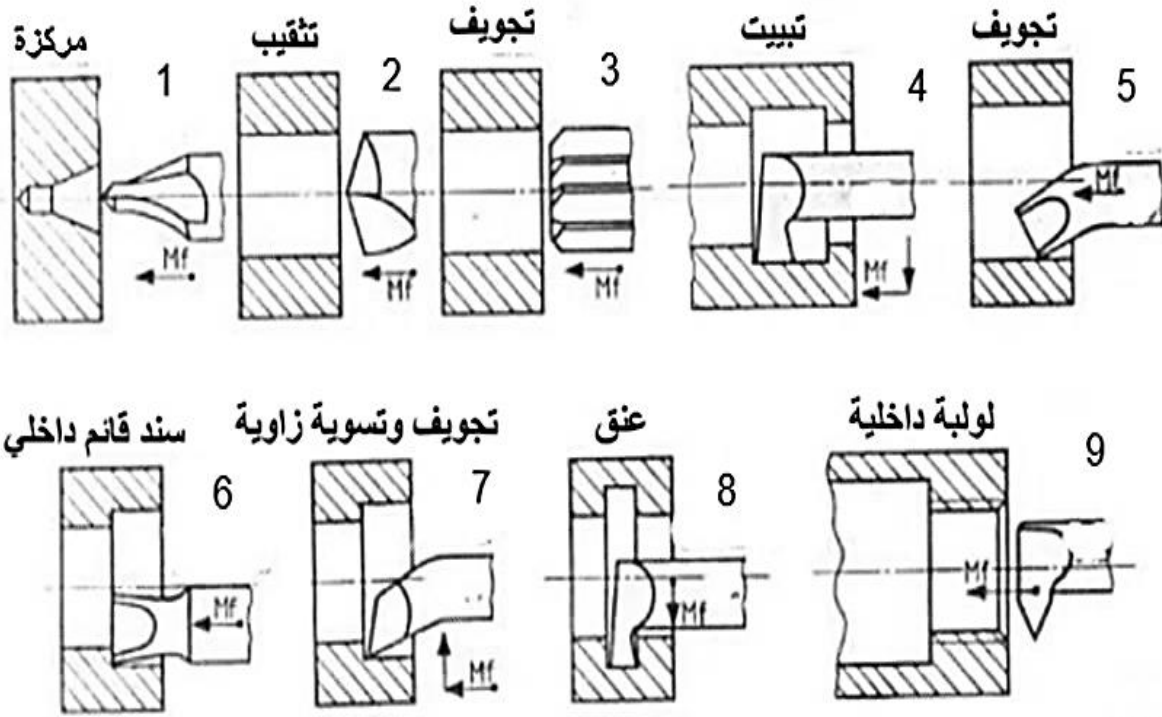


الشكل 1.13. أدوات الخراطة الخارجية.

- | | | |
|---------------------|----------------------|--------------------|
| 1 . أداة خرط يمينية | 4 . أداة سكين | 7 . أداة تعنيق |
| 2 . أداة منحنية | 5 . أداة حرف | 8 . أداة قطع (فصل) |
| 3 . أداة تتعيم | 6 . أداة تسوية زوايا | 9 . أداة لولبة |

2.6.1 أدوات الخراطة الداخلية:

تستعمل لتشكيل وتجويف السطح الداخلي للقطعة، مثل الثقوب أو الأنابيب، عن طريق إزالة المادة بدقة، يعرض ذلك في الشكل (15.1).



الشكل.1. 14. أدوات الخراطة الداخلية.

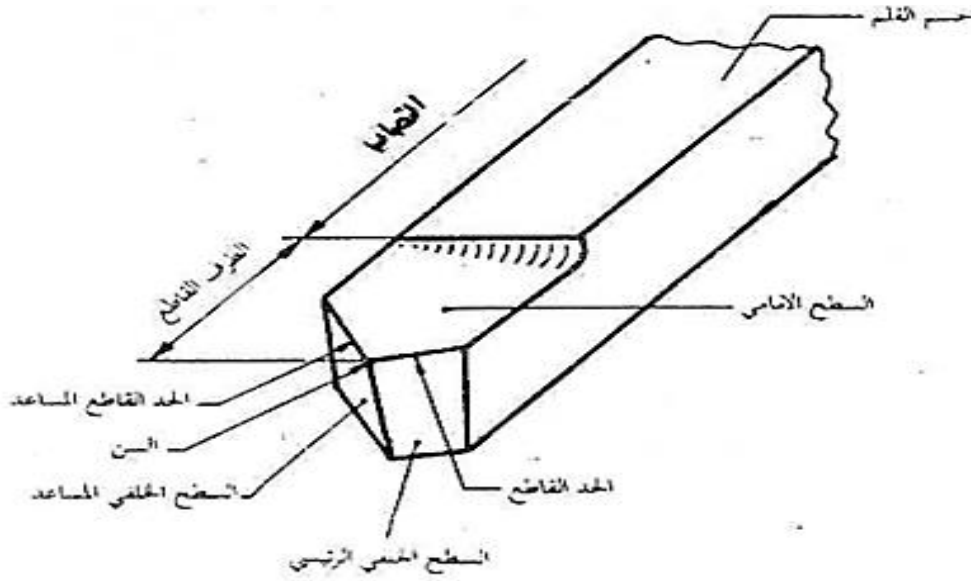
- | | | |
|----------------|---------------------|----------------------------|
| 1 . أداة مركزة | 4 . أداة تبييت | 7 . أداة تسوية زاوية |
| 2 . متقّب | 5 . أداة تجويف | 8 . أداة تعنيق |
| 3 . برغل | 6 . أداة جرف داخلية | 9 . أداة لولبة داخلية [12] |

7.1 أقلام الخراطة:

هو العامل الرئيسي في تشكيل الشغلة، يثبت في حامل القلم بالراسمة، يتكون من:

- ✓ النصاب: جسم القلم الذي يثبت في الحامل .
- ✓ الحد القاطع الرئيسي: هو تقاطع السطح الأمامي مع السطح الخلفي الرئيسي .
- ✓ الحد القاطع المساعد (الجانبية): تقاطع السطح الأمامي مع السطح الخلفي.

✓ سن القلم: نقطة تقاطع الحد القاطع الرئيسي مع الحد المساعد (يبرزها الشكل 16.1). [13]



الشكل.1. 15. أقلام الخراطة.

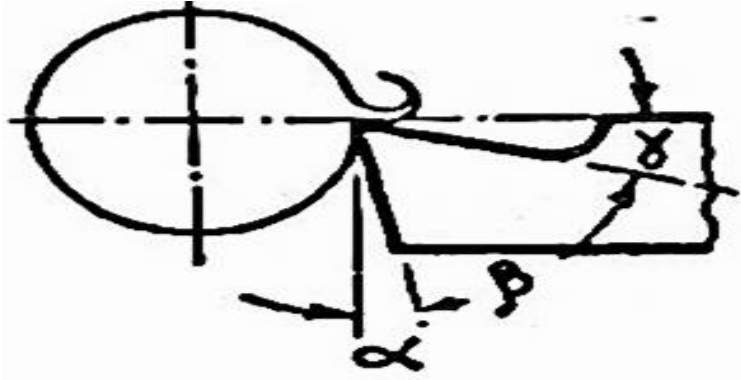
8.1 زوايا أداة القطع:

يستعرض الشكل (17.1) الزوايا التي تحدد شكل أداة الخراطة، حيث:

✓ زاوية السن (β): وهي الزاوية المحصورة بين سطحي الحد القاطع، وتعتمد على قساوة أو ليونة المعدن المقطوع

✓ زاوية الجرف (γ): هي الزاوية المحصورة بين وجه الأداة ومستوى سطح الأداة، وتستخدم لتسهيل انزلاق المعدن على الأداة أثناء عملية القطع.

✓ زاوية الخلوص (α): هي الزاوية المحصورة بين وجه خلوص الأداة ومستوى العمل (لمنع احتكاك القلم بالشغلة). [14] [13]



الشكل.1. 16. زوايا القطع. [13]

9.1 الحركة النسبية في عملية الخراطة:

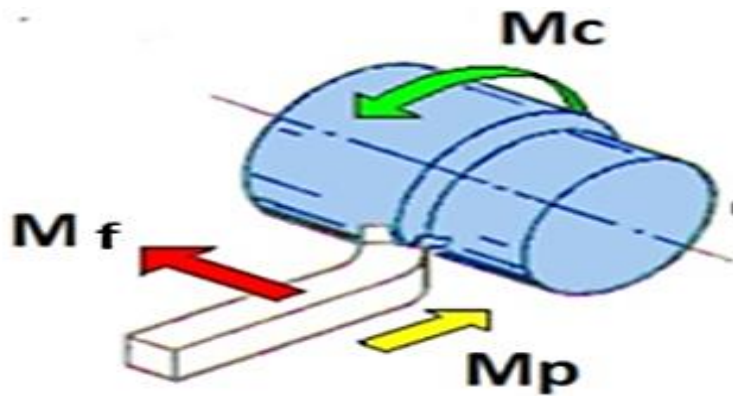
توجد ثلاث حركات في عملية الخراطة تتفاعل مع بعضها لتحقيق عملية قطع فعالة، كما هو مبين في الشكل (18.1). فنذكر:

حركة القطع M_c : وهي حركة تعطى للقطعة فتدور حول محورها.

حركة التغذية M_f : وتعطى للأداة بحيث يكون الانتقال طولي مستقيم أو منحنى موازي لمحور دوران القطعة.

حركة الاختراق M_p : وتعطى أيضا للقطعة ويكون الانتقال بشكل عمودي على محور القطعة مما يؤدي إلى إزالة

المادة. [15]



الشكل.1. 17. الحركة النسبية في عملية الخراطة.

10.1 قوى القطع:

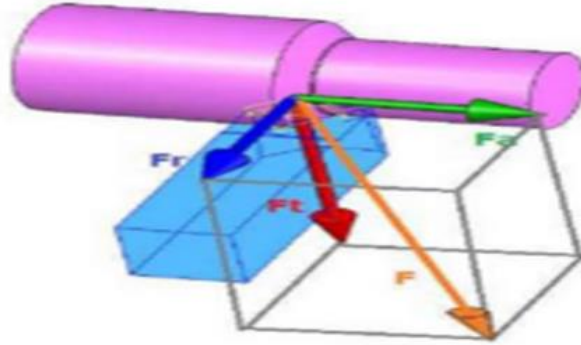
يعطي الشكل (19.1) تصورا واضحا عن قوى القطع الناشئة أثناء عملية الخراطة، حيث:

القوة العرضية (F_t) : هي القوة المؤثرة في اتجاه حركة القطع، وهي المسؤولة عن مقاومة المادة أثناء نزع الراتش.

القوة المحورية (Fa): القوة المؤثرة في اتجاه حركة التغذية، تساهم في دفع الأداة نحو الشغلة.

القوة الشعاعية (Fr): هي القوة المؤثرة في الاتجاه الشعاعي أو حركة الاختراق.

القوة الكلية (F): هي محصلة جميع القوى المؤثرة في النظام. [16]



الشكل. 1. 18. قوى القطع.

11.1 زمن التشغيل :tc

زمن التشغيل هو المدة الفعلية التي تستغرقها أداة القطع لإزالة المادة من قطعة الشغل أثناء عملية التشغيل (مثل الخراطة أو الحفر). يُعد من أهم العوامل التي تؤثر على الإنتاجية والتكلفة الكلية في التصنيع. [15]

12.1 معدل إزالة المواد MRR:

معدل إزالة المادة (MRR) هو كمية المادة التي يتم إزالتها من قطعة الشغل خلال وحدة زمنية أثناء عملية التشغيل (كالخراطة أو الفريزة أو الحفر). يُعبّر عنه عادة بوحدة مم³/دقيقة (mm³/min)، ويُستخدم كمؤشر على كفاءة العملية الإنتاجية، حيث أن زيادة MRR غالبًا ما ترتبط بتقليل زمن التشغيل وتحسين الإنتاجية. يوجد ثلاث أنواع من الرائش (الشكل. 20.1)، فنجد:

- ✓ الرائش الغير مستمر: الناتج عن قطع المواد الهشة.
- ✓ الرائش المستمر: الناتج عن قطع المواد المطيلية (تعبر عن قدرة المادة على التشوه البلاستيكي دون أن تتكسر) بسرعة عالية.
- ✓ الرائش المستمر مع حافة متراكمة: يتكون في ظروف قطع رديئة ويسبب تلف الأداة وسطحا خشنا. [17]



الشكل.1. 19. أنواع الرائش.

13.1 شروط القطع:

اختيار شروط القطع له التأثير الكبير على: الإنتاجية بشكل عام، عمر عدة القطع، الإنهاء السطحي، الحرارة المتولدة واستهلاك الطاقة بشكل خاص.

✓ سرعة القطع (V_c):

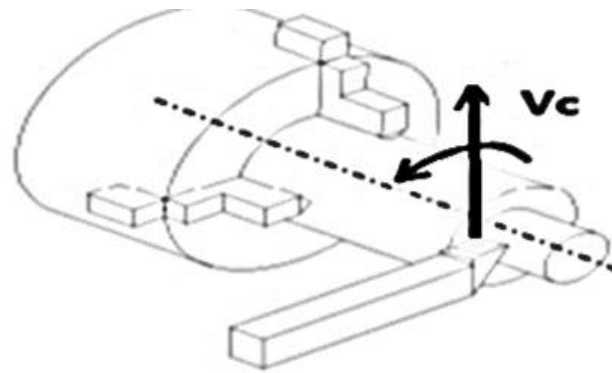
هي السرعة النسبية بين أداة القطع والشغلة (تتحرك القطعة أو الأداة أو كلاهما معا كما في الشكل 21.1)، تؤخذ بوحدة (m/min). يمكن حساب سرعة القطع من المعادلة (1.1) حيث:

$$V_c = \frac{\pi D N}{1000} \dots\dots\dots (1.1)$$

V_c : سرعة القطع (m/min)

D : قطر الشغلة (mm)

N : سرعة الدوران



الشكل.1. 20. سرعة القطع V_c .

✓ عمق القطع (ap) :

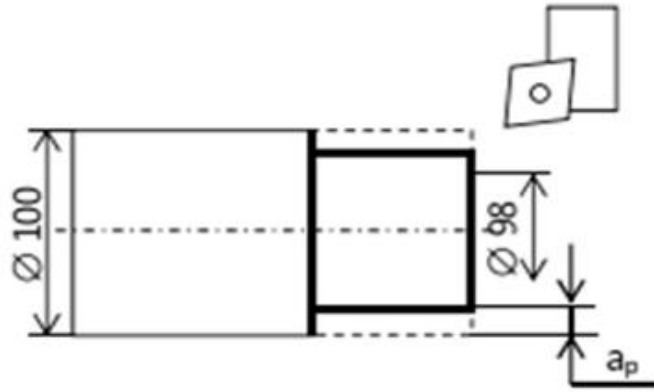
يعتمد على عمق حافة العدة عند التفاعل مع الشغلة، ويحسب كمسافة خطية على مساحة القطع، كما هو مبين في الشكل (22.1). ويمكن حساب عمق القطع من القانون (2.1) حيث:

$$ap = \frac{D_1 - D_2}{2} \dots\dots\dots (2.1)$$

ap: عمق القطع (mm)

D₁: قطر الشغل الابتدائي (mm)

D₂: قطر الشغلة النهائي (mm)



الشكل 1. 21. عمق القطع ap.

✓ سرعة التّغذية (Vf) :

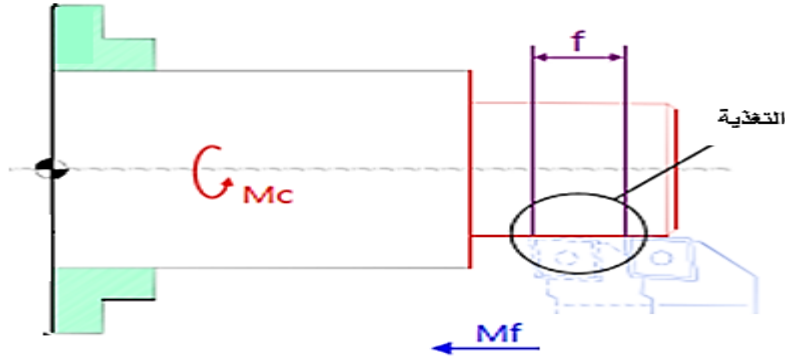
هي السرعة التي تنتقل بها الأداة نحو القطعة طوليا (الاتجاه محوري في حالة الخراطة الطولية) أو عرضيا (الاتجاه الشعاعي في حالة الخراطة العرضية)، كما هو موضح في الشكل (23.1)، وحدة قياسها هي (mm/min). وتعطى بالعلاقة (3.1) حيث:

$$Vf = f \cdot N \dots\dots\dots (3.1)$$

Vf: سرعة التّغذية (سرعة التقدم).

N: عدد الدورات في الدقيقة يعطى بالوحدة (tr/min) أو (rpm).

f: التغذية تعطى بالوحدة (mm/tr). [18]



الشكل.1. 22. سرعة التغذية v_f .

14.1. حالة السطح:

1.14.1 تصنيف عدم استواء الأسطح:

تختلف أشكال وأبعاد انحرافات الأسطح، حيث يمكن تقسيمها الى أربع أنواع مبرزة في الشكل (24.1)، حيث:

✓ **الحيود:** هو الانحراف أو عدم الاستواء في الاستدارة. ينشأ نتيجة وجود خلوص بين المسارات الدليلية،

عدم التثبيت الجيد للشغلة...

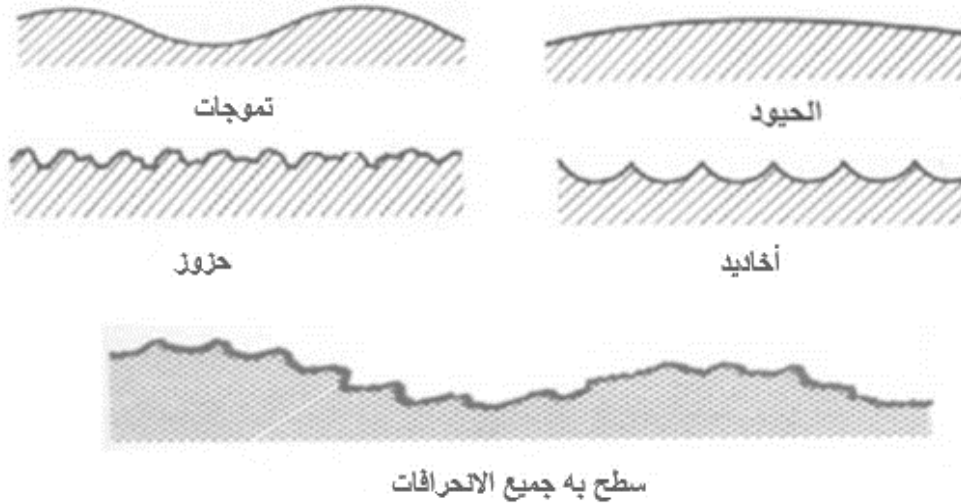
✓ **التموجات:** تنتج عن الاهتزازات الزائدة أو الدوران الغير منتظم، إضافة الى عدم التثبيت الجيد للشغلة.

[19]

✓ **الأخاديد:** تنتج عن شكل الحد القاطع أو التغذية غير المناسبة...

✓ **الحزوز:** تنتج عن طريقة توجيه العدة والتصاق الرائش بالحد القاطع...

في الحياة العملية يمكن أن تجتمع جميع الأنواع في سطح واحد. [20]



الشكل.1. 23. انحرافات الأسطح.

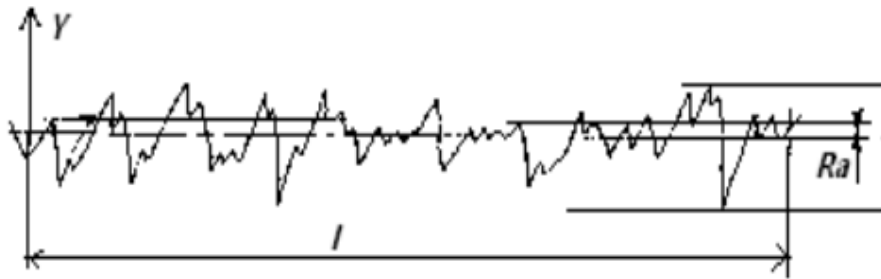
2.14.1 مقاييس الخشونة:

مقاييس أو معايير الخشونة تساعد في وصف الخشونة بطريقة محددة (كل المقاييس مرتبطة بالمعايير الدولية ISO 4287)، توجد العديد من معايير الخشونة التي تستخدم لتحليل الملف السطحي Profile ثنائي الأبعاد، نذكر أهمها:

✓ **الخشونة المتوسطة Ra:** هو المتوسط الحسابي لمدى ابتعاد الانحرافات عن البعد الفعلي المتوسط (الشكل

25.1). تعطى بالعلاقة (4.1) حيث:

$$[21] \quad Ra = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N r_n \dots\dots\dots (4.1)$$

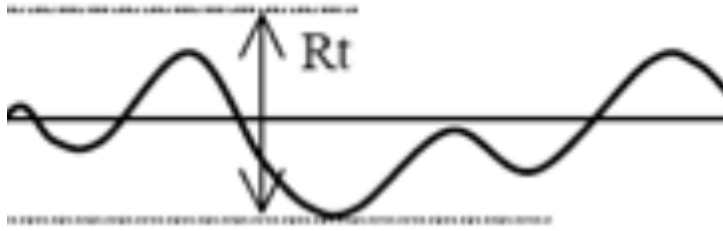


الشكل.1. 24. الخشونة المتوسطة. [22]

✓ **الارتفاع الكلي لملف الخشونة Rt:** هو البعد بين الحد الأقصى والحد الأدنى للانحرافات. لكن هذا

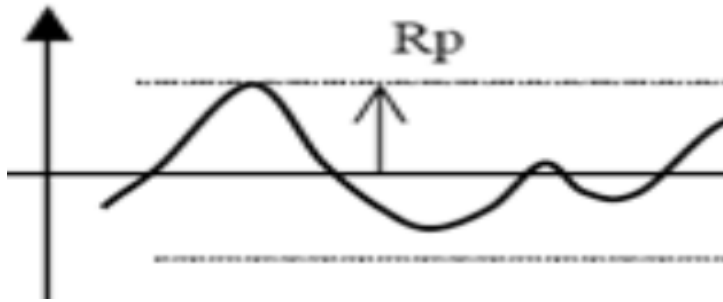
المقياس لا يعطي المعلومات الكافية عن الخواص الانزلاقية ومقاومة البري للمادة لذا تستخدم مقاييس إضافية لتحقيق تقييم أكثر دقة (الشكل 26.1). تعطى بالعلاقة (5.1) حيث:

[21] $R_t = R_p + R_v$ (5.1)



الشكل.1. 25. عمق الخشونة R_t . [22]

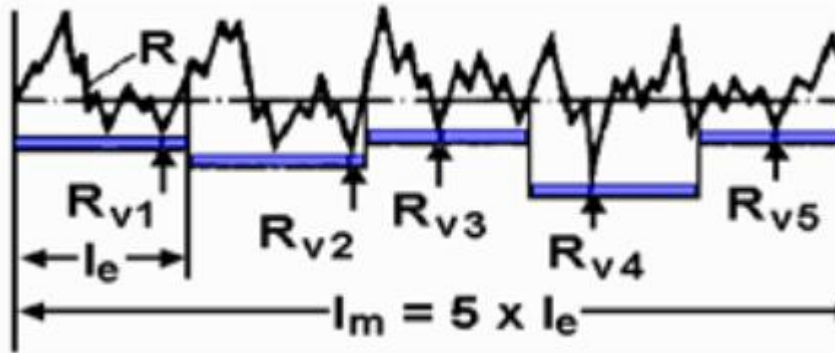
✓ عمق التسطیح (الاستواء) R_p : هو البعد بين الحد الأقصى والخط المرجعي المتوسط للانحرافات (الشكل 27.1). ويتميز بقدرته على إعطاء أفضل بيان وظيفي للسطح. [21]



الشكل.1. 26. عمق التسطیح (الاستواء). [22]

✓ العمق الأدنى للخشونة R_v : هو البعد بين الحد الأدنى والخط المرجعي المتوسط للانحرافات.

يساعد في تقييم طبيعة الأجزاء الأكثر انخفاضا على السطح والتي قد تؤثر على أداء القطعة (الشكل 28.1).

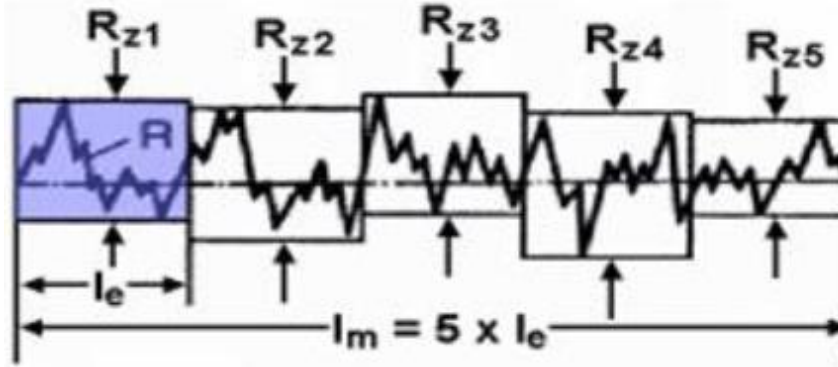


الشكل.1. 27. العمق الأدنى للخشونة R_v . [22]

✓ متوسط أقصى انحرافات للسطح Rz: هو متوسط الفرق بين أعلى خمس انحرافات وأدنى خمس

انحرافات في العينة المقاسة (الشكل 29.1). يعطى بالعلاقة (6.1) حيث:

$$[21] \quad R_z = \frac{(P_1+P_2+P_3+P_4+P_5)-(v_1+v_2+v_3+v_4+v_5)}{5} \dots\dots\dots (6.1)$$



الشكل.1. 28. متوسط أقصى انحرافات للسطح Rz. [22]

✓ متوسط الجذر التربيعي لانحرافات السطح Rq: هو الجذر التربيعي لمتوسط مجموع مربعات

الانحرافات، تبرز أهميته عند تقييم الخواص الضوئية للسطح. يعطى بالعلاقة (7.1) حيث:

$$[21] \quad Rq = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n+1}^N r_n^2} \dots\dots\dots (7.1)$$

15.1 الخاتمة:

في ختام الفصل الأول، يمكن القول إن دراسة عملية الخراطة بمختلف جوانبها التقنية والتشغيلية تمثل أساساً متيناً لفهم وإتقان تقنيات التصنيع الحديثة، تعد الخراطة واحدة من أهم عمليات التشغيل الميكانيكي التي تلعب دوراً حيوياً في تشكيل القطع وإنتاج الأجزاء الدقيقة اللازمة في العديد من الصناعات.

وقد تم في هذا الفصل تناول المفاهيم النظرية المرتبطة بهذه العملية، بدءاً من تعريفها ومختلف عملياتها، مروراً بأنواع المخارط المستخدمة وأجزائها الرئيسية، وصولاً إلى أدوات القطع والحركات النسبية بين القطعة وأداة القطع. كما تمت الإشارة إلى القوى المؤثرة في عملية القطع.

إن هذه الدراسة لا تقتصر على الجانب النظري فحسب، بل توفر قاعدة ضرورية للتحليل العملي والتحكم الفعال في جودة المنتجات المصنعة، ومن خلال فهم المبادئ الأساسية للخراطة وإجراءاتها، يمكن تحسين أداء العمليات

الإنتاجية، تقليل التكاليف، وزيادة كفاءة التصنيع. وبالتالي، فإن الإلمام بهذه التقنيات يمثل خطوة حاسمة نحو تطوير حلول مبتكرة في مجال الهندسة الميكانيكية وتعزيز القدرة التنافسية في الأسواق الصناعية الحديثة.

2 الفصل الثاني:

طرق تصميم التجارب وتحليل
النتائج

1.2 المقدمة:

تعتمد العديد من الأساليب والتقنيات الحديثة في مجال التصنيع على تطبيقات متقدمة لتحليل البيانات وتصميم التجارب. يهدف هذا الفصل إلى عرض وتوضيح المنهجيات الإحصائية المعتمدة في هذه الدراسة، ومن أبرز هذه الأساليب طريقة تاغوشي لتصميم التجارب، وكذلك تحليل التباين (ANOVA) الذي يساعد على دراسة تأثير مختلف المتغيرات على النتائج بطريقة منهجية، بينما يستخدم تحليل الانحدار لنمذجة العلاقة الرياضية بين شروط القطع والاستجابات، وكذلك التنبؤ بقيم هذه الاستجابات.

أيضا في ظل تحسين الاستجابة أحادي الهدف نجد طريقة تاغوشي (نسبة الإشارة إلى الضوضاء SNR) التي تساعد على تحديد العوامل المثلى لكل استجابة على حدا. أما تحليل العلاقة الرمادي (GRA) ودالة الرغبة (DF) فتدخل ضمن تحسين الاستجابة متعدد الأهداف، حيث تساعد على تحديد العوامل المثلى للاستجابة الشاملة من خلال تحقيق التوازن بين جميع المتغيرات.

تعمل هذه الأساليب معا لتحقيق دراسة متكاملة لتأثير شروط القطع (Vc, ap, f) على كل من خشونة السطح (Rz)، معدل إزالة المادة (MRR)، القوة المحورية (Fx) وزمن التشغيل (tc).

2.2 طريقة تاغوشي:

هي تقنية إحصائية طورها العالم الياباني (Genichi Taguchi) لتحسين تصميم المنتجات والعمليات الصناعية، تساعد على تخطيط التجارب بشكل فعال لدراسة تأثير عدة عوامل على عملية معينة، وذلك باستخدام مصفوفات متعامدة لتقليل عدد التجارب المطلوبة مع الحفاظ على دقة النتائج. بهدف تعزيز استقرار العمليات وزيادة الإنتاجية وتحسين جودة المنتجات، بشكل عام هذه الطريقة تركز على تحقيق الأداء المطلوب بأقل انحراف ممكن في ظروف عمل مختلفة، حيث أنها تعتمد على تقسيم العوامل المؤثرة على جودة المنتج إلى :

✓ **عوامل يمكن التحكم بها (عوامل تصميمية):** وهي المتغيرات التي يمكن ضبطها أو تعديلها من قبل

المصممين أو مهندسي العمليات، مثل: شروط القطع وزاوية الأداة...

✓ **عوامل لا يمكن التحكم بها (عوامل الضوضاء):** وهي مصادر الانحراف التي تتعلق ببيئة الإنتاج أو

العوامل الخارجية التي يصعب السيطرة عليها، مثل: الاهتزازات، التغيرات الحرارية وتآكل الأداة (الذي يحدث مع

مرور الوقت ولا يمكن منعه بالكامل) ... [23]

1.2.2 خطوات تطبيق طريقة تاغوشي:

يتم تطبيق طريقة تاغوشي تبعا لخطوات منظمة ومنهجية لتحسين جودة العمليات والمنتجات، وهي:

1. تحديد مشكلة البحث: مثل رفع جودة القطع الميكانيكية المصنعة ورفع الانتاجية بأقل وقت تصنيع واستهلاك أقل للطاقة وهذا ما يوافق تقليل خشونة السطح للقطع المشغلة، تقليل زمن التشغيل، وتقليل قوة القطع، مع زيادة معدل إزالة المادة.
2. اختيار العوامل ومستوياتها: العوامل المؤثرة على الأداء (عوامل يمكن التحكم بها وعوامل لا يمكن التحكم بها حسب التجربة) وقيمتها.
3. اختيار مصفوفة التجارب : استخدام مصفوفات تاغوشي لتقليل عدد التجارب.
4. إجراء التجارب: تنفيذ التجارب حسب الترتيب المحدد في المصفوفة وجمع البيانات (تسجيل النتائج).
5. تحليل النتائج : باستخدام تحليل التباين (ANOVA) لتحديد العوامل الأكثر تأثيرا، ونمذجة كل استجابة بدلالة المتغيرات باستخدام تحليل الانحدار.
6. تحسين الاستجابة: استعمال طرق أو منهجيات تحسين الاستجابة والتي تنقسم الى قسمين:
 - أ. طرق تحسين الاستجابة أحادية الهدف: مثل استخدام نسبة الإشارة الى الضوضاء.
 - ب. طرق تحسين الاستجابة متعددة الأهداف: مثل دالة الرغبة (DF)، تحليل العلاقة الرمادي (GRA).
 حيث تهدف هذه الطرق الى تحديد المجموعة المثلى للعوامل التي تحقق أحسن استجابة واحدة (هدف واحد) أو تحقيق أحسن استجابات معا (متعددة الأهداف).
7. اختبار النموذج المحسن : إجراء تجربة تحقق للتأكد من صحة النتائج من خلال مراقبة الأداء على المدى الطويل للتأكد من استقرار النتائج. [24]

2.2.2 تصميم التجارب («DOE» Design of Experiments):

هو عملية إحصائية منظمة تهدف إلى تحديد التأثيرات الرئيسية والتفاعلية بين العوامل التي تؤثر على عملية أو منتج معين. يُستخدم DOE لتخطيط التجارب وتنفيذها بأقل عدد ممكن من المحاولات، مع تحقيق أفضل تحليل للإجابة على الأسئلة المتعلقة بتأثيرات العوامل المختلفة على النتائج المستهدفة.

من أشهر الطرق المستخدمة في هذا النوع من تصميم التجارب هي طريقة تاغوشي التي تركز على تحسين الجودة باستخدام تصميمات معيارية.

✓ المفاتيح الرئيسية في تعريف (DOE):

- 1 . تحديد العوامل والمستويات.
- 2 . تخطيط التجارب بشكل منهجي.
- 3 . تحليل التأثيرات الرئيسية والتفاعلية.
- 4 . تقليل التباين وتحقيق الكفاءة في عدد التجارب.

✓ المبادئ الأساسية لـ (DOE):

يعتمد على ثلاث مبادئ أساسية وهي: العشوائية لضمان عدم وجود تأثيرات منحازة، والتكرار لضمان استقرار النتائج، وكذلك التحكم في العوامل حيث أنه يتم تقسيم العوامل إلى عوامل يمكن التحكم بها وعوامل لا يمكن التحكم بها. [25]

3.2.2 مصفوفات تاغوشي:

✓ مصفوفة تاغوشي المتعامدة:

وهي عبارة عن أداة إحصائية تستخدم في تصميم التجارب (DOE) لتحليل تأثير عدة عوامل على عملية أو منتج معين. حيث أنها تتيح تحديد العوامل الأكثر تأثيراً على الأداء والجودة، مما يساعد في تحسين العمليات وتقليل التباين حول الهدف المطلوب، تعد هذه المصفوفات مثالية عندما تكون التكلفة والوقت محدودين نسبياً، وتكون النتائج المطلوبة كافية لتحليل التأثيرات الرئيسية على خشونة السطح دون الحاجة إلى تغطية جميع التركيبات المحتملة لمستويات العوامل، تضمن هذه المصفوفات توزيعاً متوازياً للعوامل ومستوياتها في جميع التجارب، بحيث يمكن تحليل تأثير كل عامل بشكل مستقل دون تداخل أو ارتباط بينهم.

حيث أنها تهدف إلى: تحليل تأثير العوامل المتعددة، بالإضافة إلى تحسين جودة الإنتاج، ويمكنها أيضاً التعامل مع العوامل غير قابلة للتحكم.

أما بالنسبة للفوائد الرئيسية من استخدام هذا النوع من المصفوفات فهي: تحليل متعدد العوامل بكفاءة عالية باستخدام عدد محدود من التجارب، وتحسين الأداء وتقليل التباين، أيضا هي أداة اقتصادية وفعالة نظرا لأنها تقلل من عدد التجارب اللازمة مقارنة بأساليب التصميم التقليدية، وقدرتها على مواجهة العوامل غير القابلة للتحكم.

✓ مصفوفة تاغوشي غير المتعامدة:

تستخدم عندما لا يكون من الممكن أو المناسب استخدام المصفوفات المتعامدة بسبب كثرة العوامل أو المستويات التي يجب تحليلها، مما يجعل تكاليف التجارب عالية أو الحاجة إلى عدد كبير من التجارب غير عملي، يصعب أحيانا تفسير النتائج بشكل دقيق إذا كان هناك الكثير من التفاعلات بين العوامل.

من السمات الرئيسية التي يتميز بها هذا النوع من المصفوفات: عدم التوازن بين العوامل بمعنى أنه لا يتم توزيع العوامل والمستويات بشكل متوازن في المصفوفة كما هو الحال في المصفوفات المتعامدة، ويمكن استخدامها في الحالات المعقدة، كذلك فهي تعطي تحليلا أكثر تعقيدا نظرا لوجود تداخل بين العوامل، والأهم مرونتها في التصميم.

[26]

3.2 تحليل التباين (ANOVA):

هو أداة إحصائية تُستخدم لدراسة الفروق بين المتوسطات لمجموعات متعددة، يتم تطبيقه لاختبار ما إذا كانت هناك اختلافات ذات دلالة إحصائية بين هذه المتوسطات بناءً على متغير تابع واحد ومتغيرات مستقلة (غالبًا وصفية)، يعتمد ANOVA على اختبار فرضية العدم التي تشير إلى أن جميع المتوسطات متساوية، مقابل فرضية بديلة تفترض أن هناك على الأقل متوسط واحد يختلف عن البقية، ويهدف بشكل عام إلى اختبار الفرضيات المتعلقة بهذه المتوسطات. [27]

1.3.2 الفرضيات في ANOVA:

1. الفرضية الصفرية (H_0): جميع متوسطات المجموعات متساوية، أي لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية بينها.
2. الفرضية البديلة (H_1): هناك على الأقل مجموعة واحدة يختلف متوسطها عن المجموعات الأخرى.

2.3.2 الافتراضات الأساسية:

توجد ثلاث فرضيات وهي: الاستقلالية (تكون الملاحظات مستقلة عن بعضها البعض)، والتوزيع الطبيعي (تتبع البيانات داخل كل مجموعة توزيعاً طبيعياً)، وأيضاً تجانس التباين (تكون تباينات المجموعات متساوية). [28]

3.3.2 أنواع تحليل التباين:

• تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) : يُستخدم عند دراسة تأثير متغير مستقل واحد على

متغير تابع، ويُقارن بين ثلاث مجموعات أو أكثر.

• تحليل التباين الثنائي (Two-Way ANOVA): يُستخدم لدراسة تأثير متغيرين مستقلين على المتغير

التابع، بالإضافة إلى التفاعل بينهما.

4.3.2 خطوات إجراء ANOVA:

1 . حساب التباين الكلي: تقسيم التباين الكلي إلى: تباين بين المجموعات (يُمثل الاختلافات بين متوسطات المجموعات)، وتباين داخل المجموعات (يُمثل التغيرات داخل كل مجموعة).

2 . حساب متوسط التباين: حساب متوسط التباين لكل من بين وداخل المجموعات.

3 . حساب قيمة نسبة F: بقسمة متوسط التباين بين المجموعات على متوسط التباين داخل المجموعات.

4 . تحديد القيمة الاحتمالية: مقارنة قيمة P بمستوى الدلالة (عادة 0.05) لتحديد ما إذا كان يجب رفض الفرضية الصفرية.

5 . تفسير النتائج: إذا كانت القيمة الاحتمالية (P-value) أقل من مستوى الدلالة (عادة ما يكون مستوى الدلالة $\alpha=0.05$)، يتم رفض الفرضية الصفرية، مما يشير إلى وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المتوسطات، إذا كانت القيمة الاحتمالية أكبر من مستوى الدلالة، يتم قبول الفرضية الصفرية، مما يشير إلى عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المتوسطات. [29]

4.2 تحليل الانحدار (Regression):

تحليل الانحدار هو تقنية إحصائية تهدف إلى بناء نموذج رياضي يُستخدم لتقدير العلاقة بين متغير كمي تابع ومتغير كمي مستقل أو عدة متغيرات مستقلة، ينتج عن هذا النموذج معادلة إحصائية توضح كيفية تفاعل المتغيرات مع بعضها البعض، مما يساعد في فهم نوع العلاقة بين المتغيرات وتقدير المتغير التابع استنادًا إلى قيم المتغيرات الأخرى.

في حال كانت العلاقة بين متغير تابع واحد ومتغير مستقل واحد، فإن النموذج يُسمى الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وهو أبسط أشكال نماذج الانحدار، أما إذا كان هناك أكثر من متغير مستقل، فإن النموذج يُعرف بالانحدار المتعدد (Multiple Regression).

يُنمذج وفق المعادلة (1.1) حيث:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \xi \quad (1.1)$$

حيث أن:

Y: المتغير التابع

B₀: الثابت (القيمة المتوقعة ل Y عندما يكون X=0).

B_[1..n]: معاملات الانحدار التي تمثل تأثير المتغيرات المستقلة.

X_[1..n]: المتغيرات المستقلة.

ξ: الخطأ العشوائي.

5.2 أنواع تحليل الانحدار:

✓ **نموذج الانحدار الخطي البسيط:** هو طريقة إحصائية تُستخدم لفهم العلاقة بين متغيرين كميين: أحدهما

يعتمد على الآخر. من خلال هذا النموذج، يمكننا إنشاء معادلة خطية تساعد في تفسير العلاقة بين المتغيرين أو في تقدير قيمة المتغير التابع بناءً على المتغير المستقل.

✓ **نموذج الانحدار الخطي المتعدد:** هو طريقة إحصائية تُستخدم لدراسة العلاقة بين متغير تابع واحد وعدة

متغيرات مستقلة. يهدف إلى تحديد كيفية تأثير كل من هذه المتغيرات المستقلة على المتغير التابع في نفس الوقت.

✓ **نموذج الانحدار الغير خطي:** يستخدم عند وجود تعقيدات أو تأثيرات متغيرة في البيانات، مثل الدوال

الأسية، اللوغاريتمية أو التربيعية. [30]

1.5.2 أهداف تحليل الانحدار:

التنبؤ فيستخدم تحليل الانحدار لتوقع قيم المستقبل بناءً على البيانات الحالية، بالإضافة إلى الفهم فهو يوضح كيفية تأثير المتغيرات المستقلة على المتغير التابع، وأيضاً يساعد التحليل السببي لاختبار العلاقات السببية بين المتغيرات.

2.5.2 افتراضات تحليل الانحدار الخطي:

توجد أربع فرضيات بارزة وهي: العلاقة الخطية بين المتغير المستقل والمتغير التابع، والاستقلالية حيث أن الأخطاء العشوائية مستقلة عن بعضها البعض، أيضاً التوزيع الطبيعي للأخطاء العشوائية، مع ثبات التباين (يجب أن يكون تباين الأخطاء ثابتاً على طول خط الانحدار).

3.5.2 أهمية الانحدار الخطي:

يساعد في اتخاذ القرارات بناءً على البيانات، ويعتبر أداة مرنة وسهلة الفهم تُستخدم في العديد من المجالات، بالإضافة إلى أنه يُعد أساساً للعديد من التقنيات المتقدمة مثل الانحدار اللوجستي وتحليل الانحدار غير الخطي.

[31]

6.2 تحسين الاستجابة أحادي الهدف (نسبة الإشارة إلى الضوضاء):

نسبة الإشارة إلى الضوضاء (« SNR » Signal-to-Noise Ratio) هي مقياس يحدد قدرة النظام على التمييز بين الإشارة المطلوبة (الأداء المثالي) والضوضاء (التقلبات أو العوامل الخراجية التي تسبب التباين)، يُستخدم لمقارنة القوة الإشارية (S) بقوة الضوضاء (N) في إشارة معينة، يتم حسابها من خلال القسمة بين مكون الإشارة الذي يُقاس بوحدات الجذر المتوسط التربيعي (r.m.s) وبين مكون الضوضاء الذي يُقاس بنفس الطريقة.

حيث أن العلاقة (2.2) تمثل نسبة الإشارة إلى الضوضاء:

$$S/N=(SNR) \dots\dots\dots (2.2)$$

حيث أن :

S: هو مكون الإشارة (القوة الإشارية)

N: هو مكون الضوضاء (القوة الضوضائية). [32]

1.6.2 أنواع نسب الإشارة إلى الضوضاء:

✓ الأصغر هو الأفضل («Smaller-the-Better «STB»): تُستخدم عند الحاجة إلى تقليل القيم إلى

أدنى حد (مثل العيوب أو الأخطاء)، تعطى بالصيغة (3.2) حيث:

$$\frac{S}{N_T} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots \dots \dots (3.2)$$

S/N_T: نسبة الإشارة إلى الضوضاء.

n : عدد التجارب.

Y_i : قيمة الاستجابة لكل تجربة i.

✓ القيمة المستهدفة هي الأفضل («Nominal-the-Better «NTB»): تُستخدم عندما تكون هناك قيمة

مستهدفة محددة (مثل الأبعاد الدقيقة)، تعطى بالصيغ (4.2) أو (5.2) حيث:

$$\frac{S}{N_T} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \dots \dots \dots (4.2)$$

$$\frac{S}{N_T} = -10 \log (S^2) \dots \dots \dots (5.2)$$

S/N_T: نسبة الإشارة إلى الضوضاء

n: عدد التجارب

Y: متوسط البيانات الملاحظة

S²: هو التباين أو الانحراف في Y

✓ الأكبر هو الأفضل («Larger-the-Better «LTB»): تُستخدم عندما يكون الهدف هو تعظيم القيم

(مثل الإنتاجية). تعطى بالعلاقة (6.2) حيث:

$$\frac{S}{N_T} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \dots \dots \dots (6.2)$$

S/N_T: نسبة الإشارة إلى الضوضاء

n : عدد التجارب

y_i : قيمة الاستجابة لكل تجربة i . [33]

2.6.2 خطوات استخدام (SNR):

1 . تحديد الهدف: اختيار نوع نسبة الإشارة إلى الضوضاء التي تناسب المشكلة المطروحة (LTB ، STB ، NTB).

2 . جمع البيانات: إجراء التجارب وجمع القيم المقاسة للعوامل المؤثرة.

3 . حساب SNR: استخدام الصيغ المناسبة لحساب النسبة بناءً على نوع المشكلة.

4 . تحليل النتائج: مقارنة نسب SNR لتحديد الإعدادات المثلى للعوامل. [34]

7.2 تحسين الاستجابة متعدد الأهداف باستخدام دالة الرغبة (DF):

دالة الرغبة (DF) هي أداة رياضية تُستخدم لتحويل القيم المتوقعة للاستجابات الكمية (أو النوعية) إلى قيم قابلة للتفسير والتعامل معها ضمن نطاق $[0, 1]$ ، حيث تمثل القيمة 1 الاستجابة المثالية، بينما تمثل القيمة 0 الاستجابة غير المقبولة. تم تطوير دالة الرغبة في البداية من قبل هارينغتون (1965) لاستجابة كمية، ثم قام ديرينغر وسويش (1980) بتعديلها لتشمل الاستجابات متعددة المتغيرات، وذلك باستخدام ثلاثة أنواع من دوال الرغبة. [35]

1.7.2 أنواع دوال الرغبة الكمية:

✓ دالة الرغبة من نوع "الهدف هو الأفضل (NTB)":

تستخدم عندما يكون الهدف جعل الاستجابة أقرب ما يكون إلى قيمة مستهدفة T . تخطى بالصيغة (7.2) حيث:

$$d(y) = \begin{cases} 0, & y < LSL \text{ ou } y > USL \\ \left(\frac{y-LSL}{T-LSL}\right)^s, & LSL \leq y \leq T \\ \left(\frac{USL-y}{USL-T}\right)^t, & T \leq y \leq USL \end{cases} \dots\dots\dots (7.2)$$

LSL: الحد الأدنى للمواصفات.

USL: الحد الأقصى للمواصفات.

✓ دالة الرغبة من النوع "الأكبر هو الأفضل (LTB)":

تستخدم عندما يكون الهدف زيادة الاستجابة إلى أعلى قيمة ممكنة. تخطى بالصيغة (8.2) حيث:

$$d(y) = \begin{cases} 0, & y \leq LSL \\ \frac{y-LSL}{USL-LSL}, & LSL < y < USL \\ 1, & y \geq USL \end{cases} \dots\dots\dots (8.2)$$

✓ دالة الرغبة من النوع " الأصغر هو الأفضل (STB) ":

تُستخدم عندما يكون الهدف هو تقليل قيمة الاستجابة إلى أدنى حد ممكن. هذا النوع مناسب لتطبيقات مثل تقليل خشونة السطح أو تقليل الضوضاء أو الانحرافات السلبية الأخرى. تخطى بالصيغة (9.2) حيث:

$$d(y) = \begin{cases} 1, & y \leq LSL \\ \frac{USL-y}{USL-LSL}, & LSL < y < USL \\ 0, & y \geq USL \end{cases} \dots\dots\dots (9.2)$$

y: القيمة الملاحظة للاستجابة.

LSL: الحد الأدنى المقبول للاستجابة (القيمة المثالية أو القيمة المرجوة).

USL: الحد الأقصى المقبول للاستجابة (أعلى قيمة يمكن قبولها).

d(y): قيمة دالة الرغبة، وتتراوح بين 0 و 1.

d(y)=1: عندما تكون الاستجابة أقل من أو تساوي الحد المثالي (LSL).

d(y)=0: عندما تتجاوز الاستجابة الحد الأعلى المقبول (USL).

القيم بين 0 و 1 تعبر عن مدى قبول الاستجابة.

• خطوات التنفيذ:

1. قياس الاستجابة: أثناء التجارب، يتم قياس قيمة الاستجابة تحت شروط مختلفة.
2. تحويل القيم باستخدام المعادلات: إذا كانت القيمة أقل من أو تساوي LSL، فإن دالة الرغبة تكون 1، إذا كانت بين LSL و USL، يتم حساب d(y) باستخدام المعادلة، إذا تجاوزت USL فإن دالة الرغبة تكون 0.
3. تحليل النتائج: تستخدم القيم الناتجة لدالة الرغبة لتحديد أفضل الشروط (أفضل شروط القطع التي تقلل من خشونة السطح، تقلل جهد القطع، تقلل زمن التصنيع، وتزيد من الانتاجية)

• مميزات STB:

تُبسّط مقارنة شروط القطع المختلفة بناءً على تأثيرها على خشونة السطح، وتُساعد في تحديد أفضل الشروط التي تقلل الخشونة ضمن الحدود المقبولة. [36]

2.7.2 خطوات التنفيذ:

- يتم أولاً نمذجة المتغيرات المستجيبة (النتائج) باستخدام تقنيات الانحدار المتعدد للتنبؤ بقيمها المتوقعة.
- يتم تحويل القيم المتوقعة لكل متغير إلى قيم رغبة فردية (di) باستخدام دوال رغبة محددة، بحيث تعكس هذه القيم مدى جودة الاستجابة بالنسبة للهدف المطلوب.
- يتم الجمع بين قيم الرغبة الفردية باستخدام متوسط هندسي للحصول على مؤشر رغبة عام، والذي يمثل معيار الأداء لتحسين النظام ككل.

3.7.2 الهدف:

الهدف هو تحقيق القيم المثلى لمتغيرات التحكم بحيث يتم تعظيم مؤشر الرغبة العام، مما يؤدي إلى تحسين العملية بشكل شامل، وكذلك تعزيز دقة النتائج واتخاذ القرارات المثلى في عمليات التصنيع.

4.7.2 استخداماتها:

تُعد هذه الأداة وسيلة فعالة لتحسين العمليات متعددة المتغيرات، حيث تتيح تحديد الظروف المثلى للعمليات الصناعية أو التجريبية. كما تساهم في دمج الاستجابات الكمية والترتيبية ضمن إطار تحليلي موحد، مما يسهل عملية التقييم واتخاذ القرارات. وتبرز أهميتها بشكل خاص عند الحاجة إلى تحسين استجابات متعددة في آن واحد، مما يجعلها أداة قوية في تحقيق التوازن الأمثل بين المتغيرات المختلفة. [37]

8.2 تحسين الاستجابة متعدد الأهداف باستخدام تحليل العلاقة الرمادي:

تحليل العلاقة الرمادي (Grey relationl analysis) هي أسلوب يستخدم لقياس درجة الارتباط بين العوامل أو المتغيرات بناءً على مدى التشابه بين تسلسل البيانات وهدف مرجعي مثالي، حيث أنها إحدى آليات اتخاذ القرار متعدد المعايير، يستخدم لتقييم وتحليل العلاقات بين مجموعة من العوامل في حالة توفر بيانات غير مكتملة أو غير واضحة.

يعتمد هذا الأسلوب على حساب معامل يسمى "معامل العلاقة الرمادي" و"درجة العلاقة الرمادي" لتحديد مدى تطابق البدائل مع الهدف المرجعي، تُستخدم هذه الطريقة بشكل رئيسي في مجالات متنوعة مثل استهلاك الطاقة،

التنبؤ بسوق الأسهم، وتحليل البيانات الطبية، بالإضافة إلى استخدامها في التشغيل الصناعي وقياس خشونة الأسطح لتحسين الجودة وتحليل الأداء.

1.8.2 خطوات تحليل العلاقة الرمادي:

1. تعريف المشكلة ومتغيرات الاستجابة أو الخصائص النوعية: في هذه المرحلة، يتم تحديد المشكلات المراد حلها بالإضافة إلى المتغيرات أو الخصائص التي تُستخدم لتقييم الجودة.
2. جمع البيانات: يتم جمع البيانات المطلوبة من أجل التحليل.
3. توحيد البيانات للخصائص النوعية "الأصغر أفضل" أو "الأكبر أفضل": يتم توحيد البيانات وفقاً لنوع الخاصية (إذا كانت الخصائص النوعية "الأصغر أفضل" أو "الأكبر أفضل") لتسهيل المقارنة.
4. حساب معامل العلاقة الرمادي للبيانات الموحدة: يتم حساب المعامل الرمادي بناءً على البيانات الموحدة التي تم الحصول عليها في الخطوة السابقة.
5. حساب درجة العلاقة الرمادي: باستخدام المعامل الرمادي المحسوب، يتم حساب درجة العلاقة الرمادي.
6. اختيار المستوى الأمثل بناءً على قيمة الدرجة: بناءً على درجة العلاقة الرمادي، يتم تحديد المستوى الأمثل للخصائص المدروسة. [38]

2.8.2 النمذجة الرياضية:

1. بالنسبة للخصائص النوعية "الأكبر أفضل"، يتم توحيد القيمة (X_i) كما هو موضح في المعادلة (10.2):

$$X_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \dots \dots \dots (10.2)$$

2. بالنسبة للخصائص النوعية "الأصغر أفضل"، يتم توحيد القيمة (X_i) كما هو موضح في المعادلة (11.2):

$$X_i = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \dots \dots \dots (11.2)$$

حيث أن $(X_i)_{max}$ و $(X_i)_{min}$ هما القيم العظمى والصغرى للسلسلة الأصلية.

3. معامل العلاقة الرمادي يُحسب كما هو موضح في المعادلة (12.2) و (13.2):

$$y_{ij} = \left\{ \frac{\xi(\delta_i)_{max} + (\delta_i)_{min}}{\xi(\delta_i)_{max} + (\delta_i)} \right\} \dots \dots \dots (12.2)$$

$$\delta_i = (X_i)_{\max} - X_i \dots \dots \dots (13.2)$$

ξ: معامل التمييز عادة ما يكون 0.5 (يتم استخدام 0.5 عادة لأنه يعطي نتيجة متوازنة دون تحيز ونظرا أيضا لأنه قيمة وسطية لا تتطلب تعديلا كبيرا كما أنه يوفر توازن بين التأثيرات القصوى والدنيا في الحسابات)

4. درجة العلاقة الرمادي تؤخذ بالعلاقة (14.2) حيث:

$$GRG_i = \sum_{j=1}^n w_j Y_{ij} \dots \dots \dots (14.2)$$

حيث أن $\sum w_j = 1$ [39]

9.2 الخاتمة:

في هذا الفصل، قدمنا دراسة شاملة ومتكاملة حول الأساليب الإحصائية وتقنيات التحليل المستخدمة لتحسين العمليات الإنتاجية في التصنيع الحديث، حيث بدأنا بتسليط الضوء على كيفية استخدام تصميم التجارب لتحسين الكفاءة والجودة، مع التركيز على كيفية تطبيق تحليل التباين لتحديد تأثيرات العوامل المدروسة على الاستجابات، ثم استخدام تحليل الانحدار لبناء نماذج رياضية لفهم العلاقة بين المتغيرات والاستجابات ليساعد لاحقا على التنبؤ بالنتائج المستقبلية.

تطرقنا أيضا لطرق تحسين الاستجابة أحادية الهدف باستخدام نسبة الإشارة إلى الضوضاء لتحقيق الأداء الأمثل لكل استجابة بشكل منفرد، كما تناولنا تحليل العلاقة الرمادي (GRA) ودالة الرغبة (DF) كطرق تحسين متعددة الأهداف لتحقيق تحسين شامل ومتوازن للاستجابات المتعددة في وقت واحد.

إن الجمع بين هذه الأدوات والمفاهيم الإحصائية يوفر نهجًا قويًا وشاملاً لتحليل وتحسين العمليات الصناعية، مما يعزز من جودة المنتجات وكفاءة الإنتاج.

3 الفصل الثالث:

الجزء التجريبي

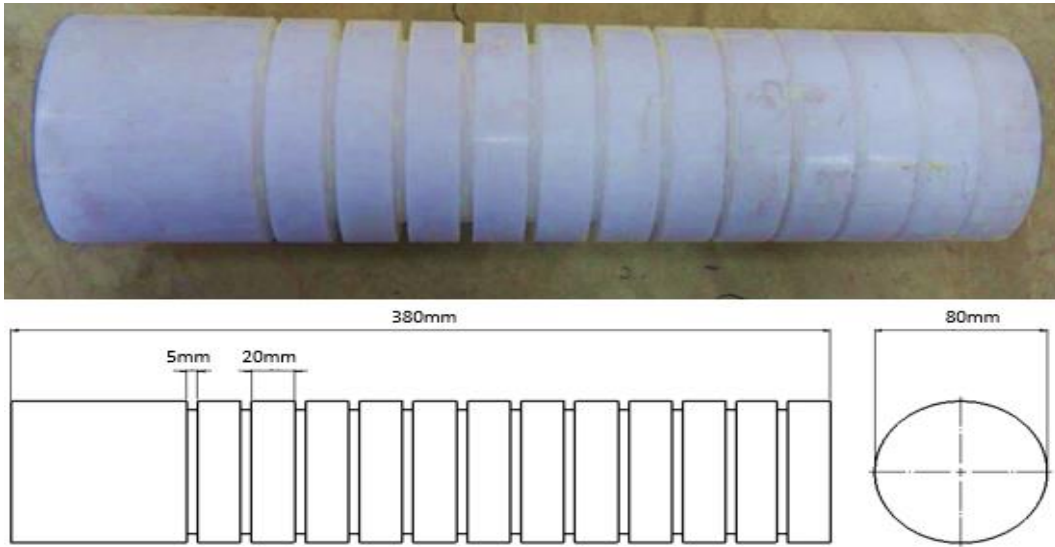
1.3 المقدمة:

في هذا الفصل، سنستعرض التجارب العلمية التي أجريناها في مخبر الميكانيك والهياكل (LMS Laboratoire de Mécanique et structure) التابع لجامعة 8 ماي 1945 بقالة، لدراسة تأثير شروط القطع على خشونة السطح أثناء عملية الخراطة الطولية لمادة POMC. تم تنفيذ هذه التجارب باستخدام المخرطة المتوازية، مع الاعتماد على جهاز قياس خشونة السطح للحصول على القيم التجريبية للخشونة بدقة وكذلك جهاز قياس جهود القطع لمعرفة قيم القوى المؤثرة أثناء القطع بالإضافة إلى أخذ مدة التشغيل وحساب معدل إزالة المادة.

سيتم تناول خصائص مادة POMC المستخدمة في التجربة، بالإضافة إلى تقديم وصف شامل للمخرطة بمختلف ملحقاتها. وكذا جهاز قياس الخشونة وجهاز قياس جهود القطع مع شرح الخطوات المنهجية المتبعة في تنفيذ التجارب.

2.3 عينة الاختبار:

العينة المستعملة في التجارب هي قطعة أسطوانية الشكل مصنوعة من مادة البولي أسيتال كوبوليمر (POMC) الموضحة في الشكل (1.3) بطول 380mm وقطر 80mm ووزن 2673g. مع أعناق بطول 5mm متباعدة بمسافة 20mm.



الشكل 1.3.1. العينة المستعملة.

1.2.3 خصائص المادة المستعملة:

قمنا باستعمال عينة اختبار مصنوعة من مادة POMC. حيث أن الجداول (1.3) و(2.3) توضح الخصائص الكهربائية، الميكانيكية والفيزيائية لهذه المادة.

الجدول.3. 1. الخصائص الكهربائية.

الخاصية	القيمة	الوحدة
الثابت العازل	3.8	—
عامل الفقد الكهربائي	0.002	—
المقاومة الحجمية	10^{13}	أوم. سم ($\Omega \cdot cm$)
المقاومة السطحية	10^{13}	أوم (Ω)
مقاومة التيارات الزائدة	600	ثانية (s)
الصلابة العازلة	40	كيلو فولت/مم (KV/mm)

الجدول.3. 2. الخصائص الميكانيكية والفيزيائية.

الخاصية	قيمتها	وحدتها
الكثافة الحجمية	1.41	g/cm^3
مقاومة الشد	67	MPa
الاستطالة عند الكسر	30	%
معامل المرونة	2800	MPa
مقاومة الصدمات	6	Kj/m^2
صلابة الكرة	150	MPa
صلابة شور D	81	Echelle D
درجة الانصهار	165	$^{\circ}C$
التوصيلية الحرارية	0.31	$W/m \cdot K$
السعة الحرارية	1.5	$Kj/Kg \cdot K$
معامل التمدد الحراري	110	$10 \cdot K$
درجة الاستعمال طويل الأمد	50 إلى 100	$^{\circ}C$
درجة الاستعمال القصير الأمد	140	$^{\circ}C$
درجة التشوه	110	$^{\circ}C$

تظهر هذه المادة مجموعة من الخصائص التقنية التي تجعلها خيارا مناسباً للعديد من التطبيقات الصناعية، ومن أبرز هذه النقاط نجد:

- قابلية تشغيل ممتازة، ثبات أبعادي عالي، خصائص انزلاق ممتازة، امتصاص منخفض للرطوبة.
 - توازن مثالي بين المقاومة، الصلابة، والمتانة، بالإضافة إلى مقاومته العالية للتآكل، وقابلية زحف ضعيفة.
 - خصائص كهربائية وعزلية ممتازة، بالإضافة إلى مقاومة ممتازة للهيدروكربونات حتى $100^{\circ}C$.
- ورغم المزايا المتعددة لهذه المادة، إلا أن لها بعض الجوانب السلبية التي ينبغي أخذها بعين الاعتبار، ومن بينها: التصاق ضعيف مع اللصق والطلاء، بالإضافة إلى أنه حساس للأشعة فوق البنفسجية، ولا يتحمل الهالوجينات، الأحماض، المؤكسدات، أو الأوساط الحمضية.

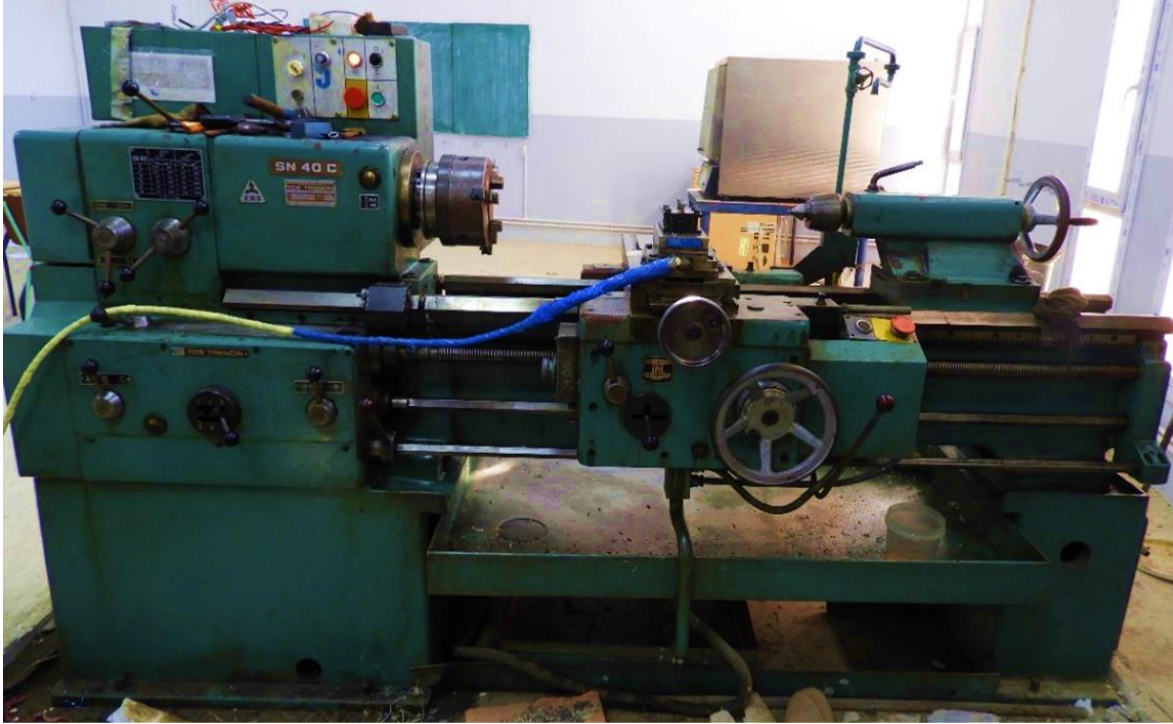
2.2.3 مجالات استعمالها:

نظرا لخصائصها الميكانيكية فإنها تعتبر مثالية في عدة مجالات مثل:

- قطع تتطلب ثبات أبعادي وشكلي عالي.
- البناء الميكانيكي في الصناعات: السيارات، النسيج، الصناعات الغذائية، التروس، العجلات، النوابض...
- عناصر التوجيه والتزليق.
- عناصر العزل الكهربائي: أجسام البكرات، العوازل، صناديق Relay والمحولات.
- المجال الطبي: أجزاء من الأجهزة، قطع التكيف.

3.3 آلة الخراطة المستعملة:

تم إجراء التجارب في مخبر الميكانيك والهياكل LMS التابع لجامعة 8 ماي 1945 بقالمة، حيث تم استعمال مخرطة متوازية من النوع SN 40 C الموضحة في الشكل (2.3)، المنتجة من طرف شركة TOS Trenčín بتشيكوسلوفاكية (سلوفاكيا حاليا) كما هو مبين في الشكل (3.3). يستخدم هذا النوع من المخارط بشكل واسع في الورش الصناعية حيث أنها تتميز بقدرات تشغيلية مختلفة للسرعات والتغذية مما يجعلها مناسبة للعديد من عمليات التصنيع.



الشكل.3.2. المخرطة المتوازية SN 40 C.



الشكل 3.3. طراز آلة الخراطة.

يمثل الشكل (4.3) لوحة تحكم المخرطة التي تحتوي على مفاتيح وأزرار للتحكم في تشغيل وإيقاف الآلة، تغيير اتجاه الدوران، وإيقافها في حالات الطوارئ.



الشكل 3.4. لوحة التحكم.

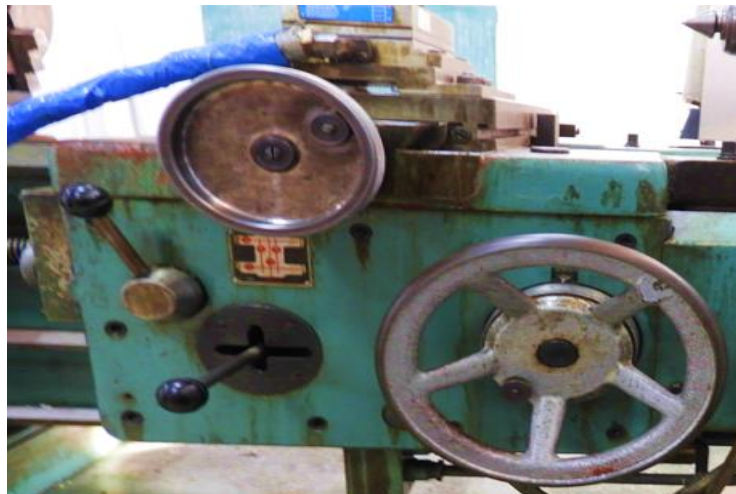
يتم ضبط سرعة الدوران والتغذية باستخدام أذرع التحكم، وذلك بالاستعانة بجدول السرعات الموجود على المخرطة والمبين في الشكل (5.3) وجدول التغذية المبين في الشكل (6.3). أما بالنسبة لعمق القطع فيتم ضبطها من خلال عجلة التحريك العرضية الممثلة في الشكل (7.3).



الشكل 3.5. ضبط سرعة الدوران.



الشكل 3.6. ضبط قيمة التغذية.



الشكل 3.7. ضبط عمق القطع.

4.3 أداة الخراطة:

تم اجراء عملية الخراطة الطولية بواسطة أداة الخرط الطولي الموضحة في الشكل (8.3). حيث أنها تتكون من جزأين: حامل الأداة ولقم القطع.



الشكل.3. 8. أداة الخرط الطولي.

1.4.3 حامل الأداة:

لتنفيذ التجارب، تم اختيار حامل الأداة PSBNR25x25M12 المبين في الشكل (9.3)، المصنع من طرف شركة SANDVIK Coromant، حيث يتم تحديد هندسة الجزء الفعال للأداة من خلال الزوايا المدرجة في الجدول (3.3). يتم تثبيت اللقمة القابلة للإزالة بشكل محكم باستخدام عنصر تثبيت قوي داخل حامل الأداة. يوفر المسند الداعم المصنوع من كربيد معدني والمثبت بواسطة مسامير والمشغل بدقة حماية لحامل الأداة ويضمن تلامسًا مثاليًا مع اللقمة.



الشكل.3. 9. حامل الأداة.

الجدول 3.3. خصائص حامل الأداة.

X ^r زاوية القطع الأساسية	λ زاوية الانحراف	γ زاوية الارتداد	α زاوية الحافة	X زاوية الميل
15°	-6°	-6°	6°	75°

2.4.3 لقم القطع:

الأداة المستخدمة في القطع هي السكين القابلة للتبديل من كربيد التنجستن المطلي SNMG 120408 UE6020 من ماركة Mitsubishi Materials وهي شركة يابانية معروفة في تصنيع أدوات القطع والمواد الهندسية عالية الأداء، ذات شكل مربع كما هو موضح في الشكل (10.3) مع تثبيت عبر ثقب مركزي، وتتميز بالخصائص المبينة في الجداول (4.3)، (5.3) و(6.3):

الجدول 3.4. الخواص الميكانيكية والفيزيائية.

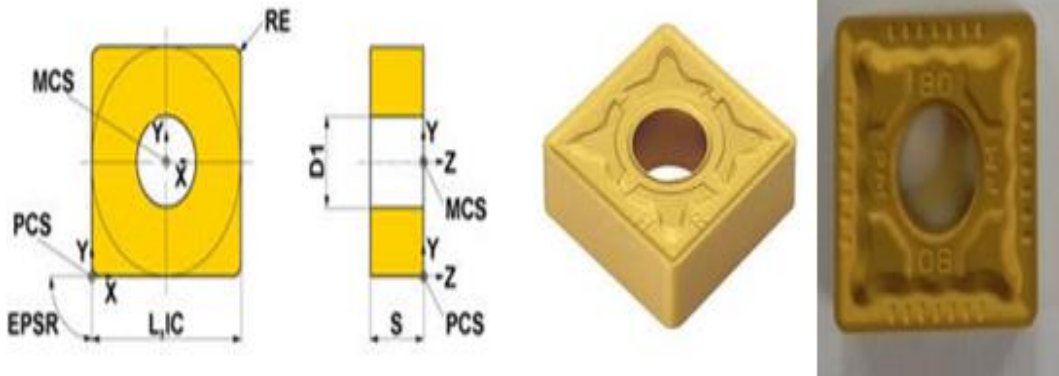
المادة الأساسية	كربيد التنجستن (WC-Co)
الصلادة	حوالي 92 HRA
متانة الكسر	9-12 MPa* \sqrt{m}
مقاومة الضغط	4000 MPa
التوصيل الحراري	80-100 W/m*K
الكثافة	حوالي 14,5 g/cm ³

الجدول 3.5. التصميم الهندسي.

الشكل	مربع (Square)
زاوية القمة	80°
القطر الداخلي (فتحة التثبيت)	قياسي
رمز التحديد الدولي	SNMG120408 S شكل مربع - N زاوية ميل صغيرة - M نوع التثبيت - G درجة الدق
الطول الجانبي	12 mm
سمك اللقم	4 mm
نصف قطر الزاوية	0.8 mm
زاوية الخلوص الرئيسية	0°
قطر فتحة التثبيت	5,16 mm

الجدول 3.6. الطلاء وخصائصه.

نوع الطلاء	UE620=TiCN + Al2O3 + TiN
الطبقات	طبقة TiCN (نيتريد الكربون التيتانيوم): مقاومة عالية للتآكل طبقة Al2O3 (أكسيد الألمنيوم): تحسين مقاومة الحرارة طبقة TiN (نيتريد التيتانيوم): تقليل الاحتكاك وزيادة مقاومة التآكل
السماكة التقريبية للطلاء	5 - 10 ميكرون
اللون	ذهبي



الشكل 3.10. لقم القطع SNMG 120408 UE6020.

5.3 جهاز قياس الخشونة:

للحصول على قيم استجابات خشونة السطح، تم استخدام جهاز قياس الخشونة Mitutoyo SJ-210 الموضح في الشكل (11.3) المصنع من طرف الشركة اليابانية Mitutoyo المتخصصة في أجهزة القياس الدقيقة، والذي يعتمد على تقنية المسح بالمجس الحساس لتحديد التفاوتات السطحية وفقا لمعايير ISO 1997.

من المميزات الرئيسية لهذا النوع من الأجهزة:

- قياسات دقيقة: يقيس معاملات الخشونة مثل Ra, Rq, Rt, Rz.
- معايير متعددة: يدعم معايير ANSI, JIS, ISO.
- شاشة عرض رقمية: تعرض القيم مباشرة بوحدة μm .
- سهولة الاستخدام: جهاز محمول وخفيف يمكن استخدامه في المختبرات والورش.
- إعدادات قابلة للتخصيص: سرعة المسح، طول القياس، وعدد النقاط يمكن ضبطها حسب الحاجة.

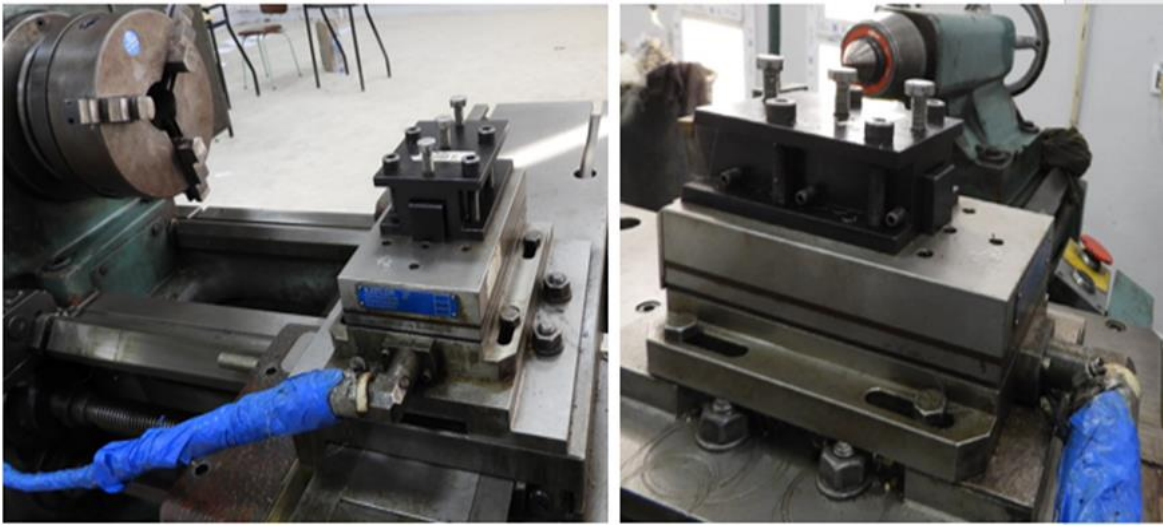


الشكل.3. 11. جهاز قياس الخشونة SJ-210.

6.3 جهاز قياس قوى القطع (Dynamomètre):

جهاز الدينامومتر Kistler 9129AA هو أداة دقيقة تستخدم في قياس القوى الثلاثة (F_x , F_y , F_z) أثناء عملية التشغيل الميكانيكي، مثل: الخراطة، التفريز، الحفر وغيرها (الشكل.12.3) والشكل (13.3). يعتبر هذا النوع مفيد جدا في مجالات البحث العلمي والصناعي، خاصة في تحليل قوى القطع وفهم سلوك الأدوات والمواد. حيث توضح خصائصه في الجدول (7.3).

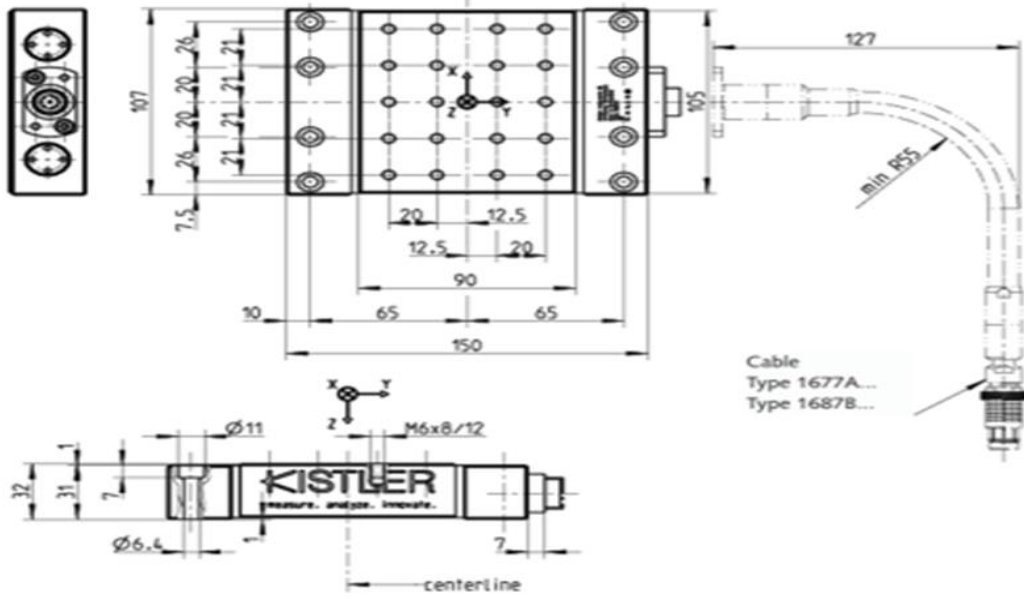
يتم توصيله مباشرة بمكبر الشحنة A5080 عبر مدخلات BNC، حيث يعمل الأخير على تحويل الإشارة ليتم تحليلها لاحقا بواسطة برنامج DynoWare أو تصديرها إلى Excel, MATLAB لتحليل القوى (F_x , F_y , F_z) ورسم الرسوم البيانية.



الشكل.3. 12. جهاز قياس قوى القطع.

الجدول.3.7. المواصفات التقنية لجهاز قياس قوى القطع.

الخاصية	القيمة/ النطاق
أقصى مدى قياس للقوى Fx, Fy, Fz	±10KN
أقصى مدى لعزوم الدوران Mx, My, Mz	±500N.m
نطاق القياس المعايير (%100)	0 à 10 KN
نطاق قياس جزئي (%10)	0 à 1 KN
نطاق قياس جزئي (%1)	0 à 0.1 KN
تحمل الحمل الزائد	حتى 20%
العتبة (Threshold)	أقل من 0.01 N
الحساسية Fx	≈ -8.1 pC/N
الحساسية Fy	≈ -4.1 pC/N
الحساسية Fz	≈ -8.1 pC/N
الخطية (Linearity)	≤ ± 0.3% FSO
التباطؤ (Hysteresis)	≤ ± 0.3% FSO
الاقتران (Crosstalk)	≤ ± 2%
الصلابة (Rigidity) cx, cz	≈ 1.000 N/μm
الصلابة (Rigidity) cy	≈ 4.000 N/μm
التردد الطبيعي (fn) x, z	≈ 3.5 kHz
التردد الطبيعي (fn) y	≈ 4.5 kHz
درجة حرارة التشغيل	0 à 70 C°
السعة الكهربائية (Capacitance)	≈ 180 pF
مقاومة العزل	> 10 ¹³ Ω
عزل التأريض (Ground Isolation)	> 10 ⁸ Ω
درجة الحماية (IP Rating)	IP67
الوزن الإجمالي	3.2 Kg
وزن الصفيحة العلوية	2 Kg
أبعاد السطح العلوي	90*105 mm
منفذ التوصيل	9-pin Ficher



الشكل.3. 13. رسم تخطيطي لجهاز قياس قوى القطع.

7.3 مكبر الشحنة متعدد القنوات:

مكبر الشحنة متعدد القنوات (من 1 إلى 8 قنوات Modular system) مصنع من طرف شركة KISTLER من النوع A5080 كما هو موضح في الشكل (14.3)، يستعمل لمراقبة القوى أثناء عملية القطع أو التشغيل من خلال المستشعرات الكهروضغطية، حيث يقوم بتضخيم الإشارة بشكل دقيق دون فقدان المعلومات. يتم توصيله في جهاز الحاسوب عن طريق واجهة Ethernet أو USB ليتمكن بعد ذلك من تحليل الإشارات LabVIEW أو MATLAB. يعد هذا الجهاز من الأدوات الأساسية في مراقبة العمليات الصناعية وتحسين دقتها، خاصة المجالات التي تتطلب قياسات دقيقة وفورية.



الشكل.3. 14. مكبر الشحنة متعدد القنوات.

8.3 بعض المعدات الأخرى:

- آلة تصوير رقمية من النوع (Nikon B700) لالتقاط صور مختلف المعدات المستخدمة.
- قدم قياس (Pied à coulisse) لقياس قطر القطعة وكذا ميزان لقياس وزنها.
- كرونومتر (Chronomètre) لقياس زمن التشغيل.
- لقد استخدمنا أيضا عدة برامج في هذه الدراسة، وهي:

. برنامج Minitab لتحديد عدد التجارب باستخدام طريقة تاغوشي (الشكل.15.3)، حيث ساعدنا في تصميم

المصفوفة التجريبية المناسبة وفقا للمعايير المحددة. كما سنستخدمه في تحليل النتائج لاحقا.

. برنامج Excel في تحليل النتائج.

The screenshot shows the Minitab interface for a Taguchi Plan. The summary table is as follows:

Récapitulatif du plan	
Tableau de Taguchi	L9(3 ³)
Facteurs :	3
Essais :	9

Columns in the repertoire L9(3³): 1 2 3

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	Vc	f	ap	Vc*f	Vc*ap	f*ap	Rz	MRR	Tc	Fx	GRG	RAPPORT SB1	MOYENNE1	RAPPORT SB2	MOYENNE2
1	251	0,08	1,0	20,106	251,33	0,08	6,375	16000	15,00	1,61	0,691977	-16,0896	6,375	84,082	16000
2	251	0,16	1,5	40,213	377,00	0,24	11,124	48000	7,50	5,62	0,507389	-20,9252	11,124	93,625	48000
3	251	0,24	2,0	60,319	502,66	0,48	15,419	96000	5,00	26,07	0,468521	-23,7611	15,419	99,645	96000
4	351	0,08	1,5	28,149	527,79	0,12	6,181	33600	10,71	7,51	0,704800	-15,8212	6,181	90,527	33600
5	351	0,16	2,0	56,298	703,72	0,32	10,677	89600	5,35	16,93	0,549282	-20,5690	10,677	99,046	89600
6	351	0,24	1,0	84,446	351,86	0,24	14,072	67200	3,57	11,58	0,505282	-22,9671	14,072	96,547	67200
7	501	0,08	2,0	40,132	1003,30	0,16	5,948	57600	7,50	14,65	0,747707	-15,4874	5,948	95,208	57600
8	501	0,16	1,0	80,264	501,65	0,16	10,252	57600	3,75	4,19	0,599378	-20,2162	10,252	95,208	57600
9	501	0,24	1,5	120,396	752,47	0,36	14,016	129600	2,50	5,20	0,662237	-22,9325	14,016	102,252	129600

الشكل.3. 15. واجهة برنامج Minitab.

9.3 خطوات التجربة:

من أجل دراسة تأثير شروط القطع على خشونة السطح وقوى القطع أثناء التشغيل في عملية الخراطة، تم اختيار ثلاثة عوامل: سرعة القطع (Vc)، التغذية (f) وعمق القطع (ap)، حيث أنه لكل عامل ثلاث مستويات كما هو موضح في الجدول (8.3):

الجدول.3. 8. قيم شروط القطع المنتقاة.

المستويات	سرعة القطع Vc	التغذية f	عمق القطع ap
المستوى الأول	251	0,08	1
المستوى الثاني	351	0,16	1,5
المستوى الثالث	501	0,24	2

1.9.3 تطبيق نظرية تاغوشي:

تُعد طريقة تاغوشي من أكثر الأساليب الإحصائية انتشاراً واستخداماً في تصميم التجارب وتحليل البيانات، حيث تتميز بقدرتها على تحسين العمليات وتقليل التكاليف مع المحافظة على دقة النتائج . تعتمد هذه الطريقة على استخدام المصفوفات المتعامدة لتنظيم التجارب بشكل فعال.

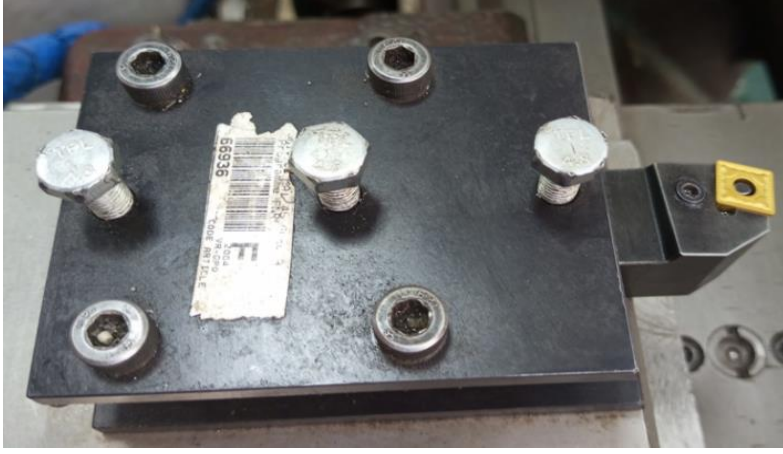
نظراً لوجود ثلاثة عوامل مدروسة (سرعة القطع، عمق القطع، والتغذية) وكل عامل يحتوي على ثلاثة مستويات وبالاعتماد على برنامج Minitab. تم اختيار المصفوفة المتعامدة (L9)، هذا الاختيار مكننا من تقليل عدد التجارب إلى 9 فقط بدلاً من إجراء جميع التجارب للتوفيقات الممكنة، مع ضمان شمولية التحليل ودقته. حيث أن الجدول (9.3) يمثل القيم التجريبية لتصميم تاغوشي (L9).

الجدول.3. 9. جدول توزيع القيم التجريبية لتاغوشي.

N°EXP	Vc (m/min)	f (mm/tr)	ap (mm)
1	251	0,08	1,0
2	251	0,16	1,5
3	251	0,24	2,0
4	351	0,08	1,5
5	351	0,16	2,0
6	351	0,24	1,0
7	501	0,08	2,0
8	501	0,16	1,0
9	501	0,24	1,5

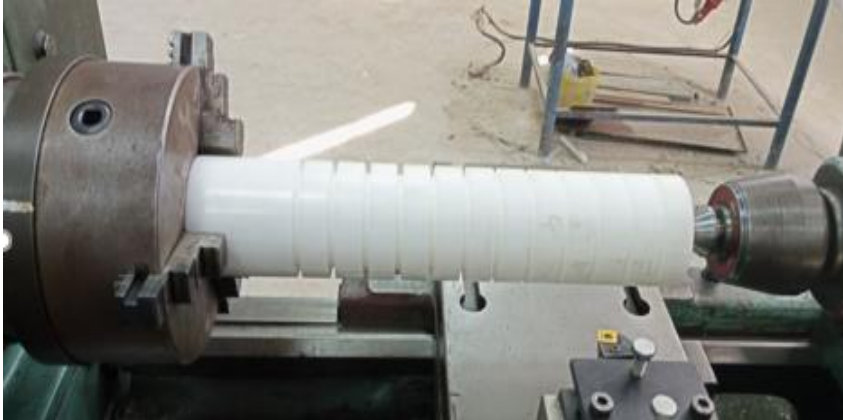
2.9.3 عملية الخراط الطولي:

- تثبيت الأداة: تُثبَّت أداة القطع في حامل الأدوات على المخرطة باستخدام براغي لضمان الثبات والدقة أثناء التشغيل، كما هو مبين في الشكل (16.3).



الشكل.3.16. تثبيت الأداة.

- تثبيت القطعة: تم تثبيت القطعة تثبيتا مزدوجا (تركيب مزدوج) باستخدام ظرف ثلاثي الفكوك من جهة، وسن الذنبة الدوارة من الجهة الأخرى لضمان ثباتها أثناء عملية الخراطة كما هو موضح في الشكل (17.3).



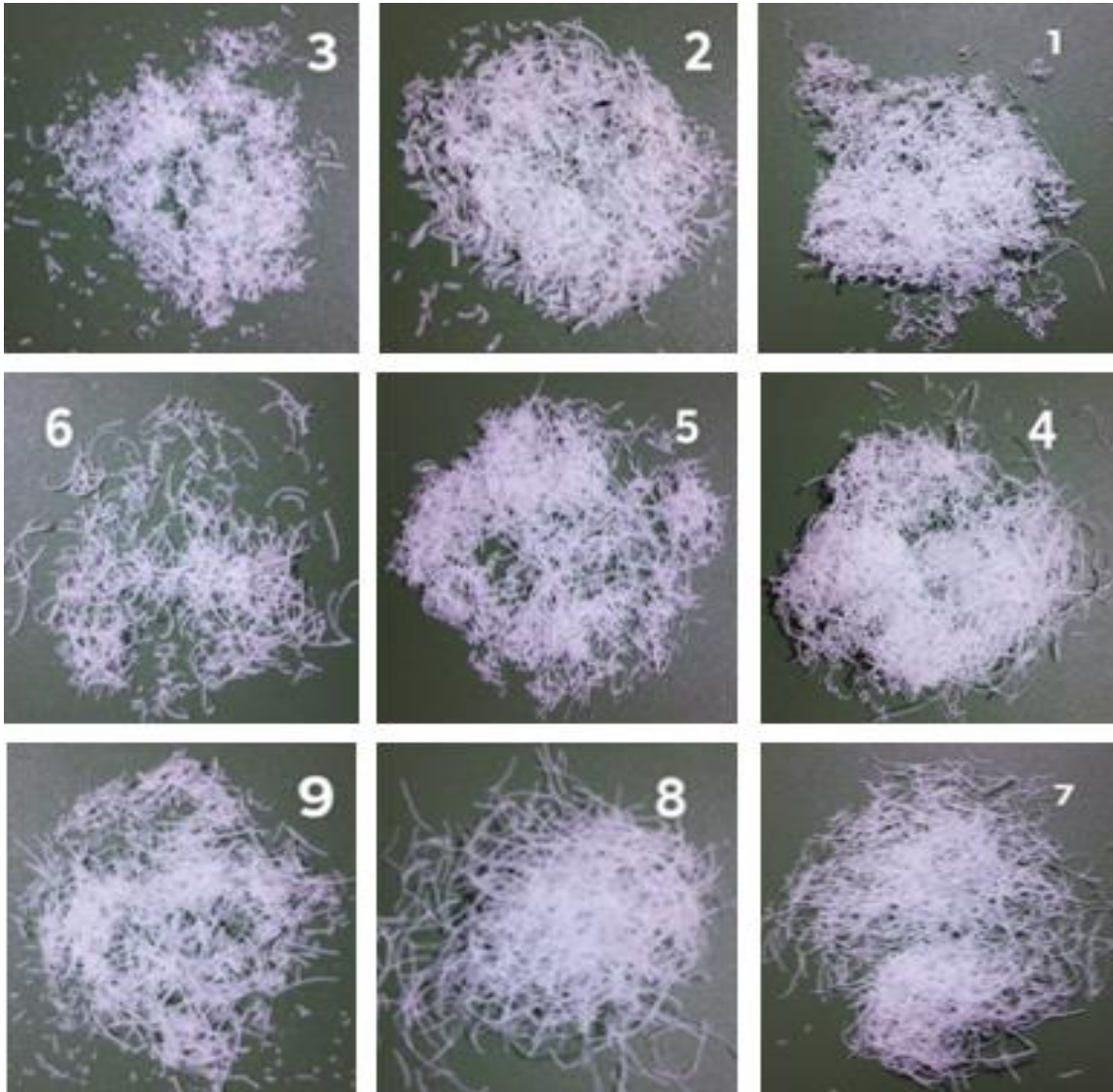
الشكل.3.17. تثبيت القطعة.

- الخراط الطولي: قمنا بتكرار عملية الخراط الطولي تسع مرات بشروط قطع مختلفة حيث يبلغ طول كل عينة 20mm (الشكل.3.18)، مع تسجيل قيم قوى القطع على المحور x (F_x).



الشكل.3. 18. عملية الخراط الطولي.

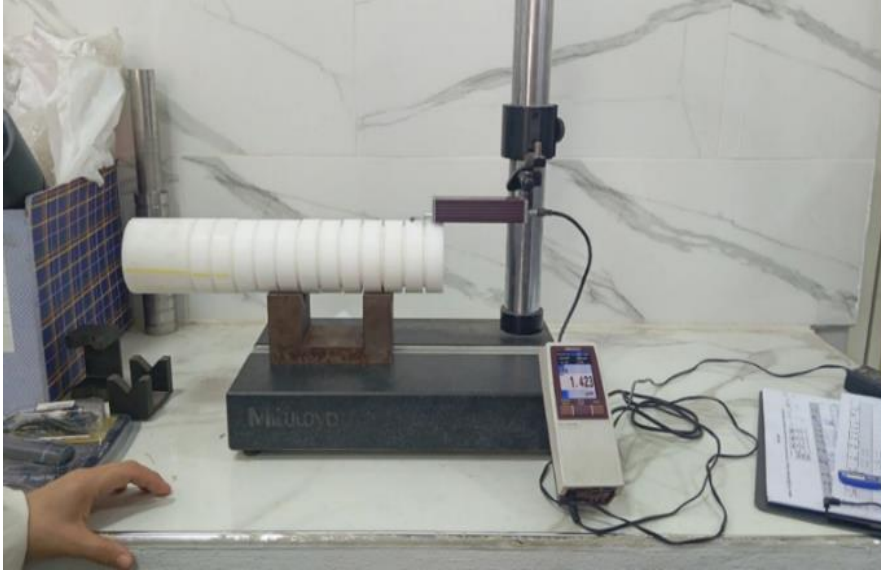
قمنا أيضا بملاحظة الرائش الناتج (الشكل.3.19)، كونه يوفر مؤشرا إضافيا على جودة السطح، حيث أنه يعكس استقرار عملية القطع وتأثير شروط التشغيل على الخشونة النهائية.



الشكل.3. 19. شكل الرائش الناتج.

3.9.3 قياس الخشونة Rz:

تم قياس الخشونة لكل عينة ثلاث مرات في أماكن مختلفة من أجل التأكد من صحة القياس، حيث يتم تثبيت القطعة كما هو موضح في الشكل (20.3)، ثم تقريب المجس الحساس حتى يلامس السطح والضغط على زر START لبدء القياس، ثم تسجيل قيم الخشونة المعروضة في الشاشة. حيث حصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (10.3).



الشكل.3. 20. قياس الخشونة.

الجدول.3. 10. نتائج قياس الخشونة المتوسطة Rz.

N°=essai	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3
1	6,312	6,407	6,406
2	11,087	11,154	11,130
3	15,398	15,421	15,438
4	6,176	6,187	6,180
5	10,672	10,689	10,671
6	14,081	14,068	14,067
7	5,942	5,954	5,947
8	10,260	10,242	10,254
9	14,003	14,040	14,005

10.3 قياس زمن التشغيل t_c:

أثناء القيام بعملية الخراطة، تم تسجيل فيديو لكل تجربة بهدف توثيق العملية بدقة. بعد الانتهاء من التجارب، تم إعادة مشاهدة الفيديوهات، وباستعمال الكرونومتر (Chronomètre) تم قياس زمن التشغيل لكل تجربة، حيث تم تشغيل الكرونومتر مباشرة عند بداية تلامس الأداة مع قطعة العمل، وإيقافه فور انتهاء التلامس. نظرا لصعوبة القياس المباشر أثناء التجربة.

11.3 قياس معدل إزالة المادة MRR:

نظرا لضيق الوقت، لم يكن بالإمكان قياس معدل إزالة المادة (MRR) تجريبيا، فذلك يستلزم تفكيك القطعة بعد كل تجربة من أجل وزنها وإعادتها وهو ما يتطلب وقتا إضافيا. لذلك تم الاعتماد على المعادلة النظرية (1.4) لحساب معدل إزالة المادة بطريقة غير مباشرة.

12.3 قياس القوة المحورية F_x:

تم استخدام جهاز قياس قوى القطع ثلاثي المحاور Kistler 9129AA لقياس القوة المحورية (F_x) أثناء عملية الخراطة. يتميز هذا الحساس بقدرته على قياس القوى في الاتجاهات الثلاثة (F_x, F_y, F_z) بدقة عالية. تم ربط الحساس بمكبر الشحنة متعدد القنوات Kistler A5080، والذي يقوم بتحويل الإشارات الكهربائية الصادرة من الحساس إلى إشارات قابلة للقراءة، كما هو موضح في الشكل (21.3). تم تسجيل وتحليل البيانات باستخدام برنامج DynoWare، الذي يتيح عرض القيم اللحظية للقوى وتخزينها بهدف المعالجة اللاحقة. تم تثبيت الحساس بين العينة وحامل الأداة لضمان التقاط القوة المحورية بشكل مباشر.



الشكل 21.3. قياس القوة المحورية F_x.

13.3 الخاتمة:

في هذا الفصل، تم تقديم وصف تفصيلي لمجريات التجربة المنجزة، بدءاً من ضبط شروط القطع، مروراً بتنفيذ العمليات، وصولاً إلى مرحلة القياس. قبل ذلك تم استعراض خصائص جميع الوسائل المستعملة، بما في ذلك آلة الخراطة وأداة الخرط الطولي، جهاز قياس الخشونة. ساهم هذا التوثيق الدقيق لمختلف الجوانب التجريبية في ضمان الحصول على قياسات موثوقة لكل من خشونة السطح، القوة الموازية المحورية وزمن التشغيل وكذا معدل إزالة المادة.

4 الفصل الرابع:

تحليل النتائج وتحسين

الاستجابة

1.4 المقدمة:

بعد تقديم الأسس النظرية والمفاهيم المرتبطة بطرق تحليل تأثير عوامل القطع على خشونة السطح، مثل طريقة تاغوشي، تحليل التباين (ANOVA)، تحليل الانحدار، نسبة الإشارة إلى الضوضاء، وتحليل العلاقة الرمادي في الفصل الثاني، يتم في هذا الفصل تطبيق هذه الأساليب على القيم التجريبية التي تم الحصول عليها من التجارب العملية. والتي تم وصفها بالتفصيل في الفصل الثاني. يهدف هذا الفصل إلى تقديم تحليل شامل ودقيق للنتائج باستخدام هذه الأدوات، مما يتيح استخراج المؤشرات الرئيسية التي تساعد على فهم العلاقة بين المتغيرات المدروسة (سرعة القطع، عمق القطع، والتغذية) وجودة السطح المقاسة من خلال خشونة السطح (Rz) ومعدل إزالة المادة (MRR) وكذا زمن التشغيل (tc) والقوة المحورية (Fx). بالإضافة إلى الاختيار الأمثل لشروط القطع من أجل تحسين الاستجابة.

سيتم استعراض الخطوات العملية لتطبيق هذه الطرق، وتفسير النتائج المستخلصة، مع التركيز على دقة التحليل ومصداقيته باستخدام البرامج المناسبة مثل: Minitab و Excel.

1.4 نتائج التجارب:

بعد تطبيق نظرية تاغوشي للحصول على عدد التجارب اللازمة لدراسة تأثير عوامل القطع على خشونة السطح ومعدل إزالة المادة وكذا على زمن التشغيل والقوة المحورية Fx، تحصلنا على المصفوفة L9 (تسع تجارب) وبعد القيام بالتجارب والقياسات اللازمة تم تسجيل النتائج في الجدول (1.4)، حيث أنه تم حساب قيم معدل إزالة المادة بالمعادلة (1.4):

$$MRR = Vc * f * ap \dots\dots\dots (1.4)$$

الجدول 1.4. نتائج التجارب.

N°=essai	Vc (m/min)	ap (mm)	f (mm/tr)	Rz moy (µm)	MRR (mm ³ /min)	Fx (N)	tc (s)
1	251	0,08	1,0	6,375	16000	1,61	15,00
2	251	0,16	1,5	11,124	48000	5,62	7,50
3	251	0,24	2,0	15,419	96000	26,07	5,00
4	351	0,08	1,5	6,181	33600	7,51	10,71
5	351	0,16	2,0	10,677	89600	16,93	5,35
6	351	0,24	1,0	14,072	67200	11,58	3,57
7	501	0,08	2,0	5,948	57600	14,65	7,50
8	501	0,16	1,0	10,252	57600	4,19	3,75
9	501	0,24	1,5	14,016	129600	5,20	2,50

نلاحظ من تحليل الجدول (1.4) أن قيم خشونة السطح Rz سجلت ضمن مجال من القيم يتراوح بين [5.948 إلى 15.419 μm]، كما أن قيم معدل إزالة المادة تتغير ضمن المجال [16000 إلى 129600 mm^3/min]، بالنسبة لقيم زمن التشغيل والقوة المحورية فإنها تتغير ضمن المجال [2.5 إلى 15] ثانية، [1.61 إلى 26.07] (N) على الترتيب.

2.4 تحليل نتائج خشونة السطح (Rz):

1.2.4 تحليل التباين (ANOVA):

يعرض الجدول (2.4) نتائج تحليل التباين لخشونة السطح، حيث أن الهدف هنا هو معرفة مدى تأثير شروط القطع على جودة السطح. يتضح من خلال الجدول أن للتغذية التأثير الأقوى على خشونة السطح ($P=0.001 < 0.05$)، أما بالنسبة لسرعة القطع وعمق القطع فلا يوجد تأثير قوي أو واضح على جودة السطح حيث أن قيمة P تفوق مستوى الدلالة 0.05. ويوضح أيضا نسبة تأثير كل عامل فنجد أن تأثير التغذية قوي جدا، حيث أن نسبة مشاركتها في التأثير على خشونة السطح تقدر بـ 98.37%، تليها سرعة القطع بتأثير لا بأس به (1.23%) مقارنة مع عمق القطع (0.28%).

الجدول 2.4. تحليل التباين لـ Rz.

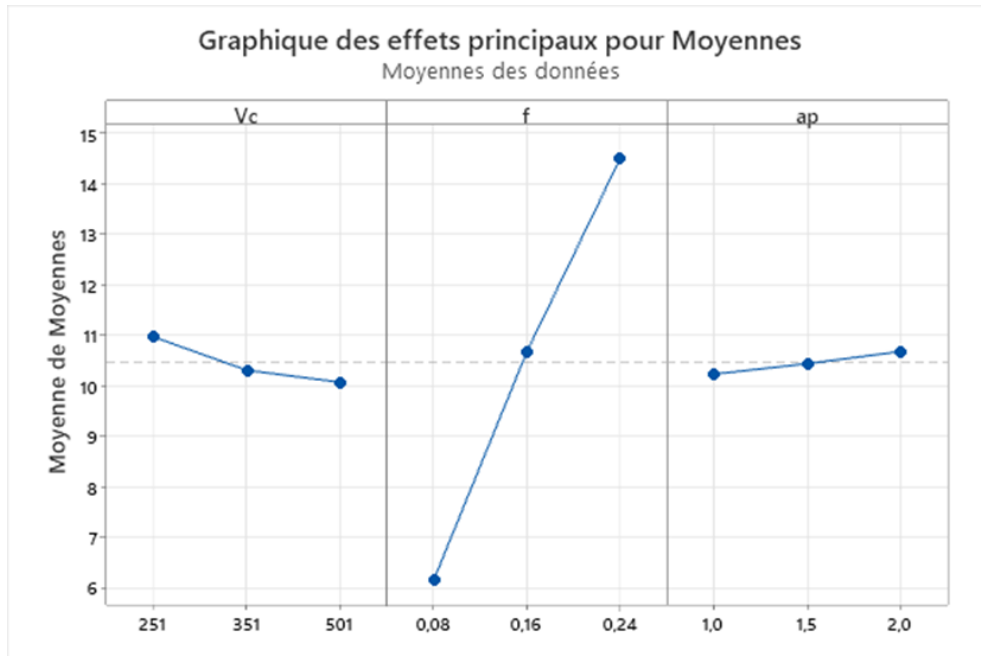
Source	DL	SomCar séq	Contribution	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Vc	2	1,307	1,23%	1,307	0,6535	10,49	0,087
f	2	104,436	98,37%	104,436	52,2178	837,94	0,001
ap	2	0,302	0,28%	0,302	0,1510	2,42	0,292
Erreur	2	0,125	0,12%	0,125	0,0623		
Total	8	106,169	100,00%				

2.2.4 الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية للمتوسط (Rz) ومخطط التفاعل لخشونة السطح:

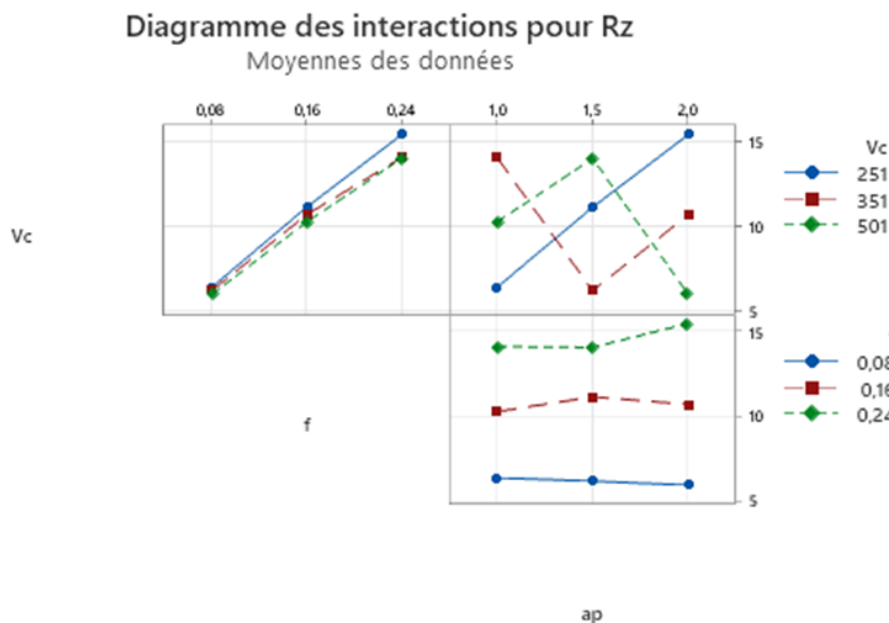
يظهر الشكل (1.4) التأثيرات الرئيسية لمتغيرات القطع على خشونة السطح، يبين تحليل الرسم أن للتغذية التأثير الأكبر نظرا لامتلاكها أكبر ميل للمنحنى، تليها سرعة القطع في المقابل فإن لعمق القطع تأثيرا ضعيفا على جودة السطح، وهذا ما تؤكدته نسبة تأثير كل عامل المسجلة في الجدول (2.4).

أما الشكل (2.4) فيعرض مخطط التفاعلات بين شروط القطع، فنلاحظ وجود تفاعل قوي بين سرعة القطع وعمق القطع، ومنه فإن تأثير أحد العاملين يتغير بتغير العامل الأخر. وأيضا بين Vc و f والذي يظهر أن التفاعل

طفيف إلى متوسط، بمعنى أنه لا يؤثر كل عامل منهم بشكل منفرد على خشونة السطح وإنما يتداخل تأثيرهما بدرجة محدودة، ومع ذلك فإن غياب التقاطع الواضح بين الخطوط يوحي بأن هذا التفاعل ليس قويا مقارنة مع (Vc و ap). أما بالنسبة للتغذية وعمق القطع فلا يوجد تفاعل مهم.



الشكل 4. 1. تأثير عوامل القطع على خشونة السطح.



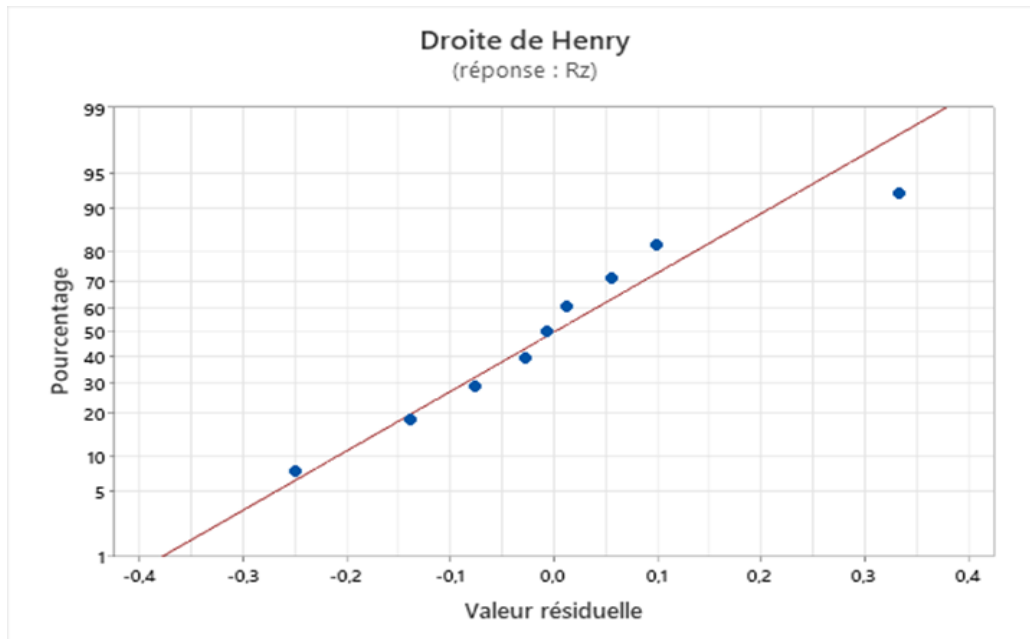
الشكل 4. 2. مخطط التفاعلات لـ Rz.

3.2.4 تحليل الانحدار لـ Rz:

تم التعبير عن العلاقة بين خشونة السطح والمتغيرات المستقلة المدروسة (Vc, f, ap) باستخدام نموذج رياضي خطي مع تضمين تأثير التداخل بين المتغيرات ($Vc*f, f*ap, Vc*ap$). يعطى هذا النموذج بالمعادلة (2.4) وقد تم التحقق من جودته من خلال معامل الارتباط أو ما يسمى بقيمة التحديد (99.80%).

$$Rz = 0,97 + 0,00471 Vc + 49,07 f + 1,21 ap - 0,0107 Vc*f - 0,00393 Vc*ap + 3,67 f*ap \quad (2.4)$$

يوضح الشكل (3.4) الفرق بين القيم المقاسة والقيم المتوقعة لخشونة السطح من خلال الرسم البياني للاحتمالية هنري، حيث أنه يبين التقارب بين القيم المتوقعة والقيم التجريبية مما يدل على دقة النموذج الخطي المستخدم.



الشكل 3.4. الرسم البياني للاحتمالية هنري لـ Rz.

3.4 تحليل نتائج معدل إزالة المادة MRR:

1.3.4 تحليل التباين لـ MRR:

يعرض الجدول (3.4) نتائج تحليل التباين لمعدل إزالة الراتش، حيث أن قيم P توضح أنه لا يوجد تأثير معنوي واضح لشروط القطع على معدل إزالة المادة (قيم P تفوق 0.05)، إلا أن لتغذية التأثير الأكبر بنسبة تتجاوز 60% يليها عمق القطع (19.22%) ثم سرعة القطع (12.93%).

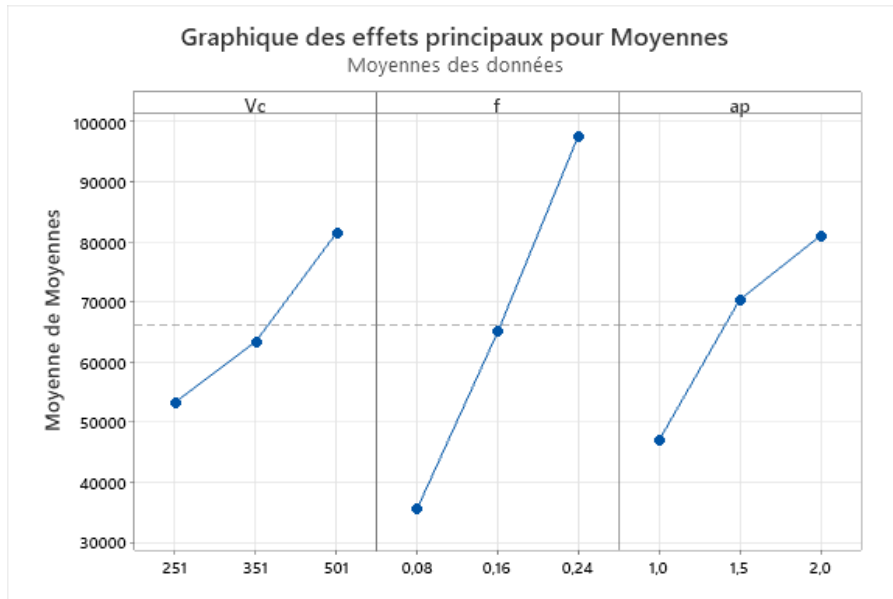
الجدول 4.3. تحليل التباين لـ MRR.

Source	DL	SomCar ajust	Contribution	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Vc	2	1230506667	12,93%	1230506667	615253333	1,73	0,366
f	2	5746346667	60,37%	5746346667	2873173333	8,07	0,110
ap	2	1829546667	19,22%	1829546667	914773333	2,57	0,280
Erreur	2	711680000	7,48%	711680000	355840000		
Total	8	9518080000	100,00%				

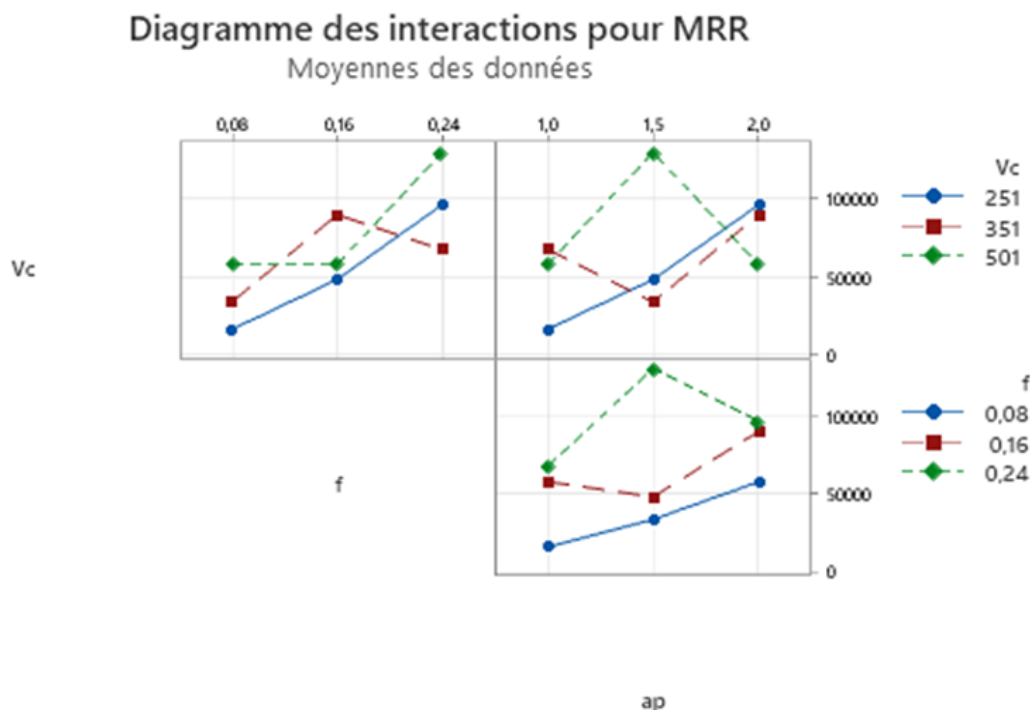
2.3.4 الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية لـ (MRR) ومخطط التفاعل:

يظهر الشكل (4.4) التأثيرات الرئيسية لمتغيرات القطع على معدل إزالة الرأش، فنلاحظ أن التأثير الأكبر يعود للتغذية، حيث يظهر أكبر ميل على منحنى المتوسط، مما يدل على أن التغيير في قيم للتغذية يحدث فرقا ملحوظا في معدل إزالة المادة. في المقابل، فإن كلا من سرعة القطع (Vc) وعمق القطع (ap) لهما تأثيرا أقل نسبيا (مليون متقاربين)، مما يشير إلى أن تأثيرهما على MRR موجود لكنه ليس بالقوة التي يظهرها عامل التغذية.

يظهر الشكل (5.4) مخطط التفاعلات لمعدل إزالة المادة، فنلاحظ وجود تفاعل واضح بين كل من سرعة القطع (Vc) وعمق القطع (ap) وكذلك بين (Vc) والتغذية (f)، حيث تتقاطع الخطوط مما يدل على أن تأثير أحد العاملين على MRR يتغير حسب مستوى العامل الآخر. أما بالنسبة للتفاعل بين f و ap، فلا يظهر تقاطع بين الخطوط، لكنها أيضا ليست متوازية، مما يشير لعدم وجود تفاعل مهم (ضعيف جدا)، لا يعتبر ذا دلالة كبيرة.



الشكل 4.4. تأثير عوامل القطع على معدل إزالة المادة.



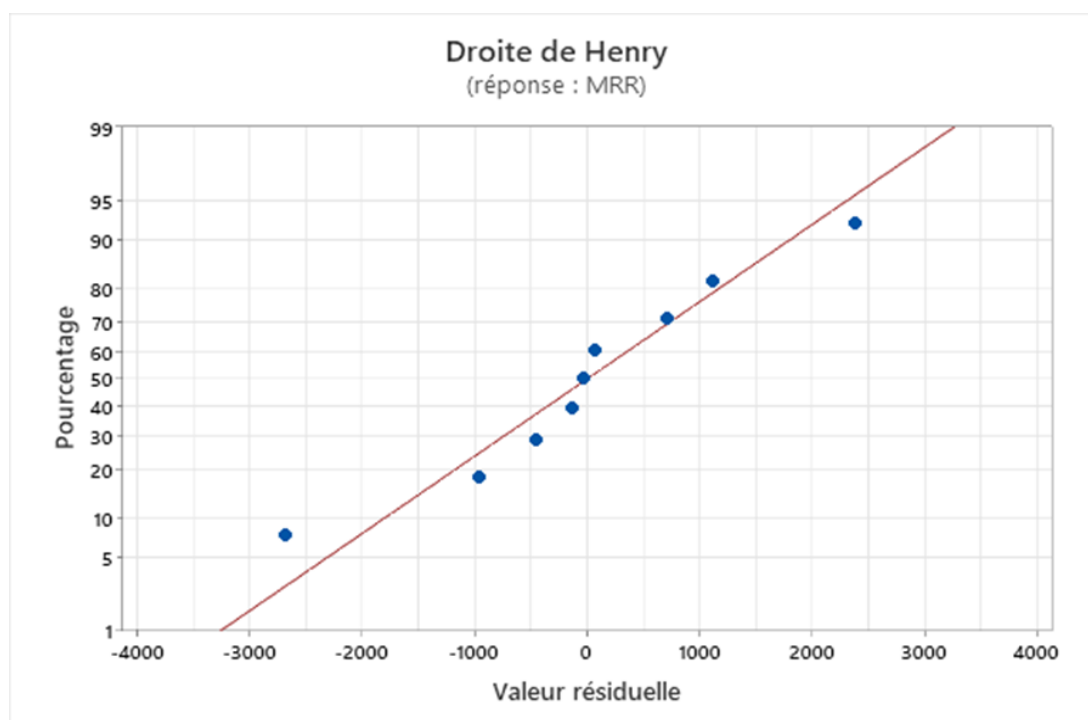
الشكل 4. 5. مخطط التفاعلات لـ MRR.

3.3.4 تحليل الانحدار لـ MRR:

تم الاعتماد على نموذج رياضي خطي لوصف العلاقة بين معدل إزالة المادة (MRR) والعوامل المدرسة (V_c , f , ap)، إلى جانب تأثيرات التفاعل بينها. صيغة هذا النموذج موضحة في المعادلة (3.4) وتم تقييم جودته من خلال معامل التحديد (R^2)، الذي بلغت قيمته 99.83%، مما يشير إلى قدرته العالية في تمثيل سلوك المتغيرات ضمن المجال التجريبي المدروس.

$$MRR = 15882 - 148,3 V_c - 295339 f + 12569 ap + 1384 V_c * f + 39,6 V_c * ap + 124568 f * ap \quad (3.4)$$

يمثل الشكل (6.4) مقارنة بين القيم المحسوبة باستخدام النموذج الرياضي والقيم التجريبية المحسوبة من العلاقة المعتمدة، حيث يظهر تقارباً ملحوظاً بينهما، مما يعكس دقة النموذج في تمثيل الظاهرة.



الشكل 4.6. الرسم البياني لاحتتمالية هنري لـ MRR.

4.4 تحليل نتائج زمن التشغيل tc:

1.4.4 تحليل التباين لـ tc:

يعرض الجدول (4.4) نتائج حساب قيم P وذلك من أجل التحقق من مدى تأثير شروط القطع على زمن التشغيل، حيث نلاحظ أن للتغذية تأثير معنوي واضح ($P=0.037 < 0.05$) وذلك بنسبة 69.66%. أما سرعة القطع فليس لها تأثير معنوي واضح إلا أن تأثيرها أقوى من عمق القطع نظرا للتفاوت في قيمة P.

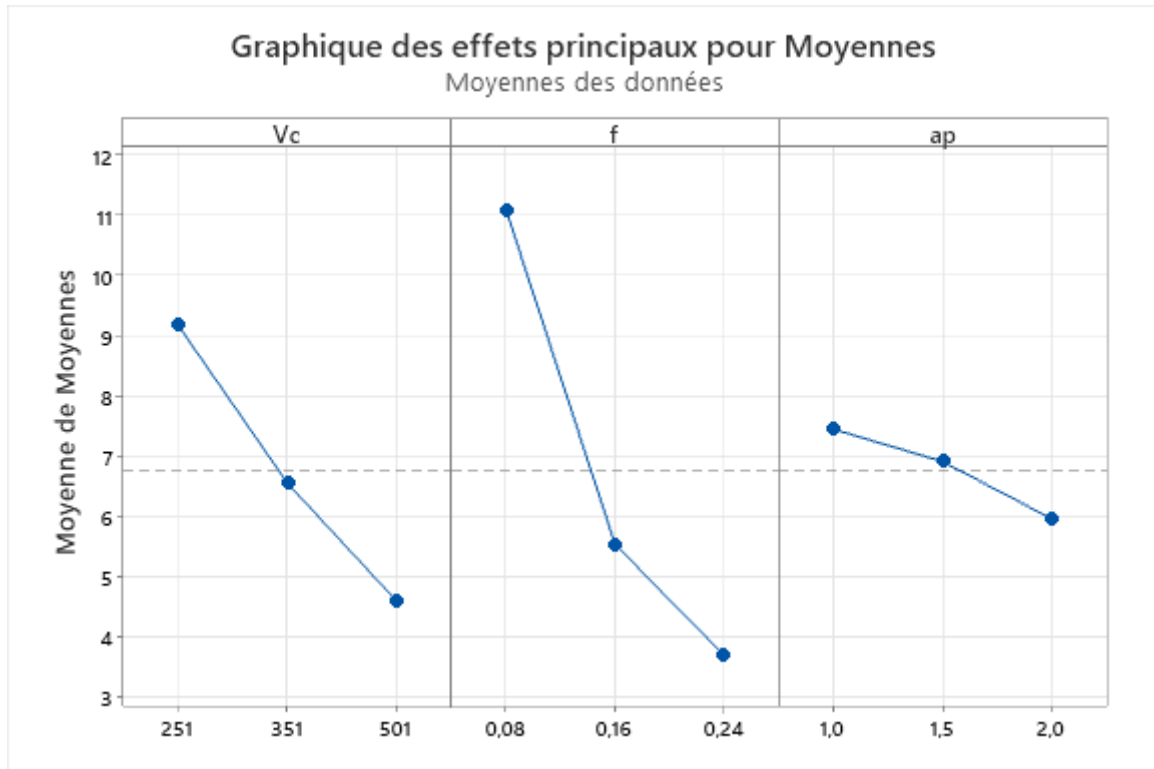
الجدول 4.4. تحليل التباين لـ Tc.

Source	DL	SomCar ajust	Contribution	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Vc	2	31,730	24,97%	31,730	15,865	9,33	0,097
f	2	88,517	69,66%	88,517	44,258	26,03	0,037
ap	2	3,417	2,69%	3,417	1,708	1,00	0,499
Erreur	2	3,400	2,68%	3,400	1,700		
Total	8	127,065	100,00%				

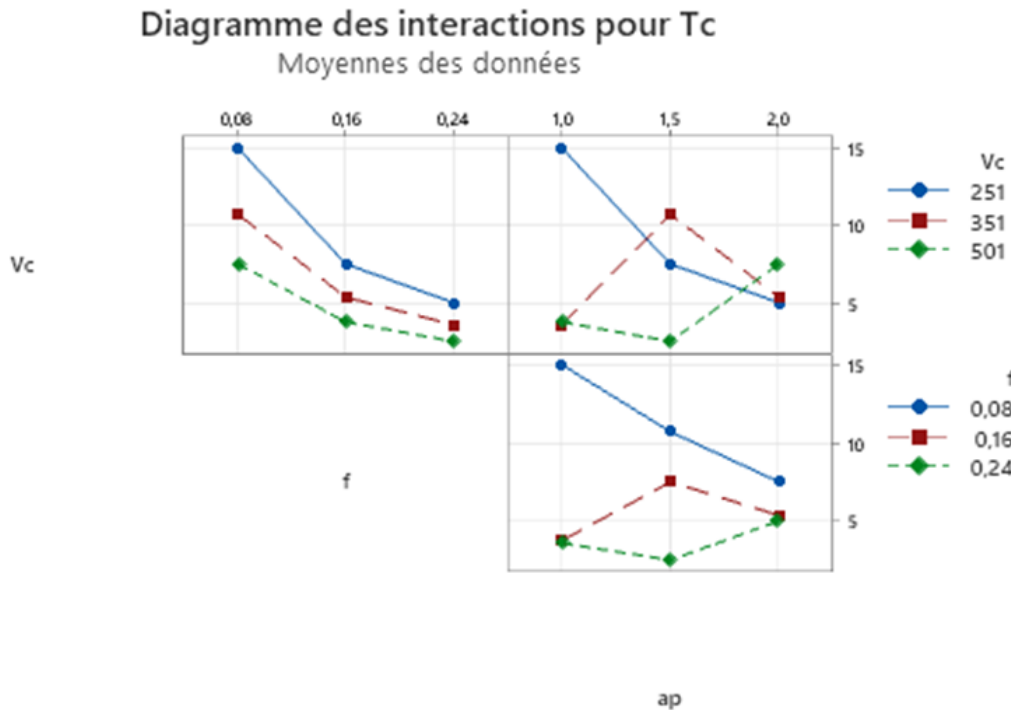
2.4.4 الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية لـ (tc) ومخطط التفاعل:

يظهر الشكل (7.4) التأثيرات الرئيسية على زمن التشغيل (tc)، حيث أن للتغذية التأثير الأكبر على زمن التشغيل، حيث يتميز منحناها بأكثر ميل. في المقابل، يُظهر أن سرعة القطع لها تأثير متوسط، بينما يعتبر تأثير عمق القطع هو الأضعف، بالنظر إلى ميل منحناه. هذا التفاوت في الميلان يعكس اختلاف مساهمة كل عامل في التأثير على tc.

يوضح الشكل (8.4) مخطط التفاعلات لزمن التشغيل. بالنسبة للتفاعل بين سرعة القطع (Vc) والتغذية (f)، لم يُلاحظ أي تقاطع بين المنحنيات، كما أن ميلها متقارب، مما يشير لغياب تأثير تفاعلي واضح بين هذين العاملين. أما التفاعل بين سرعة القطع (Vc) وعمق القطع (ap) فيظهر تقاطع بين المنحنيات مما يدل على وجود تفاعل مؤثر بينهم. وفيما يخص التفاعل بين التغذية (f) وعمق القطع (ap)، فلا يظهر تقاطع مباشر، غير أن اثنين من المنحنيات متقاربة في نقطتين بشكل كبير مع غياب التوازي، ما قد يعكس وجود تفاعل ضعيف أو غير منتظم بين هذين المتغيرين.



الشكل 4.7. تأثير العوامل الرئيسية على زمن التشغيل.



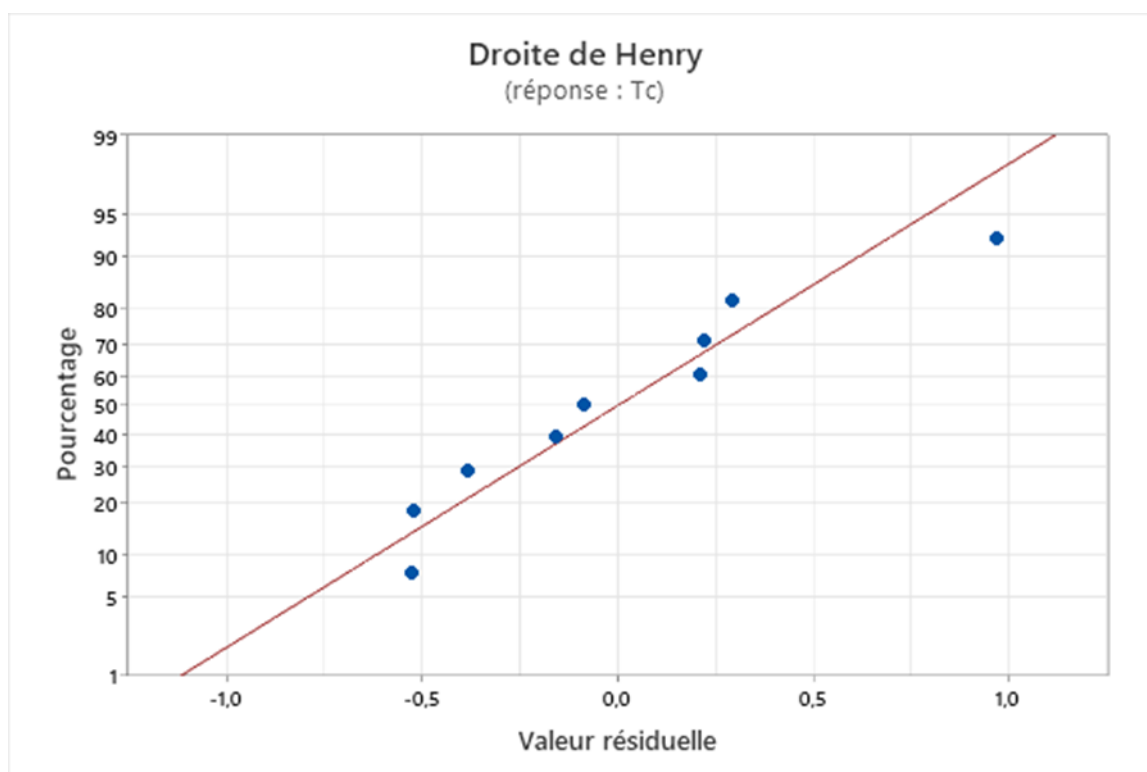
الشكل 4.8. مخطط التفاعلات لـ tc.

3.4.4 تحليل الانحدار لـ tc:

تم التعبير عن العلاقة بين زمن التشغيل والمتغيرات الثلاثة المدروسة من خلال نموذج خطي رياضي يأخذ بعين الاعتبار تأثير التداخلات الثنائية بين العوامل ($Vc * Vc, f * f, ap * ap$) كما هو موضح في المعادلة (4.4). تشير النتائج إلى أن معامل التحديد R^2 بلغ 98.54%، ما يدل على جودة مطابقة النموذج للبيانات التجريبية.

$$tc = 45,75 - 0,0527 Vc - 99,5 f - 20,37 ap - 0,0193 Vc * f + 0,0301 Vc * ap + 47,6 f * ap \quad (4.4)$$

يعرض الشكل (10.4) الفرق بين القيم التجريبية والقيم المتوقعة لزمن التشغيل، حيث يظهر الرسم أن النقاط تتوزع بشكل قريب من الخط المرجعي، ما يدل على تقارب جيد بين القيم التجريبية والقيم المحسوبة بواسطة النموذج.



الشكل.4. 9. الرسم البياني لاحتتمالية هنري لـ tc.

5.4 تحليل نتائج القوة المحورية Fx:

1.5.4 تحليل التباين لـ Fx:

يوضح الجدول (5.4) مدى تأثير كل من عوامل القطع المدروسة على القوة المحورية من خلال حساب قيمة الاحتمالية p ومقارنتها مع مستوى الدلالة، ويظهر أيضا نسبة تأثير كل عامل على Fx ، حيث توضح النتائج أنه لا يوجد تأثير معنوي واضح وذلك لأن جميع قيم p تفوق مستوى الدلالة 0.05 ، إلا أن التأثير البالغ يعود لعمق القطع بنسبة $73,09\%$ تليه التغذية 14.59% ، ليكون تأثير سرعة القطع 5.46% هو الأضعف.

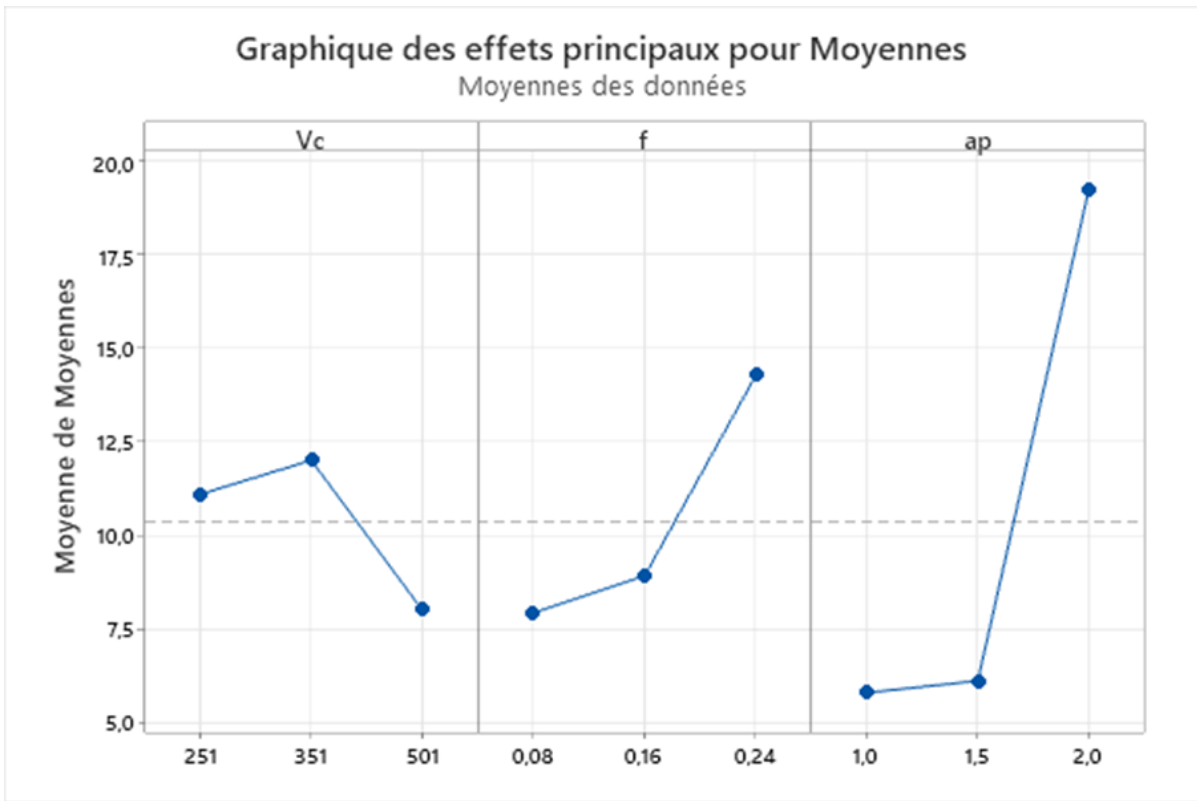
الجدول.4. 5. تحليل التباين لـ Fx.

Source	DL	SomCar séq	Contribution	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Vc	2	26,30	5,46%	26,30	13,15	0,80	0,557
f	2	70,27	14,59%	70,27	35,13	2,12	0,320
ap	2	352,07	73,09%	352,07	176,04	10,65	0,086
Erreur	2	33,07	6,87%	33,07	16,54		
Total	8	481,71	100,00%				

2.5.4 الرسم البياني للتأثيرات الرئيسية للمتوسط (Fx) ومخطط التفاعل:

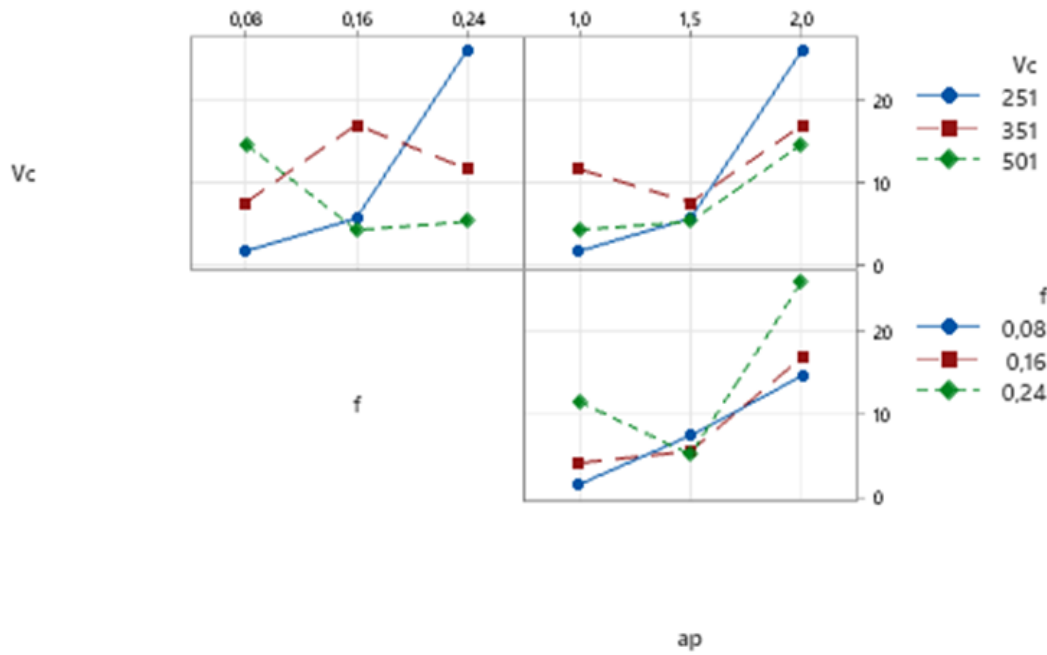
يظهر الشكل (10.4) التأثيرات الرئيسية للعوامل القطع على القوة المحورية (Fx)، نلاحظ أن لعمق القطع التأثير الأكبر على القوة المحورية، إذ أن زيادته تؤدي إلى ارتفاع واضح في قيمة Fx. لتأتي التغذية وسرعة القطع بتأثير متقارب نسبياً، مما يدل على أن تأثيرها أقل حدة من عمق القطع لكنه لا يزال واضحاً.

يعرض الشكل (11.4) مخطط التفاعلات لـ Fx، حيث أنه يظهر بوضوح وجود تداخلات بين المنحنيات الممثلة للعوامل (تقاطع المنحنيات)، مما يشير إلى أن تأثير أحد العوامل على القوة المحورية لا يكون مستقلاً، بل يتغير تبعاً لمستوى العامل الآخر.



الشكل 4. 10. تأثير العوامل الرئيسية على Fx.

Diagramme des interactions pour Fx
Moyennes des données



الشكل 4.11. مخطط التفاعلات لـ Fx.

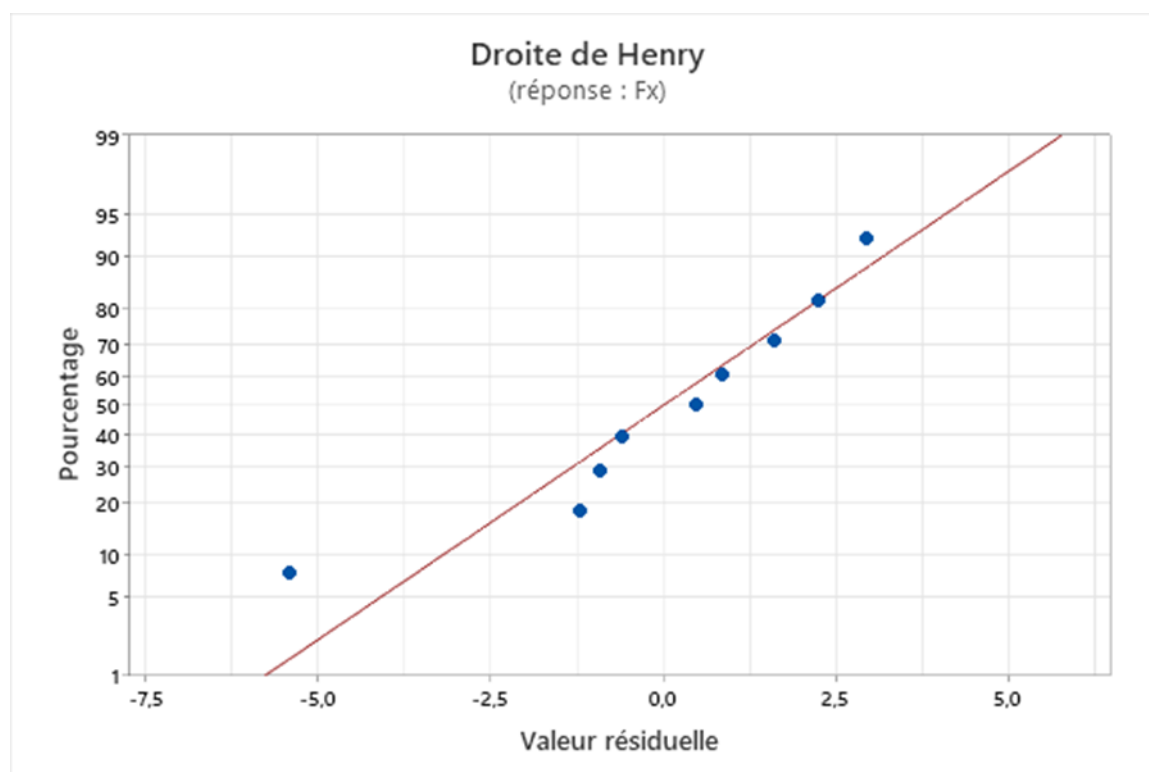
3.5.4 تحليل الانحدار لـ Fx:

تم التعبير عن العلاقة بين خشونة السطح والمتغيرات المستقلة المدروسة باستخدام نموذج رياضي خطي مع تضمين تأثير التداخل بين المتغيرات. يعطى هذا النموذج بالمعادلة (5.4) وقد تم التحقق من جودته من خلال معامل الارتباط حيث بلغت قيمته 89.75%.

$$F_x = -21,8 + 0,0718 V_c + 205 f - 7,5 ap - 0,648 V_c * f + 0,0172 V_c * ap + 53 \quad (5.4)$$

$$f * ap$$

يعرض الشكل (12.4) توزيع القيم التجريبية للقوة المحورية، حيث يظهر أن النقاط تتوزع بشكل قريب من الخط المرجعي، مما يؤكد صلاحية النموذج الاحصائي المتبع.



الشكل.4. 12. الرسم البياني لاحتمالية هنري لـ Fx.

6.4 تحسين الاستجابة بطريقة تاغوشي (أحادية الهدف):

عند تصنيع القطع يكون الهدف الحصول على جودة عالية مع أكبر إنتاجية ممكنة، الهدف هنا هو تحسين خشونة السطح (Rz)، معدل إزالة المادة (MRR)، زمن التشغيل (tc) وكذا القوة المحورية (Fx) نواتج التشغيل الجاف لمادة POMC، وذلك وفقا لتغيرات معاملات القطع (Vc, f, ap)، تم استخدام مصفوفة تاغوشي المتعامدة L9، حيث يمثل الجدول (6.4) نتائج حساب نسبة الإشارة الى الضوضاء (RAPPORT SB) لكل استجابة.

الجدول.4. 6. نتائج حساب نسبة الإشارة الى الضوضاء.

N°=essai	Rz	MRR	tc	Fx	S/B Rz	S/B MRR	S/B tc	S/B Fx
1	6,375	16000	15,00	1,61	-16,0896	84,082	-23,5218	-4,1365
2	11,124	48000	7,50	5,62	-20,9252	93,625	-17,5012	-14,9947
3	15,419	96000	5,00	26,07	-23,7611	99,645	-13,9794	-28,3228
4	6,181	33600	10,71	7,51	-15,8212	90,527	-20,5958	-17,5128
5	10,677	89600	5,35	16,93	-20,5690	99,046	-14,5671	-24,5731
6	14,072	67200	3,57	11,58	-22,9671	96,547	-11,0534	-21,2742
7	5,948	57600	7,50	14,65	-15,4874	95,208	-17,5012	-23,3168
8	10,252	57600	3,75	4,19	-20,2162	95,208	-11,4806	-12,4443
9	14,016	129600	2,50	5,20	-22,9325	102,252	-7,9588	-14,3201

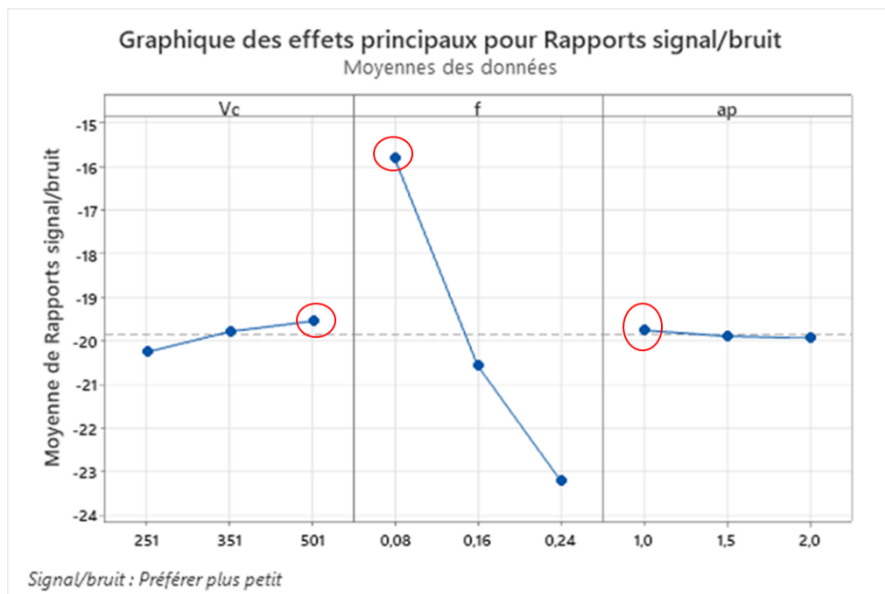
1.6.4 الشروط المثلى لـ R_Z:

يتم حساب النسبة S/N باستخدام معيار الأصغر هو الأفضل الموضح في المعادلة (7.2) وذلك بالاعتماد على برنامج Minitab. انطلاقاً من قيم النسبة S/N يتم حساب Delta لتحديد العامل الأكثر تأثيراً على خشونة السطح، والمستوى الأحسن لكل عامل، كما هو موضح في الجدول (7.4):

الجدول 4.7. المستويات المثلى لـ R_Z.

Niveau	Vc	F	ap
1	-20,26	-15,80	-19,76
2	-19,79	-20,57	-19,89
3	-19,55	-23,22	-19,94
Delta	0,71	7,42	0,18
Rang	2	1	3

يوضح الجدول (7.4) أن العامل الأكثر تأثيراً على خشونة سطح (R_Z) هو التغذية (f)، تليها سرعة القطع (V_c)، ثم نجد في الأخير العامل الأقل تأثيراً من بين الثلاثة عوامل وهو عمق القطع (a_p)، وهي نفس النتائج التي أظهرها تحليل التباين (ANOVA) المبين في الجدول 2.4. وفقاً لمنهجية تاغوشي، وبالضبط تحليل نسبة الإشارة إلى الضوضاء فإنه يمكننا تحديد المستوى الأمثل لكل عامل والذي من خلاله يمكن الحصول على أقل خشونة. من خلال الجدول 7.4 فإن الشروط المثلى لتحقيق أقل خشونة سطح (R_Z) تحدد من خلال تركيبة المستويات (V_c3, f1, a_p1). وهذا يعني أن تقليل الخشونة يستلزم استخدام نظام القطع الأفضل التالي: V_c=501m/min, f=0.08mm/tr و a_p=1mm. وقد تم تمثيل عوامل التشغيل المثلى بدوائر في الشكل (13.4).



الشكل 4.13. عوامل التشغيل المثلى لخشونة السطح.

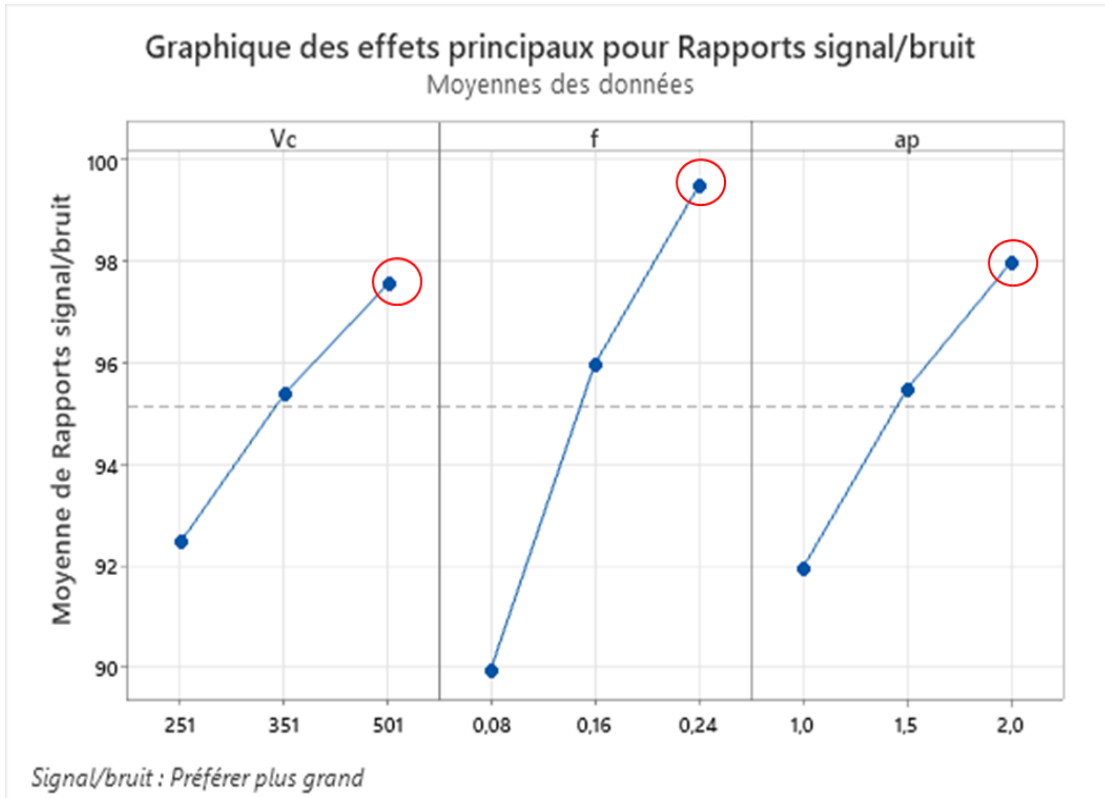
2.6.4 الشروط المثلى لـ MRR:

يتم حساب نسبة الإشارة الى الضوضاء باستعمال معيار الأفضل هو الأكبر من خلال المعادلة (10.2)، ليتم بعدها حساب قيم Delta لتحديد العامل الأكثر تأثيرا والمستوى الأمثل كما هو مبين في الجدول (8.4).

الجدول 4. 8. المستويات المثلى لـ MRR.

Niveau	Vc	f	Ap
1	92,45	89,94	91,95
2	95,37	95,96	95,47
3	97,56	99,48	97,97
Delta	5,11	9,54	6,02
Rang	3	1	2

من خلال الجدول (8.4) يمكن تحديد المستويات الأمثل للحصول على أكبر قيمة لمعدل إزالة المادة حيث يعتبر المستوى الثالث هو الأفضل للعوامل الثلاثة، وهذا يعني أن القيم $Vc=501m/min$ ، $f=0.24mm/tr$ و $ap=2mm$ هي القيم المثلى كما هو موضح في الشكل (14.4).



الشكل 4. 14. عوامل التشغيل المثلى لمعدل إزالة المادة.

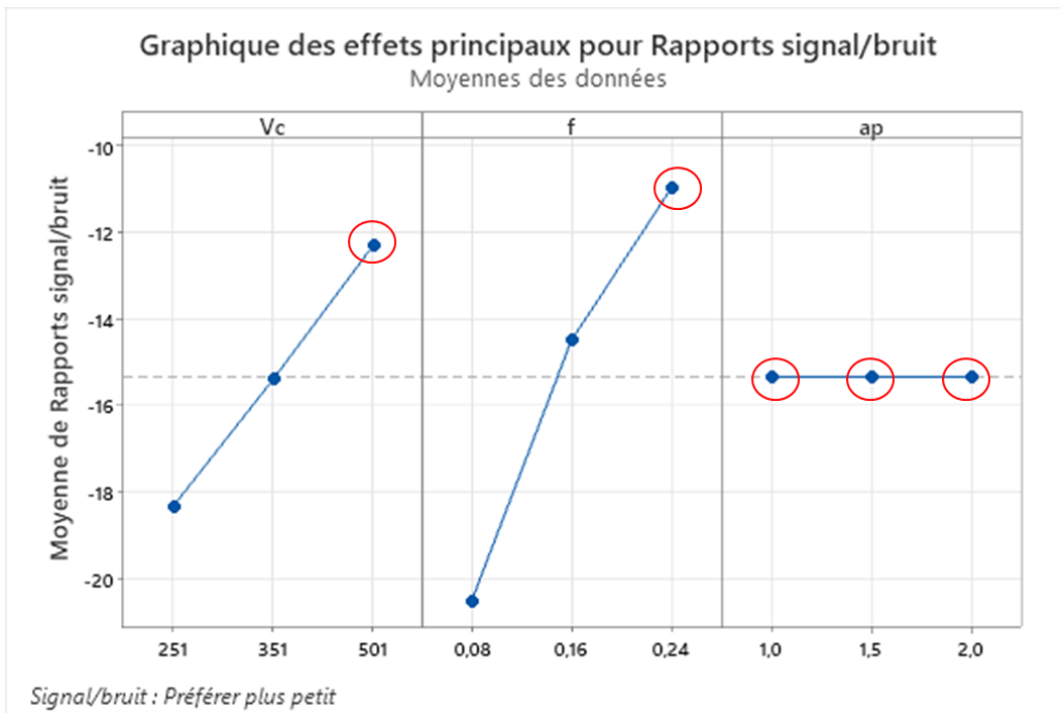
3.6.4 الشروط المثلى لـ tc :

تم الاعتماد على معيار الأصغر هو الأفضل لحساب نسبة الإشارة الى الضوضاء، ثم احتسبت قيم Delta لتحديد العامل الأهم والمستوى الأمثل، كما هو موضح في الجدول (9.4).

الجدول 9.4. المستويات المثلى لـ Tc .

Niveau	Vc	f	ap
1	-18,33	-20,54	-15,35
2	-15,41	-14,52	-15,35
3	-12,31	-11,00	-15,35
Delta	6,02	9,54	0,00
Rang	2	1	3

يوضح الجدول (9.4) المستويات المثلى من أجل الحصول على أقل زمن تشغيل. فنجد أن المستوى الثالث لكل من سرعة القطع والتغذية يحققان أفضل زمن ممكن، أما بالنسبة لعمق القطع فجميع المستويات تحقق نفس النتيجة، فنجد أن التوليفات الممكنة هي: $(Vc3, f3, ap1)$ ، $(Vc3, f3, ap2)$ ، وأخيرا $(Vc3, f3, ap3)$ بالقيم $(ap=1.5mm$ و $f=0.24mm/tr$ ، $Vc=501m/min$)، $(ap=1mm$ و $f=0.24mm/tr$ ، $Vc=501m/min$) و $(ap=2mm$ و $f=0.24mm/tr$ ، $Vc=501m/min$) على الترتيب، كما هو موضح بدوائر في الشكل (15.4).



الشكل 15.4. عوامل التشغيل المثلى لزمن التشغيل.

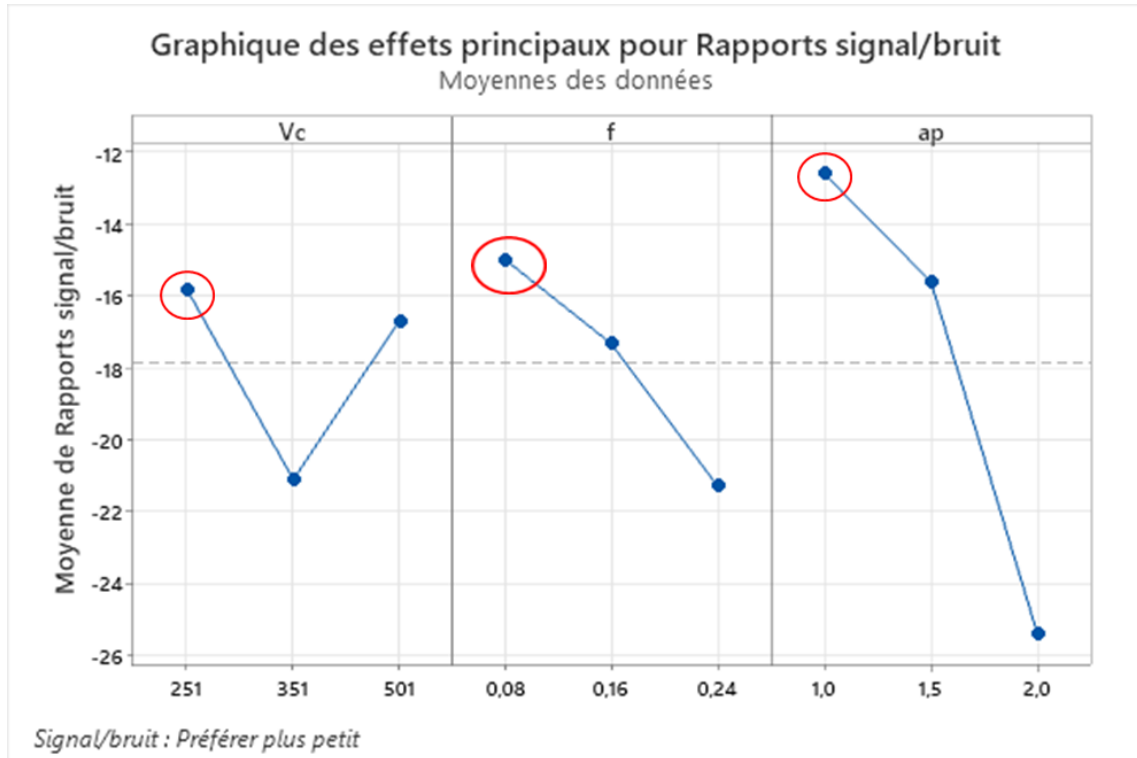
4.6.4 الشروط المثلى لـ Fx:

يعرض الجدول (10.4) قيم Delta التي تمكن من تحديد العامل الأكثر تأثيرا والمستوى الأمثل وذلك بعد حساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء باستخدام معيار الأصغر هو الأفضل.

الجدول 4.10. المستويات المثلى لـ Fx.

Niveau	Vc	F	ap
1	-15,82	-14,99	-12,62
2	-21,12	-17,34	-15,61
3	-16,69	-21,31	-25,40
Delta	5,30	6,32	12,79
Rang	3	2	1

من خلال الجدول (10.4) يمكن استخراج المستويات المثلى للحصول على أقل قيمة ممكنة للقوة محورية، حيث أن المستوى الأول لكل من العوامل الثلاثة هو الذي يحقق المبتغى بالتوليفة التالية: $Vc=251m/min$ ، $f=0.08mm/tr$ و $ap=1mm$ (موضحة بدوائر في الشكل 16.4).



الشكل 4.16. عوامل التشغيل المثلى للقوة المحورية Fx.

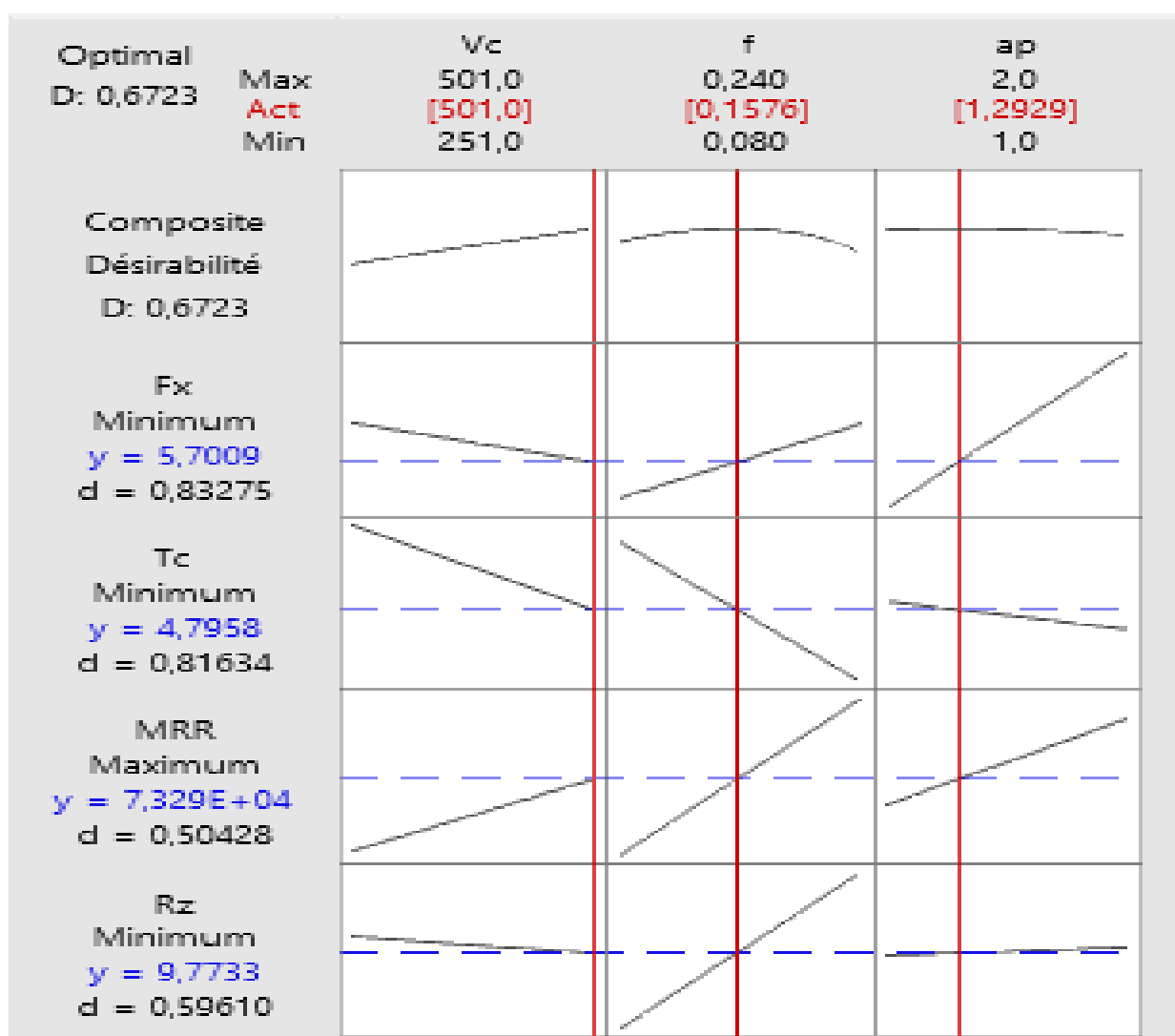
7.4 تحسين الاستجابة بدالة الرغبة متعددة الأهداف (La fonction de désirabilité):

الهدف هنا هو تحسين جميع الاستجابات معا بشكل متزامن، حيث تم استعمال الأصغر هو الأفضل (Minimiser) لكل من خشونة السطح، زمن التشغيل والقوة المحورية Fx، والأكبر هو الأفضل (Maximiser) بالنسبة لمعدل إزالة المادة.

يمثل الجدول (11.4) الحل المقترح لأحسن استجابة شاملة مصحوبة برسم بياني توضيحي (الشكل.17.4).

الجدول.4. 11. الحل المقترح.

Solution	Vc	f	ap	Rz	MRR	tc	Fx	Désirabilité
1	501	0,157576	1,29293	9,7733	73286	4.796	5.7009	0,672347



الشكل.4. 17. منحني دالة الرغبة للمعاملات المثلى.

8.4 تحسين الاستجابة بالعلاقة الرمادي (GRA) متعددة الاستجابات:

تحليل العلاقة الرمادي هو أداة إحصائية لدراسة الترابط بين المتغيرات وتفسير تأثيرها على النتائج. بعد أن تم تحديد عدد التجارب من خلال نظرية تاغوشي والقيام بالعمليات والقياسات المناسبة، تحصلنا على قيم خشونة

السطح وكذلك قيم معدل إزالة المادة لكل تجربة. باستعمال برنامج Excel لتسهيل عمليات الحساب قمنا بما يلي:

1 . تطبيع أو توحيد القيم (Normalisation) لكل R_a ، t_c ، F_x ، و MRR لجعلها محصورة بين 0 و 1 وذلك من خلال المعادلات "الأصغر هو الأفضل" بالنسبة لخشونة السطح، القوة المحورية وزمن التشغيل (11.2) و"الأكبر هو الأفضل" بالنسبة لمعدل إزالة المادة (10.2). موضحة في الجدول (12.4)

2 . حساب معامل العلاقة الرمادي (الجدول 12.4) من خلال المعادلة (12.2) بعد حساب δ_i من المعادلة (13.2) الموضحة في الجدول (13.4).

3 . حساب درجة العلاقة الرمادي لكل تجربة GRG من المعادلة (14.2) كما هو موضح في الجدول (14.4)

الجدول 4. 12. توحيد القيم.

N°	Rz	MRR	Tc	Fx	N Rz	N MRR	N Tc	N Fx
1	6,375	16000	15	1,61	0,954915004	0	0	1
2	11,124	48000	7,5	5,62	0,4534896	0,281690141	0,6	0,836058872
3	15,419	96000	5	26,07	0	0,704225352	0,8	0
4	6,181	33600	10,71	7,51	0,975398585	0,154929577	0,3432	0,758789861
5	10,677	89600	5,35	16,93	0,500686306	0,647887324	0,772	0,3736713
6	14,072	67200	3,57	11,58	0,14222363	0,450704225	0,9144	0,592395748
7	5,948	57600	7,5	14,65	1	0,366197183	0,6	0,46688471
8	10,252	57600	3,75	4,19	0,545560131	0,366197183	0,9	0,894521668
9	14,016	129600	2,5	5,2	0,148136416	1	1	0,853229763

الجدول 4. 13. قيم δ_i لكل تجربة.

N°	δRz	δMRR	δTc	δFx
1	0,045084996	1	1	0
2	0,5465104	0,718309859	0,4	0,163941128
3	1	0,295774648	0,2	1
4	0,024601415	0,845070423	0,6568	0,241210139
5	0,499313694	0,352112676	0,228	0,6263287
6	0,85777637	0,549295775	0,0856	0,407604252
7	0	0,633802817	0,4	0,53311529
8	0,454439869	0,633802817	0,1	0,105478332
9	0,851863584	0	0	0,146770237

الجدول 4. 14. قيم معامل ودرجة العلاقة الرمادي.

N°	Yi Rz	Yi MRR	Yi Tc	Yi Fx	GRG	Classement
1	0,917288136	0,333333333	0,333333333	1	0,691977	3
2	0,477778338	0,410404624	0,555555556	0,753078818	0,507389	7
3	0,333333333	0,628318584	0,714285714	0,333333333	0,468521	9
4	0,953104559	0,371727749	0,432226833	0,674572532	0,704800	2
5	0,500343388	0,58677686	0,686813187	0,443920145	0,549282	6
6	0,368249154	0,476510067	0,853825137	0,550900901	0,505282	8
7	1	0,440993789	0,555555556	0,483973091	0,747707	1
8	0,523867471	0,440993789	0,833333333	0,825793383	0,599378	5
9	0,369859804	1	1	0,773072061	0,662237	4

توافق أكبر قيمة لـ GRG الشروط المثالية لتحقيق أفضل استجابة شاملة للعملية حيث توافق التجربة رقم 7. وذلك بتأثير العوامل $Vc=501\text{m/min}$ ، $ap=2\text{mm}$ و $f=0.08\text{mm/tr}$. حيث أن نتائج هذه التجربة أعطت أقل قيمة لخشونة السطح $Rz=5.948\mu\text{m}$ ، مع قيم متوسطة لكل من معدل ازالة المادة، زمن التشغيل والقوة المحورية $MRR=57600\text{mm}^3/\text{min}$ ، $tc=7.5\text{s}$ و $Fx=14.65\text{N}$.

9.4 الخاتمة:

في هذا الفصل، تم إجراء تحليل للنتائج التجريبية باستخدام مجموعة من الأدوات والأساليب الإحصائية المختلفة. سمحت دراسة التباين (ANOVA)، ومخططات التفاعل، وبيان التأثيرات الرئيسية بتحديد تأثير عوامل القطع على الاستجابات المدروسة. بعد ذلك، تم إنشاء نماذج انحدار خطي لكل استجابة بهدف التنبؤ بسلوكها اعتمادًا على المتغيرات المدخلة.

بالنسبة لتحسين الاستجابة أحادية الهدف، تم الاعتماد على طريقة تاغوشي من خلال حساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) وحساب قيم Delta، مما مكن من تحديد الشروط المثلى لكل استجابة على حدة. أما في حالة تحسين الأهداف المتعددة، فقد تم اعتماد كل من دالة الرغبة (La fonction de désirabilité) وطريقة التحليل العلاقي الرمادي (Grey Relational Grade – GRG)، بهدف الوصول إلى حل أمثل يأخذ بعين الاعتبار مجمل الاستجابات المدروسة ويحقق التوازن بينها.

من خلال مختلف التحاليل والتقنيات التي استخدمناها، تمكنا من بناء فهم واضح ومبني على أسس علمية حول تأثير شروط القطع على الاستجابات المدروسة، وهو ما اعتبرناه خطوة مهمة نحو تحسين الأداء مستقبلاً وتطوير عمليات القطع بشكل أكثر فعالية.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة:

أجريت الدراسة التجريبية في هذا العمل بهدف نمذجة الاستجابات في عملية التشغيل (خشونة السطح RZ، معدل إزالة المادة MRR، زمن التشغيل tc، القوة المحورية Fx) وتحسين الاستجابة من خلال تحديد شروط القطع المثلى (سرعة القطع، التغذية، عمق القطع)، أثناء خراطة مادة البولي أسيتال كوبوليمر (POMC) باستخدام لقم من كربيد التنجستن المطلي. وقد حصلنا على النتائج التالية:

1 - تحليل النتائج: أظهر تحليل التباين، تحليل الانحدار ومخطط التفاعلات ما يلي:

✓ العامل الأكثر تأثيرا على خشونة السطح RZ هو التغذية (98,37%) تليها سرعة القطع (1,23%) ليكون عمق القطع هو الأقل تأثيرا (0,28%)، حيث تم صياغة التمثيل الرياضي لخشونة السطح بدلالة العوامل (Vc, f, ap) والتداخلات (Vc*ap, Vc*f, ap*f) بينهم بمعامل تحديد بلغ (R²=%99.8)، وأظهرت أيضا وجود تفاعل قوي بين Vc و ap وتفاعل طفيف بين Vc و f، بينما تأثير كل من f و ap لا يتغير بتغير الآخر.

✓ تؤثر التغذية على معدل إزالة المادة MRR بنسبة 60,37%، ليلها عمق القطع بنسبة 19,22%، أما سرعة القطع فكانت الأقل تأثيرا بنسبة 12,93%، وقد بلغ معامل التحديد للنموذج الرياضي الذي يصف العلاقة بين MRR وشروط القطع %99.83. كما أظهر التحليل تفاعل قوي بين Vc و ap، وكذلك بين Vc و f، وتفاعل طفيف بين ap و f.

✓ بالنسبة لزمن التشغيل tc فإن العامل الأكثر تأثيرا هو التغذية بنسبة تفوق 69%، لتأتي سرعة القطع في المرتبة الثانية بنسبة 24,97%، بينما تأثير عمق القطع كان ضعيفا بنسبة 2,69%. بعد النمذجة الرياضية أشارت النتائج إلى أن معامل التحديد قدر بـ %98.54. التفاعل بين Vc و ap كان قويا مقارنة بالتفاعل بين f و ap، ولا يوجد تفاعل مهم بين Vc و f.

✓ على عكس الاستجابات الأخرى فإن العامل الأكثر تأثيرا على القوة المحورية Fx هو عمق القطع بنسبة %73,09، ليأتي تأثير التغذية في الدرجة الثانية بنسبة %14,59، ليكون Vc هو الأقل تأثيرا بنسبة %5,46. تم التعبير عن العلاقة بين القوة المحورية وعوامل القطع من خلال معادلة الانحدار حيث بلغ معامل التحديد %89.75. أظهر التحليل أيضا وجود تفاعلات ثنائية بين العوامل، مما يشير إلى أن تأثير أحد العوامل على القوة المحورية لا يكون مستقلا، بل يتغير تبعاً لمستوى العامل الآخر.

2 - تحسين الاستجابة أحادي الهدف باستعمال طريقة تاغوشي أعطى العوامل المثلى لكل استجابة على حدا، وذلك بعد تحديد المستويات المثلى من خلال حساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء و Delta، حيث:

✓ القيم المثلى لشروط القطع من أجل أقل خشونة سطح هي: $V_c=501\text{m/min}$ ، $f=0.08\text{mm/tr}$ و $a_p=1\text{mm}$ حيث كانت قيمة Rz تساوي الى $6,361\mu\text{m}$.

✓ القيم المثلى للعوامل من أجل أكبر إنتاجية هي: $V_c=501\text{m/min}$ ، $f=0.24\text{mm/tr}$ و $a_p=2\text{mm}$ حيث أعطت قيمة MRR بـ $161724,34\text{ mm}^3/\text{min}$.

✓ من أجل الحصول على أقل زمن تشغيل كانت شروط التشغيل المثلى ، وهي: $V_c=501\text{m/min}$ ، $f=0.24\text{mm/tr}$ و $a_p=1,5\text{mm}$ حيث أن $t_c=2,5\text{s}$.

✓ القيم المثلى للشروط القطع من أجل أقل قيمة للقوة المحورية، هي: $V_c=251\text{m/min}$ ، $f=0.08\text{mm/tr}$ و $a_p=1\text{mm}$ حيث أن $F_x = 1,61\text{ N}$.

3 - تحسين الاستجابة متعدد الأهداف باستعمال دالة الرغبة (DF)، حيث كان الحل المقترح للعوامل المثلى من أجل تحسين الاستجابة الشاملة هو التوليفة التالية: $V_c=501\text{m/min}$ ، $f=0,157576\text{mm/tr}$ و $a_p=1,29293\text{mm}$.

حيث أظهرت النتائج النظرية لقيم الاستجابات ما يلي: $R_z=9,7733\mu\text{m}$ ، $MRR=73286\text{mm}^3/\text{min}$ و $F_x=5.7009\text{N}$ و $t_c=4.796\text{s}$.

4 - تحسين الاستجابة متعدد الأهداف باستعمال تحليل العلاقة الرمادي (GRA)، وافقت أكبر قيمة لـ GRG التجربة رقم 7، حيث أن شروط القطع المثلى هنا هي: $V_c=501\text{m/min}$ ، $f=0.08\text{mm/tr}$ و $a_p=2\text{mm}$.

كما أن نتائج هذه التجربة أعطت أقل قيمة لخشونة السطح $R_z=5.948\mu\text{m}$ ، مع قيم متوسطة لكل من معدل إزالة المادة، زمن التشغيل والقوة المحورية $MRR=57600\text{mm}^3/\text{min}$ ، $t_c=7.5\text{s}$ و $F_x=14.65\text{N}$.

بناء على ما سبق يمكننا القول أن شروط القطع المثلى تختلف باختلاف الإجابة المستهدفة، وقد أظهرت طريقة تاغوشي فعاليتها في التحسين الأحادي، في حين أن GRA و DF تعتبران الأفضل للتحسين متعدد الأهداف. إلا أن طريقة تحليل العلاقة الرمادي تفوقت على دالة الرغبة، فالهدف هنا هو الحصول على أحسن جودة سطح بالدرجة الأولى وأفضل إنتاجية ممكنة توافق جودة المنتج المرجوة، وهذا ما حققته GRA على عكس DF.

المراجع

- [1] BELHADU Salim, *Polycopie de Fabrication mécanique*, Université 8 Mai 1945, 2018.
- [2] وزارة التربية والتعليم العالي, الخراطة والتسوية الآلية (النظري والعملي) للسنة الأولى ثانوي صناعي, فلسطين: مركز تطوير المناهج, 2005.
- [3] MANOJ Funde, *book of lathe machine, unit 2, India*, 2021.
- [4] المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني, كتاب عمليات الخراطة, المملكة العربية السعودية: الادارة العامة للمناهج, 2018.
- [5] المؤسسة العامة للتطوير الفني والتدريب الفني, كتاب الخراطة الداخلية والسلبات, المملكة العربية السعودية: الادارة العامة لتصميم وتطوير المناهج, 2017.
- [6] معهد بيان العالمية للتدريب والاستشارات وخدمات السلامة الصناعية, كتاب خراطة المعادن, تكنولوجيا الخراطة والحساب الفني, المملكة العربية السعودية: مصلحة الكفاية الانتاجية والتدريب المهني, البنك الاسلامي للتنمية, 2017-1016.
- [7] أحمد عبد الله مجيد الشيباني, كتاب خراطة السلبات, سلسلة الوحدات الانتاجية التدريبية المتكاملة, الجمهورية اليمنية: الادارة العامة للمناهج والوسائل التعليمية, 2005.
- [8] *polycopié de Toure de Production, Université IBN KHALDOUN, Tiart.*
- [9] *Polycopié de Tournage, Université de Batna2, Batna.*
- [10] المملكة العربية السعودية: الادارة العامة للمناهج, كتاب الخراطة (أنواعها وأجزاؤها), المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني.
- [11] أحمد محمد عبد الرحمان المعمري, كتاب تشغيل وتجهيز المخرطة المتوازية, الجمهورية اليمنية: قطاع المناهج والتعليم المستمر, 2004.
- [12] DJAMAA Mohamed Cherif, *Polycopié de Fabrication Mécanique*, Guelma: Université 8 Mai 1945, 2020.
- [13] عبد المسيح جرجس منقريوس, أ. سعد بيومي الشيخ, كتاب تكنولوجيا الخراطة تخصص تشغيل المعادن, مصر: قطاع التعليم الفني, 2019.
- [14] حسين حيدر, إعادة تنقيح الدكتور سامي محسن, منهاج التدريب العملي لمادة الورش الهندسية, العراق: كلية المستقبل الجامعة, 2021-2020.
- [15] GARA Souhir, *Polycopié inteactif: Le tournage*, Nabeul: Institut Supérieur des études Technologiques, 2015-2016.
- [16] *Polycopié n6, efforts et puissance de coupe*, Constantine: Université Frères Mentouri.
- [17] د. عباس عليوي الجبوري, كتاب تكنولوجيا عمليات التصنيع, المملكة الأردنية الهاشمية: دار الرضوان للنشر والتوزيع, 2014.
- [18] *Polycpié de Fabrication: codition de coupe en tournage et en frilage*, France, Brest: ENIB.
- [19] LINUS Pettersson, *Vibration in Metal Cutting*, Swiden: Department of Telecommunications and Signal Processing.

- [20] كتاب قياس الخشونة، الوحدة الرابعة، تخصص ميكانيكا الانتاج، المملكة العربية السعودية، 2012 [20]
- [21] م. علي ابراهيم الموسوي، الحقيقة التعليمية لمادة عمليات التصنيع، قسم المكنائن والمعدات، بابل: المعهد التقني [21]
- [22] Dr FNIDES Mohamed, *Présentée pour obtenir le grade de DOCTEUR : Etude de l'impact des conditions d'usinage sur la rugosité*, Gulema, 2017.
- [23] مصطفى عمر حكومة، معمر مصباح بن عيسى، هيثم عاشور السويعللي، غيث إبراهيم إبراهيم، بشير صالح يونس، «دراسة عوامل مجلة الأسمرية:»، القطع المثلى لخشونة السطح في عملية الخراطة الطولية لعينة من سبيكة الالمنيوم باستخدام طريقة تاغوشي *العلوم الأساسية والتطبيقية، ليبيا*, vol. 6, n° 15, 2021.
- [24] سالم أحمد الشريف، محمد المهدي سويب، إبراهيم أحمد بادي، "نمذجة معدل إزالة المعدن في عمليات الخراطة باستخدام نموذج مجلة البحوث الأكاديمية، تاغوشي" *vol. 15, 2020.*
- [25] Edwin B. Dean, Resit Unal, «Taguchi Approach to Design Optimization for Quality and Cost: An Overview,» chez *Presented at the 1991 Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts*, United States of America, 1991.
- [26] Ranjit K. Roy, *Design of Experiments Using the Taguchi Approach*, United States of America: Wiley-Interscience, 2001.
- [27] تحليل التباين، الرياض، المملكة العربية السعودية: جامعة الملك سعود [27]
- [28] William L. Carlson, Betty M. Thome, Paul Newbold, *Statistics for Business and Economics, Tenth Global Edition (10th Global Edition) éd.*, United Kingdom: Pearson Education Limited, 2022.
- [29] Dennis J. Sweeney, Thomas A. Willims, David R. Anderson, *Statistics for Business and Economics, 11th Edition (11e) éd.*, United States of America: Cengage Learning (commonly associated with this book), 2011.
- [30] Elizabrth A. Peck, G. Geoffrey Vining, Douglas C. Montgomery, *Introduction to Linear Regression Analysis, 6th Edition (latest updated edition) éd.*, United States of America: John Wiley & Sons (Wiley Series in Probability and Statistics), 2021.
- [31] تحليل الانحدار، مدينة البصرة، العراق: جامعة البصرة [31]
- [32] P. H. Sydenham, *Handbook of Measurement Science, Volume 1: Theoretical Fundamentals(chapter or section: Signal-to-Noise Ratio Improvement)*, United States of America: John Wiley & Sons Ltd., 1982.
- [33] Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yuin Wu, *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [34] Pragati Samant, Athira Kadampatta, Reshma Shenoy, Samruddhi Rao, *An Overview of Taguchi Method: Evolution, Concept and Interdisciplinary Applications*, India: International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER), 2013.
- [35] Yolanda Baez-Lopez, Diego Tlapa Mitzy Pory-Lugo, Ivan Rodriguez-Borbon, Jorge Limón-Romero, *Optimization of Multiple Response Variables Using the Desirability Function and a Bayesian Predictive Distribution*, vol. 132, Mexico: Research in Computing Science, 2017.

- [36] Douglas C. Montgomery, Chritine M. Anderson-Cook. Raymond H. Myers, Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments (4th Edition), United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [37] Susanta Kumar Gauri, Surajit Pal, «A desirability functions-based approach for simultaneous optimization of quantitative and ordinal response variables in industrial processes,» *International Journal of Engineering, Science and Technology, Volume 10, Issue 1*, vol. 10, n° 11, 2018.
- [38] Irfan Ertuğrul, Tayfun Öztas, Abdullah Özçil, Gülin Zeynep Öztas, «Grey Relational Analysis Approach in Academic Performance Comparison of University: A Case Study of Turkish Universities,» *European Scientific Journal*, January 2016.
- [39] Patil Amol Nayakappa, Walke Gaurish A, Gawkhare Mahesh, «Grey Relation Analysis Methodology and its Application,» *RESEARCH REVIEW International Journal of Multidisciplinary*, February 2019.