



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي \_ سكيدة \_

قسم التكنولوجيا

التخصص: هندسة ميكانيكية

مذكرة لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي

بعنوان:

دراسة تحليلية لنمذجة تأثير ظروف القطع على كل من خشونة السطح وقوى  
القطع في عمليات الخراطة

من إعداد:

• عولمي عامر

• رزاقى أدهم

تحت إشراف الدكتور:

• فنيدس محمد

لجنة المناقشة:

رئيس اللجنة

الأستاذ المشرف

أستاذ مناقش

أستاذ محاضر قسم أ

أستاذ محاضر قسم أ

أستاذ محاضر قسم أ

• الدكتور بن صانع توفيق

• الدكتور فنيدس محمد

• الدكتور سعايدية عزيز

السنة الجامعية 2024/2025

## الشكر والعرفان:

الحمد لله الذي أنار قلب عباده المتقين بنور كتابه المبين

ونحمده كثيرا فقد أعاننا بعونه وقدرته على إتمام هذا العمل

المتواضع في أحسن الأحوال.

وعملا بقول الرسول صلى الله عليه وسلم

\*من لم يشكر الناس لم يشكر الله \* أتقدم بجزيل الشكر والامتنان

إلى الأستاذ المؤطر \* محمد فنديس \* والذي لم يبخل علينا

بمجهوداته وتوجيهاته وكذلك تفانيه وصبره معنا، كما أتقدم بالشكر

إلى أعضاء لجنة المناقشة بن صانع توفيق و سعايدية عزيز وإلى جميع أساتذة المدرسة العليا

للتعليم التكنولوجي وعلى رأسهم المدير ورئيس قسم التكنولوجيا الأستاذ رحموني صالح وجميع افراد ادارة هذا القسم

وإلى كل من قدم

لنا العون لإنجاز هذا العمل من قريب ومن بعيد.

## الإهداء:

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تتيسر الطموحات وتتحقق الأمنيات.

إلى من كانا بعد الله سرّاً وجودي، وموطن سكينتي، وسبب نجاحي...

إلى والدي العزيزين، أطل الله في عمرهما، ومنّ عليهما بموفور الصحة والعافية،

إلى والدتي التي غرست في قلبي بذور الصبر، وإلى والدي الذي علّمني كيف أزرع النجاح وأنتظر الحصاد،

لكما كل الامتتان والحب.

إلى إخوتي الذين كانوا لي سنداً ومصدر إلهام في كل مراحل حياتي، جزاكم الله عني خير الجزاء.

إلى أساتذتي الأفاضل، الذين غرسوا في نفسي نور العلم، وفتحوا لي دروب الفهم والمعرفة،

إلى كل من أخذ بيدي، وعلمني حرفاً، أو وجّهني خطوة... لكم أرفع قلبي عرفاناً.

إلى أصدقائي الأعزاء، رفاق الدرب، وشركاء الطموح، أنتم البهجة في رحلة العلم.

وإلى زملائي طلبة السنة الخامسة - شعبة التكنولوجيا، أنتم نبض هذه التجربة، وعنوان التحدي والطموح.

أهدي إليكم جميعاً ثمرة جهدي، ونتاج أيامي وليالي، متواضعاً لكنه صادق... عساه يحمل في طياته نفعاً وفائدة.

عولمي عامر

## الإهداء:

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

أهدي هذا العمل لوالدي ووالدتي، اللذين بذلا قصارى جهدهما في تربيتي تربية صالحة وغرسا في حب العلم وقيم الإصرار، وكانا سندي في بداياتي، أهدي هذا العمل المتواضع عرفانًا ووفاءً لما قدّماه لي من حب وتضحيات، راجيًا من الله أن بتغمدهما بواسع رحمته ويسكنهما فسيح جناته

أهدي هذا العمل إلى أختي الغالية، التي شاركتني الأفراح ووقفت إلى جانبي في أحلك اللحظات، وأضاءت أيامي بابتسامتها وحضورها وإلى أخوي الصغيرين، أكرم وأنور، يا من تزرعان البهجة في أيامي هذا النجاح ثمرة وجودكم جميعا بجانبي. أطال الله في عمركم وحفظكم بحفظه متمنيا لكم مستقبلاً مشرقاً مليئاً بالنجاحات والتفوق.

أهدي هذا العمل الى الاستاد الفاضل بوعنيفة عز الدين والذي لم يبخل علينا بمجهوداته وتوجيهاته

خلال تربصنا في ثانوية مالكي عز الدين . رعاه الله وحفظه .

وإلى كل من علمني حرفاً، وأخذ بيدي في سبيل تحصيل العلم والمعرفة، وإلى جميع أصدقائي اصيل و امجد وادم واشرف وأيوب وإلى طلبة التكنولوجيا السنة الخامسة وقسم هندسة ميكانيكية خاصة. لكم جميعا فردا فردا كل الشكر والتقدير .

الملخص:

أصبحت جودة وأداء الأجزاء الميكانيكية هدفاً رئيسياً في عملية التصنيع. يتميز الفولاذ الكربوني C65 بصلادة مرتفعة وقدرة جيدة على التحمل نظراً لاحتوائه على نسبة عالية من الكربون.

هدف هذه الدراسة هو تقييم تأثير شروط القطع ( $V_c, f, a_p$ ) على خشونة السطح ( $R_a$ ) وعلى قوى القطع ( $F_x, F_y, F_z$ ) للفولاذ الكربوني C65 باستعمال أدوات قطع من الكربيد (TNMG 220404 T-) على آلة الخراطة (FIC907).

لقد تم القيام بدراسة إحصائية تهدف الى تحديد مساهمة كل من شروط القطع وكذا تفاعلاتها على المخرجات. عن طريق استخدام منهجية تحليل التباين (ANOVA) ومنهجية سطح الاستجابة (RSM) و contour وتحليل الارتباط (AR).

تم اجراء أيضا مقارنة بين قيم تجريبية (expérimentale) ومتوقعة (prédite) لكل من  $R_a, F_x,$

$F_y, F_z$

الكلمات المفتاحية: خشونة السطح، قوى القطع، شروط القطع، تحليل التباين (ANOVA)، منهجية سطح الاستجابة (RSM).

## Résumé

### Résumé :

La qualité et la performance des pièces mécaniques sont devenues des objectifs majeurs dans les processus de fabrication. L'acier au carbone C65 se distingue par une dureté élevée et une bonne résistance, grâce à sa forte teneur en carbone.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des conditions de coupe ( $V_c$ ,  $f$ ,  $a_p$ ) sur la rugosité de surface ( $R_a$ ) ainsi que sur les forces de coupe ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) lors de l'usinage de l'acier au carbone C65 à l'aide d'outils de coupe en carbure (TNMG 220404 T-FIC907) sur un tour.

Une étude statistique a été menée afin de déterminer la contribution de chaque paramètre de coupe ainsi que de leurs interactions sur les réponses mesurées. Pour cela, la méthodologie de l'analyse de la variance (ANOVA), la méthode de surface de réponse (RSM), les courbes de contour, ainsi que l'analyse de corrélation (AR) ont été utilisées.

Une comparaison entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites de  $R_a$ ,  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$  a également été effectuée afin de valider les modèles établis.

**Mots-clés** : rugosité de surface, forces de coupe, conditions de coupe, analyse de la variance (ANOVA), méthodologie de surface de réponse (RSM).

**Abstract :**

The quality and performance of mechanical components have become major objectives in modern manufacturing processes. Carbon steel C65 is characterized by high hardness and good strength due to its high carbon content.

The aim of this study is to evaluate the effect of cutting parameters ( $V_c$ ,  $f$ ,  $a_p$ ) on surface roughness ( $R_a$ ) and cutting forces ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) during the machining of carbon steel C65 using carbide cutting tools (TNMG 220404 T-FIC907) on a lathe.

A statistical study was conducted to determine the contribution of each cutting parameter, as well as their interactions, on the measured responses. To achieve this, the Analysis of Variance (ANOVA), Response Surface Methodology (RSM), contour plots, and correlation analysis (AR) were employed.

A comparison between the experimental values and the predicted values of  $R_a$ ,  $F_x$ ,  $F_y$ , and  $F_z$  was also carried out in order to validate the developed models.

**Keywords:** surface roughness, cutting forces, cutting conditions, analysis of variance (ANOVA), response surface methodology (RSM).

# الفهرس

## الفصل الأول: دراسة بييليوغرافية

3	1.1 المقدمة:
3	2.1 الخراطة:
3	1.2.1 تعريف الخراطة:
4	2.2.1 الات الخراطة:
5	3.2.1 قوى القطع:
5	4.2.1 شروط القطع:
6	5.2.1 بعض عمليات الخراطة:
6	1.5.2.1 التخریط (Le chariotage):
7	2.5.2.1 التسطیح (Le dressage):
7	3.5.2.1 الثقب (Le perçage):
8	4.5.2.1 التخذید (Le rainurage):
8	5.5.2.1 التشطیف (Chanfreinage):
9	3.1 التفريز:
9	1.3.1 التعريف:
9	2.3.1 حركات القطع في عملية التفريز:
10	3.3.1 طرق القطع:
10	1.3.3.1 تفريز سطحي (Le fraisage en bout):
11	2.3.3.1 التفريز الجانبي (Le fraisage en roulant):

- 11 .....: (fraisages en opposition) المتعكس التفريز الجانبي 3.3.3.1.
- 13 .....: (fraisages en avalant) المتماثل التفريز الجانبي 4.3.3.1.
- 14 .....: (Conditions de Coupe) شروط القطع 4.3.1
- 15 .....: (usure) التآكل 4.1
- 15 .....: (Mécanismes et formes d'usure) اشكال التآكل 1.4.1
- 17 .....: (Rugosite) الخشونة 5.1
- 17 .....: (Defauts de Regosite) عيوب الخشونة 1.5.1
- 18 .....: المعايير الرئيسية للخشونة: 2.5.1

## الفصل الثاني: البروتوكول التجريبي

- 20 .....: المقدمة 1.2
- 20 .....: آلة الخراطة: 2.2
- 23 .....: عينة الاختبار: 3.2
- 25 .....: أدوات القطع المستخدمة: 4.2
- 25 .....: 1.4.2 لقم القطع:
- 26 .....: 2.4.2 حامل الأداة:
- 27 .....: 5.2 الأجهزة المستعملة في القياس:
- 26 .....: 1.5.2 المقارن.
- 28 .....: 2.5.2 قياس الخشونة السطحية:
- 29 .....: 3.5.2 قياس الجهود الناتجة عن عملية القطع:
- 31 .....: 4.5.2 قياس الجهود الناتجة عن التشغيل:

32	6.2 تخطيط التجارب:
34	1.6.2 طريقة التخطيط أحادية العامل (Méthode unifactorielle):
34	2.6.2 عناصر القطع:
35	3.6.2 طريقة العوامل المتعددة (Méthode multifactorielle):

## الفصل الثالث: تأثير شروط القطع على الخشونة وقوى القطع في

### عملية الخراط الطولي

37	1.3 المقدمة:
37	2.3 تأثير شروط القطع في الخراط الطولي على الخشونة:
37	1.2.3 تأثير التغذية f:
38	2.2.3 تأثير عمق القطع:
40	3.2.3 تأثير سرعة القطع:
42	3.3 تأثير شروط القطع في الخراط الطولي على قوى القطع (Fx ;FY ;Fz):
42	1.3.3 تأثير التغذية f:
43	2.3.3 تأثير عمق القطع ap:
45	3.3.3 تأثير سرعة القطع Vc:
46	4.3.3 الاستنتاج العام:
47	4.3 الخاتمة:

## الفصل الرابع: نمذجة معايير الخشونة وقوى القطع

48	1.4 المقدمة:
----	--------------

48	2.4 خطوات إنجاز النمذجة لمعايير الخشونة (Ra) وقوى القطع (Fx ;Fy ;Fz):
48	3.4 تعريف الطريقة الإحصائية المستعملة:
48	1.3.4 تعريف تحليل التباين (ANOVA):
49	2.3.4 تعريف تحليل الارتباط (Analyse de regression):
51	3.3.4 تعريف منهجية سطح الاستجابة:
51	4.4 نتائج التجارب:
52	5.4 تحليل التباين للاستجابات (Fx ;Fy ;Fz ;Ra):
52	1.5.4 تحليل التباين ل Ra:
53	2.5.4 تحليل التباين ل Fx:
54	3.5.4 تحليل التباين ل Fy:
55	4.5.4 تحليل التباين ل Fz:
55	6.4 التأثيرات الرئيسية والتفاعلات:
55	1.6.4 خشونة السطح Ra:
58	2.6.4 قوى القطع (Fx ;Fy ;Fz):
63	7.4 تحليل الارتباط ل (Ra ;Fx ;Fy ;Fz):
64	8.4 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و contour ل (Fz Fy, Fx, Ra):
69	9.4 مقارنة بين قيم تجربيه (expérimentale) ومتوقعة (prédite) ل Ra, Fx, Fy, Fz:
72	10.4 الخاتمة العامة:

## فهرس الأشكال

### الفصل الأول: دراسة بيبلوغرافية

- الشكل.1.1. يوضح القوى FT, FA, FR اثناء عملية التشغيل. 5.....
- الشكل.1.2. عملية التخريط. 7.....
- الشكل.1.3. التسطيح. 7.....
- الشكل.1.4. الثقب. 8.....
- الشكل.1.5. التخديد. 8.....
- الشكل.1.6. التشطيف. 9.....
- الشكل.1.7. التفريز السطحي والسطح المحصل عليه بهذا الأسلوب. 11.....
- الشكل.1.8. التفريز الجانبي والسطح المحصل عليه بهذا الأسلوب. 11.....
- الشكل.1.9. التفريز الجانبي المتعكس. 13.....
- الشكل.1.10. التفريز الجانبي المباشر. 14.....
- الشكل.1.11. التآكل على هيئة حفرة. 16.....
- الشكل.1.12. التآكل البلاستيكي المرن. 16.....
- الشكل.1.13. التآكل بالتقشر. 17.....
- الشكل.1.14. شقوق حرارية. 17.....
- الشكل.1.15. المعايير الرئيسية للخشونة. 19.....

### الفصل الثاني: بروتوكول التجارب

- الشكل.2.1 صورة توضيحية لالة الخراطة التي أجريت عليها الأبحاث. 21.....
- الشكل.2.2 رسم تخطيطي لآلة الخراطة المستعملة. 21.....
- الشكل.2.3 جدول السرعات الخاص بالآلة الخراطة. 21.....
- الشكل.2.4 العينة المستعملة. 23.....
- الشكل.2.5 عينات من المعدن C65. 24.....
- الشكل.2.6 المنشار الترددي. 24.....
- الشكل.2.7 لقم القطع. 25.....
- الشكل.2.8 حامل الأداة. 26.....
- الشكل.2.9 رسم توضيحي لحامل الأداة. 27.....
- الشكل.2.10 المقارن. 28.....

- الشكل.2. 11 جهاز قياس الخشونة..... 29
- الشكل.2. 12 مستشعر الجهود الناتجة عن القطع KISTLER..... 30
- الشكل.2. 13 سلسلة قياس الجهود الناتجة عن عملية القطع..... 30
- الشكل.2. 14 تركيب الدينامومتر على طاولة الجهاز..... 31
- الشكل.2. 15 مثال على اقتناء البيانات باستخدام برنامج DynoWARE..... 32
- الشكل.2. 16 نطاق تباين العامل، ويتكون من جميع القيم بين أخفض مستوى وأعلى مستوى..... 33
- الشكل.2. 17 تعريف لسطح الاستجابة..... 33
- الشكل.2. 18 العوامل والاستجابات..... 36

### الفصل الثالث: تأثير شروط القطع على الخشونة وقوى القطع في عملية الخراط الطولي

- الشكل.3. 1 منحني بياني للتغذية f بدلالة Ra عندما تكون Vc و ap ثابتان..... 38
- الشكل.3. 2 منحني بياني للتغذية f بدلالة Ra عندما تكون Vc و ap ثابتان..... 38
- الشكل.3. 3 منحني بياني لعمق القطع ap بدلالة Ra عند تثبيت قيمتي Vc و f..... 40
- الشكل.3. 4 منحني بياني لعمق القطع ap بدلالة Ra عند تثبيت قيمتي Vc و f..... 40
- الشكل.3. 5 منحني بياني لسرعة القطع Vc بدلالة Ra عند تثبيت قيمتي ap و f..... 41
- الشكل.3. 6 منحني بياني لسرعة القطع Vc بدلالة Ra عند تثبيت قيمتي ap و f..... 42
- الشكل.3. 7 منحني بياني للتغذية لكل سن f بدلالة (Fx ;Fy ;Fz) عند تثبيت Vc و ap..... 43
- الشكل.3. 8 منحني بياني للتغذية لكل سن f بدلالة (Fx ;Fy ;Fz) عند تثبيت Vc و ap..... 43
- الشكل.3. 9 منحني بياني لعمق القطع ap بدلالة (Fx ;Fy ;Fz) عند تثبيت Vc و f..... 44
- الشكل.3. 10 منحني بياني لعمق القطع ap بدلالة (Fx ;Fy ;Fz) عند تثبيت Vc و f..... 45
- الشكل.3. 11 منحني بياني لسرعة القطع Vc بدلالة (Fx ;Fy ;Fz) عند تثبيت قيمتي ap و f..... 46
- الشكل.3. 12 منحني بياني لسرعة القطع Vc بدلالة (Fx ;Fy ;Fz) عند تثبيت قيمتي ap و f..... 46

### الفصل الرابع: نمذجة معايير الخشونة وقوى القطع

- الشكل.4. 1 مخطط التأثيرات ل Ra..... 57
- الشكل.4. 2 مخطط التفاعلات ل Ra..... 57
- الشكل.4. 3 مخطط البواقي ل Ra..... 58
- الشكل.4. 4 مخطط التأثيرات ل Fx..... 59
- الشكل.4. 5 مخطط التفاعلات ل Fx..... 59
- الشكل.4. 6 مخطط البواقي ل Fx..... 60
- الشكل.4. 7 مخطط التأثيرات ل Fy..... 60

- الشكل.4. 8 مخطط التفاعلات لـ  $F_y$  ..... 61
- الشكل.4. 9 مخطط البواقي لـ  $F_y$  ..... 61
- الشكل.4. 10 مخطط التأثيرات لـ  $F_z$  ..... 62
- الشكل.4. 11 مخطط التفاعلات لـ  $F_z$  ..... 62
- الشكل.4. 12 مخطط البواقي لـ  $F_z$  ..... 63
- الشكل.4. 13 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و CONTOUR لـ  $R_a$  بدلالة  $(V_c, f, ap)$  ..... 66
- الشكل.4. 14 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و CONTOUR لـ  $F_x$  بدلالة  $(V_c, f, ap)$  ..... 67
- الشكل.4. 15 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و CONTOUR لـ  $F_y$  بدلالة  $(V_c, f, ap)$  ..... 68
- الشكل.4. 16 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و CONTOUR لـ  $F_z$  بدلالة  $(V_c, f, ap)$  ..... 69
- الشكل.4. 17 المقارنة بين القيم التجريبية والمتوقعة لـ  $R_a$  ..... 70
- الشكل.4. 18 المقارنة بين القيم التجريبية والمتوقعة لـ  $F_x$  ..... 71
- الشكل.4. 19. المقارنة بين القيم التجريبية والمتوقعة لـ  $F_y$  ..... 71
- الشكل.4. 20. المقارنة بين القيم التجريبية والمتوقعة لـ  $F_z$  ..... 72

## فهرس الجداول

### الفصل الأول: دراسة بيبلوغرافية

الجدول.1.1. بعض انواع الات الخراطة.....4

### الفصل الثاني: بروتوكول التجارب

الجدول.2.1 الأبعاد والقدرات التشغيلية.....22

الجدول.2.2 مواصفات المغزل الرئيسي .....22

الجدول.2.3 مواصفات العربة ونظام التغذية.....22

الجدول.2.4 الأبعاد العامة والوزن .....23

الجدول.2.5 الخصائص الكيميائية للفولاذ الكربوني C65.....24

الجدول.2.6 الخصائص الميكانيكية المتوسطة الموحدة.....24

الجدول.2.7 الخصائص الفيزيائية.....25

الجدول.2.8 شرح تعيين لقمة القطع TNMG 220404 T-FIC907.....26

الجدول.2.9 المعطيات الهندسية.....27

الجدول.2.10 شرح التعيين PMO PTG NR3 32 P22 .....27

الجدول.2.11 مصفوفة تخطيط بطريقة العامل الواحد.....34

الجدول.2.12 قيم عناصر القطع (Vc، Fz و ap) التي استخدمت في التجارب بعامل واحد متغير.....35

الجدول.2.13 التوليفات الممكنة التجارب.....36

### الفصل الرابع: نمذجة معايير الخشونة وقوى القطع

الجدول.4.1 النتائج التجريبية لمعايير الخشونة وقوى القطع.....51

الجدول.4.2 تحليل التباين ل Ra.....53

الجدول.4.3 تحليل التباين ل Fx.....53

الجدول.4.4 تحليل التباين ل Fy.....54

الجدول.4.5 تحليل التباين ل Fz.....55

الجدول.4.10 . جدول نتائج التجريبية والمتوقعة ل Ra, Fx, Fy, Fz.....69

## قائمة الرموز:

الرمز	المعنى
Vc	سرعة القطع
f	التغذية
ap	عمق القطع
Vf	سرعة التغذية
N	سرعة الدوران
Mc	حركة القطع
Ma	حركة التغذية
Mp	حركة الاختراق
Ra	متوسط الخشونة الحسابي
Fx	قوة المحورية
Fy	قوة الجانبية
Fz	قوة العمودية
D	قطر القطعة
Zn	اسنان الفريزة
ANOVA	تحليل التباين
Cont %	المساهمة
P	احتمالية
R <sup>2</sup>	معامل الارتباط
AR	تحليل الارتباط
SRM	منهجية سطح الاستجابة
Φ	دالة الاستجابة

# المقدمة العامة

## المقدمة العامة:

تُعَدُّ الأسطح خاصية تكنولوجية بالغة الأهمية، نظرًا لارتباطها الوثيق بعدة خصائص تتعلق باستخدام الأجزاء الميكانيكية، حيث تلعب العيوب السطحية دورًا محوريًا في قدرة الجزء على أداء وظيفته بالشكل المطلوب. ويُعد التشغيل بإزالة المادة من بين أكثر العمليات الصناعية شيوعًا. وفي هذا السياق، تُعتبر الخراطة عملية أساسية للحصول على الشكل النهائي للمنتج، خاصةً عندما تكون التفاوتات المطلوبة دقيقة.

ساهم تطور الأتمتة في الآلات، والتقدم السريع في تقنيات التحكم العددي، وأدوات القطع، وبرامج التصنيع بمساعدة الحاسوب (FAO)، في تعزيز القدرة التنافسية لعمليات التصنيع، لا سيما عندما يقترن هذا التقدم بزيادة في الإنتاجية وتحسين الجودة. وعلى الجانب الآخر، فإن ضمان جودة مُرضية للمنتجات النهائية يستدعي اهتمامًا خاصًا بنمذجة العوامل التكنولوجية وتحسين ظروف القطع، من خلال الاعتماد على أساليب إحصائية تهدف إلى تحسين الجودة والإنتاجية.

وفي إطار هذا الفهم لتأثير ظروف القطع على المعايير التكنولوجية، وبالأخص جودة السطح و قوى القطع، يتمحور العمل البحثي لمذكرة التخرج الخاصة بنا، والذي تم تنظيمه وفق الهيكل التالي:

يُخصص الفصل الأول من المذكرة للدراسة البيبليوغرافية حول عملية الخراطة، حيث يتناول طرق وأدوات القطع، ومعايير اختيار مواد أدوات القطع، إضافة إلى قابلية تشغيل المواد. كما يتناول هذا الفصل تعريف بقوى القطع والحالة السطحية ومعايير خشونة المرتبطة بها. ونُفرد جزءًا مهمًا في هذا الفصل لتقديم ملخص لنتائج بعض الأعمال البحثية (المنشورات) التي أُنجزت في مجال الخراطة والتفريز.

في الفصل الثاني، نقدم المعدات اللازمة التي استخدمت في الاختبارات وطرق التخطيط للتجارب وكذلك شروط القطع. يتم أيضًا تقديم أجهزة القياس والأداة ومادة عينة الشغل بطريقة دقيقة مع التفاصيل اللازمة لدراسة تجريبية للقطع.

في الفصل الثالث، نقدم نتائج دراسة تأثير كل عنصر من شروط القطع على معيار خشونة السطح وقوى القطع أثناء تشغيل صلب C65 بواسطة أداة قطع من كربيد (TNMG 220404 T-FIC907).

في الفصل الرابع، قمنا بتوظيف برنامجين إحصائيين «MINITAB» و «Design-Expert» ومن أجل تحديد النماذج الرياضية للخشونة وقوى القطع المدروسة وحساب قيم المعاملات والثوابت لهذه النماذج الرياضية، استخدمنا تحليل التباين ANOVA و سطح الاستجابة SR من أجل معرفة مساهمة العوامل المختلفة

(Vc, f, ap) والتفاعلات الثنائية بينها على عوامل الاستجابة، الخشونة (Ra) وقوى القطع (Fx,Fy,Fz) وكذلك المقارنة بين تأثير هذه العوامل.

وبهذا نكون قد أنهينا مذكرة التخرج الخاصة بنا بخاتمة عامة متبوعة بقائمة المراجع.

# 1 الفصل الأول: دراسة

## بيليوغرافية

**1.1 المقدمة:**

تُعدُّ عملية إزالة المادة من أساليب التصنيع الأساسية والموثوقة التي تُستخدم للحصول على قطع ذات أبعاد دقيقة من المواد المقولبة أو المصبوبة أو المتحصل عليها عن طريق الحدادة. ولذلك، تشكل هذه العملية التقنية الرئيسية في مرحلة التشطيب عند إنتاج الأجزاء الميكانيكية في العديد من الصناعات، مثل صناعة السيارات والطيران والسكك الحديدية وغيرها من المجالات التي تتطلب دقة عالية وجودة استثنائية. وعلى الرغم من دورها الحيوي في ضمان الدقة والموصفات الفنية، إلا أن عملية إزالة المادة تُعدُّ من بين العوامل التي تساهم في رفع تكاليف الإنتاج بشكل كبير.

مع تطور تكنولوجيا التصنيع، أصبح من الضروري تبني تقنيات جديدة لزيادة الكفاءة وتقليل التكاليف. يتطلب ذلك إدخال جيل جديد من الآلات التي تتميز بسرعات قطع عالية وسرعات تغذية مرتفعة، مما يساهم في تسريع عملية الإنتاج وزيادة الإنتاجية دون المساس بالجودة. إضافة إلى ذلك، يتعين تطوير أدوات قطع متقدمة وأكثر فعالية للتعامل مع المواد الحديثة والصعبة، مما يساهم في تحسين دقة الأبعاد وجودة الأسطح وتقليل تآكل الأدوات. ومن خلال هذه التحسينات التكنولوجية، يمكن تحقيق توازن أفضل بين تكلفة الإنتاج وجودة المنتجات، مما يساهم في تحسين التنافسية في الأسواق العالمية. يمكن تعريف استخدامه في الحالات التالية:

- إنتاج القطع الجاهزة من الكتل الخام التي تم الحصول عليها عن طريق الصب أو الحدادة أو الدرفلة.

- الحصول على دقة عالية في أبعاد القطع المصبوبة.

- الحصول على سطح ناعم وعالي الجودة للقطع المصبوبة بالرمل والقطع المحددة التي تتأكسد سطحها

نتيجة للتعرض لدرجات حرارة مرتفعة أثناء عمليات الحدادة. [1]

**2.1 الخراطة:****1.2.1 تعريف الخراطة:**

تُعدُّ الخراطة عملية تصنيع ميكانيكية تعتمد على إزالة المادة بواسطة أدوات ذات حافة واحدة. في هذه العملية، تتحرك القطعة حول محورها في حركة دورانية (حركة القطع)، وهي الحركة الأساسية التي تساهم في تشكيل القطعة. بينما يتحرك الأداة في اتجاه إضافي يُسمى حركة التقدم، وقد تكون هذه الحركة خطية أو غير خطية، وتُستخدم لتحديد وتشكيل جوانب القطعة.



من خلال دمج هاتين الحركتين، بالإضافة إلى الشكل الهندسي للجزء النشط من الأداة، يمكن تحقيق عمليات معالجة لأشكال دورانية مثل الأسطوانات، الأسطح المستوية، الأقماع، وأشكال أخرى معقدة تتسم بالثبات والدقة العالية. [2]

### 2.2.1 الات الخراطة:

توجد العديد من أنواع المخارط نذكر بعضها منها في الجدول 1.1، حيث أنه يتم اختيار آلات الخراطة اعتمادا على ما يلي:

- ✓ السطح المراد معالجته: خارجي، داخلي، أسطواني، مسطح أو مخروطي.
- ✓ حجم القطعة المراد معالجتها: صغير، متوسط أو كبير.
- ✓ عدد القطع المطلوبة: إنتاج فردي، على دفعات أو بشكل مستمر. [3]

الجدول 1.1. بعض انواع الات الخراطة.

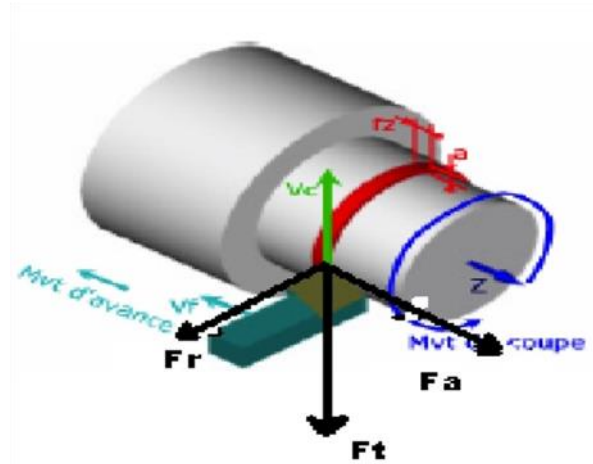
	<p>مخرطة أفقية</p>
	<p>مخرطة عمودية</p>



مخرطة سرير مائل

### 3.2.1 قوى القطع:

- ✓ القوة المحورية ( $F_a$ ): هي القوة المطبقة على الأداة بشكل موازي لمحور دوران القطعة المراد معالجتها.
- ✓ القوة الشعاعية ( $F_r$ ): تُعرّف بأنها القوة الموازية لنصف قطر القطعة، وتُسمى أيضًا قوة الاختراق.
- ✓ القوة المماسية ( $F_t$ ): هي القوة الموازية للمماس لسطح القطعة عند نقطة تماس الأداة كما هو موضح في (الشكل 1.1) [4]



الشكل 1.1. يوضح القوى  $F_t$ ,  $F_a$ ,  $F_r$  اثناء عملية التشغيل.

### 4.2.1 شروط القطع:

تُختار شروط القطع بناءً على نوع المادة القطعة، مادة أداة القطع، زوايا الأداة، قوى القطع، الخشونة ووجود سائل التبريد والتشحيم، بالإضافة إلى العمر الافتراضي المتوقع للأداة.

- ✓ سرعة القطع:

هي حركة نقطة من الحافة الحادة للأداة بالنسبة لسطح القطع في وحدة زمنية. تُحسب سرعة القطع باستخدام الصيغة (1.1) :

$$V_C = \frac{\pi DN}{1000} \dots\dots\dots (1.1)$$

حيث:

$V_C$ : سرعة القطع وتعبر بوحدات المتر/الدقيقة (م/دقيقة).

$D$ : قطر القطعة وتعبر بوحدات المليمتر (مم).

$N$ : سرعة دوران الأداة وتعبر بوحدات اللفة في الدقيقة (دورة/دقيقة). [5]

### ✓ سرعة التقدم:

هي السرعة اللحظية لحركة التقدم للنقطة المحددة على حافة القطع بالنسبة للقطعة المراد معالجتها. تُحسب سرعة التقدم باستخدام الصيغة (2.1):

$$V_f = f \times N \dots\dots\dots (2.1)$$

حيث أن:

$V_f$ : سرعة التقدم وتُعبّر بوحدات المليمتر/الدقيقة (مم/دقيقة) أو المليمتر/الدورة (مم/دورة).

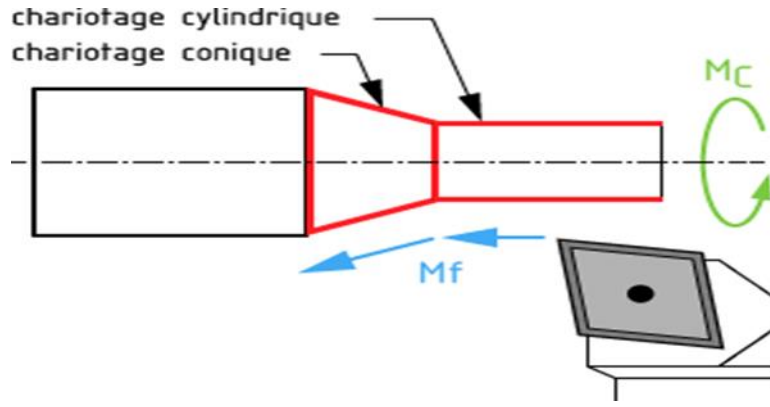
$f$ : التقدم لكل دورة ويُعبّر بوحدات المليمتر (مم/دورة).

$N$ : سرعة دوران الأداة وتُعبّر بوحدات اللفة في الدقيقة (دورة/دقيقة). [6]

### 5.2.1 بعض عمليات الخراطة:

#### 1.5.2.1 التخریط (Le chariotage):

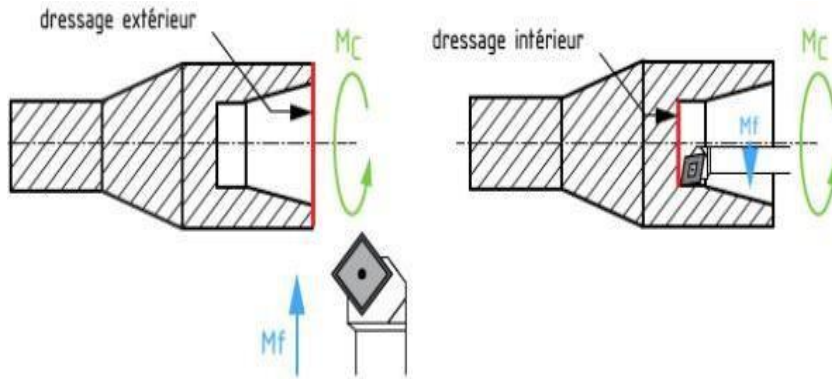
التخریط هو عملية تشغيل تُستخدم للحصول على أسطح أسطوانية أو مخروطية خارجية على القطعة المشغّلة. يتم ذلك بواسطة أداة قطع تتحرك موازية لمحور دوران القطعة كما هو موضح في (الشكل.2.1). [7]



الشكل.1. 2. عملية التخریط.

### 2.5.2.1 التسطیح (Le dressage):

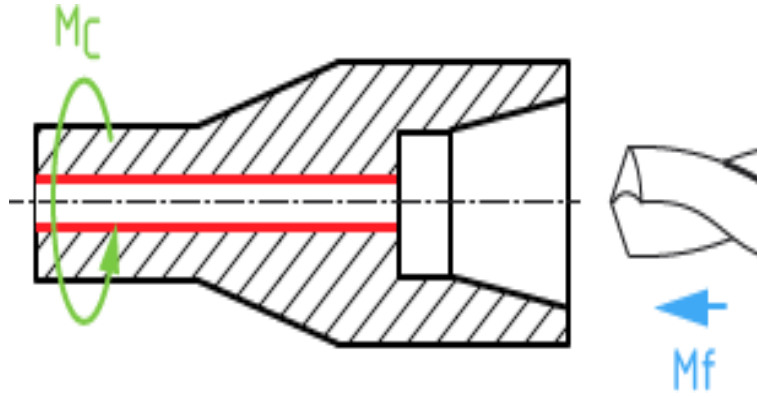
هي عملية ميكانيكية تهدف إلى معالجة سطح مستوي يكون عمودياً على محور المغزل سواء كان خارجياً أو داخلياً. هذه العملية تساهم في تقليص الطول وتحقيق دقة أعلى في الشكل الهندسي للقطعة المشغولة كما هو موضح في (الشكل 3.1). [7]



الشكل.1. 3. التسطیح.

### 3.5.2.1 الثقب (Le perçage):

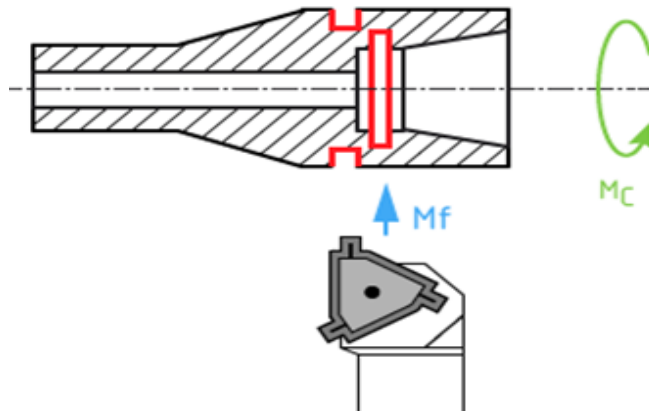
الثقب هو عملية تشغيل تهدف إلى إنجاز فتحة في القطعة، إما نافذة أو عمياء، وذلك باستخدام ريشة تثقيب. غالباً ما يكون محور الثقب متطابقاً مع محور دوران القطعة كما هو موضح في (الشكل 4.1). [7]



الشكل.1. 4. الثقب.

#### 4.5.2.1. التخذيد (Le rainurage):

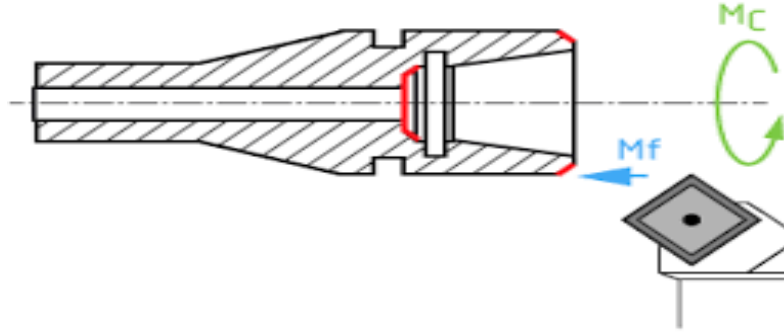
التخذيد هو عملية تشغيل تهدف إلى تشكيل أخدود (يتكون من ثلاثة أسطح) على سطح القطعة، سواء كان داخلياً أو خارجياً. يُستخدم هذا الأخدود عادةً لتركيب حلقات التثبيت أو الحلقات المرنة (joint torique). كما هو موضح في (الشكل.5.1) [7]



الشكل.1. 5. التخذيد.

#### 5.5.2.1. التشطيف (Chanfreinage):

هي عملية ميكانيكية تهدف إلى تشكيل مخروط صغير الحجم بهدف إزالة الزاوية الحادة من حواف القطعة كما هو موضح في (الشكل 6.1). [7]



الشكل.1.6. التشطيف

### 3.1 التفريز:

#### 1.3.1 التعريف:

التفريز هو عملية تشغيل ميكانيكي تُستخدم لإزالة المادة من قطعة العمل باستخدام آلة مخصصة، ويُنفذ على مجموعة متنوعة من الآلات التي تتراوح من آلات التفريز التقليدي إلى آلات التفريز ذات التحكم الرقمي CNC المتطورة، والتي تتميز بقدرتها على العمل مع محاور متعددة. نظرًا للتطور الكبير في هذه التقنية، أصبح من الضروري دراسة نوع الآلة المستخدمة بعناية من أجل تحديد أسلوب التشغيل الأمثل وهذا يساعد في تحسين الإنتاجية، تقليل الوقت المستغرق، ورفع جودة القطع.

تحتوي أداة التفريز، أو ما يُسمى بـ التفريزة، على عدة حواف قطع، حيث يقوم كل حافة بإزالة كمية معينة من المعدن على شكل رقائق تُسمى الرائش. يتميز التفريز بكونه عملية ذات كفاءة عالية، حيث تُنتج أسطحًا دقيقة وخشونة منخفضة، مما يضمن دقة عالية في القطعة النهائية. كما أن هذه العملية قادرة على إنتاج أشكال معقدة ومتنوعة بدقة متناهية، مما يجعلها مثالية للعديد من التطبيقات الصناعية التي تتطلب دقة عالية وجودة عالية للسطوح. [8]

#### 2.3.1 حركات القطع في عملية التفريز:

عملية التفريز تعتمد على مجموعة من الحركات الميكانيكية التي تعمل بتنسيق دقيق لتحقيق الشكل النهائي للقطعة المشغولة. يمكن تصنيف هذه الحركات إلى ثلاث أنواع: حركة القطع وحركة التغذية وحركة الاختراق.

#### ✓ حركة القطع Mc:

حركة القطع هي الحركة الأساسية التي تنتج عن دوران أداة القطع (أداة التفريز). هذه الحركة هي المسؤولة عن إزالة المادة من سطح القطعة المشغولة. يتم تنفيذ حركة القطع غالبًا حول محور دوران أداة التفريز في

الاتجاهات المختلفة وفقاً لنوع الآلة المستخدمة. تعتمد سرعة القطع على عدة عوامل، منها نوع المادة المشغولة، تصميم أداة القطع، ومتطلبات العملية من حيث الجودة والدقة. [9]

### ✓ حركة التغذية Ma:

حركة التغذية هي الحركة التي يتم من خلالها دفع القطعة المشغولة أو أداة القطع لتتداخل مع منطقة القطع بشكل تدريجي. يمكن أن تكون حركة التغذية خطية أو دورانية، وفقاً لتصميم الآلة ونوع العملية. تهدف هذه الحركة إلى ضمان إزالة المادة بالتساوي وتحقيق الأبعاد المطلوبة للمنتج النهائي [9]

### ✓ حركة الاختراق (العمق) Mp:

بالإضافة إلى حركة القطع وحركة التغذية، قد تكون هناك حركة ثالثة تُعرف بحركة الاختراق. هذه الحركة تُحدد مستوى تغلغل أداة القطع في المادة، وتُعتبر ضرورية لتشكيل الأبعاد الدقيقة وتقليل الفاقد. [9]

### ✓ أهمية تنظيم الحركات:

يُعتبر تحسين تنظيم هذه الحركات عاملاً رئيسياً لتحقيق كفاءة العملية، حيث يؤدي الإعداد السليم إلى تقليل زمن التصنيع، تحسين جودة السطح، وتقليل استهلاك الطاقة وأداة القطع.

## 3.3.1 طرق القطع:

يمكن تصنيف طرق القطع في عملية التفريز إلى نوعين رئيسيين، اعتماداً على اتجاه دوران أداة القطع (محور الفريزة) مقارنة باتجاه حركة التغذية (تقدم القطعة المشغولة). هذان النوعان هما:

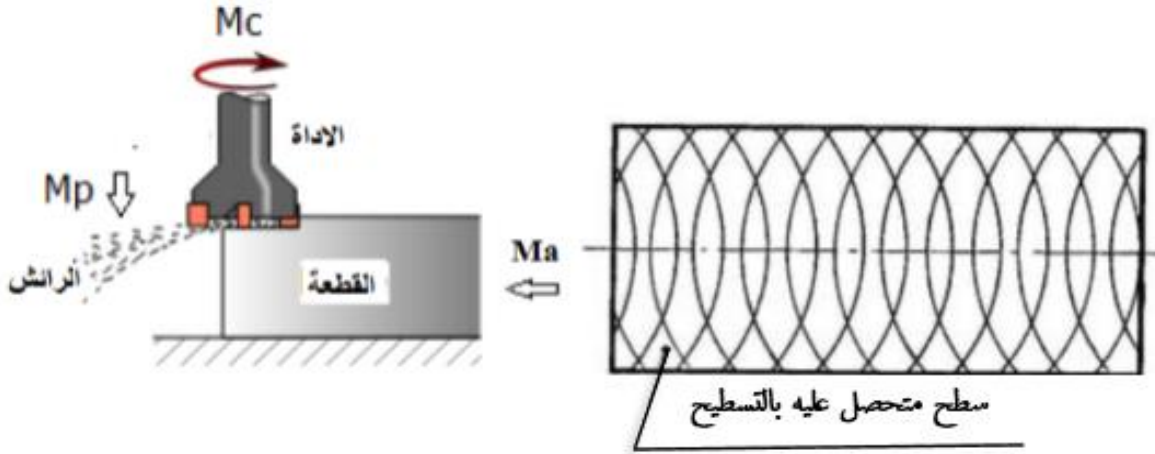
### 1.3.3.1 تفريز سطحي (Le fraisage en bout):

التفريز السطحي أو التسطیح يكون فيه محور الفريزة عمودياً على سطح القطعة كما هو موضح في (الشكل 7.1).

بحيث أن: Ma هي حركة التغذية للقطعة.

Mc هي حركة القطع لفريزة.

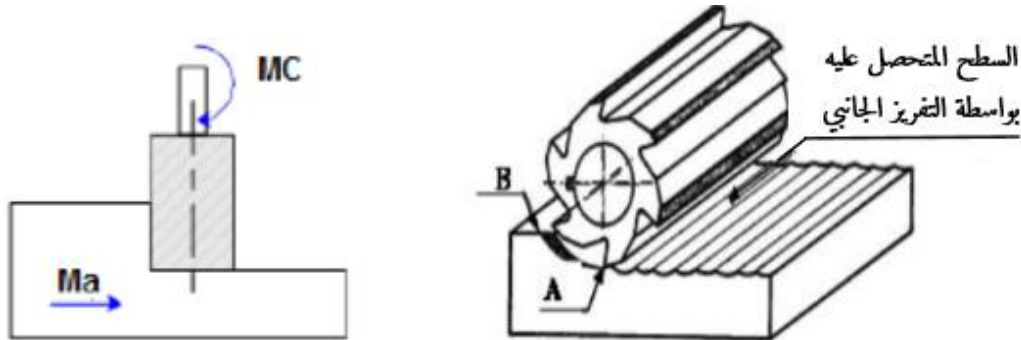
Mp هي حركة الاختراق. [13]



الشكل.1.7. التفريز السطحي والسطح المحصل عليه بهذا الأسلوب.

### 2.3.3.1 التفريز الجانبي (Le fraisage en roulant):

ويكون فيه محور الفريزة موازيا لسطح القطعة المشغل كما هو موضح (الشكل 8.1). تظهر على السطوح المشغلة بهذه الطريقة تموجات يعتمد شكلها على نوع واتجاه حركة الأسنان القاطعة وسرعة تغذية القطعة. وتقوم الفريزة بحركة دورانية إما في اتجاه انتقال قطعة الشغل أو عكسها، هذا الاختلاف يلعب دورا أساسيا ويؤثر على عملية التفريز في مختلف الجوانب. [10]



الشكل.1.8. التفريز الجانبي والسطح المحصل عليه بهذا الأسلوب.

### 3.3.3.1 التفريز الجانبي المتعاكس (fraisages en opposition):

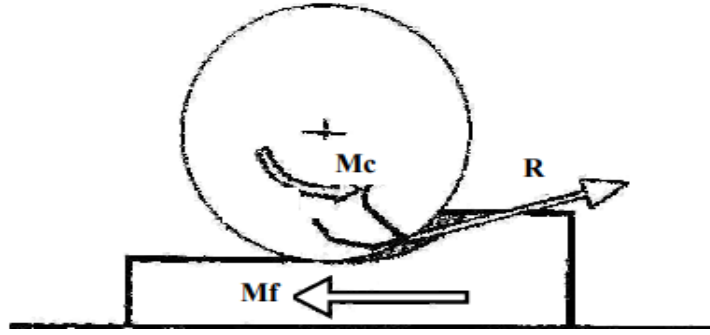
التفريز الجانبي المتعاكس هو أحد الطرق التقليدية المستخدمة في عمليات التفريز، حيث تدور أداة القطع في اتجاه معاكس لحركة التغذية. في هذه الطريقة، لا يبدأ السن في القطع مباشرة عند نقطة التماس، بل ينزلق لمسافة صغيرة جداً على سطح القطعة المشغولة. يستمر هذا الانزلاق حتى يصل سمك طبقة المعدن أمام السن إلى حد كافٍ يمنع الانزلاق. ينتج عن هذا الانزلاق ارتفاع في درجة حرارة المعدن، مما يتطلب توفير تبريد كافٍ للتخلص من الحرارة المتولدة أثناء العملية. كما هو موضح في (الشكل 9.1).

## ✓ مميزات هذه العملية:

1. بداية القطع وانزلاق السن: في لحظة بداية التماس، يحدث انزلاق للسن على سطح المشغولة. هذا الانزلاق يؤدي إلى زيادة إجهاد أداة القطع بسبب رد فعل قوى القطع.
2. تأثير القوى الناتجة عن القطع: تتعرض أداة القطع لإجهاد انحناء كبير عند بداية التماس، في حين يتعرض فرش الماكينة لإجهاد ضغط يدفعها إلى الأسفل تحت تأثير قوى القطع.
3. علامات الاهتزاز على السطح المشغول: بسبب طبيعة الحركة والانزلاق، قد تظهر علامات ارتجاج على السطح الناتج، مما يؤثر على جودة السطح ويقلل من دقته.
4. زيادة تآكل حدود القطع: نتيجة لانزلاق السن، تزداد فرص تآكل حدود القطع، مما يؤدي إلى فقدان حدة الأداة بمرور الوقت.
5. سمك الرائش الأقصى: يبلغ سمك الرائش أقصى قيمة له عند خروج السن من القطعة المشغولة، مما يجعل التحكم في القوى الناتجة أمرًا ضروريًا لضمان استقرار العملية.

## ✓ تحسين الأداء في التفريز الجانبي المتعكس:

- استخدام سوائل تبريد مناسبة: تساهم سوائل التبريد في تقليل الحرارة الناتجة عن الانزلاق وتحسين عمر الأداة.
- اختيار الأدوات ذات الكفاءة العالية: يمكن استخدام أدوات ذات مواد مقاومة للتآكل مع طلاءات حديثة لتقليل تأثير الانزلاق.
- تقليل الاهتزازات: يعتمد ذلك على ضبط الصلابة الهيكلية للماكينة وسرعات القطع المناسبة. [11]



الشكل.1. 9. التفريز الجانبي المتعاكس.

#### 4.3.3.1. التفريز الجانبي المتماثل (fraisages en avalant):

التفريز الجانبي المتماثل هو تقنية تُستخدم في عمليات تشغيل المعادن، تتميز بأن اتجاه حركة القطع وحركة التغذية يكونان متطابقين. في هذه الطريقة، يدخل سن أداة القطع مباشرة في المادة المشغولة، مبتدئاً بقطع الرائش عند أكبر سمك له، ثم يقل السمك تدريجياً حتى يصبح عند حده الأدنى أثناء خروج السن من القطعة. كما هو موضح في (الشكل 10.1).

##### ✓ خصائص التفريز المتماثل:

1. كفاءة القطع وتقليل الحرارة: يبدأ القطع بدون انزلاق أولي، مما يقلل من الحرارة الناتجة مقارنةً بالتفريز المتعاكس. يقلل ذلك من الحاجة لاستخدام سوائل التبريد، خاصة عند تشغيل المواد الطرية.
2. تحسين الإنتاجية: يمكن تشغيل الماكينة بسرعات قطع عالية وتغذيات كبيرة، مما يقلل من زمن التشغيل بشكل كبير. ويُعتبر التفريز المتماثل أكثر فعالية من حيث الوقت في تصنيع الأجزاء الدقيقة.
3. جودة السطح المشغول: ينتج عن هذه الطريقة أسطح ناعمة بسبب انخفاض قوى القطع تدريجياً مع تقليل سمك الرائش. ويُحسّن هذا من دقة السطح ويقلل من ظهور الاهتزازات والعيوب.
4. إطالة عمر الأداة: يقل معدل تآكل حدود القطع بسبب انخفاض قوى القطع أثناء خروج السن من المادة المشغولة. ويؤدي هذا إلى تحسين العمر التشغيلي للأداة وتقليل التكاليف الإجمالية.

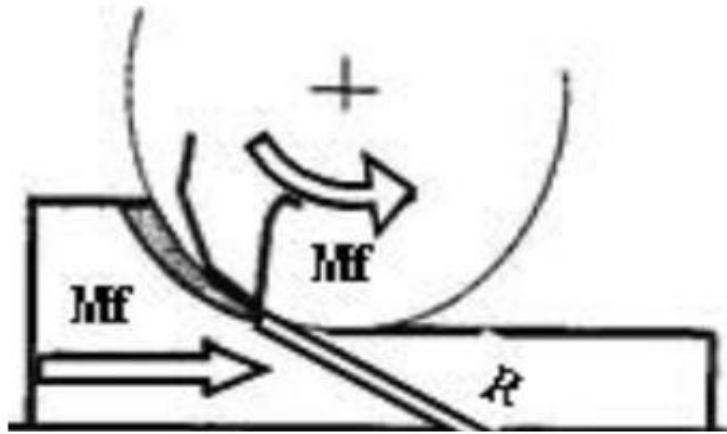
##### ✓ تحسين عملية التفريز المتماثل:

1. اختيار الأدوات المناسبة: استخدام أدوات قطع ذات طلاءات مقاومة للتآكل لتجنب الأضرار الناتجة عن المواد الصلدة.
2. ضبط ظروف التشغيل: يجب التحكم بسرعات القطع والتغذية بما يتناسب مع نوع المادة المشغولة لتحقيق أفضل النتائج.

3. التبريد عند الحاجة :استخدام سوائل تبريد عند تشغيل المواد الصلدة أو في حالة العمليات الدقيقة لتقليل التآكل والحرارة.

✓ فوائد التفريز المتماثل:

1. تقليل إجهاد الماكينة بسبب انخفاض قوى القطع التدريجي.
2. تقليل الحاجة للصيانة الدورية للمعدة.
3. تحسين جودة السطوح، مما يقلل الحاجة إلى عمليات تشطيب إضافية.



الشكل.1.10. التفريز الجانبي المباشر.

#### 4.3.1 شروط القطع (Conditions de Coupe):

هي عناصر ثابتة أو متغيرة، ولها تأثير مباشر على حالة السطوح المشغلة وعلى عمر خدمة أدوات القطع.

✓ سرعة القطع (Vc):

تعرف على انها المسافة التي يقطعها نقطة على القطر الخارجي لأداة القطع خلال دقيقة واحدة وتقاس بوحدة m/min. ترتبط سرعة القطع بسرعة الدوران N (tr/min) وقطر القطعة D (mm). [9]

$$Vc = \frac{\pi DN}{1000} \dots\dots\dots (3.1)$$

✓ سرعة التغذية (Vf):

هي سرعة تقدم الأداة في وحدة الزمن يتم التعبير عنها (mm/min)، وتتعلق بالتقدم للدورة f (mm/dent) وعدد أسنان الفريزة Zn وسرعة الدوران N. [9]

$$Vf = f \times Zn \times N \dots\dots\dots (4.1)$$

### ✓ عمق التمريرة ap:

يُقترح أحيانا في جداول لمصنعي أدوات القطع ويعتمد ذلك على نوع السطح الذي نريد الحصول عليه بهذه العملية (تشطيب أو إنهاء). يتعلق أكبر عمق يتم تحديده بأبعاد وشكل قلم التشغيل (اللجمة) ويشار إلى هذه القيمة القصوى في جداول الموارد، ويتوافق مع كمية المعدن التي تزيلها الأداة من على سطح قطعة العمل. [9]

### 4.1 التآكل (usure):

أثناء عملية القطع، وبسبب التفاعل المكثف والمتبادل بين أسطح التلامس للجزء الفعّال من أداة القطع والأسطح المشغولة للقطعة، تنشأ قوى قطع كبيرة، احتكاكات مرتفعة، ودرجات حرارة عالية. هذه العوامل تؤدي إلى ظهور تآكل على أسطح أداة القطع، مما يُسفر عن تدهور جودة حالة السطح ويؤثر سلبًا على دقة القطعة المشغولة.

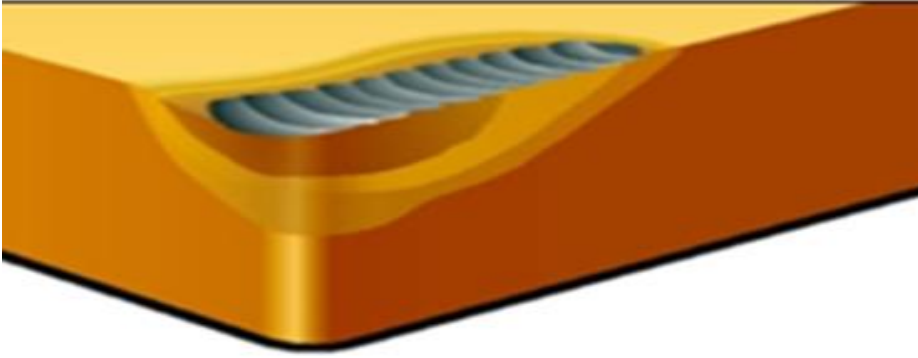
يُعتبر تآكل أدوات القطع عملية معقدة للغاية، حيث تنشأ على أسطح التلامس بين الأداة والرائش أو القطعة المشغولة ظواهر فيزيائية وكيميائية. هذا التآكل يؤثر أيضًا على المعايير الهندسية للأداة مثل الزوايا ونصف قطر الحافة، إلى جانب تأثيره على درجة الحرارة، وقوى القطع، وعمر الأداة، وكذلك على دقة السطح المشغول

### 1.4.1 اشكال التآكل (Mécanismes et formes d'usure):

تختلف أشكال التآكل تبعًا لظروف التشغيل، والتي تشمل الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمادة المشغولة، وخصائص مادة الأداة، وعناصر نظام القطع (مثل سرعة القطع، ومعدل التغذية)، واستخدام سوائل التبريد والتشحيم، وصلابة النظام المستخدم في عملية التشغيل. بوجه عام، يحدث تآكل الأداة على عدة أسطح، وبشكل خاص على سطح القطع الرئيسي وأسطح الخلوص. [12]

### ✓ التآكل على هيئة حفرة (Usure en cratère):

يظهر في سطح التماس بين الرائش وسطح الأداة. يحدث بسبب تآكل ينتشر بسبب درجات حرارة القطع العالية على سطح القطع، موضح في الشكل (11.1).



الشكل.1.11 التآكل على هيئة حفرة

### ✓ التآكل البلاستيكي المرن (Deformation plastique):

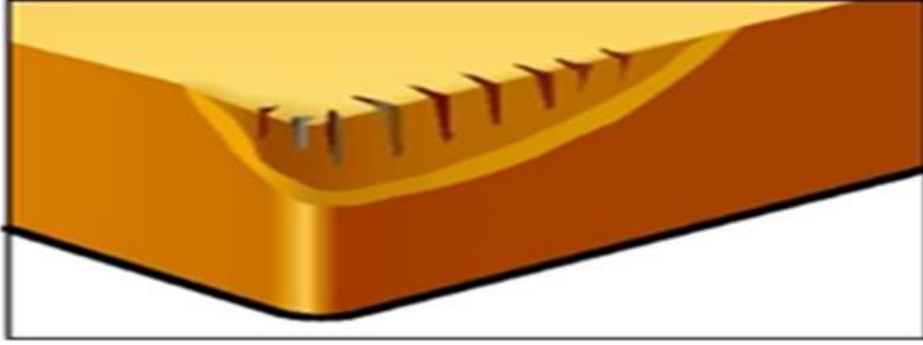
يحدث نتيجة ارتفاع درجات الحرارة والقوى العالية، مما يؤدي إلى تغيير شكل الأداة، وذلك بسبب ارتفاع شديد في درجة حرارة القطع والضغط على الأداة، موضح في الشكل (12.1).



الشكل.1.12 التآكل البلاستيكي المرن

### ✓ التآكل بالتقشر (Écaillage):

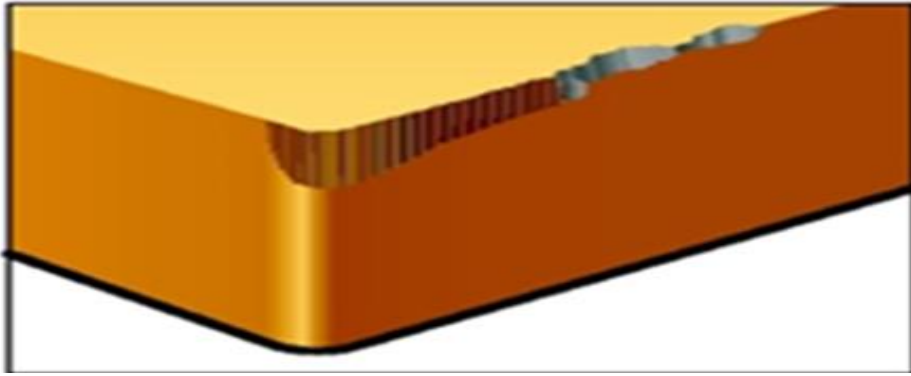
يتمثل في انفصال أجزاء صغيرة من الحافة القطعية للأداة. يحدث بسبب تدفق الرائش في اتجاه حد القطع. موضح في الشكل (13.1).



الشكل.1. 13 التآكل بالتقشر

## ✓ شقوق حرارية (Fissures thermiques):

شقوق صغيرة عمودية على حد القطع تسبب تقطيعًا وتدهورًا في الحالة السطحية. ويرجع هذا النوع من التآكل إلى التقلبات الحرارية الناتجة، نتيجة إمداد غير منتظم بسائل القطع، موضح في الشكل (14.1).



الشكل.1. 14 شقوق حرارية

## 5.1 الخشونة (Rugosite):

هي مجموعة من التعرجات والعيوب على سطح ما، التي تظهر على المستويين المجهرى والعينى. الأسطح التي تم معالجتها ليست مثالية، بل تحتوي على عيوب ناتجة عن عمليات المعالجة، الأدوات، المواد المستخدمة، وغيرها من العوامل. تعتمد وظيفة السطح على عدة عوامل، أبرزها حالته السطحية (مثل العزل، الانزلاق، إلخ). كلما كانت الخشونة أقل، زادت كفاءة السطح في الأداء الوظيفي المطلوب. كلما كانت الخشونة أقل، كان من الصعب تحقيقها، مما يؤدي بشكل حتمي إلى زيادة في تكاليف التصنيع.

## 1.5.1 عيوب الخشونة (Defauts de Regosite):

بشكل عام، تلعب العيوب السطحية دورًا مهمًا في الأداء الجيد للقطعة. يمكن أن تكون هذه العيوب من طبيعة هندسية أو فيزيائية-كيميائية. في هذه الحالة، نركز فقط على العيوب الهندسية، التي تُصنف وفقًا لأربعة أرقام ترتيبية. تُصنف العيوب كما يلي:

✓ العيوب الماكرو هندسية:

1. الترتيب الأول: التباين في الشكل.

2. الترتيب الثاني: التموجات.

✓ العيوب الميكرو هندسية:

3. الترتيب الثالث: الأحاديد.

4. الترتيب الرابع: التمزق.

2.5.1 المعايير الرئيسية للخشونة:

لنعتبر مقطعاً محلياً للسطح المعالج بشكل عمودي على الأحاديد الناتجة عن عملية المعالجة، حيث

تمثل OX الخط الأوسط (العبارة 5.1)، تُحدّد أهم معايير الخشونة بناءً على هذا الخط الأوسط [13]

$$\int_0^l y dx = 0 \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

✓ **الخشونة الكلية Rt**: تمثل الفرق الكلي بين أعلى نقطة وأدنى نقطة في الملف.

✓ **الخشونة Rz**: تمثل المسافة المتوسطة بين أعلى خمس قمم وأعمق خمس تجاويف في الملف.

✓ **الخشونة المتوسطة الحسابية Ra**: تمثل المتوسط الحسابي للفروق (بالقيمة المطلقة) بالنسبة للخط OX

يتم حساب Ra على طول التقييم، بالعبارة (6.1). [14]

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

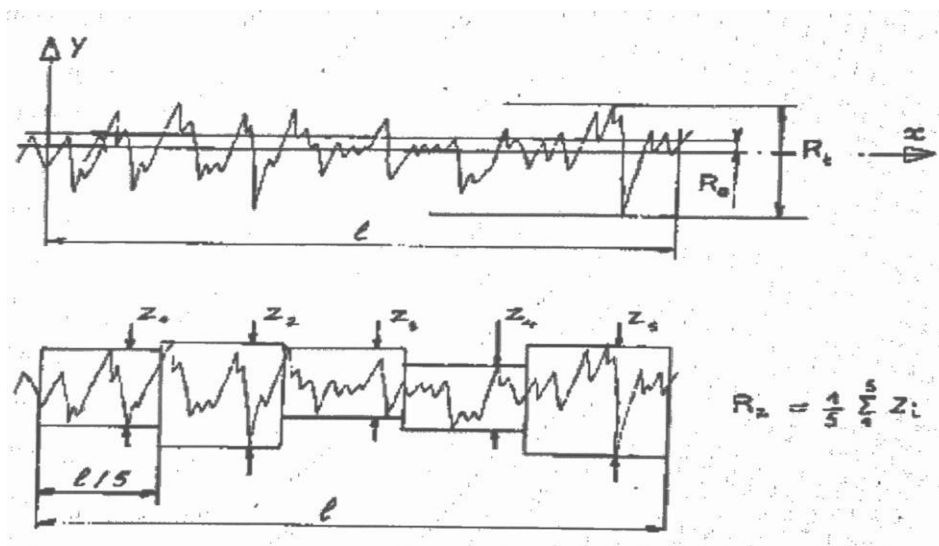
✓ **الخشونة القصوى Rmax**: هي أقصى ارتفاع للتعرجات في ملف الخشونة، ويُقاس بين نتوء وتجويف متتالين.

✓ **الخشونة Rp**: هي أقصى ارتفاع للنتوء في الخشونة. يُمثل Rp المسافة بين خط النتوءات والخط المتوسط على طول معين (L).

يُعرض في الشكل (11.1) المعايير المختلفة للخشونة مثل الخشونة الكلية (Rt)، الخشونة المتوسطة

الحسابية (Ra)، الخشونة القصوى (Rmax)، والخشونة القصوى للنتوءات (Rp)، التي تحدد التعرجات والعيوب

على السطح المعالج. [14] [15]



الشكل 1.15. المعايير الرئيسية للخشونة.

## 2 الفصل الثاني: البروتوكول

التجريبي

**1.2 المقدمة:**

في هذا الفصل، نقدم جميع الوسائل والمنهجيات التي تم استخدامها لإجراء التجارب بهدف توصيف سلوك العلاقة بين الأداة والمادة أثناء عملية التشغيل. يتضمن ذلك عرضاً مفصلاً للمعدات المستخدمة لمتابعة تطور عدة عوامل رئيسية مثل قوى القطع المتولدة، وخشونة السطح الناتجة أثناء عملية التشغيل بالإضافة إلى ذلك، نوضح أيضاً المنهجية المعتمدة للتخطيط وتحديد ظروف إجراء التجارب.

أُجريت التجارب في ورشة قطع المعادن التابعة لقسم الهندسة الميكانيكية في مصنع الأسمت حجر سود بكوش لخضر سكيكدة.

في هذا الجزء، نقدم المعدات التي تم استخدامها لتصميم وإجراء التجارب. تتكون منظومة الاختبارات من مجموعة من الأجهزة المتخصصة التي تهدف إلى جمع البيانات وتحليل مختلف العوامل المؤثرة على عملية التشغيل.

**2.2 آلة الخراطة:**

أُجريت اختبارات التشغيل الطولي باستخدام جهاز خراطة تقليدي من طراز TERENS SN 71CLASSIC، الذي تنتجه الشركة العالمية المعروفة بجودة تصنيعها للمعدات الصناعية (الشكل 1.2) متبوع برسم تخطيطي (الشكل 2.2). يتميز هذا الجهاز بمجموعة من المواصفات الفنية التي تجعله أداة مثالية لإجراء التجارب بدقة عالية وأداء موثوق. تتميز بـ:

قدرة المحرك الكهربائي: 6.6 كيلوواط، مما يتيح قوة كافية لمعالجة مختلف المواد بأحمال تشغيل متغيرة.

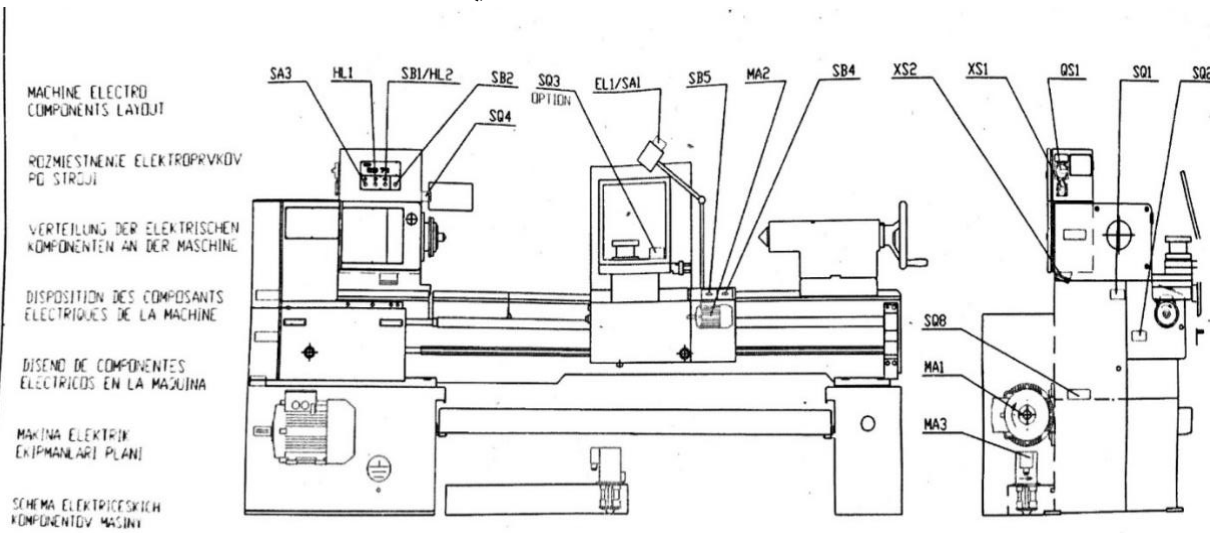
سرعات الدوران المتوفرة: تتميز آلة الخراطة بإمكانية ضبط سرعات الدوران لتتناسب مع متطلبات العمل المختلفة. تشمل السرعات المتاحة بالدورة في الدقيقة (tr/min) 45؛ 63؛ 90؛ 125؛ 801؛ 250؛ 355؛ 500؛ 710؛ 1000؛ 1400؛ 2000 (الشكل 3.2).

هذا التنوع في السرعات يجعل الجهاز مناسباً لتنفيذ عمليات تشغيل دقيقة مثل الخراطة الخارجية، التجويف الداخلي، والتفريز، مما يضمن تحقيق نتائج عالية الجودة تلبي احتياجات التطبيقات الصناعية المختلفة.

يوضح (الجدول 1.2) أهم أبعاد والقدرات التشغيلية لآلة الخراطة، كما يوضح (الجدول 2.2) مواصفات المغزل الرئيسي. أما (الجدول 3.2) فيوضح مواصفات العربة ونظام التغذية لآلة الخراطة. كذلك فإن (الجدول 4.2) يوضح الأبعاد العامة والوزن الخاص بالآلة.



الشكل.2. 1 صورة توضيحية لآلة الخراطة التي أجريت عليها الأبحاث.



الشكل.2. 2 رسم تخطيطي لآلة الخراطة المستعملة.

INFORMATION		WARNING	
mm	mm	mm	mm
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36
37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48
49	50	51	52
53	54	55	56
57	58	59	60
61	62	63	64
65	66	67	68
69	70	71	72
73	74	75	76
77	78	79	80
81	82	83	84
85	86	87	88
89	90	91	92
93	94	95	96
97	98	99	100

الشكل.2. 3 جدول السرعات الخاص بالآلة الخراطة.

الجدول 2.1 الأبعاد والقدرات التشغيلية

الخاصية	القيمة	الوحدة
القطر الأقصى فوق السرير	710	مم (mm)
القطر فوق العربة العرضية	420	مم (mm)
القطر داخل فجوة السرير	960	مم (mm)
ارتفاع المركز عن السرير	355	مم (mm)
المسافة بين المركزين	1500-4000	مم (mm)
طول الفجوة	300	مم (mm)
عرض السرير	450	مم (mm)

الجدول 2.2 مواصفات المغزل الرئيسي

الخاصية	القيمة	الوحدة
نوع التثبيت	STN ISO 702/III – B8	—
قطر فتحة المغزل	73.5	مم (mm)
المخروط الداخلي	متري 80	—
عدد السرعات	16	—
مدى السرعات	10-1000	دورة/دقيقة (rpm)
عزم الدوران الأقصى	2400	نيوتن متر (Nm)
قدرة المحرك الرئيسي	7.5 قابلة للترقية إلى (11)	كيلوواط (kW)

الجدول 2.3 مواصفات العربة ونظام التغذية

الخاصية	القيمة	الوحدة
مدى التغذية الطولية/العرضية	0.025-3.2	مم/دورة (mm/rev)
السرعة القصوى (عرضية)	1500	مم/دقيقة (mm/min)
السرعة القصوى (طولية)	3000	مم/دقيقة (mm/min)
حركة العربة العرضية	400	مم (mm)
حركة العربة الطولية	180	مم (mm)
أبعاد أدوات القطع	40 × 25	مم (mm)

## الجدول.2. 4 الأبعاد العامة والوزن

الخاصية	القيمة	الوحدة
الطول الكلي	3445	مم (mm)
العرض الكلي	1210	مم (mm)
الارتفاع الكلي	1600	مم (mm)
الوزن	2960	كيلوجرام (kg)

## 3.2 عينة الاختبار:

العينة التي تم استخدامها في التجربة ذات قطرًا قدره 50 مم وطولًا يبلغ 360 مم، مصنوعة من الفولاذ الكربوني C65. يُعد هذا الصنف من الفولاذ من المواد المستعملة بكثرة في الميدان الصناعي، وخصوصًا في ورشات التصنيع الميكانيكي، نظرًا لاحتوائه على نسبة عالية من الكربون، مما يمنحه صلادة مرتفعة وقدرة جيدة على التحمل وقابلية للمعالجة الحرارية. يُستخدم فولاذ C65 عادة في صناعة أدوات التشغيل، النوابض، الأعمدة، والأجزاء المعرضة للاحتكاك.

توضح الجداول (5.2)، (6.2) و(7.2) الخصائص الكيميائية، الميكانيكية والفيزيائية النموذجية لهذه المادة على الترتيب.

تم الحصول على العمود (من مادة C65 بطول 360 مم وقطر 50 مم) الذي أجريت عليه الدراسة (الشكل 4.2) من خلال قص عمود خام بطول يقترب من 1 متر الموضح في الشكل (5.2) باستخدام منشار ترددي آلي الموضح في الشكل (6.2).



الشكل.2. 4 العينة المستعملة.



الشكل.2. 5 عينات من المعدن C65.



الشكل.2. 6 المنشار الترددي.

الجدول.2. 5 الخصائص الكيميائية للفولاذ الكربوني C65.

C	Si	Mn	P	S
% 0.62 – 0.70	% 0.15 – 0.30	% 0.60 – 0.90	% ≤ 0.035	% ≤ 0.035

الجدول.2. 6 الخصائص الميكانيكية المتوسطة الموحدة.

Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Re (N/mm <sup>2</sup> )	A (%)	Dureté HB
700 – 1000 (MPa)	500 – 650 ميغا باسكال (MPa)	10 – 15 %	180 – 240 HB

الجدول.2. 7 الخصائص الفيزيائية.

الخاصية	قيمتها
الانتشار الحراري	$11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
التوصيل الحراري	46 – 50 w/m. k
الحرارة النوعية	460 j/kg. k
درجة حرارة الذوبان	1460 – 1520 $^\circ\text{C}$
الكثافة	7.85 g/cm <sup>3</sup>

## 4.2 أدوات القطع المستخدمة:

## 1.4.2 لقم القطع:

لقمة القطع من الطراز TNMG 220404 T-FIC907 (الشكل.7.2) المصنعة من طرف الشركة (ISCAR) وهي شركة عالمية رائدة في مجال أدوات القطع والتشغيل، تتبع لمجموعة Berkshire Hathaway المملوكة للشركة الأمريكية (International Metalworking Companies) IMC. [16]

لقمة القطع من الطراز TNMG 220404 T-FIC907 تمثل أداة قطع متقدمة تم استخدامها في التجارب العملية ضمن دراسات التشغيل الميكانيكي في عمليات الخراطة (Tournage). تتميز هذه اللقمة بتصميمها الهندسي الدقيق وأدائها العالي في معالجة مجموعة متنوعة من المواد الصلبة والمعقدة.

يمثل الجدول (8.2) شرح تعيين لقمة القطع TNMG 220404 T-FIC907.



الشكل.2. 7 لقم القطع.

## الجدول 2. 8 شرح تعيين لقمة القطع TNMG 220404 T-FIC907.

T : شكل مثلث متساوي الأضلاع (triangulaire) N : زاوية توجيهه 0°، أي أن الزاوية بين السطح القاطع و سطح التثبيت عمودية (زاوية حيادية). M : وجه سفلي مسطح مع ثقب تثبيت وسطي G : درجة تشطيب عامة، مع وجود شطف خفيف عند الحواف	TNMG
22: القطر الخارجي (أو حجم الحافة المثلثية) يساوي حوالي 22 مم. 04: السمك يساوي حوالي 4.76 مم. 04: نصف قطر رأس القطع يساوي 0.4 مم، وهو مناسب لإنهاء السطح بدقة معتدلة.	220404
يمثل نمط حافة القطع. (Casse-copeaux) يشير إلى هندسة الحافة المصممة للتحكم في كسر الرقائق أثناء القطع، ويُستعمل غالبًا في عمليات القطع العام (usinage universel).	T
نوع المعدن أو الطلاء الذي يُغلف القمّة يسمى بـ Grade،، مغطى بطبقات مقاومة للتآكل والحرارة (غالبًا TiAlN أو CVD)	FIC907

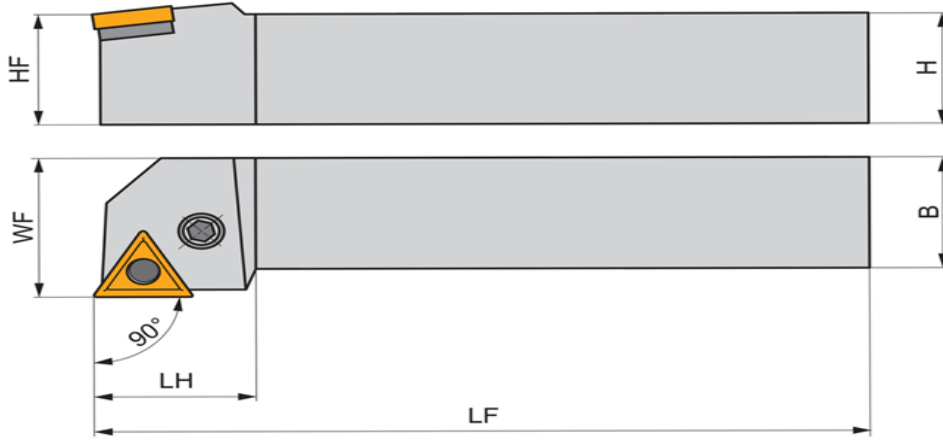
## 2.4.2 حامل الأداة:

تم تثبيت اللقمة القاطعة المعتمدة في هذه الدراسة ميكانيكياً على حامل أداة من نوع PMO PTGNR3 32 P22 الموضح في الشكل (8.2) متبوع بالرسم الموضح في الشكل (9.2)، من طرف شركة Dormer Pramet التشيكية الذي يُستخدم لتثبيت اللقم المثلثية عن طريق برغي مركزي (trou central).

يتوفر هذا الحامل على هندسة قطع مميزة، حيث يوفر زاوية دخول مناسبة ويضمن ثبات الأداة أثناء التشغيل. حيث يوضح الجدول (9.2) المعطيات الهندسية للحامل. كما يوضح الجدول (10.2) شرح للتعيين الخاص بحامل الأداة.



الشكل 2. 8 حامل الأداة.



الشكل 2.9. رسم توضيحي لحامل الأداة.

الجدول 2.9 المعطيات الهندسية.

زاوية ميل الأداة	زاوية ميل الوجه الأمامي	زاوية الخلوص الخلفي	زاوية الاتجاه
$\lambda^\circ = -6^\circ$	$\gamma^\circ = -6^\circ$	$\alpha^\circ = 6^\circ$	زاوية الدخول $\chi^\circ = 75^\circ$

الجدول 2.10 شرح التعيين PMO PTGNR3 32 P22 .

رمز داخلي أو اسم تجاري لعائلة الحامل	PMO
أداة خراطة خارجية (Turning external tool)	P
القمة المستعملة مثلثية الشكل (Type TNMG).	T
زاوية توجيه القمة 0° زاوية حيادية - Neutral.	G
نوع التثبيت: تثبيت ميكانيكي عبر برغي مركزي.	N
اتجاه القطع: يميني (Right-hand).	R
ارتفاع الحامل أو رقم السلسلة، غالباً مرتبط بقياس 32 مم.	3
عرض (أو ارتفاع) مقطع الحامل = 32 مم.	32
تشير إلى حامل مزود بتبريد داخلي (coolant).	P
رقم تسلسلي أو يشير إلى طول أو توافق معين	22

## 5.2 الأجهزة المستعملة في القياس:

## 1.5.2 المقارن:

في إطار مراقبة دقة التشغيل لعينة أسطوانية من فولاذ C65 (50مم، طول 360 مم) تمت خراطتها على آلة SN 71 CLASSIC، تم الاعتماد على مقارن قياس من نوع Mitutoyo كأداة عالية الدقة لتقييم

الانحرافات الطفيفة في الأبعاد وملاحظة التشوهات الناتجة عن ظروف القطع الموضح في الشكل (10.2).  
يمتاز هذا الجهاز بقدرة قياس دقيقة تبلغ 0.001 مم، مما يسمح بالكشف عن:

- الانحرافات الدائرية بعد الخراطة (ovalisation) ،
- تفاوتات الأقطار مقارنة بالأبعاد الاسمية،
- تشوهات سطحية ناتجة عن الاهتزازات أو التأثير الحراري.

تم تثبيت المقارن على حامل مغناطيسي ثابت، ولامس رأس الجسّ سطح القطعة مباشرة بعد التشغيل دون نزعها من المخرطة، لتفادي أخطاء الفك والتركيب. ساهم هذا الجهاز في ضمان تتبع دقيق لحالة السطح والأبعاد، ما مكّن من اتخاذ قرارات تصحيحية فورية وتحقيق جودة تشغيل عالية.



الشكل.2. 10 المقارن.

### 2.5.2 قياس الخشونة السطحية:

إجراء قياسات الخشونة السطحية للعينة الأسطوانية المصنوعة من فولاذ (C65 بقطر 50 مم وطول 360 مم) مباشرة بعد عمليات الخراطة المنجزة على آلة SN 71 CLASSIC ، باستعمال جهاز Rugosimètre 2D من نوع (Mitutoyo) SurfTest 301، بدقة قياس تصل إلى 0.1 ميكرون، ومزود بطابعة لرسم منحنى الخشونة، موضح في الشكل (11.2).

يعتمد هذا الجهاز على رأس جسّ من الألماس (palpeur en diamant) ذو نصف قطر 5 ميكرون، يتحرك بخط مستقيم على سطح القطعة الخاضعة للقياس. تم اعتماد طول مسح يقدر بـ 4 مم، مع طول قاعدة قياس 0.8 مم أي  $0.8 \times 5$ . نطاق القياس الذي يتيح الجهاز يتراوح بين:

- 0.05 إلى 40 ميكرون لمتوسط الخشونة Ra

• 0.3 إلى 160 ميكرون لكل من Rz وRt

ولتفادي أخطاء الفك والتركيب، وضمان دقة أكبر، تم إجراء القياسات مباشرة على القطعة المثبتة فوق آلة الخراطة دون نزعها، كما تم معايرة الجهاز قبل كل سلسلة تجارب باستخدام معيار مرجعي ذي خشونة معروف ( $Ra = 3.2$ ) ميكرون.



الشكل 2. 11 جهاز قياس الخشونة.

### 3.5.2 قياس الجهود الناتجة عن عملية القطع:

تم استخدام الدينامومتر من نوع KISTLER 9257 B لقياس الجهود الناتجة عن عملية القطع الموضح في الشكل (12.2)، وهو جهاز موثوق لتحديد القيم الثلاثية للجهود المحوري  $F_x$  ، الجانبي  $F_y$  ، والعمودي  $F_z$ . يتكون النظام من منصة KISTLER لاستشعار القوى، مضخم الإشارات KISTLER 5019B .130

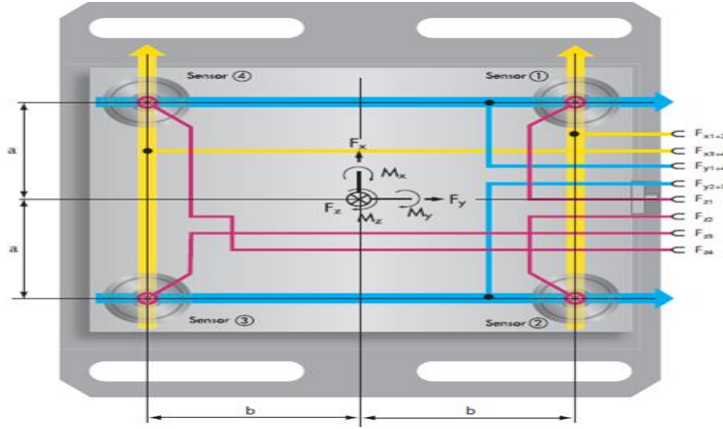
وجهاز حاسوب مجهري مزود ببرنامج (DynoWare) لمعالجة البيانات. يساهم هذا الجهاز في تحسين فهم ديناميكيات التشغيل واختيار شروط القطع المناسبة،

يظهر الشكل (13.2) تسلسل المعدات والطريقة المستخدمة لقياس الجهود الناتجة عن عملية القطع أثناء التشغيل. تعتمد هذه الطريقة على استخدام الدينامومتر من نوع KISTLER 9257 B.

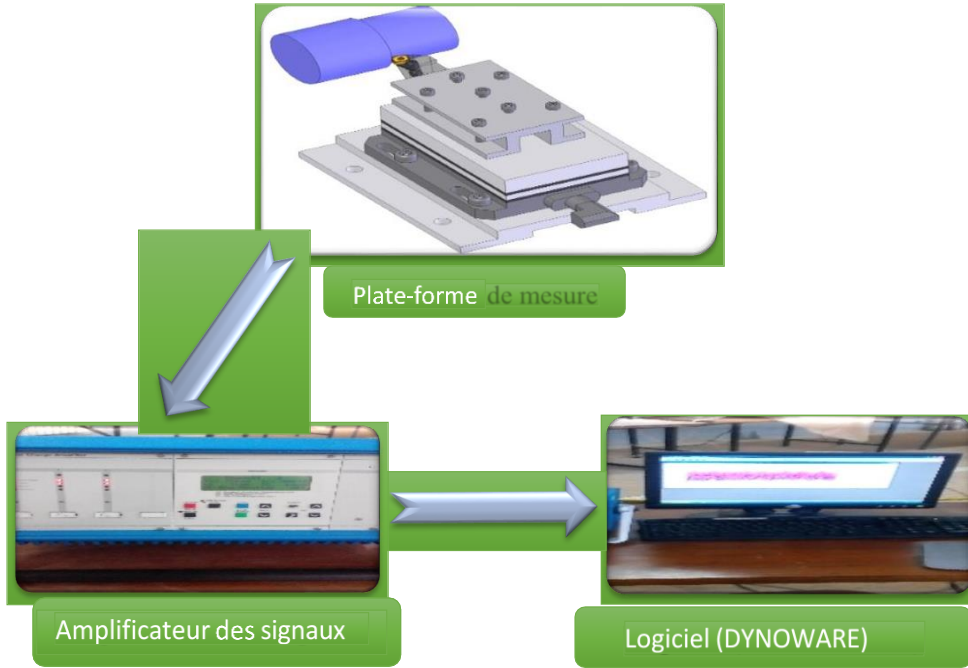
يعتمد مبدأ قياس الجهود الناتجة عن عملية القطع على الظاهرة الكهروضغطية (piézo-).

(électrique) أثناء التشغيل، تقوم القطعة المصنّعة بحركة الدوران، بينما تتحرك أداة القطع بحركة انتقالية.

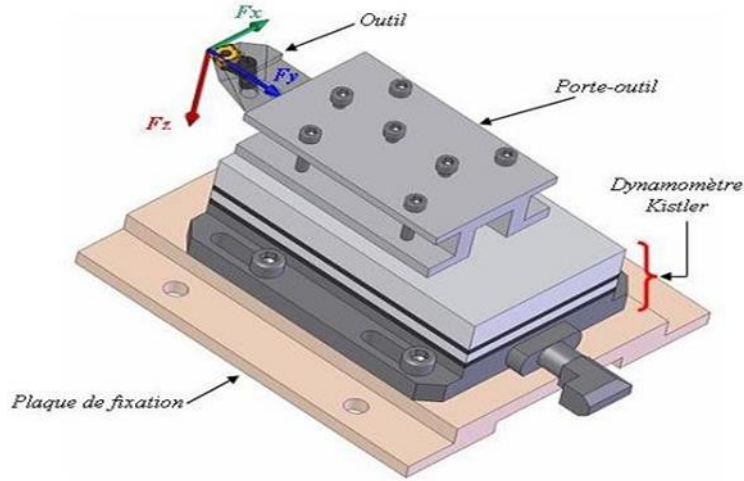
تُرَكَّب أداة القطع على منصة القياس، المثبتة على الحامل العرضي للآلة باستخدام لوحة تثبيت (الشكل.14.2) لمنصة تحتوي على أربع مستشعرات من الكوارتز، والتي تستشعر القوى وتحولها إلى إشارات كهربائية لتحليل الجهود بدقة.



الشكل.2. 12 مستشعر الجهود الناتجة عن القطع KISTLER.



الشكل.2. 13 سلسلة قياس الجهود الناتجة عن عملية القطع.

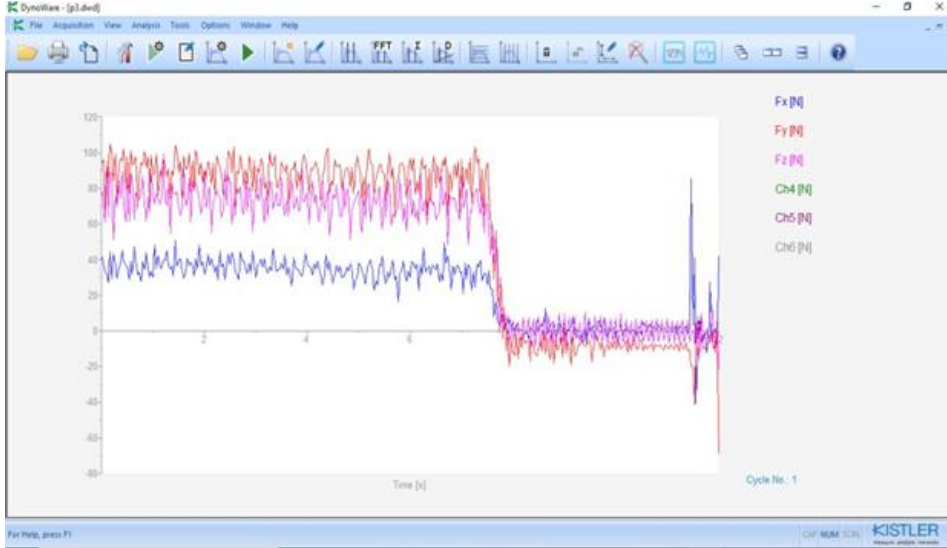


الشكل.2. 14 تركيب الدينامومتر على طاولة الجهاز .

#### 4.5.2 قياس الجهود الناتجة عن التشغيل:

أثناء عملية التشغيل، يتم تحويل القوى المؤثرة على مستشعر الدينامومتر إلى شحنات كهربائية، والتي يتم تضخيمها بواسطة مضخم الإشارات KISTLER 5019B 130. يتم التقاط هذه الإشارات المضخمة بواسطة الحاسوب المجهرى عبر بطاقة اقتناء مثبتة في وحدته المركزية. يقوم برنامج DynoWare بتحليل هذه الإشارات ويعبر مباشرة عن القوة الناتجة خلال التشغيل بثلاث مكونات:  $F_x$  (المحوري)،  $F_y$  (الجانبى)،  $F_z$  (العمودي).

يوضح الشكل (15.2) مثلاً لعملية الاقتناء باستخدام البرنامج، حيث يُظهر منحنيات المكونات الثلاثة للجهد (المحوري، الجانبى، والعمودي).



الشكل.2. 15 مثال على اقتناء البيانات باستخدام برنامج DYNOWARE.

## 6.2 تخطيط التجارب:

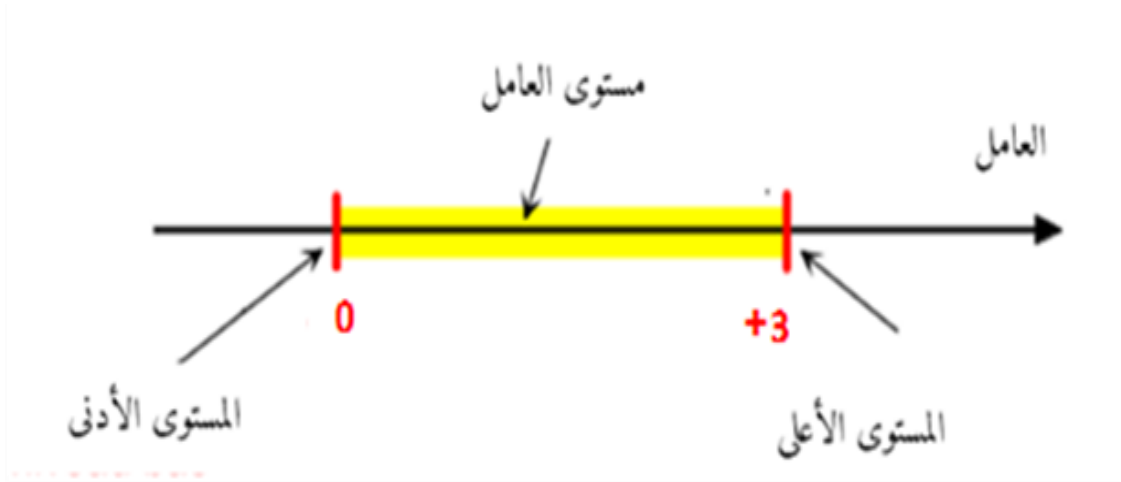
تم اعتماد منهجين في تخطيط التجارب قبل تنفيذها، وهما: التخطيط أحادي العامل (Méthode unifactorielle)، الذي يركز على دراسة تأثير متغير مستقل واحد في كل تجربة، والتخطيط متعدد العوامل (Méthode multifactorielle)، الذي يسمح بدراسة تفاعل عدة متغيرات في آن واحد. ويُعد الإلمام بالمفاهيم الأساسية المرتبطة بتصميم التجارب خطوةً ضرورية قبل الشروع في بناء مخطط منهجي فعال للتجربة، إذ تُسهّم هذه المعرفة في ضمان دقة النتائج وتحليلها بشكل علمي موثوق. [17]

✓ **العامل:** يُعرّف العامل في تصميم التجارب على أنه متغير مستقل أو شرط مدخل يمكن أن يتغير من تجربة إلى أخرى، ويؤثر بشكل مباشر في نتيجة التجربة أو ما يُعرف بالاستجابة. وغالبًا ما يفوق عدد العوامل عدد الاستجابات المرصودة، مما يستدعي تصنيفها لتسهيل تحليل تأثيراتها. يُميز في هذا السياق بين نوعين رئيسيين من العوامل:

✓ **العوامل النوعية:** وهي العوامل التي لا تُقاس كمًّا، مثل نوع المادة، اللون، أو الجنس.

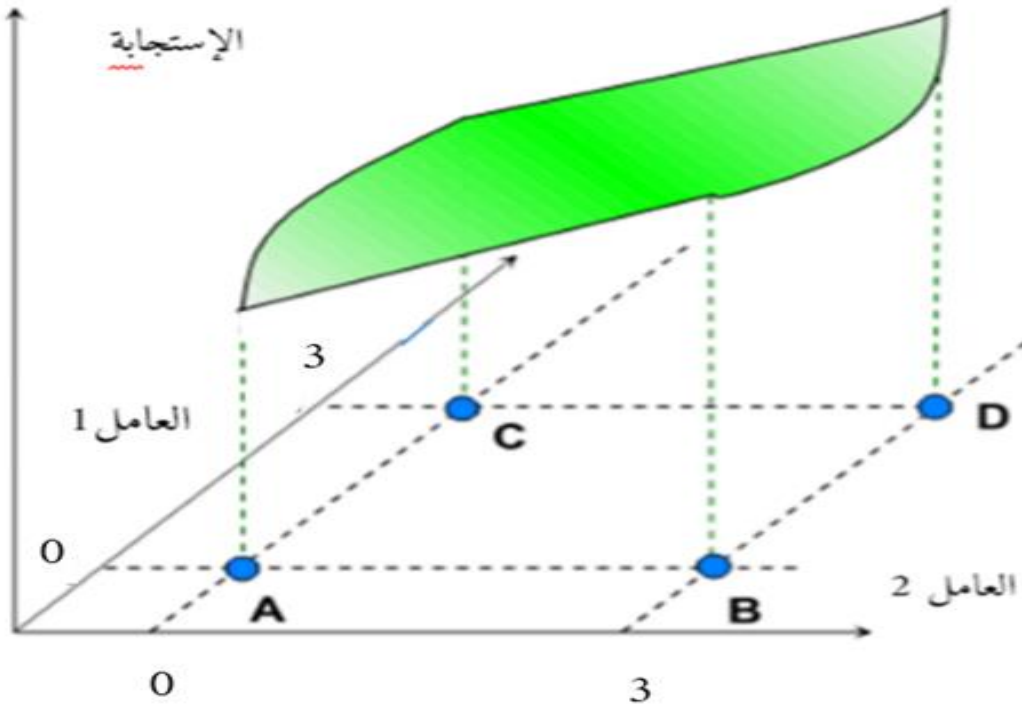
✓ **العوامل الكمية:** وهي العوامل القابلة للقياس العددي، مثل درجة الحرارة، الضغط، والزمن، وتُعبّر عنها عادةً بوحدات قياس محددة. [18]

✓ **مستوى العامل:** هو مجال التباين لعامل معين. بشكل عام، يتم تحديد تباين كل عامل بمستويين: علوي والسفلي (الشكل.2.16).



الشكل.2. 16 نطاق تباين العامل، ويتكون من جميع القيم بين أخفض مستوى وأعلى مستوى.

✓ الاستجابة: هي الخصائص التي يجب قياسها مع التغير في عامل محدد أو عوامل متعددة (الشكل.17.2).



الشكل.2. 17 تعريف لسطح الاستجابة.

✓ التفاعل: نقول إن هناك تفاعل بين عاملين  $X$  و  $X$  إذا كان تأثير  $X$  يعتمد على مستوى  $X$  والعكس صحيح. يُشار إلى هذا التفاعل بالتفاعل  $XX$  أو التفاعل  $X'X$ .

✓ التأثير: يتم الحصول على تأثير العامل  $X$  على الاستجابة  $Y$  من خلال دراسة التغيرات في قيم  $Y$  كدالة للمتغير  $X$ . يمكن أن يكون التأثير موجباً أو صفرياً أو سالباً. يتم التعبير عنها بواسطة معامل يضرب في  $X$

في نموذج رياضي للاستجابة. إذا كان العامل  $X$  يتفاعل مع نفسه، فإننا نتحدث عن تأثير تربيعي ( $X^2$ ). يتم إيجاد مدى تأثير  $X$  على  $Y$  من خلال الاختبارات الإحصائية.

### 1.6.2 طريقة التخطيط أحادية العامل (Méthode unifactorielle):

هذه الطريقة ضرورية عندما يتعلق الأمر بدراسة تأثير عامل واحد  $X$  على عامل الاستجابة  $Y$ . لذلك، تُعطى سلسلة من القيم المختلفة للعامل المدروس [ $X_i \in \{X_{min}, X_{max}\}$ ] مع تثبيت جميع العوامل الأخرى. من أجل كل  $X=X_i$  نقوم بإجراء اختبار وقياس القيمة المقابلة لـ  $Y_i$ ، حيث  $[i \in \{1, N\}]$ ، وغالبًا ما تستخدم هذه الطريقة لدراسة وتحسين الاستجابة التكنولوجية التي تجعل من الممكن الحصول على العلاقة (1.2):

$$Y = f(X) \dots\dots\dots (1.2)$$

الجدول 2. 11 مصفوفة تخطيط بطريقة العامل الواحد.

عوامل الاستجابة					العامل المتغير	رقم التجربة
$Y_n$	$Y_{moy}$	—	$Y_2$	$Y_1$	$X$	
$Y_{n1}$	$Y_{moy1}$	—	$Y_{21}$	$Y_{11}$	$X_1$	1
$Y_{n2}$	$Y_{moy2}$	—	$Y_{22}$	$Y_{12}$	$X_2$	2
$Y_{n3}$	$Y_{moy3}$	—	$Y_{23}$	$Y_{13}$	$X_3$	3
$Y_{ni}$	$Y_{moyi}$	—	$Y_{2i}$	$Y_{1i}$	$X_i$	$i$
-	-	—	-	-	-	-
$Y_{nN}$	$Y_{moyN}$	—	$Y_{2N}$	$Y_{1N}$	$X_N$	$N$

### 2.6.2 عناصر القطع:

في دراستنا هذه سنقوم بدراسة عناصر القطع ( $f, Vc$  و  $ap$ ) المؤثرة على عملية التشغيل، وقد تم استخدام قيم لهذه العوامل والمشاركة إليها في الجدول (12.2).

الجدول 2. 12 قيم عناصر القطع (Vc، f و ap) التي استخدمت في التجارب بعامل واحد متغير.

القيم	العامل المتغير	القيم		العوامل الثابتة
0,09	f (mm/tr)	157	78 ,5	Vc (m/min)
0,18				
0,36				ap (mm)
0,2	ap (mm)	157	78 ,5	Vc (m/min)
0,4				
0,8				f (mm/tr)
78,5	Vc (m/min)	0,36	0,09	f (mm/tr)
111,47				
157				ap (mm)

### 3.6.2 طريقة العوامل المتعددة (Méthode multifactorielle):

تتيح هذه الطريقة إمكانية تنظيم التجارب لإجرائها بالطريقة المثلى من أجل الحصول على نماذج رياضية لمحاكاة عمليات الأنظمة المركبة. وتم تطوير النماذج الرياضية باستخدام العوامل الهامة التي تؤثر على عملية القطع بدلاً من تضمين كل العوامل وهذا استخدام برنامج Minitab الذي مكنتنا من إنجاز التحليل الإحصائي لنتائج الاختبارات.

تتعلق الاستجابة Y بعوامل متعددة (الشكل 18.2) تصاغ بالعلاقة (2.2):

$$Y = f(X_1, X_2, X_3 \dots X_n) \dots \dots \dots (2.2)$$

في دراستنا، اكتفينا بدراسة تأثير ثلاثة عوامل أساسية وهي سرعة القطع Vc والتغذية Fz وعمق القطع ap على معيار الخشونة (Ra) وقوى القطع (Fx, Fy, Fz) ولتحديد عدد الاختبارات اللازمة، نقوم بتطبيق العلاقة (3.2):

$$N = q^k \dots \dots \dots (3.2)$$

N : عدد التجارب.

q : عدد المستويات للعوامل الأساسية.

K : عدد العوامل الأساسية.

في حالتنا، لدينا ثلاث عوامل أساسية ( $k=3$ ) وكل عامل يتطور إلى ثلاث مستويات متباينة (مستوى أول (0)، مستوى ثاني (1)، مستوى ثالث (2))، ومنه يكون لدينا: 27 توليفة كما هو موضح في الجدول (13.2).



الشكل.2. 18 العوامل والاستجابات.

الجدول.2. 13 التوليفات الممكنة التجارب.

رقم التجربة	$a_p$ , mm	$f$ , mm/tr	$V_c$ , m/min
1	0	0	0
2	1	0	0
3	2	0	0
4	0	1	0
5	1	1	0
6	2	1	0
7	0	2	0
8	1	2	0
9	2	2	0
10	0	0	1
11	1	0	1

1	0	2	12
1	1	0	13
1	1	1	14
1	1	2	15
1	2	0	16
1	2	1	17
1	2	2	18
2	0	0	19
2	0	1	20
2	0	2	21
2	1	0	22
2	1	1	23
2	1	2	24
2	2	0	25
2	2	1	26
2	2	2	27

# 3 لفصل الثالث: تأثير شروط القطع على الخشونة وقوى القطع في عملية الخراط الطولي

**1.3 المقدمة:**

العوامل التي يمكن أن تؤثر على عملية الخراط الطولي التي أجريت في دراستنا على صلب C65 هي عوامل الإدخال ( $V_c$ ،  $f$  و  $a_p$ ) المذكورة في الفصل الثاني. أردنا من خلال هذه الاختبارات تبيان تأثير كل معامل من معاملات القطع ( $V_c$ ،  $f$  و  $a_p$ ) على معيار الخشونة ( $R_a$ ) وعلى قوى القطع الثلاثة ( $F_y$ ،  $F_x$ ،  $F_z$ ).

**2.3 تأثير شروط القطع في الخراط الطولي على الخشونة:****1.2.3 تأثير التغذية  $f$ :**

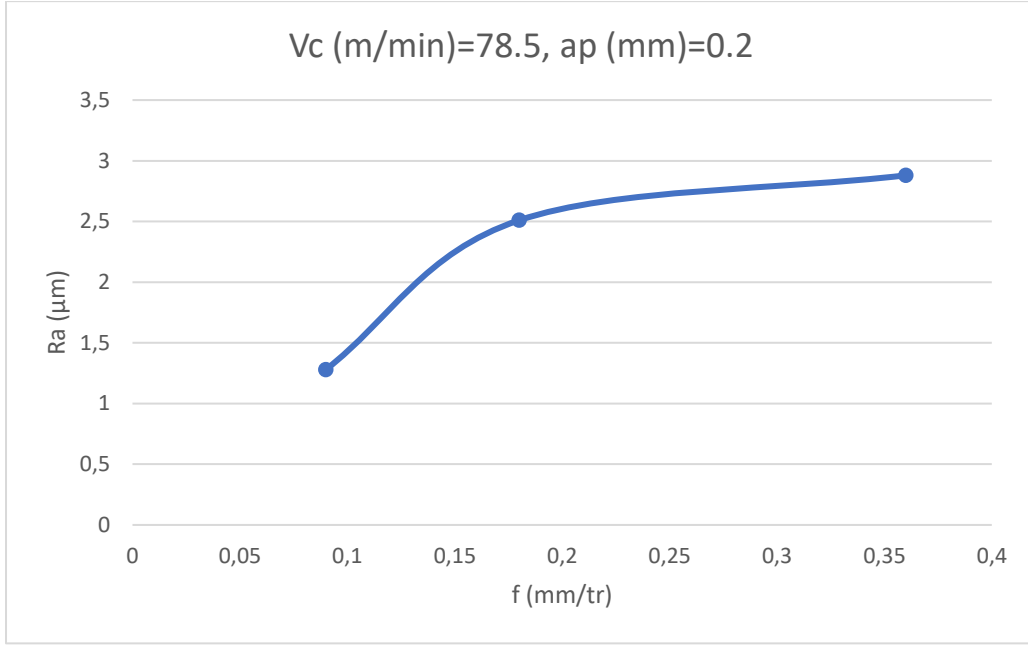
بعد إجراء التجارب وقياس النتائج، يمكننا أن نرى من خلال تحليل البيانات الموضحة في الأشكال (1.3)، (2.3)، أن زيادة التغذية  $f$  تؤدي إلى زيادة خشونة السطح بشكل عام، لكن تأثيرها يصبح أقل وضوحًا عند سرعات القطع العالية.

- عند تثبيت سرعة القطع وعمق القطع عند  $V_c=78.5\text{m/min}$  و  $a_p=0.2\text{mm}$  وزيادة التغذية  $f$  من 0.09 إلى 0.36 mm/tr نلاحظ ارتفاع خشونة السطح  $R_a$  من  $1.28\mu\text{m}$  إلى  $2.88\mu\text{m}$ ، مما يمثل زيادة بنسبة 125%. فنستنتج أن:

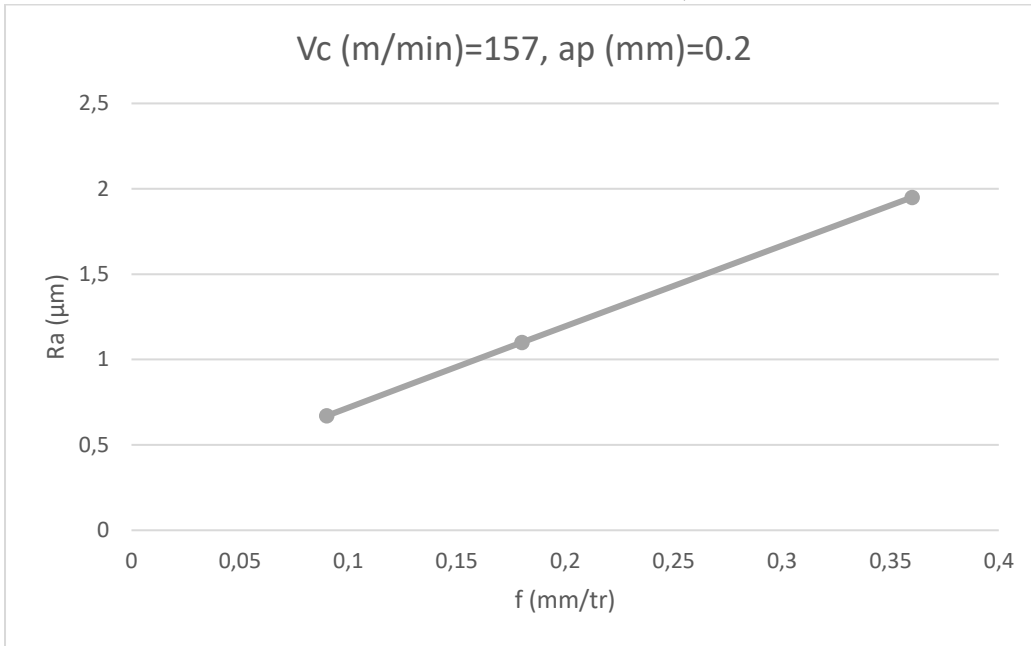
عند سرعة قطع منخفضة وعمق قطع صغير، زيادة معدل التغذية يؤدي إلى تدهور كبير في جودة السطح كما هو موضح في الشكل (1.3).

- عند تثبيت سرعة القطع وعمق القطع عند  $V_c=157\text{m/min}$  و  $a_p=0.2\text{mm}$  وزيادة التغذية  $f$  من 0.09 إلى 0.36 mm/tr نلاحظ ارتفاع خشونة السطح  $R_a$  من  $1.10\mu\text{m}$  إلى  $1.95\mu\text{m}$ ، مما يمثل زيادة بنسبة 77%. فنستنتج أن:

عند سرعة قطع عالية وعمق صغير، تكون الزيادة في الخشونة أقل حدة مقارنة بالسرعات المنخفضة، كما هو موضح في الشكل (2.3).



الشكل.3. 1 منحنى بياني للتغذية f بدلالة Ra عندما تكون Vc و ap ثابتتان.



الشكل.3. 2 منحنى بياني للتغذية f بدلالة Ra عندما تكون Vc و ap ثابتتان

### 2.2.3 تأثير عمق القطع:

يوضح الأشكال (3.3) (4.3) تطور معايير الخشونة بدلالة عمق القطع للأداة ومن خلاله نستطيع الحكم بأن هذا العامل أقل أهمية من التقدم ولا يلعب دوراً مهماً في جودة الأسطح المشغلة (على الأقل في نفس ظروف الاختبارات المطبقة).

- عند تثبيت سرعة القطع والتغذية عند  $V_c = 78.5 \text{ m/min}$  و  $f = 0.09 \text{ mm/tr}$  تكون معايير الخشونة كالتالي:

$$\text{عند } a_p = 0.2 \text{ mm: } R_a = 1.28 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\text{عند } a_p = 0.4 \text{ mm: } R_a = 1.25 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\text{عند } a_p = 0.8 \text{ mm: } R_a = 1.22 \text{ } \mu\text{m}$$

تُظهر النتائج انخفاضًا طفيفًا في  $R_a$  بنسبة تقارب 4.7% من القيمة الأولى إلى الأخيرة. هذا التغيير البسيط يؤكد ضعف تأثير عمق القطع في هذه الحالة على جودة السطح، (الشكل.3.3).

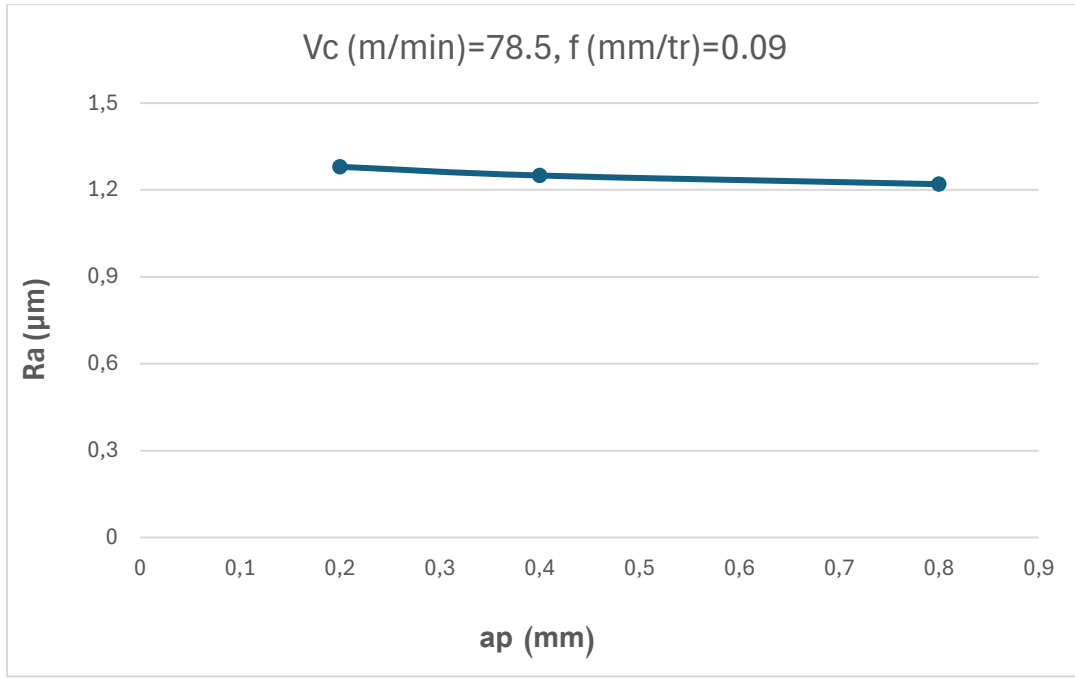
- عند تثبيت سرعة القطع والتغذية عند  $V_c = 157 \text{ m/min}$  و  $f = 0.09 \text{ mm/tr}$  تكون معايير الخشونة كالتالي:

$$a_p = 1 \text{ mm} \rightarrow R_a = 0.67 \text{ } \mu\text{m}$$

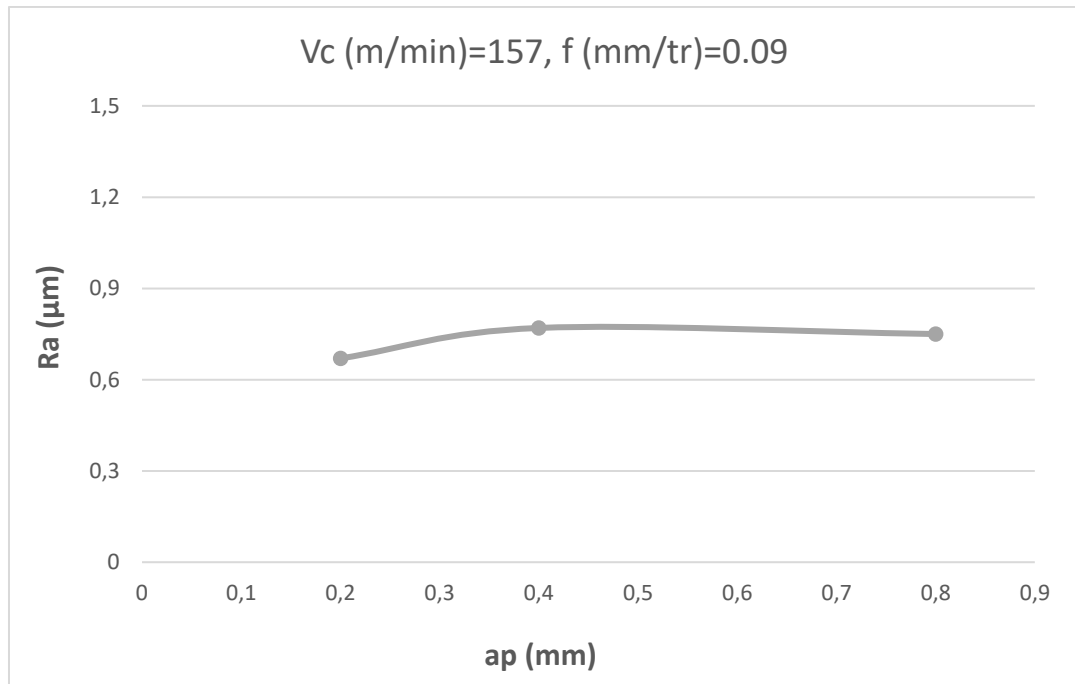
$$a_p = 2 \text{ mm} \rightarrow R_a = 0.77 \text{ } \mu\text{m}$$

$$a_p = 3 \text{ mm} \rightarrow R_a = 0.75 \text{ } \mu\text{m}$$

تظهر النتائج ارتفاع أولي في  $R_a$  بنسبة 14.9% ثم انخفاض طفيف بنسبة 2.6% هذا النمط يُشير إلى أن تأثير عمق القطع ليس ثابتًا، وقد يؤدي أحيانًا إلى تدهور جودة السطح عند زيادته، خاصة عند سرعات عالية، (الشكل.4.3).



الشكل 3.3. منحنى بياني لعمق القطع  $a_p$  بدلالة  $Ra$  عند تثبيت قيمتي  $V_c$  و  $f$ .



الشكل 3.4. منحنى بياني لعمق القطع  $a_p$  بدلالة  $Ra$  عند تثبيت قيمتي  $V_c$  و  $f$ .

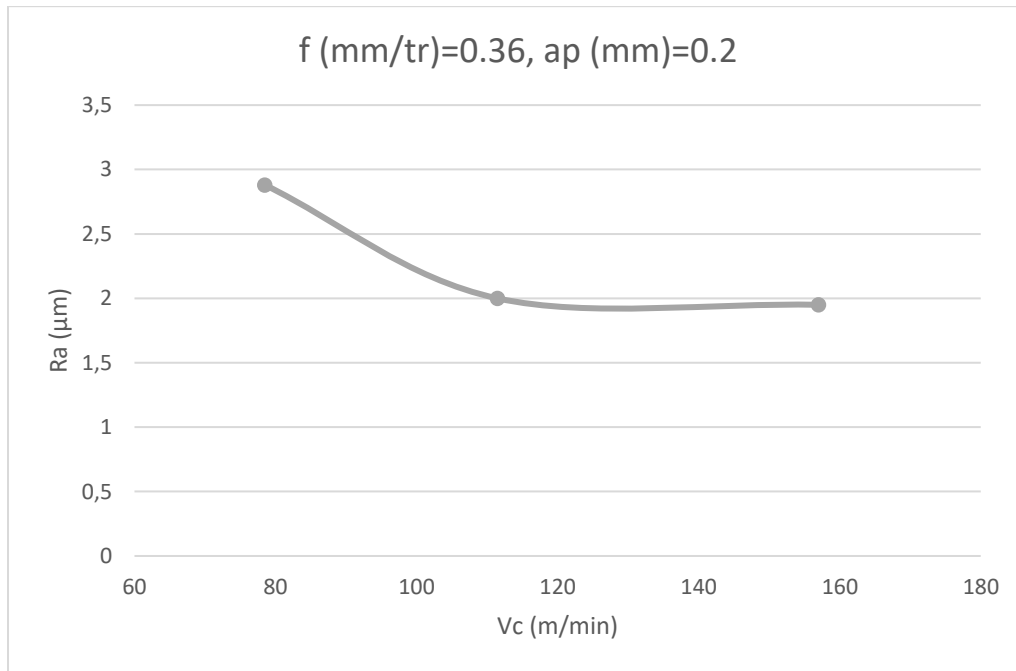
### 3.2.3 تأثير سرعة القطع:

توضح البيانات الموضحة في الأشكال (5.3) (6.3) النتائج المقاسة لخشونة السطح كدالة لسرعة القطع، ويمكن ملاحظة ن زيادة سرعة القطع تؤدي إلى انخفاض في متوسط خشونة السطح ( $Ra$ ) ، سواءً في حالة

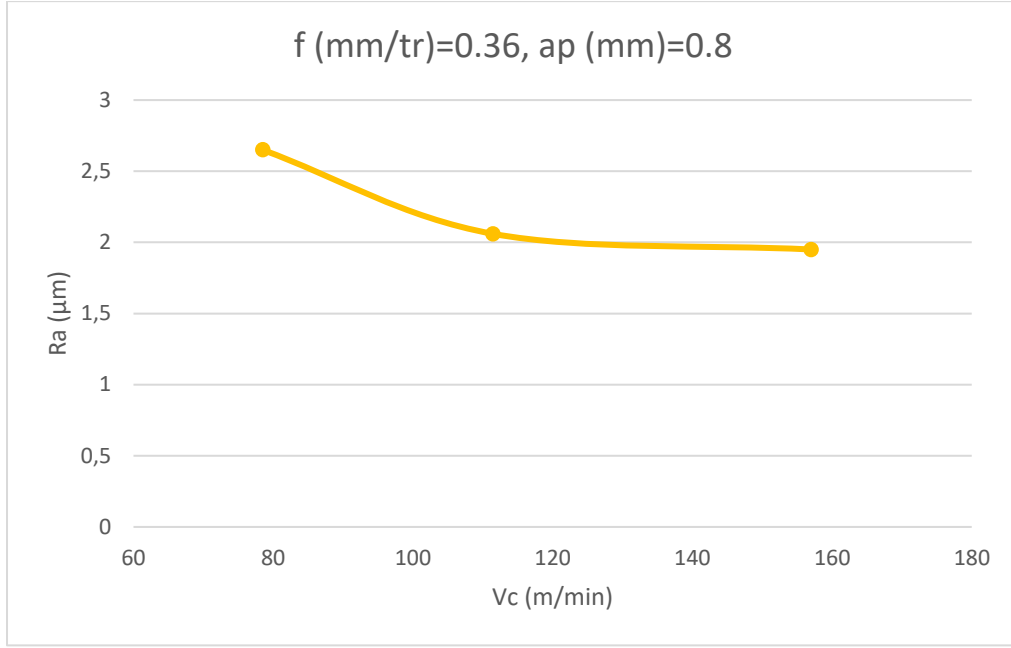
التغذية المنخفضة أو العالية وعمق القطع المختلف. بالتالي، يمكن اعتبار سرعة القطع عاملاً مهماً في تحسين خشونة السطح.

• عند تثبيت  $f = 0.36 \text{ mm/tr}$  ،  $a_p = 0.2 \text{ mm}$  Ra ينخفض من 2.88 إلى 1.95 عندما تزيد  $V_c$  من 78.5 إلى 157 m/min بنسبة 32.29% حتى مع تغذية مرتفعة، لا تزال سرعة القطع تُقلل من الخشونة بوضوح.

• عند تثبيت  $f = 0.36 \text{ mm/tr}$  ،  $a_p = 0.8 \text{ mm}$  Ra ينخفض من 2.65 إلى 1.95 عندما تزيد  $V_c$  من 78.5 إلى 157 m/min بنسبة 26.42% نستنتج ان سرعة القطع مؤثرة حتى في أكثر ظروف التشغيل قسوة (أعلى عمق وتغذية)، مع تأثير متوسط نسبياً مقارنة بالحالة الأخرى.



الشكل 3.5 منحنى بياني لسرعة القطع  $V_c$  بدلالة Ra عند تثبيت قيمتي  $a_p$  و  $f$ .



الشكل 3.3. 6 منحنى بياني لسرعة القطع Vc بدلالة Ra عند تثبيت قيمتي f و ap.

### 3.3 تأثير شروط القطع في الخراط الطولي على قوى القطع (Fx ;FY ;Fz):

#### 1.3.3 تأثير التغذية f:

- عند تثبيت  $V_c = 157 \text{ m/min}$ ،  $a_p = 0.2 \text{ mm}$  نلاحظ أن:

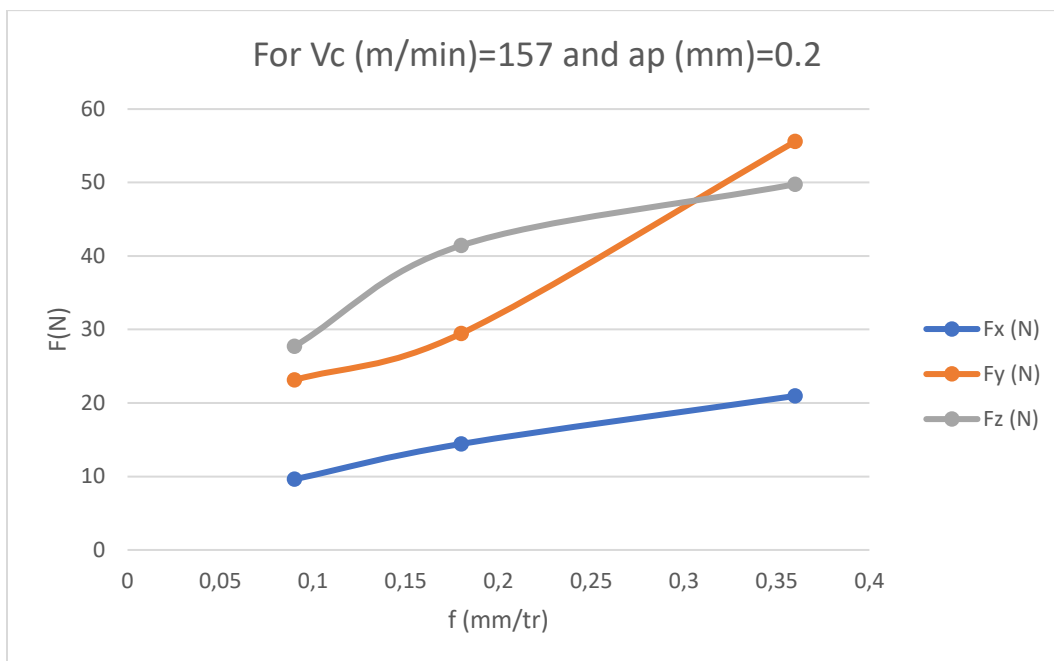
Fx ارتفعت بنسبة 117.9% (تضاعفت تقريباً)، كذلك فإن Fy ارتفعت بنسبة 140.3% (تضاعفت أيضاً)، بينما ارتفعت Fz بنسبة 79.6%.

ومنه نستنتج رغم سرعة القطع العالية، فإن التغذية تؤثر بشكل كبير على جميع القوى، خاصة Fy، التي تجاوزت الضعف. زيادة f تعني زيادة في الجهد المطلوب لإزالة المادة (الشكل 7.3).

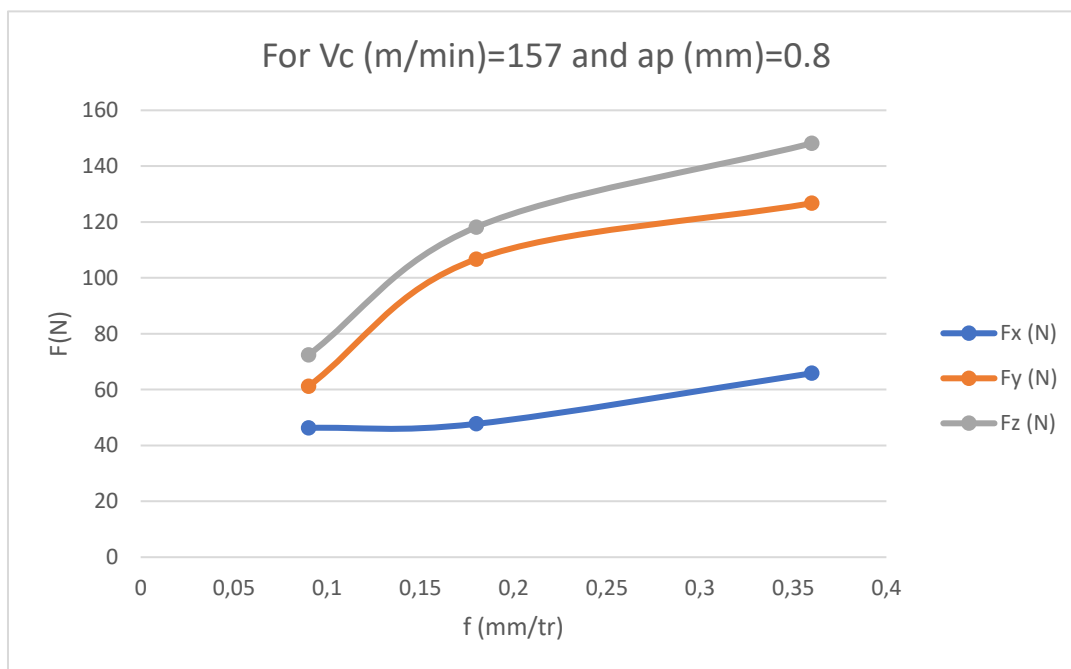
- عند تثبيت  $V_c = 157 \text{ m/min}$ ،  $a_p = 0.8 \text{ mm}$  نلاحظ ان:

Fx ارتفعت بنسبة 42.3%، Fy ارتفعت بنسبة 75.7%، Fz ارتفعت بنسبة 94.0%

ومنه نستنتج القوى الثلاثة ارتفعت بوضوح، خاصة Fz، ما يثبت أن التغذية عامل حاسم في زيادة الجهد حتى مع عمق قطع وسرعة مرتفعين (الشكل 8.3).



الشكل 7.3. منحني بياني للتغذية لكل سن f بدلالة (Fx ;FY ;Fz) عند تثبيت Vc و ap



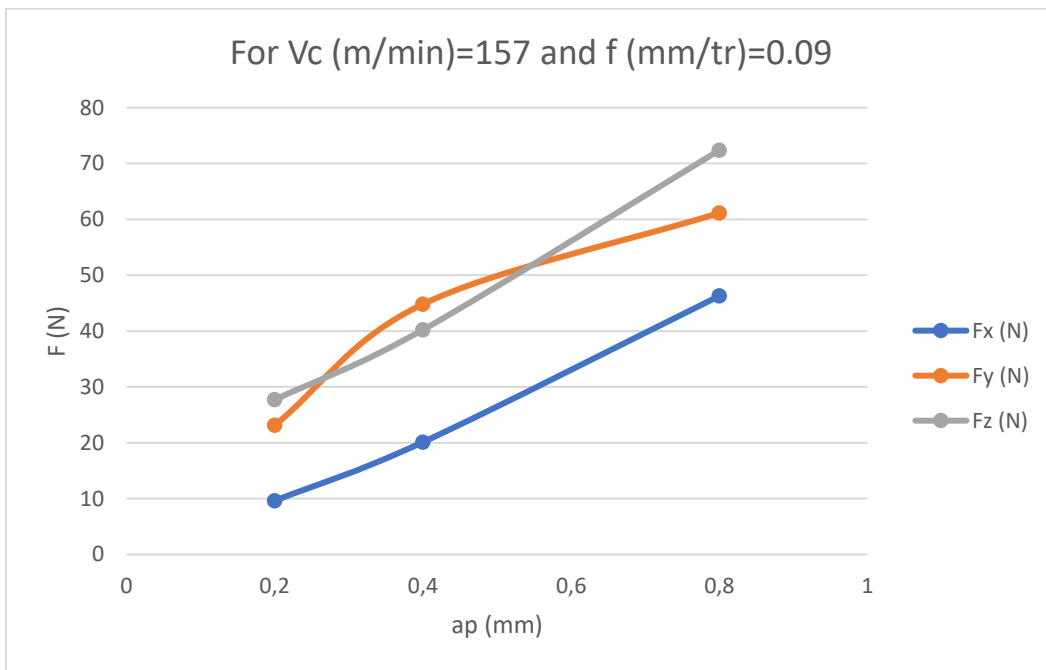
الشكل 8.3. منحني بياني للتغذية لكل سن f بدلالة (Fx ;FY ;Fz) عند تثبيت Vc و ap

### 2.3.3 تأثير عمق القطع ap:

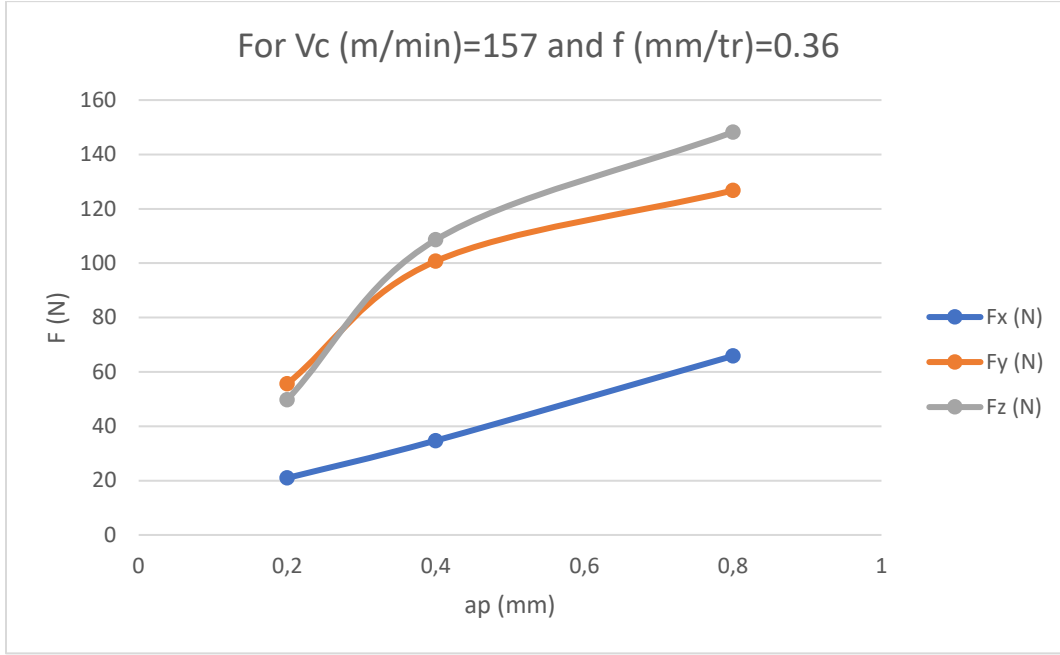
عند تثبيت سرعة القطع  $V_c = 157 \text{ m/min}$  وقيمة التغذية  $f = 0.09 \text{ mm/tr}$ ، لوحظت زيادات ملحوظة في القوى المؤثرة كما يلي: قوة المحورية  $F_x = 157 \text{ m}$  ارتفعت من  $9.62 \text{ N}$  إلى  $44.82 \text{ N}$  بنسبة زيادة تقارب  $366\%$ ، وقوة الجانبية  $F_y$  زادت من  $23.13 \text{ N}$  إلى  $71.51 \text{ N}$  بنسبة  $209\%$ ، بينما قوة العمودية

$F_z$  ارتفعت من 27.7N إلى 85.73N بنسبة 210% ومنة نستنتج ان زيادة السرعة مع تغذية منخفضة تجعل القوى شديدة الحساسية لتغير عمق القطع، مما يعكس تأثيراً كبيراً لهذه المتغيرات على استقرار العملية وسلوك المادة أثناء التشغيل. (الشكل.9.3).

- عند تثبيت  $V_c = 157 \text{ m/min}$  و  $f = 0.36 \text{ mm/tr}$  نلاحظ ان:  
 $F_x$  زادت من 20.96N إلى 65.85N (زيادة 214%)،  $F_y$  زادت من 55.58N إلى 108.58N (زيادة 95%)، أما  $F_z$  فزادت من 49.77N إلى 148.18N (زيادة 198%).  
ومن نستنتج ان لها نفس النمط معناه  $F_z$  أكثر القوى تأثراً بزيادة عمق القطع، يليه  $F_x$  ثم  $F_y$  (الشكل.10.3).



الشكل.3. 9 منحنى بياني لعمق القطع  $ap$  بدلالة  $(F_x ; F_y ; F_z)$  عند تثبيت  $V_c$  و  $f$ .



الشكل 3.10. منحني بياني لعمق القطع  $a_p$  بدلالة ( $F_x ; F_y ; F_z$ ) عند تثبيت  $V_c$  و  $f$ .

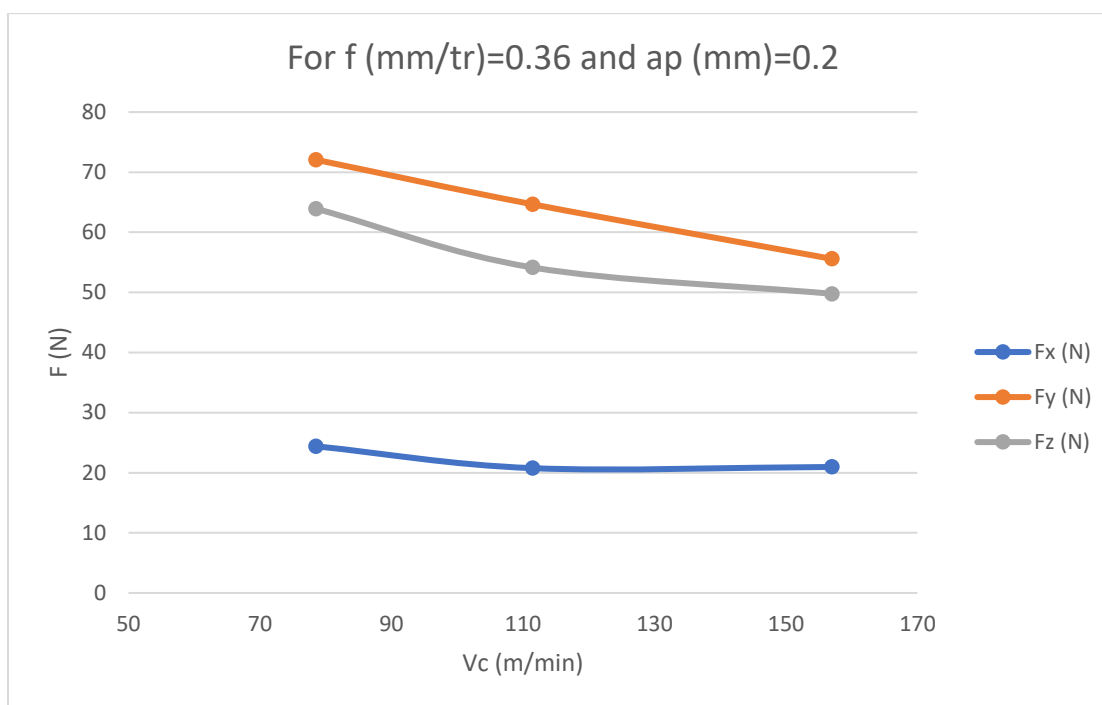
### 3.3.3 تأثير سرعة القطع $V_c$ :

0 عند تثبيت  $a_p = 0.2$  mm و  $f = 0.36$  mm/tr نلاحظ ان:

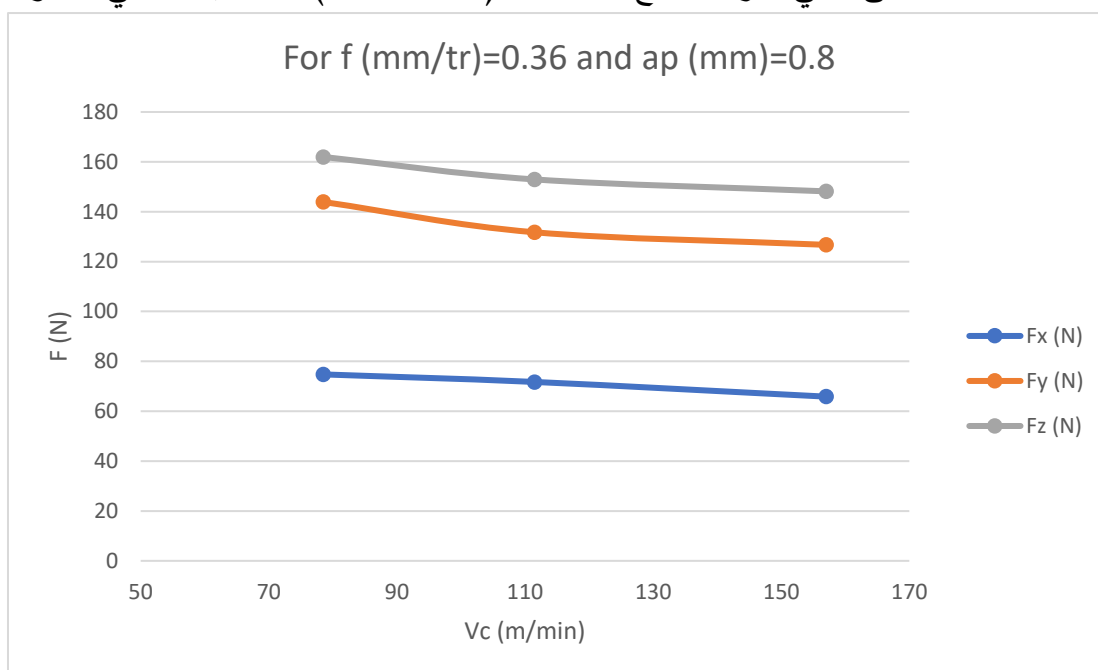
مع زيادة سرعة القطع  $V_c$  نلاحظ انخفاض في قوى القطع  $F_x, F_y, F_z$ ، خاصة عند سرعات من 130 حتى 160 حيث انخفضت  $F_x$  من 30 N إلى 25 N بنسبة انخفاض قدرها 16.7%، كما انخفضت  $F_y$  من 75 N إلى 55 N بنسبة 26.7% بينما انخفضت  $F_z$  من 60 N إلى 45 N بنسبة 25%. (الشكل 11.3).

1 عند تثبيت  $a_p = 0.8$  mm و  $f = 0.36$  mm/tr نلاحظ ان:

عند القيم العليا لكل من معدل التغذية أو عمق القطع  $a_p$ ، تصل قوى القطع إلى قيمها الأعلى. نلاحظ أيضًا انخفاضًا طفيفًا في القوى مع زيادة  $V_c$ ، حيث انخفضت  $F_x$  من 75 N إلى 65 N بنسبة انخفاض قدرها 13.3%، كما انخفضت  $F_y$  من 135 N إلى 125 N بنسبة 7.4%، بينما انخفضت  $F_z$  من 160 N إلى 150 N بنسبة انخفاض قدرها 6.25%. مما يعزز الفرضية بأن سرعة القطع المرتفعة تقلل المقاومة (الشكل 12.3).



الشكل 3. 11 منحنى بياني لسرعة القطع Vc بدلالة (Fx ;FY ;Fz) عند تثبيت قيمتي ap و f.



الشكل 3. 12 منحنى بياني لسرعة القطع Vc بدلالة (Fx ;FY ;Fz) عند تثبيت قيمتي ap و f.

### 4.3.3 الاستنتاج العام:

- زيادة سرعة القطع (Vc) تؤدي إلى انخفاض في القوى Fx, Fy, Fz في جميع الحالات.
- أكبر انخفاض نسبي في القوى يحدث عند القيم الدنيا لـ f و ap.

- عند قيم عالية لـ  $f$  و  $ap$ ، يقل تأثير  $Vc$  تدريجيًا، مما يشير إلى أن مقاومة القطع تعتمد أكثر على عمق القطع والتغذية في تلك الظروف.

### 4.3 الخاتمة:

يناقش هذا الفصل نتائج الاختبارات التي تم الحصول عليها أثناء الخراط الطولي لصلب C65 باستخدام أداة TNMG 220404 T-FIC907 من الكربيد. سمحت لنا هذه الاختبارات بتقييم تأثير كل شرط من شروط القطع ( $Vc, f, ap$ ) على معايير خشونة السطح المُشغل ( $Ra$ )، وعلى قوى القطع ( $Fx ; Fy ; Fz$ ).

## 4 الفصل الرابع: نمذجة معايير

الخشونة وقوى القطع

**1.4 المقدمة:**

في هذا الفصل نقدم نماذج رياضية لمعيار الخشونة ( $Ra$ ) و قوى القطع ( $Fx ; Fy ; Fz$ ) ، حيث تتيح هذه النماذج إمكانية التعبير عن العلاقة بين عناصر القطع ( $f, Vc$  و  $ap$ ) وعناصر الاستجابة المدروسة ( $Ra ; Fx ; Fy ; Fz$ ) تتيح هذه النماذج إمكانية تحسين أداء عملية القطع والتنبؤ بدقة بالاستجابات السطحية الناتجة استخدمنا برنامجي MINITAB و Design-Expert لإجراء تحليل التباين (ANOVA) واستخراج النماذج الرياضية المختلفة للعناصر التكنولوجية المدروسة وكذلك تقديم سطح الاستجابة (SR) في شكل ثلاثي و ثنائي الأبعاد. الهدف من هذا التحليل هو تحديد العوامل والتفاعلات التي لها تأثير هام إحصائيًا على المتغيرات المدروسة وتقديم نموذج رياضي تنبؤي لكل استجابة من الاستجابات المدروسة.

**2.4 خطوات إنجاز النمذجة لمعايير الخشونة ( $Ra$ ) وقوى القطع ( $Fx ; Fy ; Fz$ ):**

لتحقيق هدف الدراسة في تحليل تأثير عوامل القطع على الخشونة السطحية وقوى القطع، تم اتباع الخطوات التالية:

1. **تحديد العوامل:** اختيار عوامل الإدخال (سرعة القطع  $Vc$  ، معدل التغذية  $f$  ، عمق القطع  $ap$ ) وعوامل الخروج (معيار الخشونة وقوى القطع).
2. **تصميم التجارب:** اعتماد خطة تجريبية مثل التصميم المركب المركزي (CCD).
3. **تحليل البيانات:** إجراء تحليل التباين (ANOVA) لتحديد العوامل المؤثرة واستخراج نماذج رياضية.
4. **التحقق:** تقييم دقة النماذج وصلاحيتها باستخدام مؤشرات إحصائية.

تم استخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM) لتحليل التفاعل بين عوامل القطع وتحديد التأثير المزوج لكل عاملين على المتغيرات المستهدفة.

**3.4 تعريف الطريقة الإحصائية المستعملة:****1.3.4 تعريف تحليل التباين (ANOVA):**

تم تطوير تحليل التباين (ANOVA) في عام 1930 بواسطة العالم رونالد فيشر، ويُستخدم لتحديد العوامل التربيعية، والتفاعلات التي تؤثر إحصائيًا بشكل كبير على الاستجابة. يساعد هذا التحليل في تفسير الاستجابات المدروسة من خلال تقسيم التباين الكلي للتجربة إلى تباين العوامل المتحكم فيها (مثل عوامل الإدخال) وتباين

الأخطاء العشوائية التي قد تكون غير معروفة المصدر. يتم تقييم دلالة النماذج الرياضية باستخدام P-value و F-value في جدول ANOVA ، تُستخدم قيمة P-value لقياس احتمالية ملاحظة اختلاف كبير في النتائج المقاسة نتيجة لتغير مستويات العامل المدروس أو إذا كانت النتائج ناتجة عن الصدفة. تتراوح قيمتها بين 0 و 1. إذا كانت  $P > 0.05$ ، فإن العامل غير مهم، وإذا كانت  $P < 0.05$ ، فإن العامل مهم. [19]

- يستخدم المجموع التربيعي (SC) لتقدير مربع الانحراف عن المتوسط العام (العلاقة 1.4):

$$SC_f = \frac{N}{N_{nf}} \sum_{i=1}^{N_{nf}} (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \dots \dots \dots (1.4)$$

حيث أن:  $\bar{y}$ : هو متوسط الاستجابات.

$\bar{y}_i$ : هو متوسط الاستجابات المقاسة لكل مستوى i لعامل f.

N: هو العدد الإجمالي للتجارب.

$N_{nf}$ : عدد مستويات كل عامل f.

- يتم تقدير المتوسط التربيعي (MC) بقسمة المجموع التربيعي على عدد درجات الحرية (العلاقة 2.4):

$$MC_i = \frac{SC_i}{dl_i} \dots \dots \dots (2.4)$$

- يتم استخدام مؤشر القيمة F (F-value) من أجل التحقق من توافق النموذج الرياضي على أساس أن قيم F المحسوبة يجب أن تكون أكبر من F المجدولة (F-Table) (العلاقة 3.4).

$$F_i = \frac{MC_i}{MC_e} \dots \dots \dots (3.4)$$

حيث أن  $MC_i$  هو المجموع التربيعي المتوسط للأخطاء.

- من جدول ANOVA، العمود (Cont %) يعرض مساهمة العوامل (بالنسبة المئوية %) على التباين الكلي، مشيرًا إلى درجة التأثير المئوية على الاستجابة (العلاقة 3.4). [21] [20]

$$Cont. \% = \frac{SC_f}{SC_T} \times 100 \dots \dots \dots (4.4)$$

### 2.3.4 تعريف تحليل الارتباط (Analyse de regression):

تحليل الارتباط هو طريقة إحصائية تهدف إلى تحليل العلاقة بين متغير تابع معين ومتغير واحد أو أكثر من المتغيرات المستقلة. هذه العلاقة بين عوامل الإدخال (سرعة القطع (VC)، ومعدل التغذية (f)، وعمق القطع

((ap)) والإخراج (Y)، والمُعَرَّفَة بأنها واحدة من دلالات قابلية التشغيل. لحساب الثوابت ومعاملات النماذج الرياضية تم استخدام برنامج Minitab و Design-Expert وذلك من خلال إجراء تحليل التباين (ANOVA) وتحليل الارتباط (AR). [22]

في هذه الدراسة، سيتم إعطاء العلاقة بين شروط القطع ومعيار الخشونة وقوى القطع بواسطة العلاقة (5.4):

$$Y = \phi(Vc, f, ap) \dots \dots \dots (5.4)$$

حيث  $\phi$  هي دالة الاستجابة.

يُقترح تقريب لـ Y عن طريق نموذج تفاعلي ثنائي (2Fi Model) وهو نموذج رياضي يأخذ بعين الاعتبار التأثيرات الخطية والتفاعلات الثنائية فقط بين المتغيرات المستقلة. لا يتضمن التأثيرات التربيعية أو أي تأثيرات من درجات أعلى. يُعطى النموذج الرياضي من الدرجة الأولى بناءً على طريقة الارتباط العام من خلال العلاقة (6.4):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{ij}^k b_{ij} X_i X_j + \varepsilon_{ij} \dots \dots \dots (6.4)$$

حيث  $b_0$  هو ثابت في المعادلة، المعاملات  $b_1, b_2, \dots, b_k$  هي المعاملات للعوامل الخطية، بينما  $b_{12}, b_{13}, \dots, b_{k-1}$  هي معاملات للعوامل المتفاعلة. يمثل  $X_i$  و  $X_j$  عوامل الإدخال (Vc, f) و (ap).

$$(\varepsilon_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_{ij}) \dots \dots \dots (7.4)$$

العلاقة (7.4): تمثل معادلة الخطأ المطلق  $\varepsilon_{ij}$  حيث أن  $\bar{y}_{ij}$  هي القيمة الموافقة لنموذج الارتباط، و  $y_{ij}$  هي القيمة الملاحظة المطابقة للاختبارات.

يتم تعريف معامل الارتباط  $R^2$  على أنه نسبة ارتباط العوامل بالنتائج المقاسة، التي تعطي بالعلاقة (8.4):

$$R^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{\sum (\bar{y}_i - \bar{y})^2} \dots \dots \dots (8.4)$$

حيث أن :

$y_i$  : قيمة الاستجابة المحسوبة في التجربة رقم؛

$\bar{y}_i$  : قيمة الاستجابة المقاسة في التجربة رقم؛

$\bar{y}$  : القيمة المتوسطة للاستجابات المقاسة.

من أجل اختبار دقة النموذج الرياضي، يتم استخدام تحليل ANOVA لفحص أهميته الإحصائية وتوافقه مع القيم التجريبية. يعتبر النموذج مهما إذا كان بنسبة ثقة 95% أو أكبر ( $P < 0.05$ ) في كل مرة تكون قيمة F المحسوبة أكبر من قيمة F المجدولة، في هذه الحالة تعتبر النماذج التي تم الحصول عليها مهمة إحصائياً وموثوقة. يتوافق النموذج مع القيم الحقيقية (التجريبية) كلما اقترب  $R^2$  من القيمة 1. [23] [24]

### 3.3.4 تعريف منهجية سطح الاستجابة:

هي تقنية إحصائية رياضية تستخدم لنمذجة وتحليل المشاكل الاستجابات تتأثر بمتغيرات متعددة، والهدف منها هو المساعدة على فهم ودراسة ومقارنة تأثير العوامل على الاستجابة وتحديد قيم لهذه العوامل التي تقدم استجابات أحسن. [25]

### 4.4 نتائج التجارب:

تم الحصول على النتائج التجريبية لمعايير الخشونة الواردة في الجدول (1.4)، بعد التركيبات المختلفة لعناصر نظام القطع ( $V_c, F_z, a_p$ ) بخطة  $N = 3^3$ ، عند تشغيل صلب C65 بواسطة أداة من الكربيد في عملية الخراط الطولي.

الجدول 1.4. النتائج التجريبية لمعايير الخشونة وقوى القطع.

N° Essai	Vc(m/min)	f (mm/tr)	ap (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Ra (μm)
1	78,5	0,09	0,2	15,08	40,95	43,02	1,28
2	78,5	0,09	0,4	27,67	55,99	52,52	1,25
3	78,5	0,09	0,8	68,83	84,08	84,96	1,22
4	78,5	0,18	0,2	17,59	45,66	45,94	2,51
5	78,5	0,18	0,4	46,97	100,92	65,19	2,26
6	78,5	0,18	0,8	73,58	123,61	125,89	2,25
7	78,5	0,36	0,2	24,4	72,07	63,93	2,88
8	78,5	0,36	0,4	49,92	109,84	126,63	2,55
9	78,5	0,36	0,8	74,77	143,92	161,98	2,65
10	111,47	0,09	0,2	11,03	34,2	32,36	0,99
11	111,47	0,09	0,4	23,12	51,31	46,17	1,01
12	111,47	0,09	0,8	51,49	70,86	76,37	1,01
13	111,47	0,18	0,2	15,74	36,25	44,39	1,49

14	111,47	0,18	0,4	38,49	92,07	54,14	1,49
15	111,47	0,18	0,8	69,76	109,45	120,42	1,53
16	111,47	0,36	0,2	20,76	64,66	54,15	2
17	111,47	0,36	0,4	36,78	107,51	118,36	2,04
18	111,47	0,36	0,8	71,74	131,77	152,96	2,06
19	157	0,09	0,2	9,62	23,13	27,7	0,67
20	157	0,09	0,4	20,12	44,82	40,23	0,77
21	157	0,09	0,8	46,28	61,14	72,38	0,75
22	157	0,18	0,2	14,43	29,47	41,44	1,1
23	157	0,18	0,4	31,88	85,42	48,34	1,14
24	157	0,18	0,8	47,73	106,7	118,16	1,31
25	157	0,36	0,2	20,96	55,58	49,77	1,95
26	157	0,36	0,4	34,72	100,73	108,58	1,94
27	157	0,36	0,8	65,85	126,73	148,18	1,95

#### 5.4 تحليل التباين للاستجابات (Ra ;Fz ;Fy ;Fx):

##### 1.5.4 تحليل التباين لـ Ra:

من خلال تحليل النتائج ANOVA، تبين أن التغذية (f) وسرعة القطع (Vc) هما العوامل الرئيسية المؤثرة على المتغير المدروس، حيث تساهم التغذية بنسبة 60.94% وسرعة القطع بنسبة 26.40%، وكلاهما ذو دلالة إحصائية  $P < 0,05$  في المقابل، عمق القطع (ap) لم يظهر تأثيراً إحصائياً مهماً ( $P = 0.523621$ )، كما أن التفاعلات بين العوامل مثل  $Vc \times f$  و  $Vc \times ap$  و  $f \times ap$  كانت غير مهمة إحصائياً ( $P > 0.05$ ). النموذج يفسر 87.83% من التباين الكلي، مما يعكس دقة عالية في التفسير، بينما الخطأ يشكل فقط 12.17% من التباين. بناءً على هذه النتائج، يمكن الاستنتاج أن التغذية (f) وسرعة القطع (Vc) هما العاملان الرئيسيان المؤثران، بينما عمق القطع (ap) والتفاعلات بين العوامل لا تشكل تأثيراً مهماً في هذه الحالة، كما هو موضح في الجدول (2.4).

الجدول.4. 2 تحليل التباين ل Ra.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Cont.(%)
Regression	6	9,2372	9,23722	1,53954	24,0530	0,000000	87,83
Vc	1	2,7768	0,46647	0,46647	7,2879	0,013790	26,40
f	1	6,4090	0,47136	0,47136	7,3644	0,013370	60,94
ap	1	0,0002	0,02697	0,02697	0,4214	0,523621	0,002
Vc*f	1	0,0047	0,00473	0,00473	0,0740	0,788431	0,0004
Vc*ap	1	0,0444	0,04439	0,04439	0,6935	0,414824	0,42
f*ap	1	0,0021	0,00212	0,00212	0,0331	0,857398	0,02
Error	20	1,2801	1,28012	0,06401			
Total	26	10,5173					

## 2.5.4 تحليل التباين ل Fx:

من خلال تحليل ANOVA لمتغير Fx بناءً على العوامل التغذية (f)، سرعة القطع (Vc) وعمق القطع (ap)، تبين أن عمق القطع (ap) هو العامل الأكثر تأثيراً على Fx، حيث يساهم بنسبة 82.77% وله تأثير إحصائي كبير (P = 0.000001). في المقابل، التغذية (f) وسرعة القطع (Vc) لا تؤثران بشكل كبير على Fx، حيث تساهم التغذية (f) بنسبة 6.65% وسرعة القطع (Vc) بنسبة 5.19%، وكلاهما غير مهم إحصائياً (P > 0.05). كما أن التفاعلات بين العوامل كانت غير مؤثرة باستثناء التفاعل بين سرعة القطع (Vc) وعمق القطع (ap) الذي يساهم بنسبة 1.37% وله تأثير إحصائي مهم (P = 0.014537). النموذج العام يفسر 96.16% من التباين في Fx، مما يعكس دقة عالية في التفسير (الجدول.3.4).

الجدول.4. 3 تحليل التباين ل Fx.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Cont.(%)
Regression	6	11591,8	11591,8	1931,96	83,4911	0,000000	96,16
Vc	1	625,4	5,6	5,60	0,2420	0,628091	5,19
f	1	801,3	6,5	6,52	0,2818	0,601360	6,65
ap	1	9977,6	1118,4	1118,43	48,3337	0,000001	82,77
Vc*f	1	9,5	9,5	9,49	0,4102	0,529129	0,08
Vc*ap	1	165,6	165,6	165,64	7,1581	0,014537	1,37
f*ap	1	12,4	12,4	12,37	0,5346	0,473178	0,10

Error	20	462,8	462,8	23,14			
Total	26	12054,6					

### 3.5.4 تحليل التباين لـ $F_y$ :

من خلال تحليل ANOVA لمتغير  $F_y$  بناءً على العوامل سرعة القطع (Vc) ، التغذية (f) وعمق القطع (ap) تبين أن النموذج يفسر 87.25% من التباين الكلي. ومع ذلك، لم تظهر العوامل سرعة القطع (Vc)، التغذية (f) وعمق القطع (ap) تأثيراً إحصائياً مهماً على  $F_y$  ، حيث تساهم سرعة القطع (Vc) بنسبة 3.55%، والتغذية (f) بنسبة 32.53%، وعمق القطع (ap) بنسبة 49.76%، وجميعها كانت غير ذات دلالة إحصائية. ( $P > 0.05$ ) كما أن التفاعلات بين العوامل مثل  $Vc \times f$  و  $Vc \times ap$  و  $f \times ap$  كانت غير مهمة إحصائياً، حيث تساهم بنسب صغيرة. الخطأ يشكل 12.75% من التباين الكلي، مما يدل على أن التباين غير المفسر صغير.

وبالتالي، يمكن استنتاج أن هذه العوامل لا تسهم بشكل ملحوظ في التباين في  $F_y$ ، مما قد يشير إلى أن عوامل أخرى لم يتم تحليلها قد تكون أكثر تأثيراً على هذا المتغير (الجدول 4.4).

الجدول 4.4. تحليل التباين لـ  $F_y$ .

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Cont.(%)
Regression	6	27498,2	27498,2	4583,03	22,8174	0,000000	87,25
Vc	1	1119,2	141,6	141,59	0,7049	0,411055	3,55
f	1	10252,1	160,8	160,82	0,8007	0,381540	32,53
ap	1	15683,3	524,8	524,79	2,6128	0,121672	49,76
Vc*f	1	7,0	7,0	7,05	0,0351	0,853276	0,02
Vc*ap	1	6,5	6,5	6,49	0,0323	0,859149	0,02
f*ap	1	429,9	429,9	429,94	2,1405	0,158992	1,36
Error	20	4017,1	4017,1	200,86			
Total	26	31515,3					

#### 4.5.4 تحليل التباين لـ Fz:

من خلال تحليل ANOVA لمتغير Fz بناءً على العوامل سرعة القطع (Vc)، التغذية (f) وعمق القطع (ap)، تبين أن النموذج العام يفسر 94.14% من التباين الكلي. رغم أن النموذج ذو دلالة إحصائية عالية (P < 0.05)، إلا أن العوامل سرعة القطع (Vc)، التغذية (f) وعمق القطع (ap) لم تُظهر تأثيرًا إحصائيًا مهمًا على Fz، حيث تساهم سرعة القطع (Vc) بنسبة 1.63%، والتغذية (f) بنسبة 33.45%، وعمق القطع (ap) بنسبة 55.53%، وجميعها كانت غير ذات دلالة إحصائية (P > 0.05). أما التفاعل بين التغذية (f) وعمق القطع (ap) فقد أظهر دلالة إحصائية (P = 0.002469)، حيث تساهم هذه التفاعلات بنسبة 3.51% من التباين. مما يشير إلى أهمية التفاعل بين هذين العاملين في التأثير على Fz. والخطأ يشكل 5.86% من التباين الكلي (الجدول 5.4).

الجدول 5.4. تحليل التباين لـ Fz.

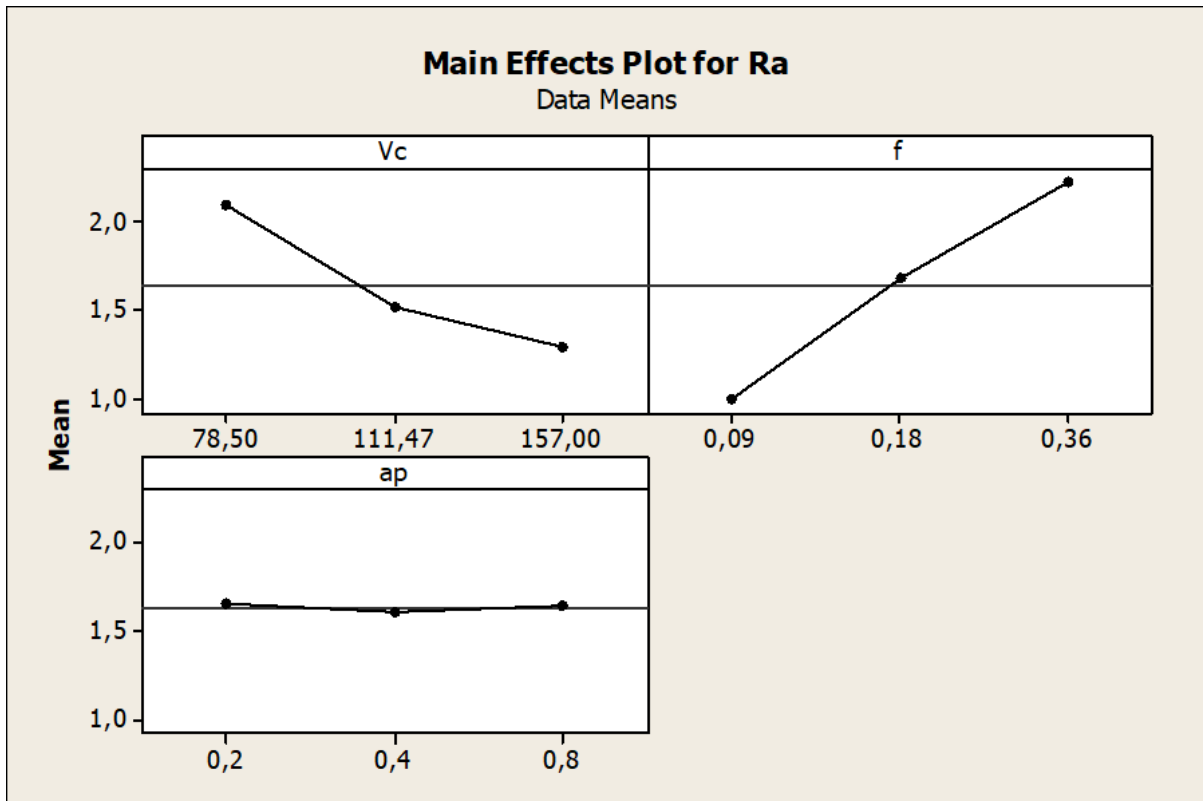
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Cont.(%)
Regression	6	41324.2	41324.2	6887.36	53.5061	0.000000	94.14
Vc	1	714.4	69.1	69.14	0.5372	0.472115	1.63
f	1	14683.9	186.0	185.99	1.4449	0.243391	33.45
ap	1	24377.0	364.3	364.31	2.8302	0.108053	55.53
Vc * f	1	6.5	6.5	6.54	0.0508	0.823960	0.01
Vc * ap	1	0.7	0.7	0.71	0.0055	0.941597	0.002
f * ap	1	1541.7	1541.7	1541.67	11.9768	0.002469	3.51
Error	20	2574.4	2574.4	128.72			5.86
Total	26	43898.6					

#### 6.4 التأثيرات الرئيسية والتفاعلات:

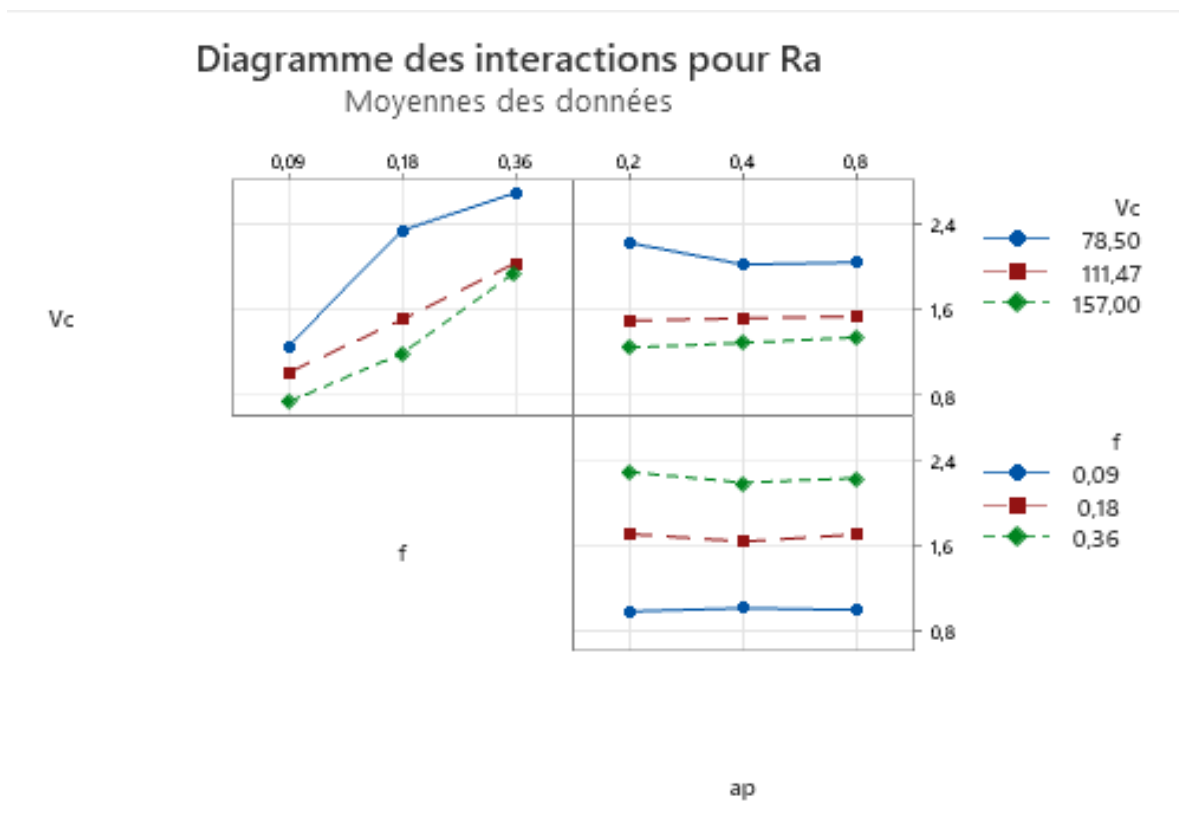
#### 1.6.4 خشونة السطح Ra:

بناءً على تحليل مخططات التأثيرات (Main Effects Plot) الموضح في الشكل (1.4) ومخططات التفاعلات (Interaction Plot) الموضح في الشكل (2.4) ومخطط البواقي الموضح في الشكل (3.4) يمكن استخلاص النقاط التالية:

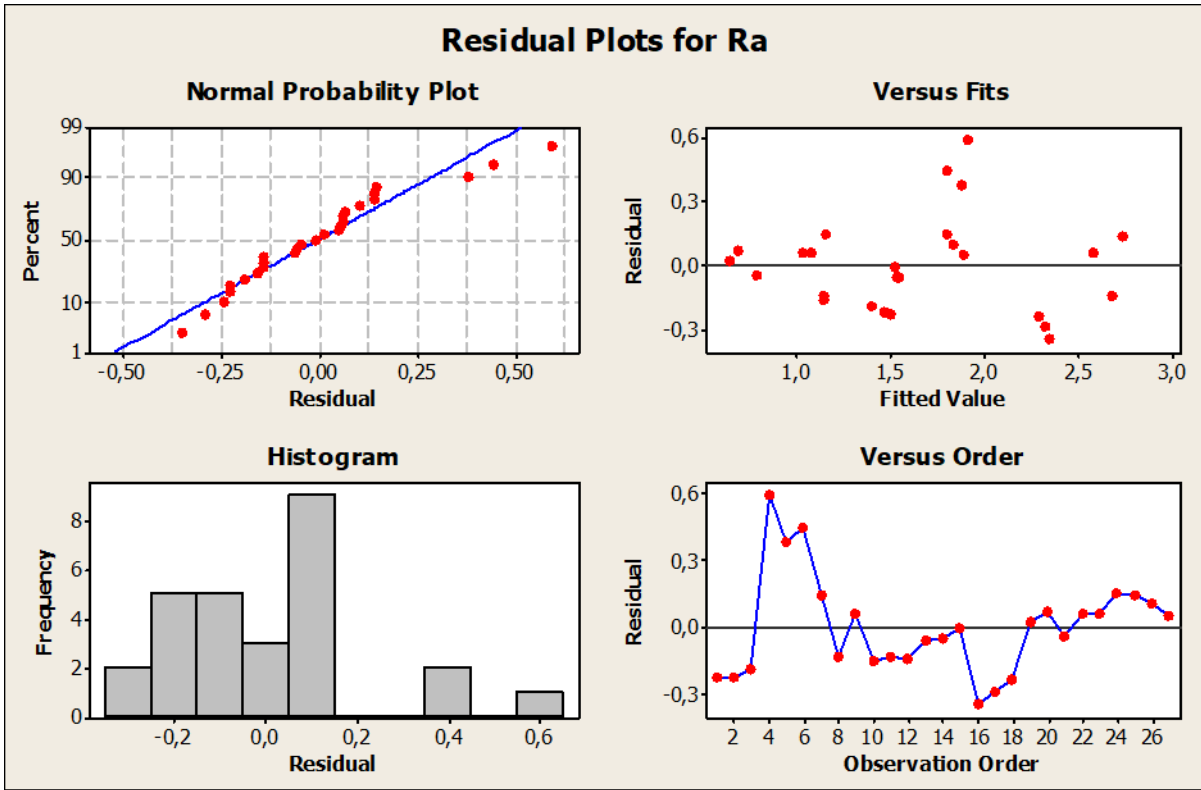
1. تأثير سرعة القطع ( $Vc$ ): تبين أن زيادة سرعة القطع ( $Vc$ ) تؤدي إلى انخفاض الخشونة السطحية ( $Ra$ ) ، مما يعني أن هناك تأثيرًا عكسيًا وقويًا لسرعة القطع على جودة السطح النهائي.
2. تأثير التغذية ( $f$ ): زيادة التغذية ( $f$ ) تؤدي إلى زيادة الخشونة السطحية ( $Ra$ ) بشكل ملحوظ، مما يدل على أن الفارق في التغذية هو العامل الأكثر تأثيرًا في تدهور جودة السطح.
3. تأثير عمق القطع ( $ap$ ): لم يظهر تأثير كبير لعمق القطع ( $ap$ ) على الخشونة السطحية ( $Ra$ ) ، حيث كانت العلاقة ثابتة تقريبًا، مما يشير إلى أن  $ap$  لا يؤثر بشكل ملحوظ على جودة السطح.
4. تفاعلات العوامل: من خلال مخطط التفاعلات، لوحظ أن تأثيرات  $Vc$  و  $f$  تتداخل معًا، حيث تؤثر هذه العوامل بشكل أكبر على قيمة  $Ra$  عندما يتم تغييرها معًا، بينما تظل تأثيرات  $ap$  شبه ثابتة. تستند هذه الاستنتاجات إلى تحليل البيانات باستخدام مخططات التأثيرات والتفاعلات، وتُعد ذات أهمية لتحسين جودة عملية التشغيل وتحديد القيم المثلى للعوامل المختلفة لتحقيق سطوح ناعمة وفقًا للمتطلبات الفنية.



الشكل 4. 1 مخطط التأثيرات لـ Ra.



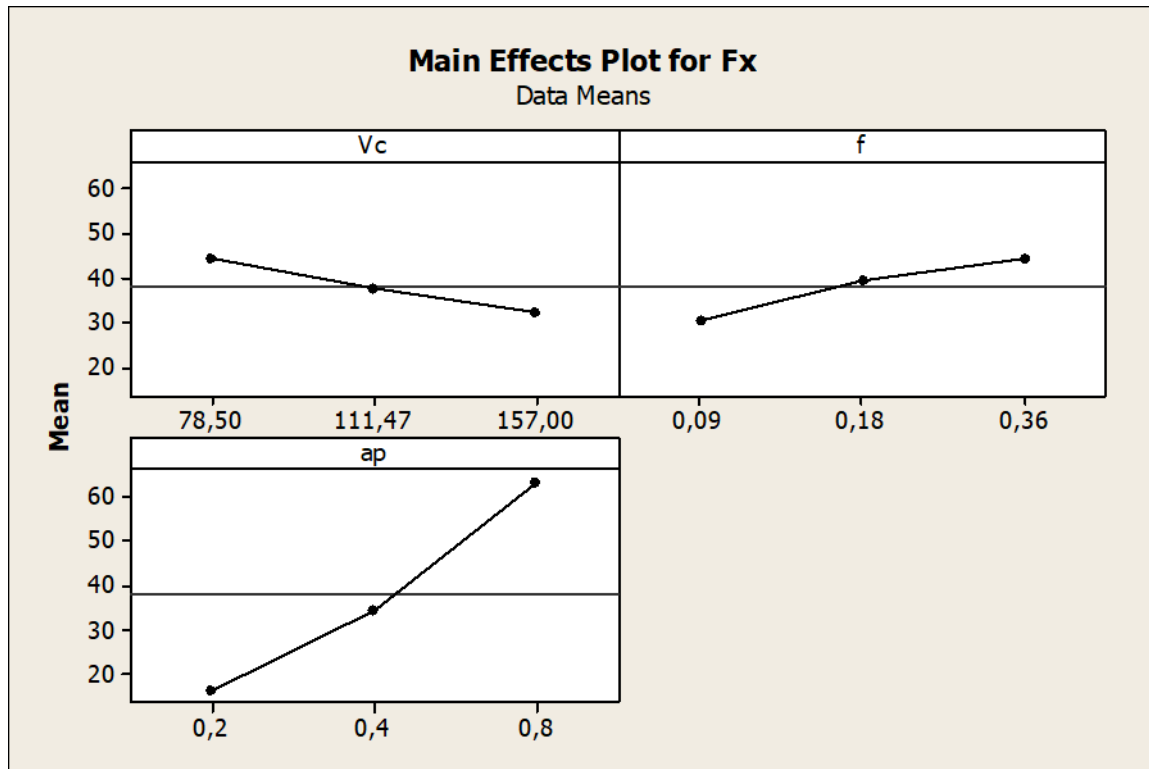
الشكل 4. 2 مخطط التفاعلات لـ Ra.



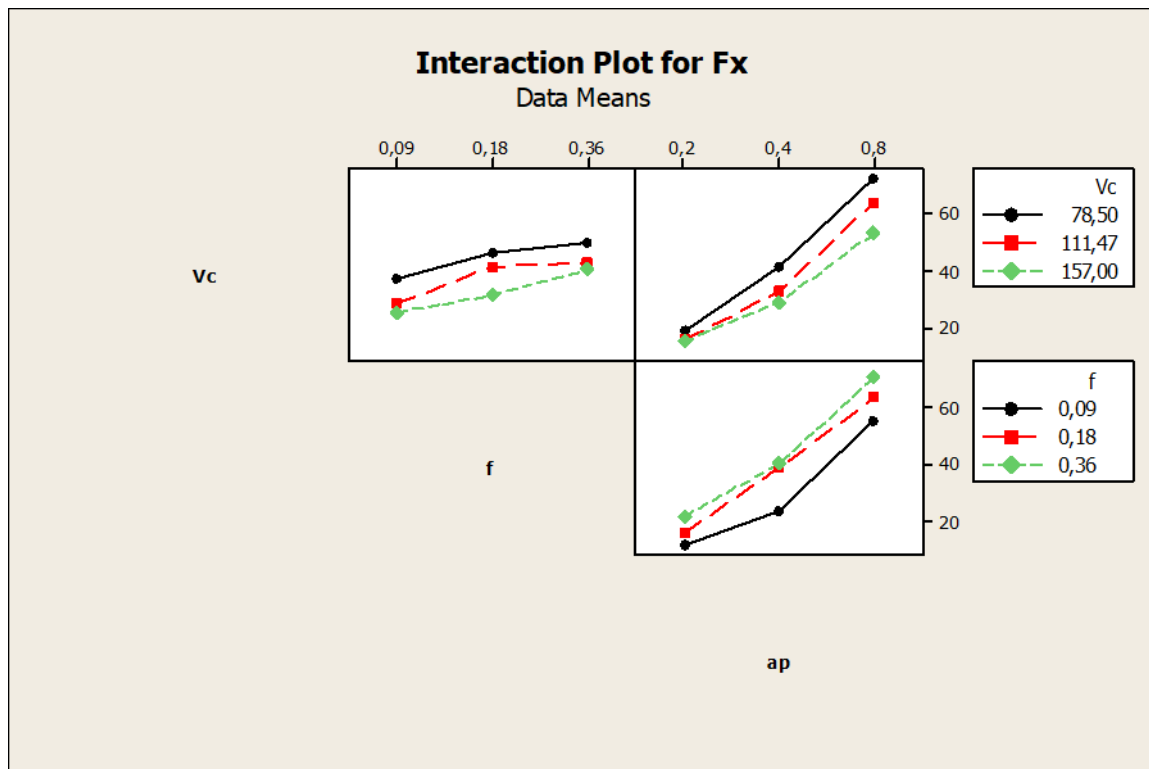
الشكل.4. 3 مخطط البواقي ل Ra.

#### 2.6.4 قوى القطع ( $F_x ; F_y ; F_z$ ):

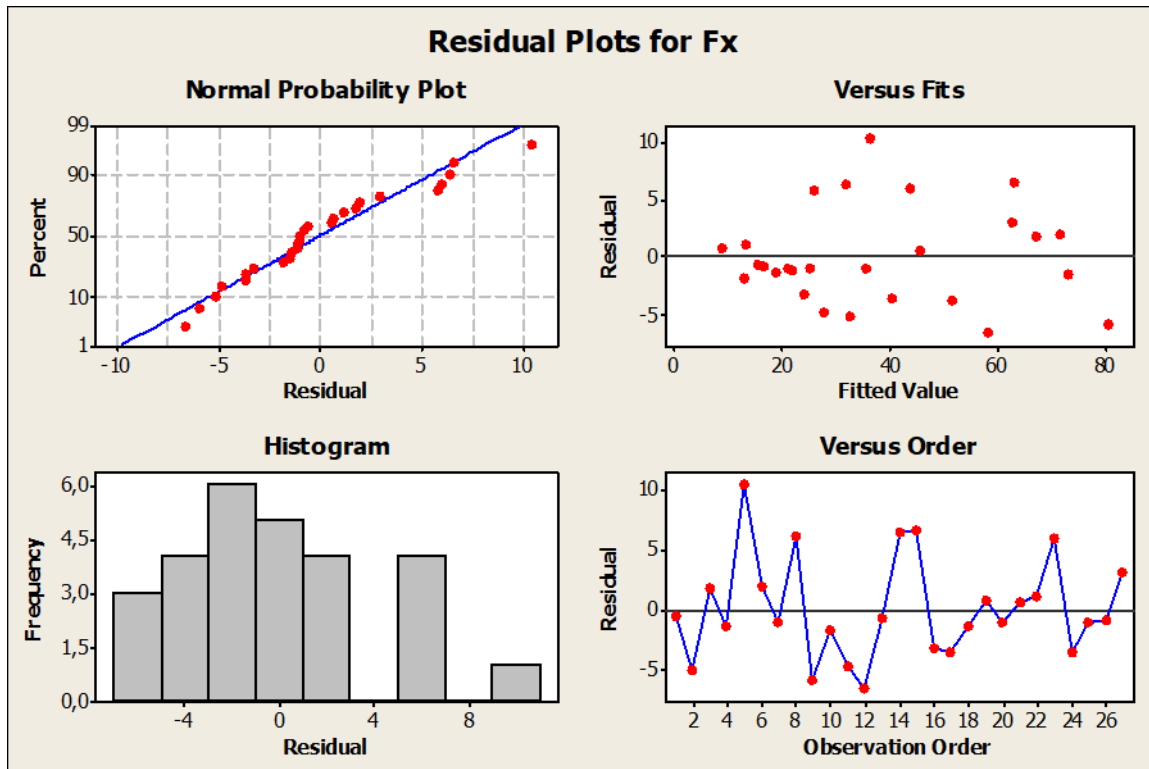
بناءً على تحليل مخططات التأثيرات الرئيسية في الأشكال (4.4)، (7.4) و(10.4) ومخططات التفاعلات في الأشكال (5.4)، (8.4) و(11.4) ومخططات البواقي في الأشكال (6.4)، (9.4) و(12.4) لكل من ( $F_z, F_y, F_x$ ) على الترتيب، تبين أن سرعة القطع ( $V_c$ ) تؤثر سلباً على القوة  $F_x$ ، حيث تؤدي زيادتها إلى تقليل هذه القوة، بينما يُلاحظ تأثير إيجابي واضح لكل من معدل التغذية ( $f$ ) وعمق القطع ( $ap$ ) على القوى  $F_x$  و  $F_z$  و  $F_y$ ، حيث تؤدي الزيادة في هذين العاملين إلى ارتفاع في القيم المحورية. أما بالنسبة للقوتين  $F_y$  و  $F_z$ ، فلم تُظهر سرعة القطع تأثيراً ملحوظاً عليهما، إذ بقي تأثيرها مستقرًا نسبيًا ضمن نطاق التشغيل المدروس. كما أظهرت مخططات التفاعل أن تأثير  $f$  و  $ap$  على القوى يختلف تبعاً لمستوى  $V_c$ ، مما يشير إلى وجود تفاعل ديناميكي بين هذه العوامل يؤثر على سلوك عملية القطع. من جهة أخرى، أكد تحليل الأخطاء أن البواقي تتبع توزيعاً طبيعياً، وأن التباين في الأخطاء محدود، مما يدل على ملاءمة النموذج الإحصائي المستخدم ودقته في تمثيل العلاقة بين المتغيرات المدروسة، وهو ما يعزز موثوقية النتائج ويساعد في تحسين عمليات التشغيل وتحديد شروط القطع المثلى.



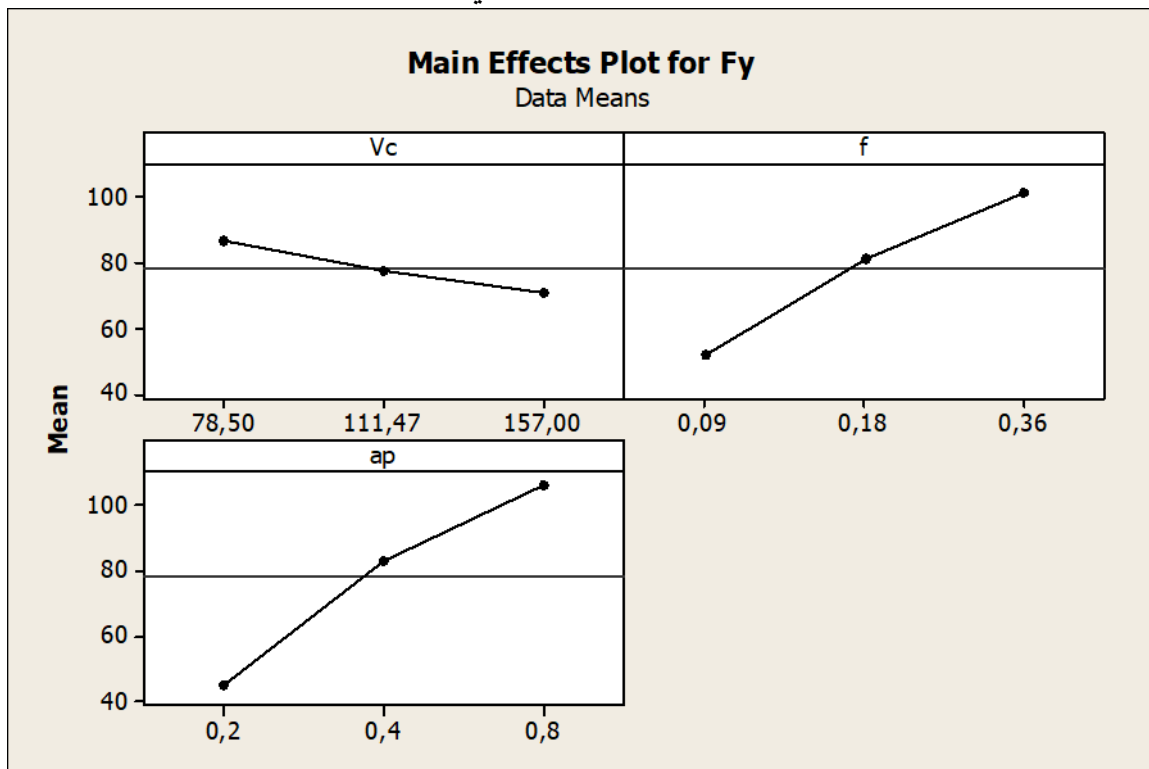
الشكل 4. 4 مخطط التأثيرات لـ Fx.



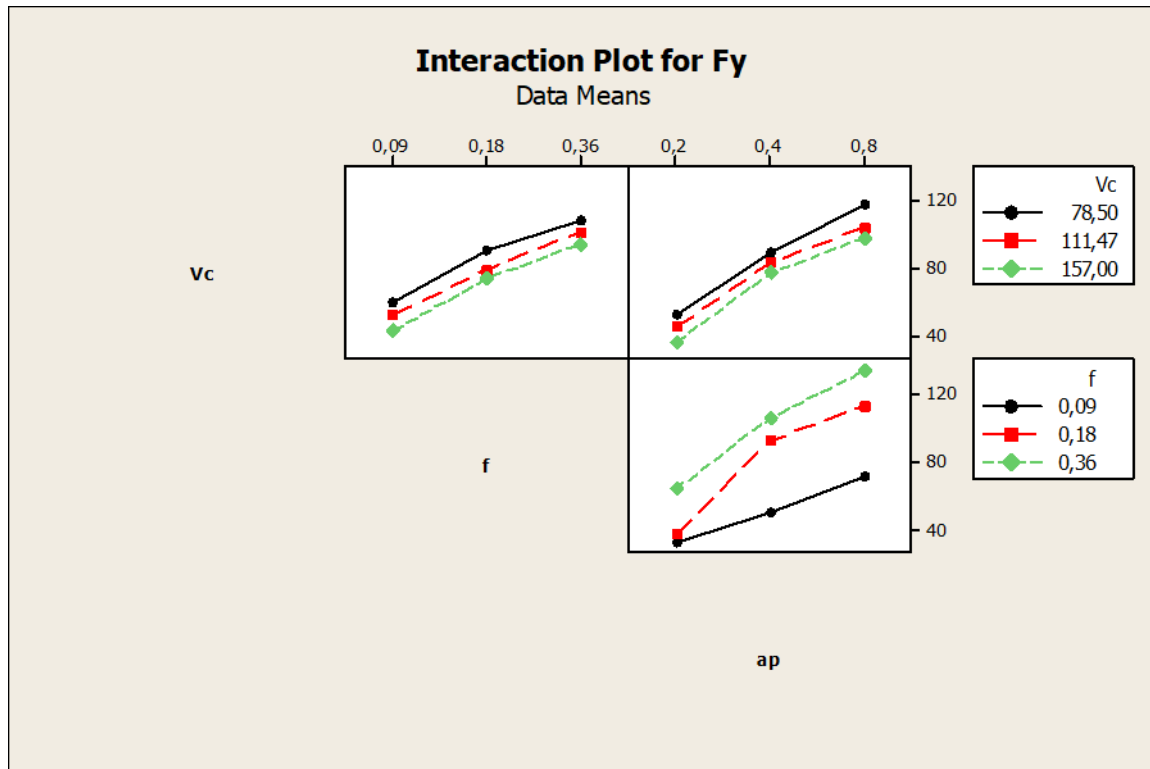
الشكل 4. 5 مخطط التفاعلات لـ Fx.



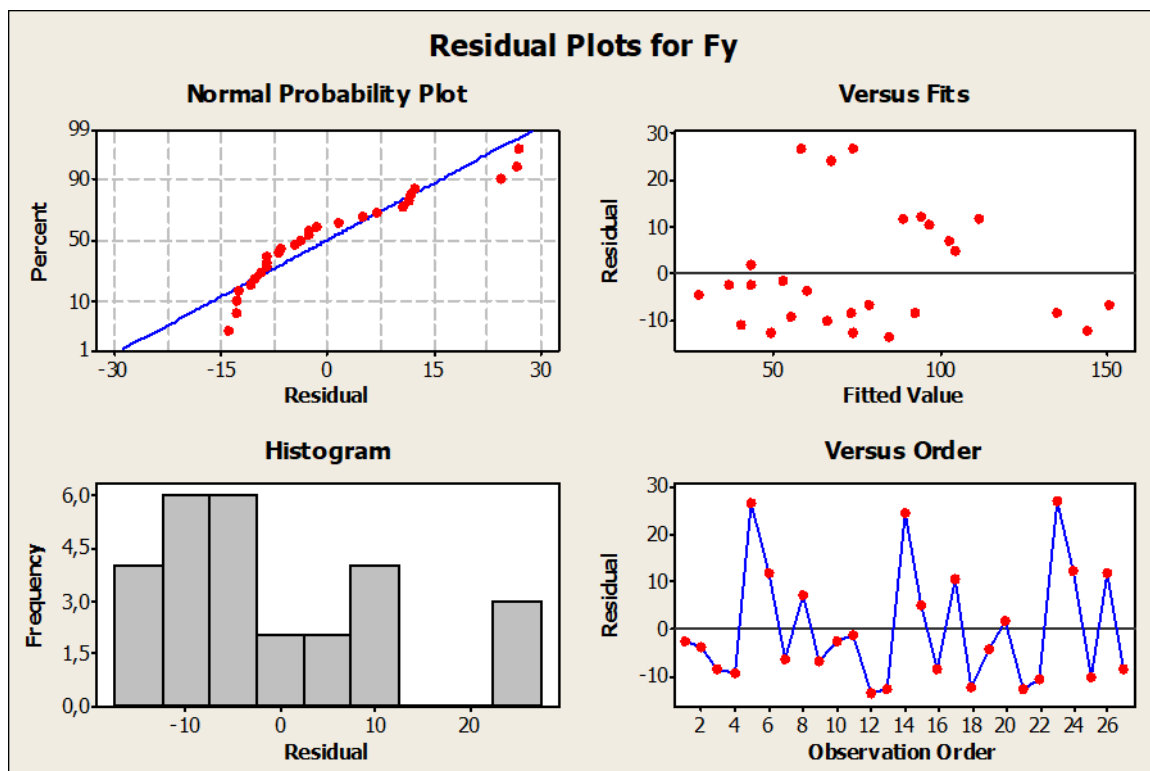
الشكل 4. 6 مخطط البواقي لـ Fx.



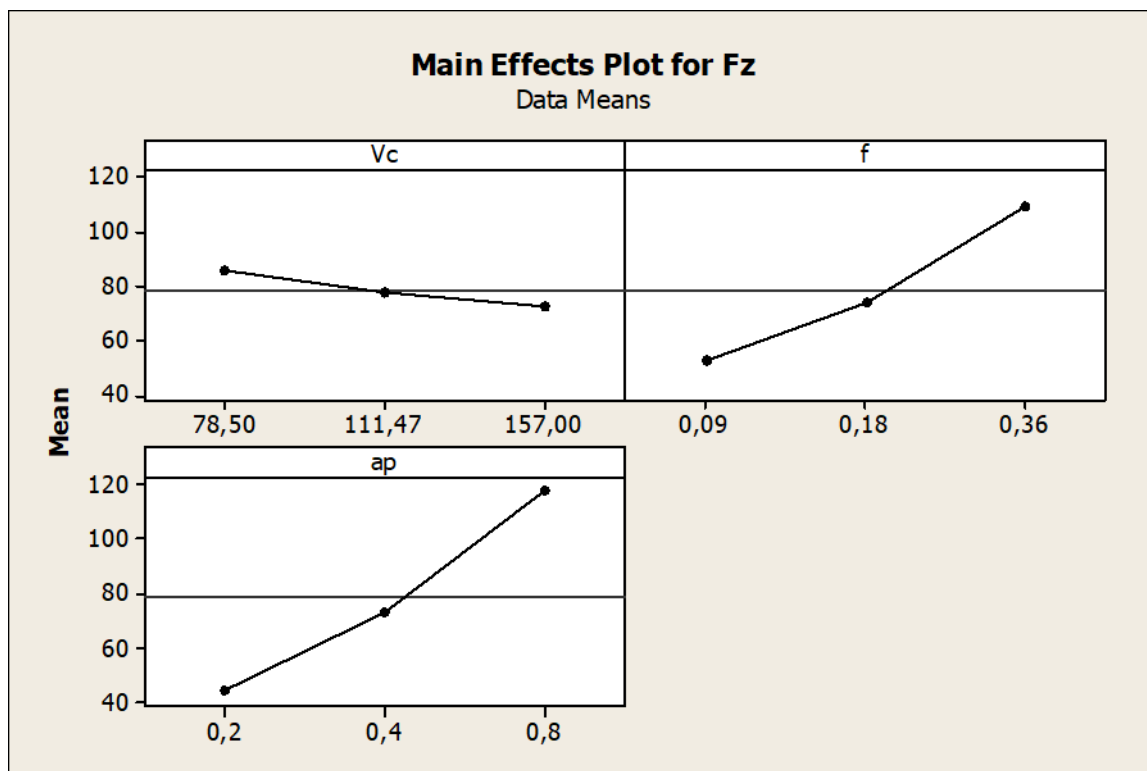
الشكل 4. 7 مخطط التأثيرات لـ Fy.



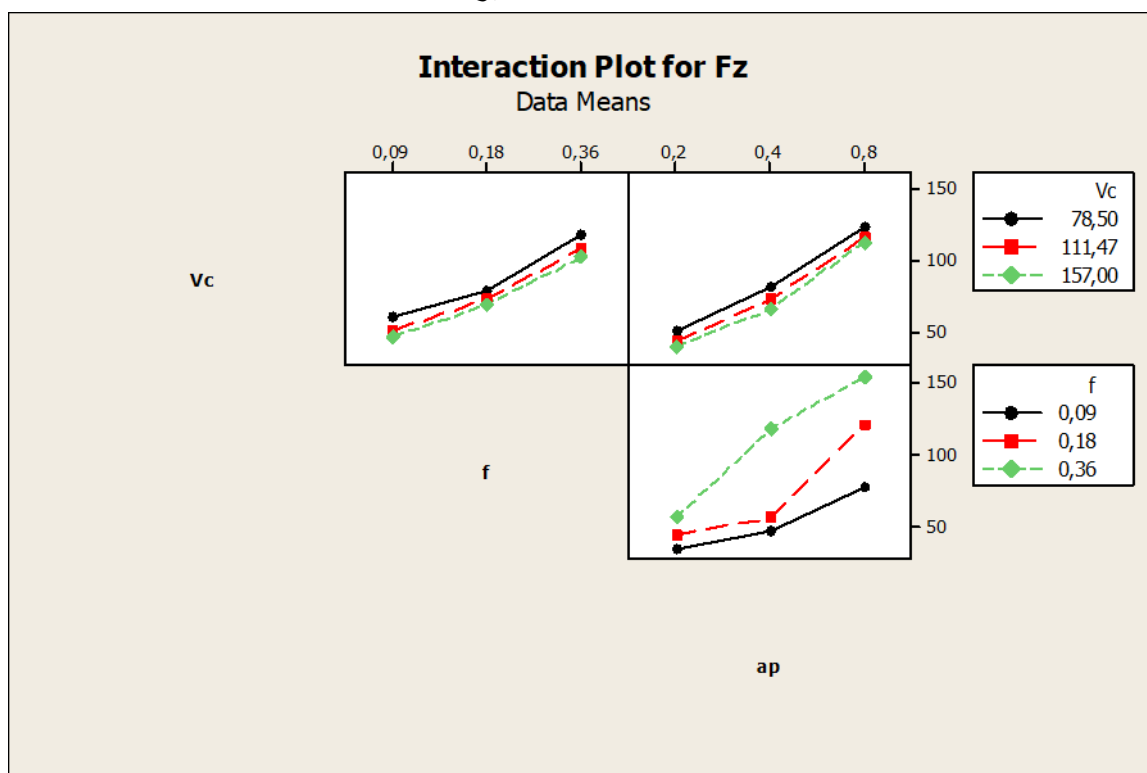
الشكل 4.8 مخطط التفاعلات لـ  $F_y$ .



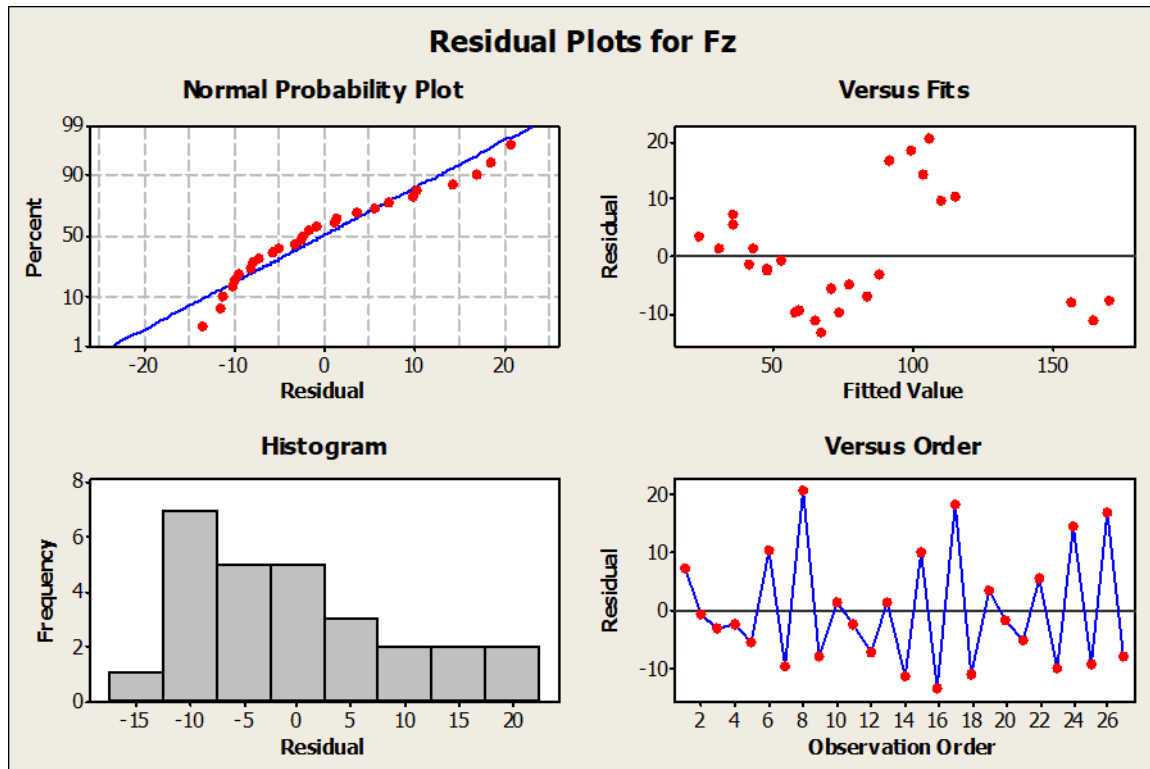
الشكل 4.9 مخطط البواقي لـ  $F_y$ .



الشكل 4. 10 مخطط التأثيرات لـ Fz.



الشكل 4. 11 مخطط التفاعلات لـ Fz.



الشكل 4. 12 مخطط البواقي لـ Fz.

#### 7.4 تحليل الارتباط لـ (Ra ;Fx ;Fy ;Fz):

تم تصميم نماذج ارتباط بين المدخلات (شروط القطع) والمخرجات (معايير الخشونة وقوى القطع) باستخدام برنامج MINITAB. حيث أن المعادلات (9.4)، (10.4)، (11.4) و(12.4) تمثل نمذجة كل من الاستجابات (Fx, Fy, Fz, Ra) بدلالة عوامل القطع (Vc, ap, f) والتداخلات بينها، متبوعة بمعاملات ارتباطها.

$$F_x = -1.03482 - 0.0400266V_c + 18.2702f + 107.671ap + 0.164127V_c \times f - 0.308521V_c \times ap + 24.1733f \times ap$$

$$R^2 = 96.16\% \quad (9.4)$$

$$F_y = 33.8037 - 0.201253V_c + 90.7296f + 73.7545ap + 0.141444V_c \times f - 0.0610722V_c \times ap + 142.516f \times ap$$

$$R^2 = 87.25\% \quad (10.4)$$

$$F_z = 21.5432 - 0.140638V_c + 97.5716f + 61.4514ap - 0.136226V_c \times f + 0.0201776V_c \times ap + 269.871f \times ap$$

$$R^2 = 94.14\% \quad (11.4)$$

$$R_a = 2.03017 - 0.0115514V_c + 4.91203f + 0.528758ap + 0.00366546V_c \times f \\ + 0.00505042V_c \times ap - 0.316515f \times ap \\ R^2 = 87.83\% \quad (12.4)$$

#### 8.4 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و contour لـ (Fz, Fy, Fx, Ra):

##### ✓ بالنسبة لـ Ra

يبين سطح الاستجابة والـ contour أن التغذية لها أكبر تأثير وأن كل تقليل في معدل التغذية يقلل من معايير خشونة السطح (Ra) بشكل ملحوظ. تليه سرعة القطع بتأثير معتبر، بينما يؤثر عمق القطع بشكل ضئيل.

توضح هذه الرسوم البيانية أيضاً أن معايير الخشونة الكبيرة تستوجب قيم كبيرة من سرعة التغذية (0.36mm/dt) وسرعات قطع منخفضة (78.5m/min)، أما المعايير الضئيلة للخشونة فتستلزم سرعات تغذية منخفضة (0.09mm/dt) وسرعات قطع كبيرة (157m/min).

لذلك، يتم تحقيق أفضل خشونة من خلال تطبيق تغذية صغيرة لكل دورة وسرعة القطع العالية. (الشكل 13.4).

##### ✓ بالنسبة لـ Fx

يبين سطح الاستجابة والـ contour أن القوة المحورية (Fx) تتأثر بشكل رئيسي بكل من معدل التغذية (f) وعمق القطع (ap)، حيث يؤدي ارتفاع هذين العاملين إلى زيادة ملحوظة في قيمة Fx، بينما كان تأثير سرعة القطع (Vc) عكسياً وضعيفاً نسبياً، إذ تسهم زيادتها في تقليل القوة المحورية بشكل طفيف. وتشير النتائج إلى أن تحقيق أدنى قيمة ممكنة لـ Fx يتطلب استخدام معدلات تغذية منخفضة، وأعماق قطع صغيرة، وسرعات قطع عالية. (الشكل 14.4).

##### ✓ بالنسبة لـ Fy

يبين سطح الاستجابة والـ contour أن معدل التغذية f، سرعة القطع Vc، وعمق القطع ap تؤثر بشكل متفاوت على القوة أثناء عملية التشغيل. وقد أظهرت النتائج أن معدل التغذية يُعد العامل الأكثر تأثيراً، حيث

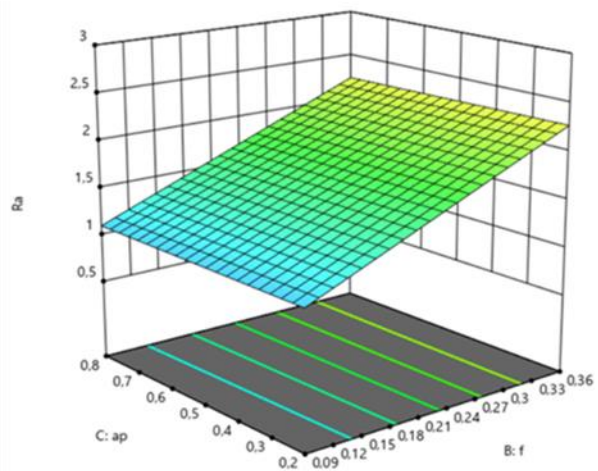
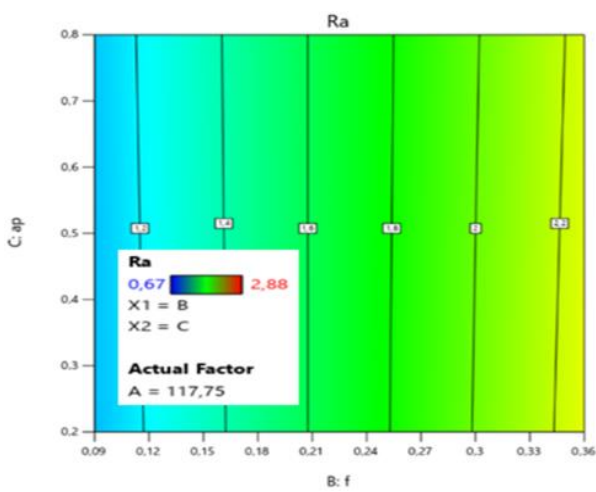
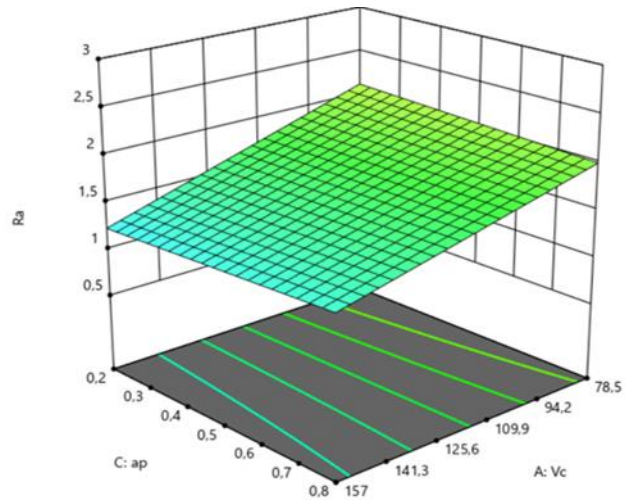
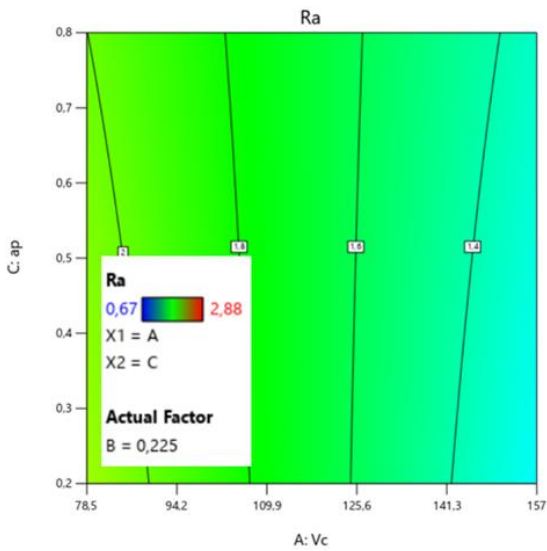
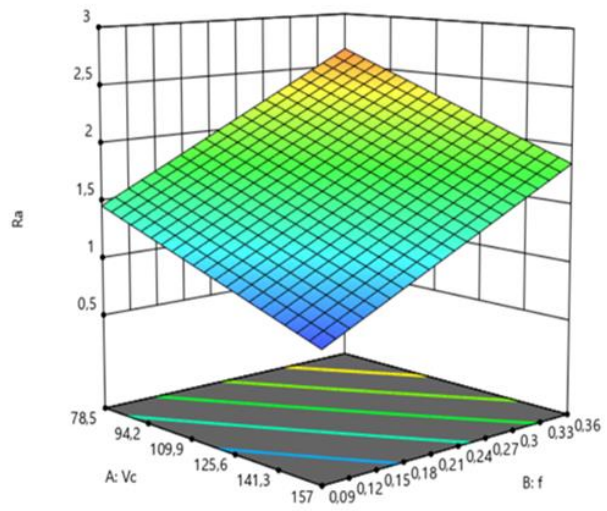
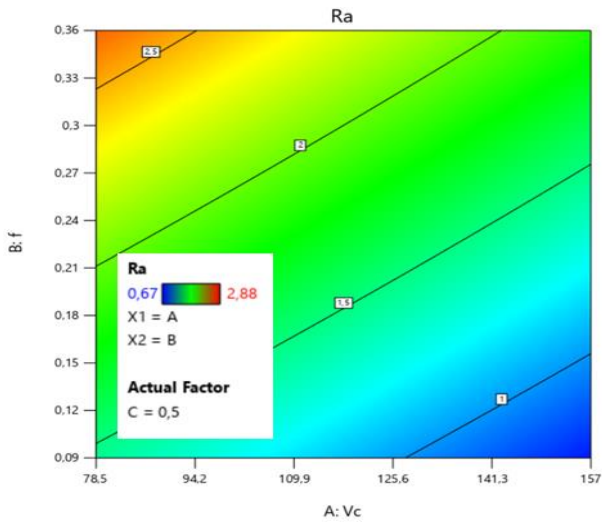
تؤدي زيادته إلى ارتفاع ملحوظ في قيمة  $F_y$ ، يليه عمق القطع الذي يُظهر بدوره تأثيرًا إيجابيًا على القوة، بينما سرعة القطع تؤثر بشكل عكسي، إذ تُسهم زيادتها في تقليل  $F_y$ . كما بيّنت المخططات أن أعلى قيم للقوة تتوافق مع معدلات تغذية وعمق قطع مرتفعين وسرعات قطع منخفضة، في حين أن أدنى القيم تُسجل عند انخفاض معدل التغذية وعمق القطع مع ارتفاع سرعة القطع. وبناءً على ذلك، يُوصى باعتماد ظروف تشغيل تتضمن سرعات قطع عالية، معدلات تغذية منخفضة، وعمق قطع معتدل للحد من القوة المحورية. (الشكل.15.4)

### ✓ بالنسبة $F_z$

يبين سطح الاستجابة والـ contour أن عمق القطع ( $ap$ ) يمثل العامل الأكثر تأثيرًا في زيادة قيمة  $F_z$ ، يليه معدل التغذية ( $f$ )، بينما كان تأثير سرعة القطع ( $V_c$ ) الأقل من بين العوامل الثلاثة. وقد بينت الرسوم البيانية أن القيم العليا لقوة القطع تظهر عند أعماق قطع كبيرة ومعدلات تغذية مرتفعة، خاصة عند سرعات قطع منخفضة، في حين أن القيم الصغرى لقوة القطع ترتبط باستخدام عمق قطع منخفض ( $0.2 \text{ mm}$ )، ومعدل تغذية منخفض ( $0.09 \text{ mm/tr}$ )، وسرعة قطع مرتفعة ( $157 \text{ m/min}$ )، وعليه، يُوصى باستخدام هذه القيم لتقليل القوة  $F_z$ . (الشكل.16.4)

رسومات بيانية 2D Contour

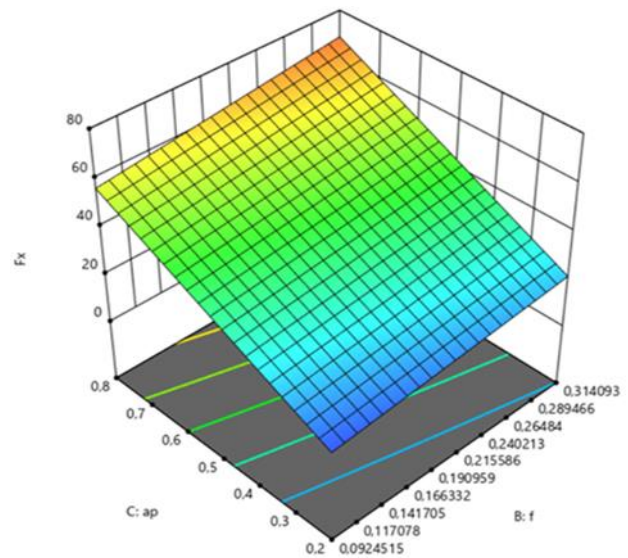
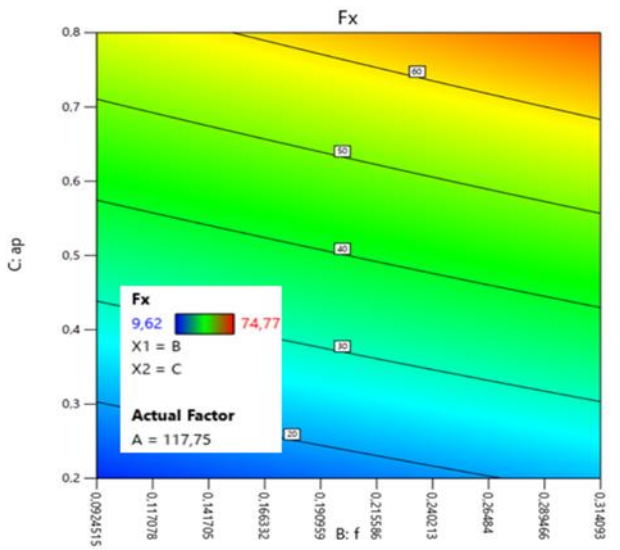
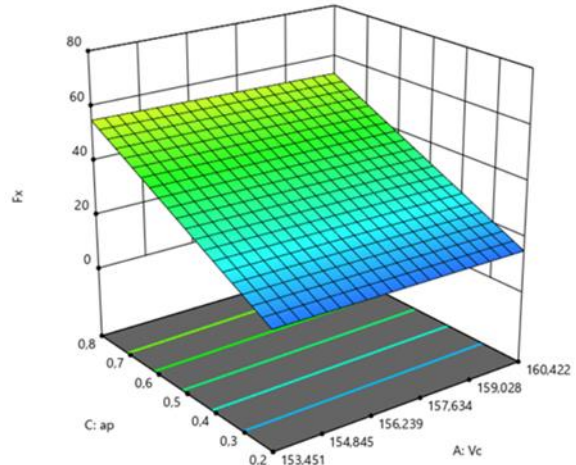
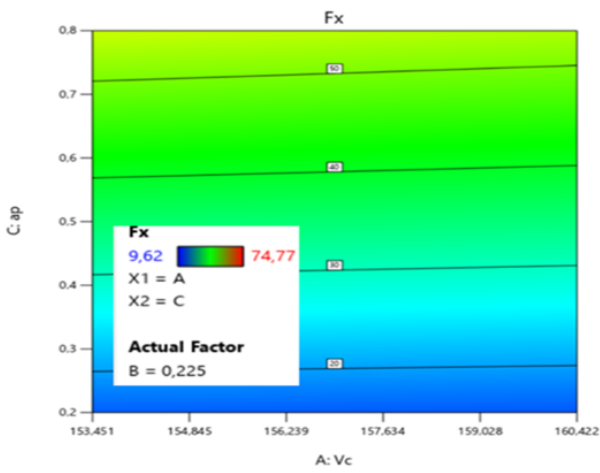
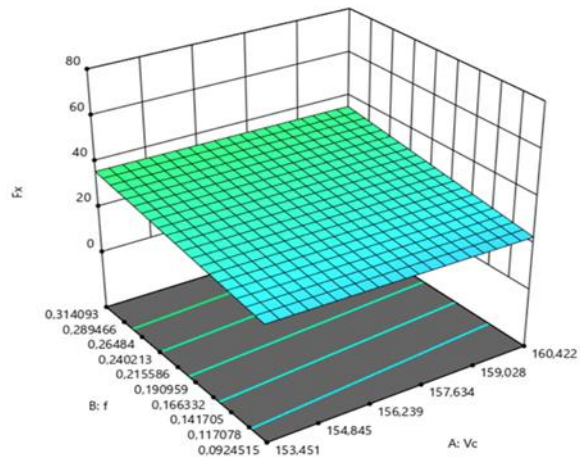
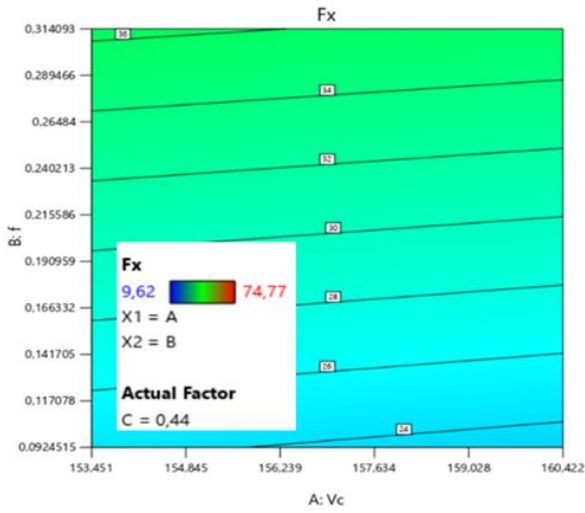
مخططات سطح استجابة 3D



الشكل 4.13 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و contour ل Ra بدلالة (Vc, f, ap)

رسومات بيانية Contour2D

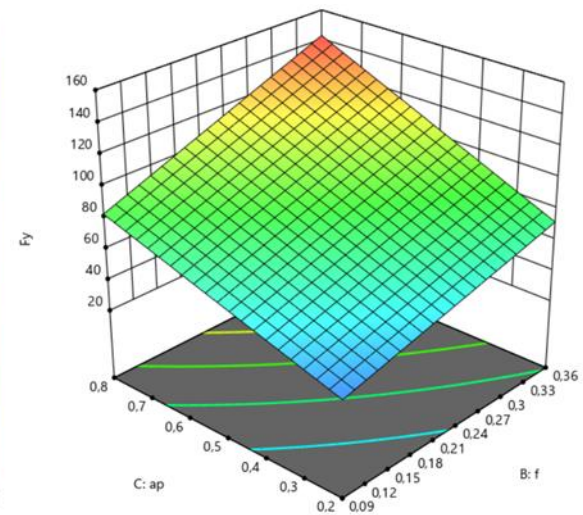
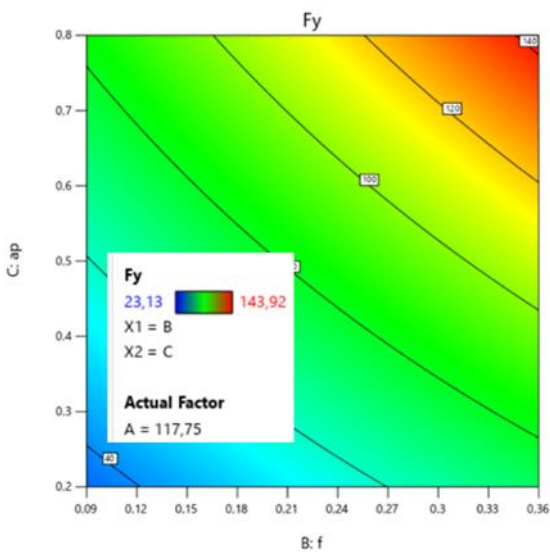
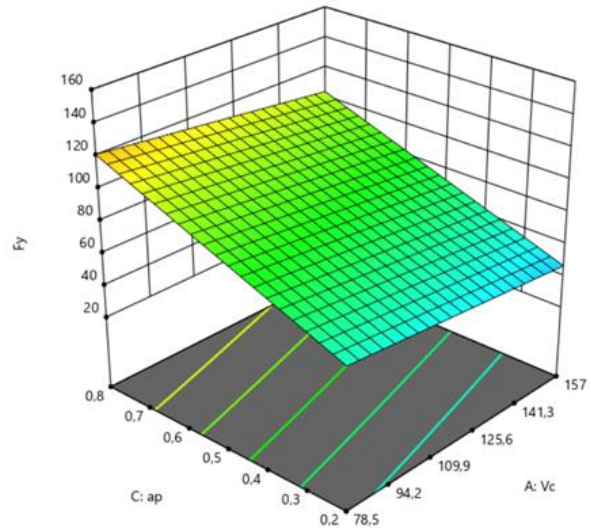
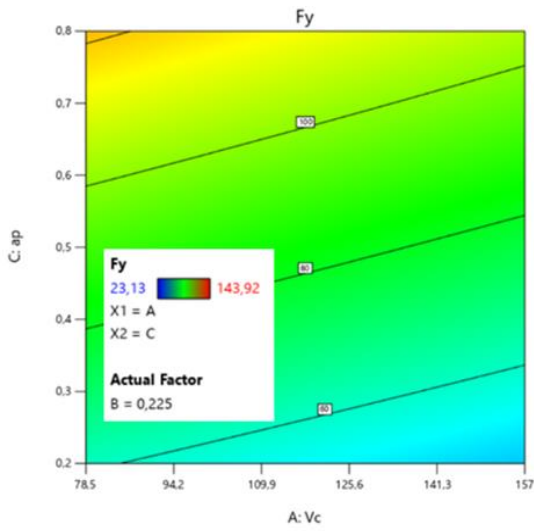
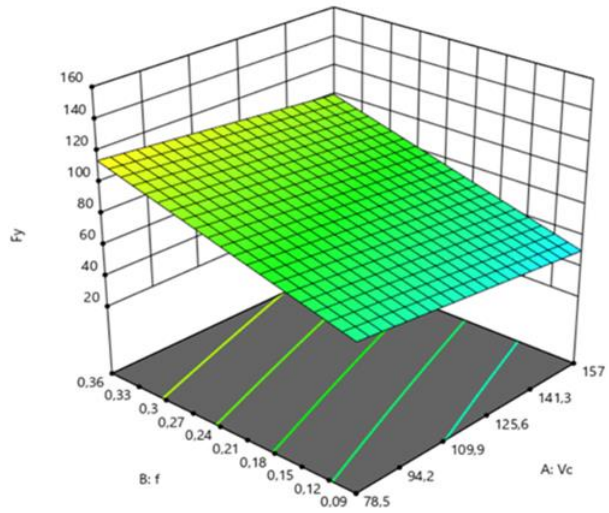
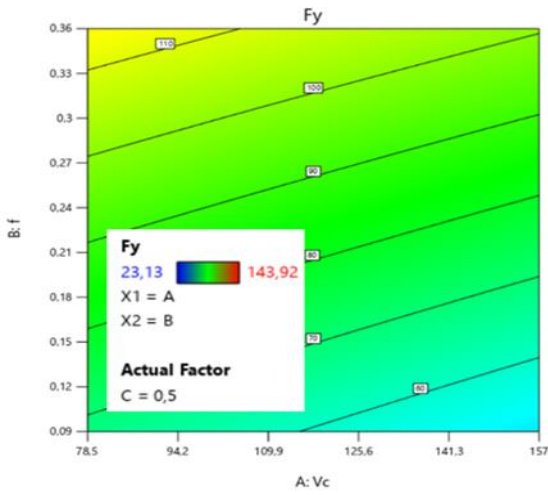
مخططات سطح استجابة 3D



الشكل 4. 14 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و contour لـ Fx بدلالة (Vc, f, ap)

رسومات بيانية Contour2D

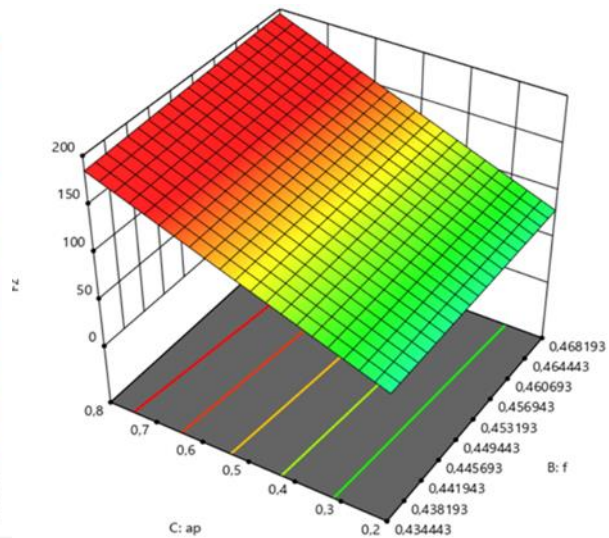
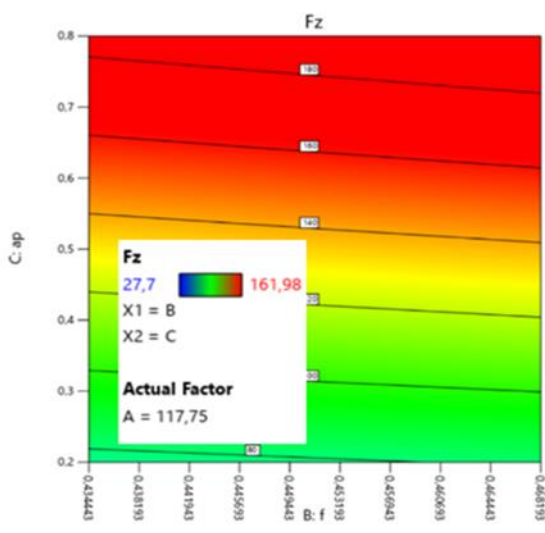
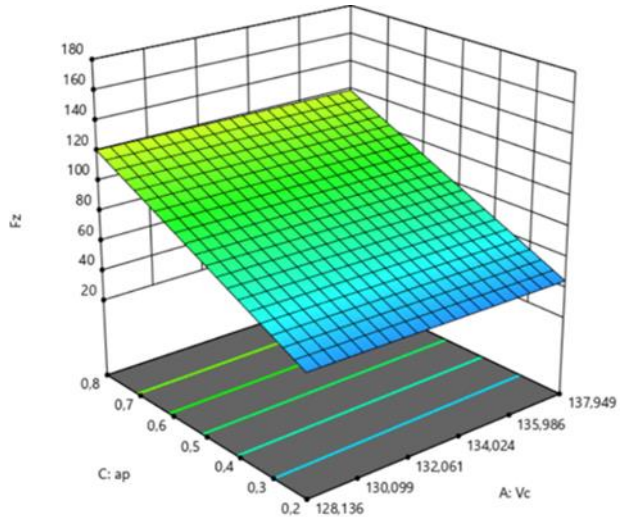
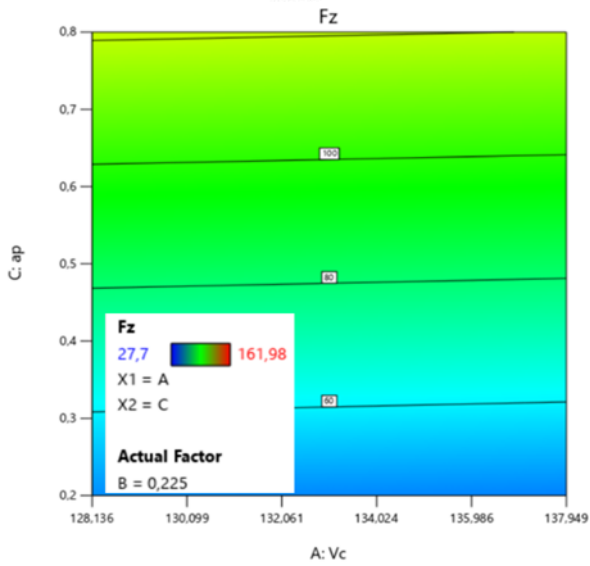
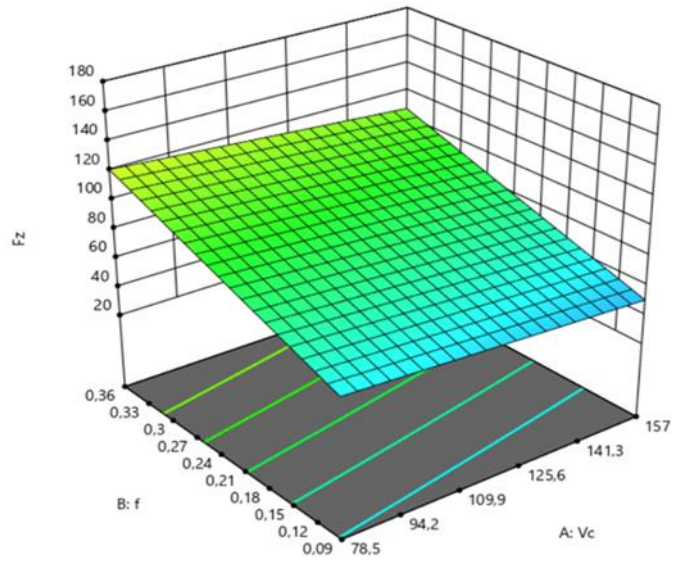
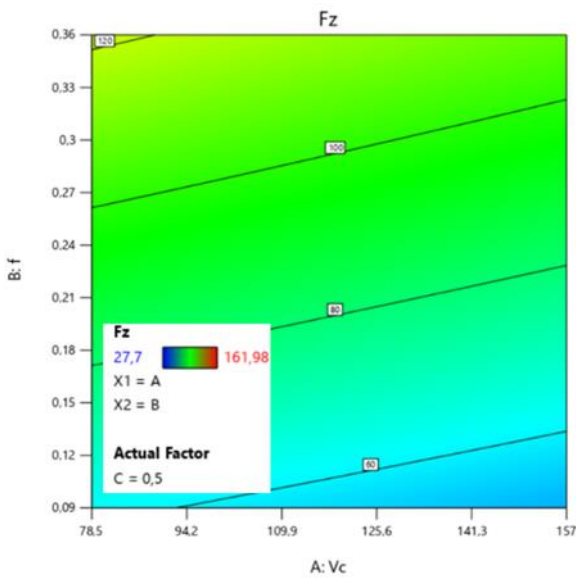
مخططات سطح استجابة 3D



الشكل 4. 15 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و contour لـ Fy بدلالة (Vc, f, ap)

رسومات بيانية Contour2D

مخططات سطح استجابة 3D



الشكل 4. 16 منهجية سطح الاستجابة (RSM) و contour لـ Fz بدلالة (Vc, f, ap)

### 9.4 مقارنة بين قيم تجربيه (expérimentale) ومتوقعة (prédite) ل Ra, Fx, Fy, Fz :

يوضح الجدول (10.4) قيم النتائج التجريبية والنتائج المتوقعة لكل من خشونة السطح والقوى (Fx, Fy, Fz).

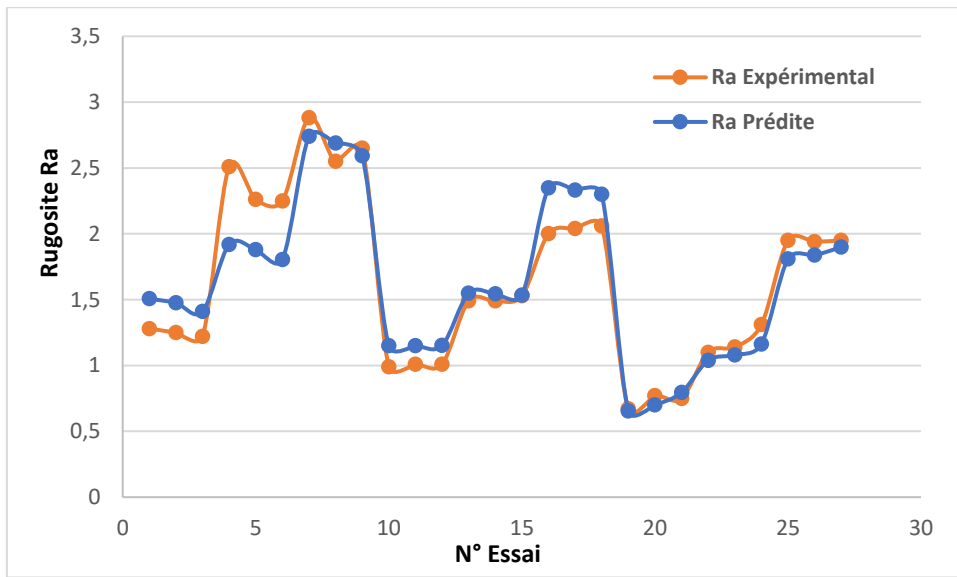
الجدول 6.4 . جدول نتائج التجريبية والمتوقعة ل Ra, Fx, Fy, Fz

Fx Expérimental	Fx Prédite	Fy Expérimental	Fy Prédite	Fz Expérimental	Fz Prédite	Ra Expérimental	Ra Prédite
15,08	15,7526	40,95	43,528	43,02	35,787	1,28	1,50741
27,67	32,8781	55,99	59,885	52,52	53,252	1,25	1,47525
68,83	67,1293	84,08	92,600	84,96	88,181	1,22	1,41094
17,59	18,9916	45,66	55,258	45,94	48,464	2,51	1,91790
46,97	36,5523	100,92	74,181	65,19	70,786	2,26	1,88004
73,58	71,6737	123,61	112,026	125,89	115,431	2,25	1,80433
24,4	25,4695	72,07	78,718	63,93	73,817	2,88	2,73888
49,92	43,9005	109,84	102,772	126,63	105,855	2,55	2,68963
74,77	80,7624	143,92	150,878	161,98	169,930	2,65	2,59113
11,03	12,8855	34,2	36,909	32,36	30,879	0,99	1,14898
23,12	27,9767	51,31	52,864	46,17	48,477	1,01	1,15013
51,49	58,1591	70,86	84,773	76,37	83,672	1,01	1,15242
15,74	16,6115	36,25	49,059	44,39	43,151	1,49	1,54860
38,49	32,1378	92,07	67,579	54,14	65,607	1,49	1,54404
69,76	63,1904	109,45	104,619	120,42	110,518	1,53	1,53494
20,76	24,0635	64,66	73,359	54,15	67,696	2	2,34782
36,78	40,4601	107,51	97,010	118,36	99,867	2,04	2,33187
71,74	73,2532	131,77	144,311	152,96	164,209	2,06	2,29998
9,62	8,9262	23,13	27,770	27,7	24,101	0,67	0,65402
20,12	21,2080	44,82	43,168	40,23	41,883	0,77	0,70115
46,28	45,7716	61,14	73,965	72,38	77,446	0,75	0,79542
14,43	13,3248	29,47	40,499	41,44	35,815	1,1	1,03861
31,88	26,0417	85,42	58,463	48,34	58,455	1,14	1,08005
47,73	51,4755	106,7	94,391	118,16	103,733	1,31	1,16292
20,96	22,1219	55,58	65,959	49,77	59,244	1,95	1,80779
34,72	35,7091	100,73	89,053	108,58	91,598	1,94	1,83784

65,85	62,8834	126,73	135,242	148,18	156,308	1,95	1,89792
-------	---------	--------	---------	--------	---------	------	---------

### ✓ بالنسبة ل Ra

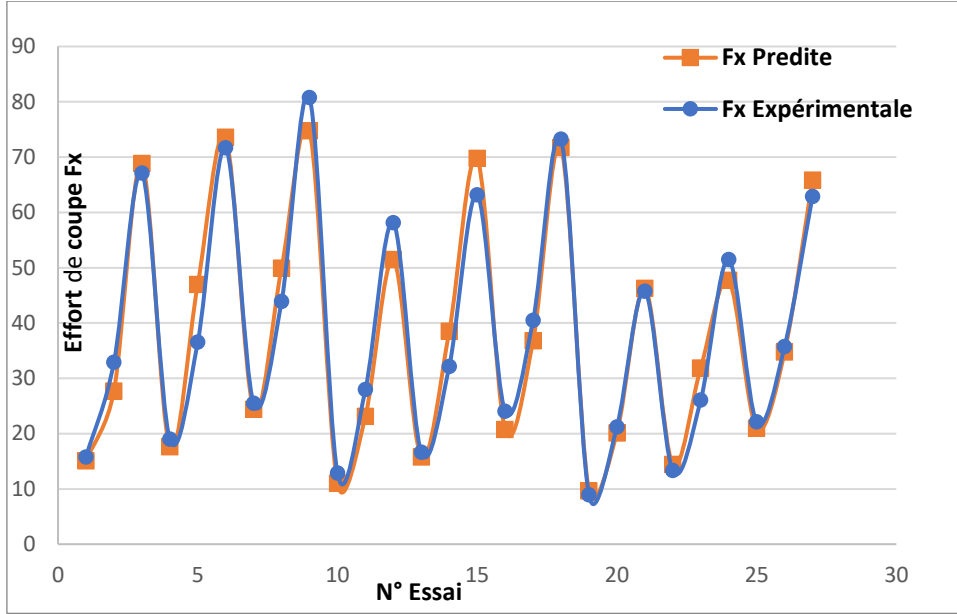
يُظهر الشكل (17.4) مقارنة بين القيم التجريبية والقيم المتوقعة (المُعطاة بواسطة النموذج) لخشونة السطح (Ra). وتُتيح هذه المنحنيات إمكانية مقارنة القيم المتوقعة بالقيم التجريبية بهدف تقييم مدى دقة ملائمة النموذج. ويعرض الجدول (10.4) هذه القيم لـ 27 تجربة، ويُبيّن تحليل الشكل (17.4) وجود ترابط مقبول نوعاً ما بين المنحنيين. بسبب وجود فروقات بين القيم المتوقعة والتجريبية في بعض التجارب (خصوصاً في النطاق من التجربة 5 إلى 10، وكذلك من 20 إلى 25)



الشكل.4. 17 المقارنة بين القيم التجريبية والمتوقعة ل Ra

### ✓ بالنسبة ل Fx

يُظهر الشكل (18.4) مقارنة بين القيم التجريبية والقيم المتوقعة (المُعطاة بواسطة النموذج) لقوة القطع Fx. ونلاحظ من خلال المنحنى أن هناك تطابقاً جيداً بشكل عام بين القيمتين، حيث ينجح النموذج في تتبع السلوك العام للقوة مع تغير التجارب. إلا أن بعض الانحرافات الطفيفة تُلاحظ خاصةً في التجارب التي تشهد قمماً حادة، مثل التجارب رقم 7، 14، و22، حيث لا يصل النموذج تماماً إلى نفس القيمة العظمى للقيمة التجريبية.

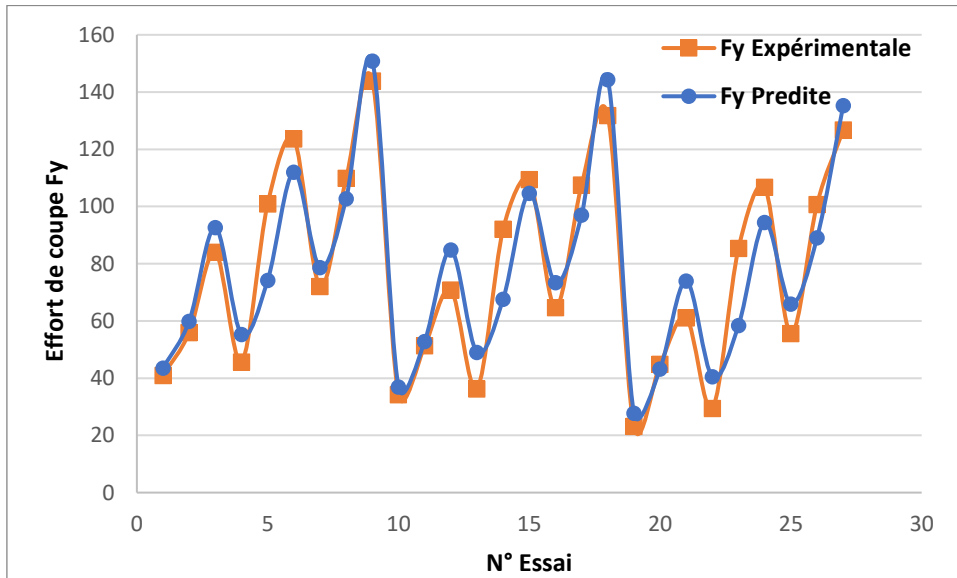


الشكل 4. 18 المقارنة بين القيم التجريبية والمتوقعة لـ  $F_x$ .

✓ بالنسبة لـ  $F_y$

يُظهر الشكل (4.19) مقارنة بين القيم التجريبية والقيم المتوقعة (المُعطاة بواسطة النموذج) لقوة القطع  $F_y$ .

ونلاحظ من خلال المنحنى أن هناك تطابقاً وتوافقاً حسن



الشكل 4. 19 المقارنة بين القيم التجريبية والمتوقعة لـ  $F_y$

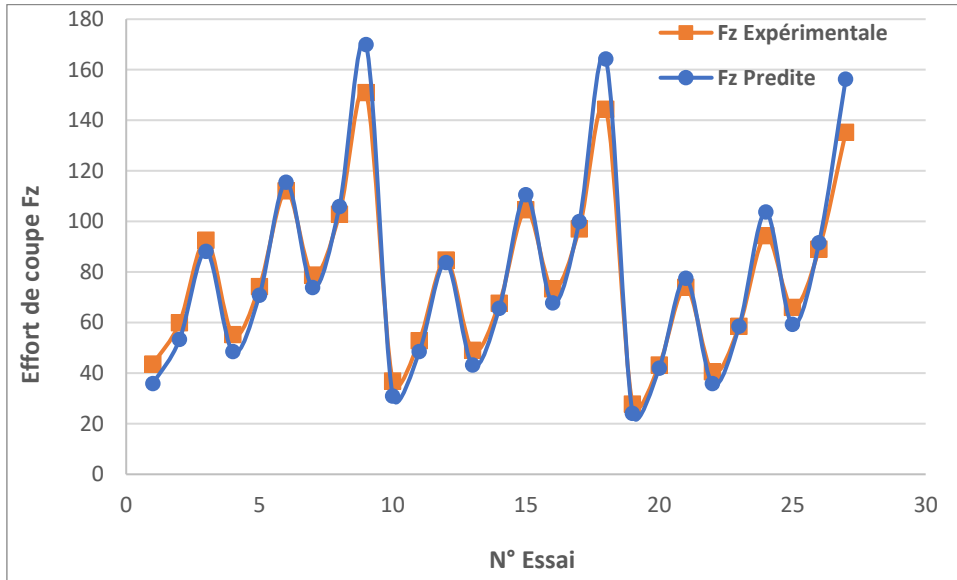
✓ بالنسبة لـ  $F_z$

يظهر الشكل (4.20) مقارنة بين القيم التجريبية والقيم المتوقعة (المُعطاة بواسطة النموذج) لقوة القطع  $F_z$

ونلاحظ من خلال المنحنى أن هنالك تطابقاً شبه تام بين القيم التجريبية والقيم المتوقعة، مما يدل على دقة

عالية جداً للنموذج في تمثيل سلوك هذه القوة. لا توجد فروقات تُذكر حتى في التجارب التي تشهد تغيرات

مفاجئة أو قم حادة، مما يعكس موثوقية النموذج وقدرته على المحاكاة الدقيقة. وبالتالي يمكن القول إن أداء النموذج في تمثيل قوة القطع Fz ممتاز.



الشكل.4. 20. المقارنة بين القيم التجريبية والقيم المتوقعة ل Fz.

#### 10.4 الخاتمة

في هذا الفصل، أتاح لنا تطبيق تحليل تباين وتحليل الارتباط الحصول على نماذج رياضية لمعايير خشونة السطح (Ra)، وقوى القطع (Fx, Fy, Fz) بينما أتاحت لنا مخططات التأثيرات الرئيسية والبواقي والتفاعلات تحليل تأثير كل عامل على الاستجابة وتأثير التفاعلات بين العوامل اعتماداً على عوامل التصنيع، وتم مقارنة تأثير هذه العوامل وذلك باستخدام سطح الاستجابة و contour. وكذلك قمنا بمقارنة بين قيم تجريبية (expérimentale) ومتوقعة (prédite) ل Ra, Fx, Fy, Fz

أكد تحليل التباين ANOVA ان معدل التغذية f لها التأثير الأقوى على خشونة السطح Ra بنسبة 60.94% تليها سرعة القطع Vc بنسبة 26.40% بينما عمق القطع ap فتأثيره لا يكاد يذكر، اما بالنسبة لقوى القطع فان عمق القطع ap لها التأثير الأقوى بنسب (82,77, 49,76, 55.53) على كل من (Fx, Fy, Fz) بترتيب يليها معدل التغذية بنسب

(6,65, 32,53, 33.45) على كل من (Fx, Fy, Fz) بترتيب. بينما سرعة القطع له تأثير طفيف بنسب (5,19, 3,55, 1.63) على كل من (Fx, Fy, Fz) بترتيب. تمثل النماذج الرياضية اهتماماً صناعياً مهماً، لأنها تجعل من الممكن عمل توقعات دون إجراء تجارب.

الخاتمة العامة

### الخاتمة العامة:

مكننا اختبارات الخراطة الطولية على فولاذ C65 باستخدام أداة TNMG 220404 T-FIC907 من الكريد، تطوير نماذج تنبؤية وتحسين ظروف القطع لتقليل معايير الخشونة (Ra) ومعايير قوى القطع (Fx, Fy, Fz) أدت النتائج التي تم الحصول عليها إلى الاستنتاجات التالية:

نتائج الاختبارات أحادية العامل:

#### ➤ بالنسبة (Ra)

✓ التغذية هو أحد شروط القطع الأكثر تأثيراً على خشونة السطح حيث ان زيادة التغذية  $f$  من 0.09 إلى 0.36 mm/tr تزيد الخشونة (Ra) بالنسب 125% و 77% عند تثبيت سرعتي القطع وعمقي القطع عند (ap=0.2mm و Vc=78.5m/min) و (ap=0.2 mm و Vc=157m/min) على التوالي

✓ سرعة القطع يعتبر عاملاً مهماً في تحسين خشونة السطح، حيث عندما تزيد  $Vc$  من 78.5 إلى 157 m/min تنخفض الخشونة (Ra) بالنسب 32.29% و 26.42% عند تثبيت (ap = 0.2 mm ، f = 0.36 mm/tr) على التوالي

✓ عمق القطع (ap) أقل أهمية من التغذية وسرعة القطع، ولا يلعب دوراً حاسماً في جودة الاسطح المشغلة في جميع القيم مدروسة .

#### ➤ بالنسبة ل (Fx, Fy, Fz)

✓ التغذية تؤثر بشكل كبير على جميع القوى خاصة  $Fy$  . حيث ان زيادة التغذية  $f$  من 0.09 إلى 0.36 mm/tr تزيد (Fz, Fy, Fx) بالنسب (94% 75.7% ، 42.3% ) و (79.6% 140.3% 117.9% ) عند تثبيت (ap = 0.8 mm ، Vc = 157 m/min) و عند تثبيت (ap = 0.2 mm ، Vc = 157 m/min) على التوالي.

• سرعة القطع يعتبر عاملاً مهماً في تقليل قوى القطع حيث مع زيادة سرعة القطع  $Vc$  نلاحظ انخفاض في قوى القطع  $Fz, Fy, Fx$ ، خاصة عند سرعات من 130 حتى 160 بالنسب 25% 26.7% 16.7% و (6.25% 7.4% ، 13.3%)، عند تثبيت (ap = 0.2 mm و f = 0.36 mm/tr) و عند تثبيت (ap = 0.8 mm و f = 0.36 mm/tr)

• عمق القطع (ap) يؤثر بشكل كبير على جميع قوى القطع خاصة  $Fz$  حيث عندما تزيد  $ap$  من 0.2 إلى 0.8 mm تزيد قوى القطع  $Fz, Fy, Fx$ ، بالنسب (210% 209% 366%) و (198% 95% 214%)



## المراجع:

- [1] Serope Kalpakjian et Steven R. Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, 7ème édition, Pearson Education, 2014, pp. 65–68.
- [2] Mikell P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 5th ed., John Wiley & Sons, 2013, pp. 512–515.
- [3] Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems John Wiley & Sons, 5th Edition, 2013.
- [4] <https://www.tsinfa.com/ar/lathe-machine-introduction-16-types-of-lathe-machine>
- [5] BOUCHELACHEM HADJIRA. Etude du comportement des outils CBN Lors de l'usinage de l'acier fortement ALLIE AISI D3. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [6] Alexandre Toumine, « Cours d'usinage », Groupe conception production, INSA de Lyon, France.
- [7] D. Gelin, M. Vincent, « Eléments de fabrication », Les Editions Foucher, 1995.
- [8] Société Sandvik-Coromant, Fraisage – Principes, 2001.
- [9] Florea Florian, Réalisation d'opérations de base en fraisage, 2000.
- [10] صباح عبد الصمد محمود, تأثير سرعتي القطع والتغذية على معدل الانفعال ودرجة الحرارة المتولدة في عمليتي التفريز المتماثل والعكسي, 2006.
- [11] DAWSON Ty Grant, Machining hardened steel with polycrystalline cubic boron nitride cutting tools, 2002.
- [12] Rocardier, Cours sur le Tournage – Usinage, 2011.
- [13] Sandvik Coromant. (2024, Dec.) Up Milling vs Down Milling. [Online]. <https://www.sandvik.coromant.com/fr-fr/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>
- [14] J GOUPY, Introduction aux plans d'expériences, 2001.
- [15] A. Chevalier, Guide du dessinateur industriel, 2004.
- [16] ISCAR, TNMG 220404-TF IC907, 24/12/2024 [www.iscar.com](http://www.iscar.com).
- [17] D. C Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 9th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2017.
- [18] R., Basavarajappa, S., & Samuel, G. L Suresh, *Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool.*: Measurement, 45(7), 1872–1884, 2012. [Online]. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.03.024>
- [19] N., Süleyman, Y., & Erol, T Süleyman, *Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology.*: Measurement, 44, pp. 580–587,

2011.

- [20] Douglas C Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*. USA: John Wiley & Sons, 2020.
- [21] Michael H. Kutner, Christopher J. Nachtsheim, and John Neter, *Applied Linear Regression Models*. USA: McGraw-Hill/Irwin, 2004.
- [22] William Mendenhall, Robert J. Beaver, and Barbara M Beaver, *Introduction to Probability and Statistics*. USA: Brooks/Cole – Cengage Learnin, 2012.
- [23] Douglas C. Montgomery, Elizabeth A. Peck, and G. Geoffrey Vining, *Introduction to Linear Regression Analysis*. USA: John Wiley & S, 2012.
- [24] Norman R. Draper and Harry Smith, *Applied Regression Analysis*. USA: John Wiley, 1998.
- [25] Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery, and Christine Anderson-Cook, *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. USA: John Wiley, 2016.