الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم التصميم الميكانيكي
ماجستير أتمته الإنتاج

بحث أُعِدَّ لنيل درجة الماجستير في أتمته الإنتاج

نمذجة أعمار أدوات القطع الكربيدية بالاعتماد على معادلة تايلور

إعداد الطالب المهندس
علي محمد علي

المشرف العلمي
الأستاذ الدكتور غسان حداد

المشرف المشارك
الدكتور ماجد حيبا

العام الدراسي

2023-2022

الإهداء

الى رمز كبريائنا وقائد عزتنا وصمودنا، الى من دافع عن تاريخ شعب وحضارة أمة، الى سيد الوطن .....

السيد الرئيس الدكتور بشار الاسد

إلى معلمي الأول...

إلى من زرع بداخلي حب العلم منذ الصغر.... وعلمني أن لا مستحيل مع العمل .... إلى من زرع بداخلي حلما وكان خير داعماً لي لتحقيقه

إلى قدوتي... قوتي وسندي ....

والدي الغالي

إلى من أمسكت بيدي منذ خطواتي الأولى.... إلى البيت الدافئ.... والعين التي لا تنام... إلى من غمرتني بحبها... وأحاطتني (كللتني) بدعائها ورضاها.... إلى من آمنت بي.... إلى قلبٍ وروحٍ سأبقى ممتناً لها ما حييت

والدتي الغالية

إلى أخوتي، كنزي الحقيقي، أركان الروح، مفاصل الذكريات، إلى مأمني وأماني.
إلى النجوم التي رافقت مسيرتي وساندتني، إلى من يملك مساحة خاصة في قلبي.

أخوتي

إلى من أضافت لحياتنا روحاً خاصة، من كانت معي وبجانبي منذ بداية الطريق، ذلك القلب الأبيض كبياض الثلج ونقائه.

أختي الغالية

محتويات الفهرس

تعاريف 1

الفصل الأول (مقدمة عامة) 3

1.1 المقدمة 4

2.1 أهداف البحث..... 4

3.1 أهمية البحث 5

4.1 المساهمات المتوقعة للعمل الحالي 5

5.1 حدود البحث 6

6.1 تنظيم الأطروحة..... 6

الفصل الثاني (لقم القطع والأدبيات المرجعية) 8

1.2 مقدمة 8

2.2 مفهوم القطع 8

3.2 متغيرات القطع 9

4.2 لقم القطع تعريفها وهندستها 10

5.2 الترميز المعياري للقم القطع 13

6.2 المواد الأولية المستعملة بإنتاج لقم القطع 18

7.2 تحديات إنتاج لقم القطع، وأهم المساحيق المستعملة بإنتاجها 20

8.2 معالجات لقم القطع 23

9.2 أنماط انهيار لقم القطع 26

10.2 أنظمة مراقبة حالة اللقم بالزمن الحقيقي 28

11.2 المعالجة السطحية للقم القطع 29

12.2 نماذج حياة أدوات القطع 30

1.12.2 نموذج تايلور 31

2.12.2 نموذج تايلور المُوسَّع 31

3.12.2 نموذج كورومانت خراطة 32

4.12.2 نموذج كولدينغ 33

13.2 الاختبار المعياري لحياة أداة القطع 33

14.2 مراجعة الأدبيات العلمية 37

- دراسات تأثير متغيرات عملية إنتاج لقم القطع على أعمارها 38
- دراسات تأثير متغيرات عملية القطع على أعمار لقم القطع 40
- دراسات تطوير وتقييم نماذج أعمار لقم القطع 41

15.2 التجربة المحلية بمجال إنتاج اللقم الكربيدية 43

16.2 الخاتمة 46

الفصل الثالث (الأعمال التمهيدية واختبارات القطع ونتائجها) 49

1.3 مقدمة 49

2.3 الأدوات والتجهيزات والمواد المستعملة بالبحث 49

3.3 الأعمال التمهيدية 56

1.3.3 قياس أبعاد اللقم المُخصَّصة للبحث 56

2.3.3 اختيار مادة المشغولات والتأكد من تحقيقها لمتطلبات المواصفة الدولية 57

3.3.3 تنفيذ عملية طلاء بالترسيب الفيزيائي للبخار 59

4.3.3 قياس قساوة طبقات الطلاء المنجزة 61

5.3.3 وضع وتنفيذ خطة أعمال القطع 62

6.3.3 تحديد عدد اللقم اللازمة للبحث 63

7.3.3 تحديد خشونة أسطح المشغولات 63

4.3 نتائج أعمال القطع 64

1.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الأولى 64

2.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثانية 65

3.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثالثة.....65

4.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الرابعة..... 66

5.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات الخامسة..... 66

6.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات السادسة..... 67

7.4.3 نتائج أعمال القطع بلقمة SANDVIK 67

5.3 آلية انهيار اللقم المختبرة 68

6.3 نتائج قياس خشونة سطوح المشغولات..... 69

7.3 خطوات تحديد ثوابت نموذج تايلور 70

8.3 خطوات تحديد ثوابت نموذج تايلور الموسع.....71

9.3 الخاتمة 73

الفصل الرابع (مناقشة النتائج والخلاصة والتوصيات) 75

1.4 مقدمة 75

2.4 عرض النتائج ومناقشتها..... 75

3.4 نتائج العمل بالبحث الحالي 82

4.4 مقترحات لأعمال علمية مستقبلية 85

المراجع 86

فهرس الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	رقم الصفحة
1.2	وصف للمحتوى المعياري للخانات المكونة لرمز لقمة قطع ما	14
2.2	الترميز المعياري لأشكال لقم القطع	14
3.2	الترميز المعياري لزوايا خلوص لقم القطع	14
4.2	ترميز لفئات تسامح اللقم	15
5.2	الترميز المعياري لأنواع ثقوب تثبيت وقواطع رايش لقم القطع	15
6.2	الترميز المعياري لحجوم لقم القطع	16
7.2	الترميز المعياري لسماكات لقم القطع	16
8.2	الترميز المعياري لشكل ركن اللقمة	16
9.2	الترميز المعياري لحالة الحد القاطع	17
10.2	الترميز المعياري لاتجاه القطع	17
11.2	التصنيف المعياري لخلائط الكربيدات المستعملة بإنتاج لقم القطع	19
12.2	قيمة الثوابت لمعادلة حساب عمر أداة القطع	32
13.2	الخيارات المتاحة لهندسة شكل أداة القطع الموصى باستعمالها باختبارات تقييم الحياة	34
14.2	الأبعاد الموصى بها للمقاطع العرضية لحوامل أدوات القطع	35
15.2	القيم الموصى بها لمتغيرات القطع التي يجب أن تلحظ خلال اختبار تقييم الحياة	35
16.2	متغيرات الإقرار بانتهاء حياة اللقمة وقيمها الحدية	37
17.2	تفاصيل نماذج الحياة المستعملة بالبحث	42
18.2	نتائج الاختبارات المنفذة على اللقم المنتجة بعد أن تخضع لمعالجات التلبيد	46
1.3	المعطيات التي صنعت اللقم المستعملة بالبحث بمرجعيتها	50
2.3	المواصفات الاسمية الأساسية للمخرطة المستعملة بالبحث الحالي	50
3.3	المواصفات العامة لجهاز قياس القساوة المستعمل بالبحث الحالي	52

4.3	الأبعاد الأساسية المُقاسة للقم المستعملة بالبحث الحالي	57
5.3	النسب المئوية الكتلية للعناصر الداخلة بتركيب مادة المشغولات	58
6.3	قيم القساوة المقاسة ضمن سياق العمل بالبحث الحالي	58
7.3	قيم المتغيرات الخاصة بعمليات الطلاء السطحي لنماذج اللقمة المستعملة بالبحث	70
8.3	القيم المقاسة لقساوة بعض اللقم المخصصة للبحث الحالي	61
9.3	تراكيب القطع التي لم تلحظ باختبارات البحث الحالي	64
10.3	نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الاولى	65
11.3	نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثانية	65
12.3	نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثالثة	66
13.3	نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الرابعة	66
14.3	نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات الخامسة	67
15.3	نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات السادسة	67
16.3	نتائج أعمال القطع بلقمة SANDVIK	68
17.3	قيم معاملات الارتباط لنتائج الاختبارات المنفذة	72

فهرس الأشكال

رقم الشكل	اسم الشكل	رقم الصفحة
1.2	بيان لمفهوم رقائق الرايش ولآلية تشكُّلها	9
2.2	بيان للقمة قطع مثبتة على حامل خراطة قلمي	11
3.2	بيان لبعض أنواع لقم القطع	11
4.2	بيان لحالات التباين القائم بأشكال لقم القطع المستعملة بخراطة المعادن	11
5.2	بيان لحالات التباين القائم بزوايا تخليص لقم القطع المستعملة بخراطة المعادن	12
6.2	بيان ببعض السمات الشكلية المشتركة بين معظم أنواع لقم القطع	13
7.2	بيان ببعض السمات الشكلية المشتركة بين معظم أنواع لقم القطع	13
8.2	الترميز المعياري للقم القطع	13
9.2	شكل تمثيلي للمقارنة بين المواصفات الأساسية لمساحيق المواد المستعملة بتصنيع اللقم	22
10.2	تسلسل العمليات الخاصة بإنتاج لقم القطع بتقانة تعدين المساحيق	24
11.2	بيان لآلية كبس منتجات تعدين المساحيق	25
12.2	الأصناف الأساسية لانهيار لقم القطع	27
13.2	أنماط انهيار لقم القطع	27
14.2	هندسة نظام مراقبة حالة الأداة	29
15.2	بينان لتوزع الطبقات المتشكلة بفعل الترسيب الكيميائي والفيزيائي للبخار	30
16.2	بيان لقطاعات الحد القاطع ولمتغيرات تقييم نهاية عمر الأداة	36
17.2	دورة المعالجة الخاصة بمرحلة التلبيد بفرن الفراغ	45
18.2	دورة المعالجة الخاصة بمرحلة التلبيد بالفرن الكتيم ضمن حاوية غرافيت	45
1.3	نموذج اللقم المستعملة بالبحث الحالي	49
2.3	الأبعاد الأسمية لنموذج اللقم المستعملة بالبحث الحالي	49
3.3	التفاصيل الشكلية والبعدية لحامل الأداة المستعمل بالبحث الحالي	51
4.3	صورة فوتوغرافية لجهاز القياس المكرومتري المستعمل بالبحث الحالي	51

5.3	صورة فوتوغرافية للجهاز المستخدم بقياس القساوة ضمن البحث الحالي	52
6.3	التفاصيل الشكلية لجهاز قياس القساوة الميكروية	53
7.3	صورة فوتوغرافية للجهاز المستخدم بطلاء اللقم موضوع البحث الحالي	54
8.3	صورة توضيحية لتوضع حامل المنتجات الدوار ضمن حجرة التبخير	54
9.3	صورة لجهاز المقارن البصري المستعمل بالبحث	55
10.3	بيان لنموذج محدد قياس الخشونة المستعمل بالبحث الحالي	55
11.3	بيان لموقع تثبيت اللقم ضمن حجرة التبخير	59
12.3	بيان لأنماط الانهيار الحاصلة بالحدود القاطعة	69
13.3	بعض نماذج الأسطح المستعملة لتحديد خشونة المشغولات الخاضعة لأعمال القطع	69
1.4	التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم غير المطلية ومتغيرات القطع	77
2.4	التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم المطلية ومتغيرات القطع	78
3.4	التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم المطلية ومكافئاتها غير المطلية ومتغيرات القطع	79
4.4	التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم المطلية وغير المطلية ومتغيرات القطع عند تغذية 0.25mm	79
5.4	التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم المطلية وغير المطلية ومتغيرات القطع عند تغذية 0.4 mmالتمثيل تمثيل تمثيل بياني	80
6.4	النتائج النمذجة للقم غير مطلية بالمقارنة مع النتائج التجريبية لتركيبتي متغيرات قطع	81
7.4	تمثيل بياني لنتائج النمذجة للقم مطلية بالمقارنة مع النتائج التجريبية لتركيبتي متغيرات قطع	82

الملخص

بغية تحري جدوى الإنتاج المحلي لحاجة القطر من أدوات القطع عُمِل على إنتاج عدد محدود من نماذج لقم قطع كربيدية شائعة الاستخدام. ولتقييم جدوى عملية الإنتاج أعلاه، أُخضِعَت نماذج اللقم المنتجة لاختبارات قطع معملية لا تلحظ أياً مما توصي به أنظمة المعايرة العالمية الخاصة بتقييم أداء أدوات القطع، ما تسبب بتقييم غير دقيق للجدوى المستهدفة. وللمعالجة، ظهرت الحاجة لإعادة تنفيذ الاختبارات أعلاه، على نماذج من اللقم المعنية، بمرجعية مواصفة دولية مناسبة، وهذا ما حرض فكرة البحث الحالي الهادف لإعادة تقييم أعمار نماذج اللقم الكربيدية المنتجة محلياً، بمرجعية نتائج اختبارات معيارية، وباستعمال نموذج حياة شائع الاستخدام، ما يُمكِّن من التقييم الصحيح لجدوى عملية الإنتاج المحلي لحاجة القطر من لقم القطع الكربيدية. وضمن ذلك السياق عُمِل على اختبارات قطع موسعة وكافية لتحصيل المعطيات التجريبية اللازمة لتقدير الأعمار الاستثمارية لنماذج لقم قطع كربيدية المعنية بحالتيها المطلية وغير المطلية، وعلى التوازي عُمِل على تنفيذ اختبارات قطع مكافئة على نماذج لقم كربيدية جاهزة ومكافئة من جهة شكلها وأبعادها للنماذج المنتجة محليا. بينت النتائج المستخلصة أن جدوى عملية الإنتاج المحلي للقم القطع، دون العمل على توطين التقانات والخبرات الخاصة بهذا النوع من المنتجات، غير محققة، ذلك أن:

- الاعمار الاستثمارية لنماذج اللقم المنتجة لم تصل لـ 5% من اعمار اللقم المكافئة المنتجة من قبل شركات متخصصة بهذا النوع من الصناعات.
- بعض أنماط الانهيار الحاصلة بالحدود القاطعة للقم المختبرة، والمتمثلة بالكسر والتشظي، لا تحصل باللقم المنتجة من قبل الشركات المتخصصة،
- عمليات الطلاء بالترسيب الفيزيائي لنماذج اللقم المعنية حسنت اداءها بشكل بسيط جداً، علماً بأن ذلك التحسن لم يرقى بالأداء للمستوى المطلوب.

وعلى التوازي تم اثبات القدرة على التنفيذ المحلي للاختبارات والقياسات اللازمة لتقييم أداء أدوات القطع، بمرجعية ما توصي به أنظمة المعايرة الدولية، وبما يسمح بالنمذجة الرياضية لأعمار الأدوات.

الكلمات المفتاحية: عمر الأداة، نمذجة تايلور، اختبار أدوات القطع، المعايير الدولية ISO 368

تعاريف

- **قطع المواد Material cutting**: عملية إزالة الطبقات غير المرغوب فيها، على شكل رقائق، من أجسام المشغولات باستخدام أدوات بها حدود قاطعة.
- **أدوات القطع Cutting tools**: أدوات معدنية مقساة، لها حواف حادة، تُستخدم لقص المشغولات أو لإزالة المواد الزائدة بالتشغيل وصولاً للمنتج المطلوبة.
- **لقم أو وليجة كربيدية Carbide insert**: أدوات قطع مُصنَّعة بتقانة تعدين المساحيق، قابلة للاستبدال بسهولة حال انتهاء عمرها المفيد، بالعادة مفهرسة بمرجعية أنظمة التوصيف العالمي، تستعمل بتشغيل كافة أنواع الخلائط المعدنية، بما في ذلك أقسى أنواع الفولاذ الخلائطي.
- **تعدين المساحيق Powder metallurgy**: تقانة إنتاج قائمة على خلط وضغط وتلبيد خلائط مساحيق عالية النعومة بوجود مواد رابطة مناسبة.
- **المضغوطة الخضراء Green Compact**: مصطلح يطلق على منتج مُصنَّع بتقانة تعدين المساحيق بعد أخذه لشكله النهائي بضغطه ضمن قالب وقبل إخضاعه للتلبيد.
- **التلبيد أو التصليد الحراري Sintering**: تسخين مضغوطة خضراء مُصنَّعة بتقانة تعدين المساحيق إلى درجة حرارة مناسبة لتحقيق التصاق قوي بين جزيئات مساحيق المواد الداخلة بتركيبها.
- **عمر أداة القطع Cutting tool life**: الزمن الذي تعمل فيه أداة القطع على نحو طبيعي إلى أن يتآكل حدها القاطع، ويقاس هذا الزمن بالدقائق.
- **سرعة القطع Cutting speed**: المسافة الخطية التي يقطعها الحد القاطع للأداة بالنسبة لسطح المشغل في واحدة الزمن.
- **معدل التغذية Feed rate**: مقدار تَقدُّم أداة القطع بعمق المشغولة خلال دورة واحدة للمشغولة وتقاس بواحدة mm/rev.

- **معيار تقييم الانهيار Failure criteria:** قيمة حدية مسبقة التحديد لمتغير ما، يُقرّ بصلاحية استمرار الاستخدام على أساسها.
- **تآكل أداة القطع Cutting tool wear:** تغير شكل أداة القطع عن شكلها الأصلي، أثناء القطع، نتيجةً للفقد التدريجي لمادة الأداة أو بسبب التشوه.
- **تحليل الارتباط Regression analysis:** طريقة إحصائية تستخدم لقياس قوة العلاقة الخطية بين متغيرين وحساب ارتباطهما.
- **الإلباس الرياضي Curve fitting:** أداة تحليل إحصائي لإيجاد أفضل معادلة يمكن أن يمر تمثيلها البياني عبر معطيات عددية عُمِلَ على معالجتها للوصول لتلك المعادلة.
- **الترسيب الفيزيائي للبخار Physical vapor deposition:** وصف عام لعدد من تقانات ترسيب البخار تحت الفراغ، لتكوين طبقات سطحية رقيقة على سطوح المشغولات، بواسطة طرائق فيزيائية مثل التبخير عند درجات حرارة مرتفعة مع إجراء عمليات تكثيف متتالية، أو القذف بالرش المهبطي للبلازما.

الفصل الأول

الفصل الأول

مقدمة عامة

1.1 مقدمة:

بغية تحري إمكانية الإنتاج المحلي لأدوات قطع جيدة الأداء وقليلة التكلفة عُمِلَ على إنتاج أعداد محدودة من نماذج لقم قطع كربيدية Carbide Cutting Inserts شائعة الاستخدام، باستعمال تجهيزات إنتاج عامة، وبمرجعية معارف وخبرات اكتُسِبت بالعمل بمجال تعدين المساحيق Powder Metallurgy [1]. ولتقييم جدوى عملية الإنتاج أعلاه، أُخضِعَت نماذج اللقم المنتجة لاختبارات قطع معملية وقُدِّمت النتائج المستخلصة، والتي رَوَّجَت لتميز الأداء المحقق، بجداول مشتملة على عدد ساعات العمل حتى الانهيار مقابل شروط القطع المعتمدة [1] . حيث أن اختبارات القطع أعلاه أجريت دون لحظ أياً مما توصي به أنظمة المعايرة المعنية (مثل المواصفة الدولية ISO3685)، ظهرت الحاجة لإعادة تنفيذها، بمرجعية مواصفة دولية مناسبة، وهذا ما حرّض فكرة البحث الحالي الهادف لإعادة تقييم أعمار نماذج اللقم الكربيدية المنتجة محلياً، بمرجعية نتائج اختبارات معيارية، وباستعمال نموذج حياة شائع الاستخدام Commonly used tool life model، ما يُمكِّن من التقييم الصحيح لجدوى عملية الإنتاج الكمي المحلي لحاجة القطر من لقم القطع الكربيدية.

2.1 أهداف البحث:

تنفيذ اختبارات قطع موسعة وكافية لتحصيل المعطيات التجريبية اللازمة لتقدير الأعمار الاستثمارية لنماذج لقم قطع كربيدية منتجة محلياً بحالتيها المطلية وغير المطلية، وعلى التوازي تنفيذ اختبارات قطع مكافئة على نماذج لقم كربيدية جاهزة ومكافئة من جهة شكلها وأبعادها للنماذج المنتجة محليا، ومن ثم معالجة النتائج المستخلصة بمرجعية نموذج تايلور، ما يتيح إمكانية المقارنة وما يسمح بالتقييم النسبي لأداء اللقم المنتجة محلياً بالمقارنة مع مكافأتها مما تنتجه الشركات العالمية المتخصصة.

3.1 أهمية البحث:

يساعد العمل بهذا البحث على التقييم الصحيح لإمكانية الإنتاج المحلي للقم قطع كربيدية جيدة، وهذا يؤدي الى حسم الجَدَال القائم حول جدوى إحداث منشأة صناعية محلية لإنتاج حاجة القطر من لقم القطع الكربيدية، انطلاقاً من المعارف والخبرات المكتسبة بالعمل بمجال تعدين المساحيق، وباستعمال بنى صناعية عامة، بمقارنة الأعمار الاستثمارية المحققة باستعمال نماذج لقم مصنعة ضمن سياق عمل بحثي سابق [1]، والمحددة بمرجعية اختبارات معيارية معتمدة، مع الأعمار المكافئة التي تُحقَّقت عند استعمال لقم قطع كربيدية منتجة من قبل مصنعين خارجيين متخصصين.

4.1 المساهمات المتوقعة للعمل الحالي Expected contributions:

تُصنَّف المساهمات المُتوقَّعة من العمل بالبحث الحالي ضمن الفئات التالية:

i. المساهمة باستخلاص وتجميع المعارف الخاصة باختبارات تقييم الأعمار الاستثمارية لأدوات القطع وتلك الخاصة بالنمذجة الرياضية لنتائج ذلك النوع من الاختبارات وفقاً لأحد نماذج الحياة المعروفة، حيث تكون متاحة للمعنيين بالهيئات الصناعية والأكاديمية المحلية.

ii. تقييم جدوى محاولة الإنتاج المحلي للقم كربيدية عامة الاستخدام، وذلك بمرجعية نتائج اختبارات معملية منفذة وفقاً لما توصي به وحدة المواصفات الدولية المعنية ISO 3685.

iii. تقييم إمكانية وجدوى تنفيذ عمليات طلاء سطحي للقم كربيدية مصنعة محلياً، بتقانة الترسيب الفيزيائي للبخار Physical vapor deposition.

iv. توعية العاملين بالبيئة الصناعية المحلية على اعتماد نماذج حياة مثبتة لأدوات القطع التي يستخدمونها، ذلك أن الاستمرار باستخدام الأداة بعد انتهاء عمرها الاستثماري سيخفض جودة سطوح المشغولات وقد يؤدي لعطل غير متوقع بآلة التشغيل.

٧. تنبيه الهيئات الصناعية المحلية لأهمية اعتماد نظام تحصيل آلي للمعطيات اللازمة للإقرار بقيام الحاجة لاستبدال أداة القطع المستعملة، بالزمن الحقيقي، بسبب انتهاء عمرها.

5.1 حدود البحث:

تقييم جدوى محاولة الإنتاج المحلي للقم كربيدية عامة الاستخدام، وذلك بمرجعية نتائج اختبارات معملية منفذة وفقاً لما توصي به وحدة المواصفات الدولية المعنية ISO 3685، تم تحديد المكانية لإجراء البحث الحالي في مخابر وورش مركز البحوث العلمية والتي تحتوي كل ما يحتاجه البحث من تجهيزات ومعدات.

6.1 تنظيم رسالة الماجستير:

تتكون هذه الرسالة من أربعة فصول بالإضافة لقوائم بالمصطلحات والمراجع العلمية والأشكال والجداول، ومن ملحق هيتضمن على نص مترجم للمواصفة الدولية ISO3685. إذ يُقدِّم الفصل الأول للعمل ويعرض أهدافه والمساهمات العلمية المتوقعة منه وتنظيم االرسالة المعدة لتوثيق معطياته ونتائجه. أما الفصل الثاني ف يتضمن على عرض للمعطيات المرجعية التي أَسَّسَت للعمل، والتي نُفِّذَت الدراسات النظرية والتجريبية على أساسها وبمرجعيتها. علاوة على ذلك، يتضمن ذلك الفصل على عرض لملخصات أعمال بحثية ذات أهداف قريبة من هدف العمل الحالي، ذلك أن محتوى تلك الملخصات يسمح بتنفيذ المقارنات اللازمة لتقييم نتائج البحث واستنتاجاته.

الفصل الثانـي

الفصل الثاني

لقم القطع

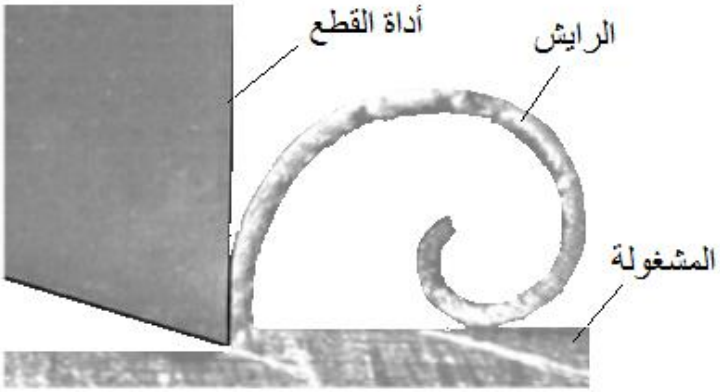
(تعريفها وترميزها المعياري وموادها الأولية ومعالجات إنتاجها وطرق نمذجة أعمارها)

1.2 مقدمة:

يتضمن هذا الفصل على معلومات مرجعية عن مفهوم قطع المعادن، وعن آلية تحقيق عملية القطع، وعن المتغيرات المختلفة التي تؤثر على جدوى تلك العملية. كما يتضمن معلومات تفصيلية عن ماهية لقم القطع وتصنيفها المعياري والمواد الأولية المستعملة بإنتاجها، بالإضافة لمعلومات عن إجراءات إنتاجها واختبارها بهدف نمذجة حياتها. علاوة على ذلك، يتضمن على ملخص لعمل بحثي محلي نُفِّذ بهدف تقصي جدوى الإنتاج المحلي لحاجة القطر من لقم القطع، مع الحسبان أن تلك الحاجة تُلبَّى، حتى تاريخه، بالشراء من الأسواق العالمية، بتكلفة سنوية تزيد عن مليون دولار أمريكي، وأخيراً يتضمن مراجعة لبعض الأوراق العلمية المعنية بموضوع البحث الحالي.

2.2 مفهوم القطع:

يُعرَّف القطع بأنه عملية إزالة الطبقات الزائدة غير المرغوب فيها من المشغولة للوصول الى الشكل المطلوب، على شكل رقائق، من أجسام المشغولات باستخدام أدوات قطع. ووفقاً لما هو مبين في الشكل رقم (1.2)، يتسبب الضغط الناتج عن تَحرُّك أداة القطع نحو عمق المشغولة وعلى طولها بحصول تشوه موضعي لدن متبوعاً بكشط مستمر لرقاقة معدن المشغولة. مبدئياً، تنساب رقاقة المعدن المكشوط مبتعدةً عن الأداة ومقتربة من سطح المشغولة دون أن تتكسر، ولكن مع ازدياد طولها يزداد تشوهها الشكلي حتى الوصول لإجهاد تزيد قيمته عن حد متانة معدن المشغولة ما يؤدي لتكسرها. بالعموم ينتج عن عملية القطع وفق الآلية أعلاه كتلة كبيرة من الرقائق المجزأة، والتي تؤلف مجتمعة ما يُعرَف بتسمية الرايش.



الشكل رقم (1.2): بيان لمفهوم رقائق الرايش ولآلية تشكُّلها

3.2 متغيرات عملية القطع:

وفقاً لما ذكر في الفقرة (2.2) أعلاه، تحدث عملية القطع نتيجة الضغط الناتج عن تَحرُّك أداة القطع نحو عمق المشغولة وعلى طولها، وبالتالي فالمتغيرات الحاكمة لعملية القطع، والتي تؤثر بمعدلات متفاوتة على جدوى تلك العملية من جهة وعلى معدل اهتراء أداة القطع من جهة ثانية، تتمثل بما يلي:

- سلوك معدن المشغولة متمثلاً بمدى مقاومة ذلك المعدن للقوى المتبادلة بينه وبين أداة القطع.
- عمق الطبقة المقطوعة من سطح المشغولة في كل شوط لأداة القطع، والمعروف بالتسمية "عمق القطع Cutting depth (a)".
- المسافة التي يقطعها الحد القاطع للأداة بالنسبة للسطح المُشغَّل في اتجاه حركة الأداة في وحدة الزمن، والمعروفة بالتسمية "سرعة القطع Cutting speed (Vc)"، بواحدة m/min، ووفقاً للمراجع المعنية تحسب هذه القيمة باستعمال المعادلة التالية:

$$Vc = \frac{\pi D n}{1000}$$

حيث N عدد دورات عمود إدارة الالة بواحدة (R.P.M) و D قطر المشغولة (mm).

- مقدار تَقدُّم أداة القطع بعمق المشغولة في شوط تشغيل واحد، والمعروفة بالتسمية "معدل التغذية Feed (f) rate" مقدره بـ mm/rev.

- هندسة الأداة Tool geometry متمثلة بشكلها وأبعادها وقيم زواياها الوظيفية، بالإضافة للمواصفات الميكانيكية لمادتها.
- قدرة أداة القطع على تبديد الحرارة المتولدة عن عملية القطع، والمدى الذي تتيحه لتصريف رقائق الرايش.

من المؤكد أن تنفيذ عملية قطع ما بأعلى جدوى ممكنة وإطالة عمر الأداة المستعملة إلى الحد الأعلى الممكن يستلزم معرفة دقيقة بالوظائف التي تؤديها المتغيرات أعلاه منفردة ومجتمعة. وضمن ذلك السياق عُمِلِ بشكل مكثف على عدد كبير من الأبحاث العلمية، ما ولد طيف واسع من المعارف والاستنتاجات، فعلى سبيل المثال، ووفقاً للباحث M. Bourdim وزملاؤه، فمعدل التغذية وسرعة القطع هما المتغيران الأكثر تأثيراً على جدوى عملية القطع وعلى عمر الأداة [1]، ووفقاً لأحد الشركات المختصة بإنتاج وتسويق أدوات القطع فإن زيادة معدل التغذية بمقدار 20% يؤدي إلى تقليل عمر الأداة بمقدار 50%، أما زيادتها بمقدار 50% فتؤدي إلى تقليل عمر الأداة بمقدار 80%، وأخيراً، تتسبب عملية القطع عند معدل تغذية منخفضة باهتزاز نسبي بين الأداة والمشغولة. أما الباحث S. Dasgupta، فقد أثبت أن نسب تأثير متغيرات سرعة دوران المشغولة ومعدل التغذية وعمق القطع، على عمر أداة القطع، مساوية لـ 25% و 66% و 4%، على التوالي [2]. وفيما يتعلق بزاوية الجرف، فتشير المراجع إلى أن زيادة تلك الزاوية يتسبب بانخفاض كلاً من قوى القطع ودرجات الحرارة الموافقة، وكتحصيل حاصل بزيادة عمر الأداة.

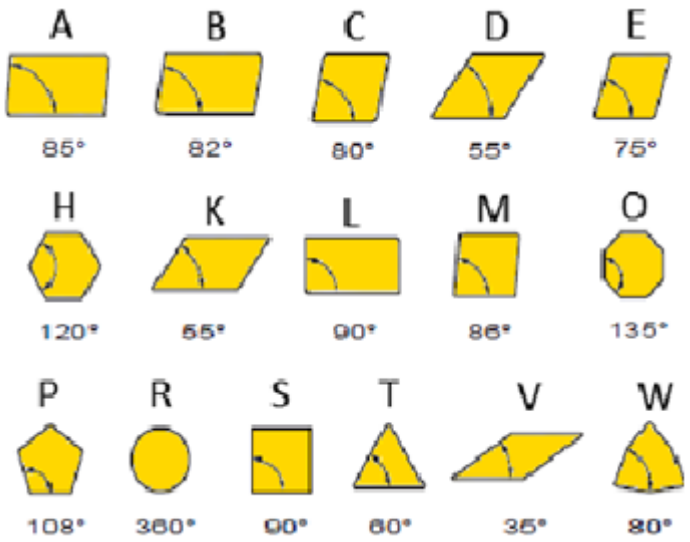
4.2 لقم القطع، تعريفها وهندستها:

وفقاً لما هو مبين في الشكل رقم (2.2)، لقم القطع عبارة عن ولائج قاسية وحادة الحواف وقابلة للتركيب/للفك بسهولة على/عن حوامل عالية الجساءة ومتعددة الأشكال، ما يسمح بوضعها بالاستثمار وتبديلها بسرعة كلما دعت الحاجة لذلك. ووفقاً لما هو مبين في الشكل رقم (3.2)، للقم القطع أنواع وأشكال متعددة، كل منها مُوصَّوف بشكله ومادته وقياسه وزواياه المختلفة وحدوده القاطعة ومجال استخدامه، ,وبالتالي لا يوجد هندسة معيارية موحدة للقم القطع، وهذا ما يؤكده محتوى الشكلين رقم (4.2) ورقم (5.2)، اللذان يظهران التباين الملحوظ بقياسات وأشكال وأحجام وزوايا لقم القطع المستعملة بتشغيل المعادن.

الشكل (2.2): بيان للقمة قطع مثبتة على حامل خراطة قلمي

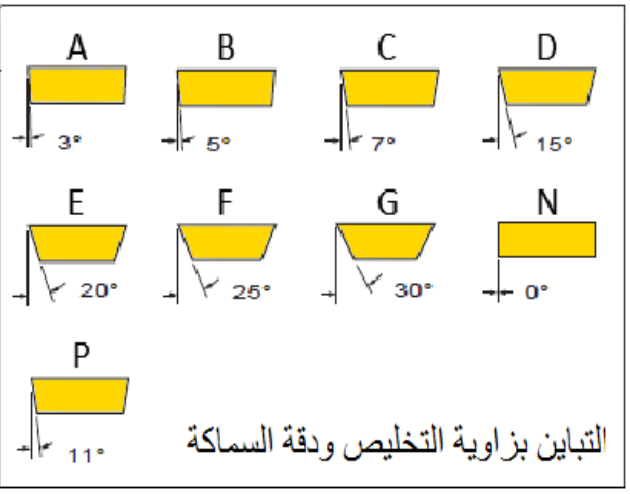
الشكل (3.2): بيان لبعض أنواع لقم القطع

- A = parallelogram 85° متوازي الأضلاع
- B = parallelogram 82° متوازي الأضلاع
- C = diamond 80° معين
- D = diamond 55° معين
- E = diamond 75° معين
- H – hexagon مسدس
- K – diamond 55° معين
- L = rectangle مستطيل
- M – diamond 86° معين
- O = octagon مثمن
- P = pentagon خماسي الأضلاع
- R = round دائرة
- S = square مربع
- T – triangle مثلث
- V = diamond 35° معين
- W - trigon 80° مثلثي الزوايا



الشكل رقم (4.2): بيان لحالات التباين القائم بأشكال لقم القطع المستعملة بخراطة المعادن

Letter	Inscribed Circle	Thickness
A	±.0002	±.001
B	±.0002	±.005
C	±.0005	±.001
D	±.0005	±.005
E	±.001	±.001
F	±.002 to ±.004	±.002
G	±.001	±.005
M	±.002 to ±.010	±.005
U	±.005 to ±.012	±.005

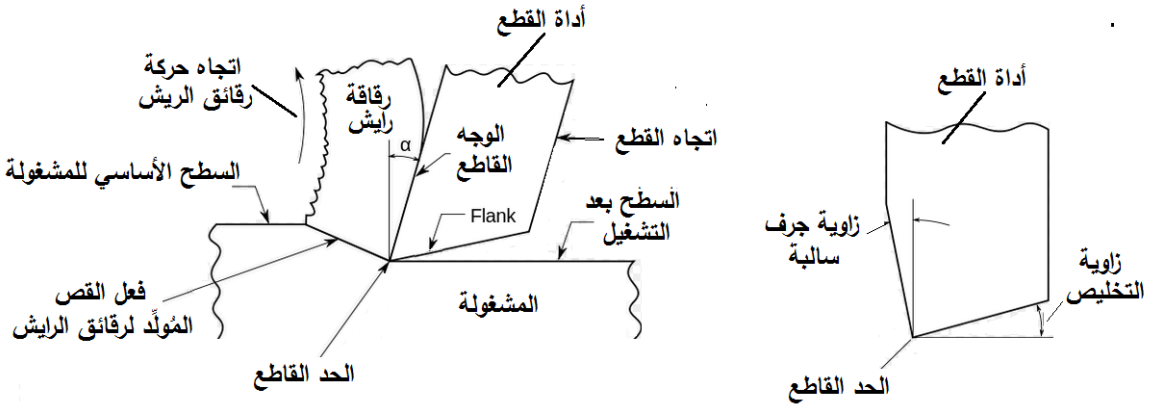


الشكل رقم (5.2): بيان لحالات التباين القائم بزوايا خلوص لقم القطع المستعملة بخراطة المعادن [1]

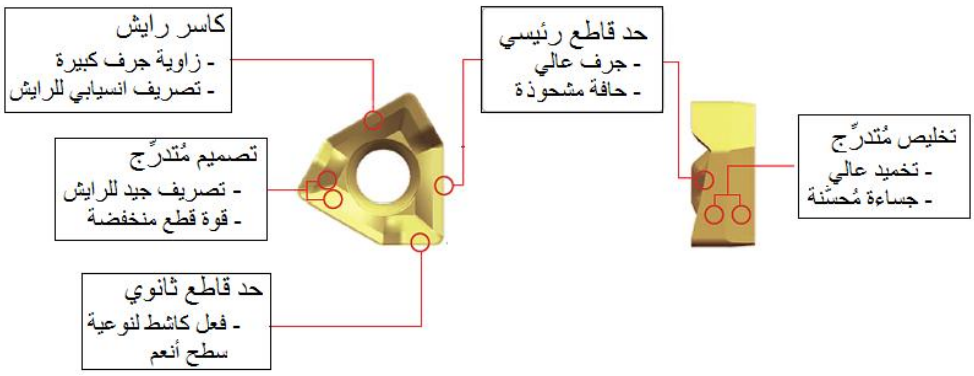
لكن وعلى الرغم من التباين الملحوظ بهندسات لقم القطع فإنها تشترك بالسمات الشكلية والإنشائية والاستثمارية التالية، وفقاً لما تؤكده المراجع العلمية والنشرات الفنية المعنية، ووفقاً لما يوضحه الشكلان رقم (6.2) ورقم (7.2):

- احتواءها على حدود قاطعة متعددة، رئيسية وثانوية.
- امتلاكها لزوايا جرف Rake angle متراوحة بين الموجبة والسالبة.
- امتلاكها لزوايا خلوص Flank angle على محيطها كاملاً.
- امتلاكها لسمات شكلية محيطية Crater لتكسير رقائق الرايش.
- امتلاكها لأشكال متعددة من الأركان Corners.
- قدرتها على تصريف رقائق الرايش بشكل انسيابي وبما يتوافق على تصاميمها القائمة.
- جساءتها الإنشائية العالية عند درجات الحرارة المرتفعة.
- القساوة العالية للمواد الأولية المستعملة بإنتاجها ومقاومة تلك المواد للاهتراء.

[1] زاوية الخلوص: انحراف جدران اللقم عن الوضع الشاقولي، لتجنب حصول أي احتكاك بين تلك الجدران وجسم المشغولة.



الشكل رقم (6.2): بيان ببعض السمات الشكلية المشتركة بين معظم أنواع لقم القطع



الشكل رقم (7.2): بيان ببعض السمات الشكلية المشتركة بين معظم أنواع لقم القطع

5.2 الترميز المعياري للقم القطع:

يتضمن الترميز المعياري للقم القطع على تسع خانات، السبعة الأولى منها إلزامية الاستخدام أما الخانتان الأخيرتان فتستخدمان عند الضرورة، ويتضمن الشكل رقم (8.2) مثالاً عن الترميز المعياري للقم القطع، ويتضمن الجدول رقم (1.2) على وصف معياري لمحتوى تلك الخانات [3]، أما الجداول من (2.2) وحتى (10.2) فتشتمل على الترميز المعياري لأشكال اللقم ولزوايا خلوصها ولفئات تسامحاتها ولنوع ثقب تثبيتها ولكاسر رقائق رايشها ولحجمها وسماكتها وشكل أركانها وحالة حدها القاطع وأخيراً لاتجاه قطعها، بالترتيب.

C	N	M	G	12	04	08	-		
1	2	3	4	5	6	7		8	9

الشكل رقم (8.2): الترميز المعياري للقم القطع

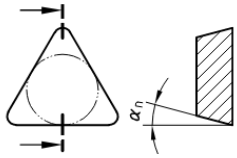
الجدول رقم (1.2): وصف للمحتوى المعياري للخانات المكونة لرمز لقمة قطع ما [3]

رقم	طبيعة المحتوى	الدلالة
1	مِحرَف	شكل اللقمة Insert shape
2	مِحرَف	الخلوص الطبيعي Normal clearance
3	مِحرَف	فئة التسامح Tolerance class
4	مِحرَف	مُثبِّت و/أو قاطع الرقائق Fixing and/or chip
5	رقم صحيح	حجم اللقمة Insert size
6	رقم صحيح	سماكة اللقمة Insert thickness
7	مِحرَف أو رقم	شكل زاوية اللقمة Insert corner
8	مِحرَف	حالة الحد القاطع Cutting edge condition
9	مِحرَف	اتجاه القطع Cutting direction

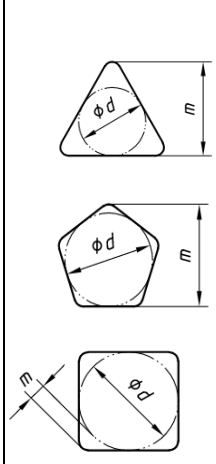
الجدول رقم (2.2): الترميز المعياري لأشكال لقم القطع [3]

شكل اللقمة	الزاوية الضمنية	المحرف المُعبِّر عن شكل اللقمة
⬡, ○	120°	H, R
⯃	135°	O
⬠	108°	P
▭	90°	S
△	60°	T
◹	80°, 55°, 75°, 86°, 35°, 85°, 82°, 55°	C, D, E, M, V, A, B, K
⬡	80°	W
▭	90°	L

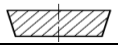
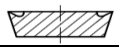
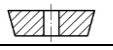
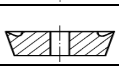
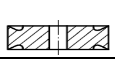
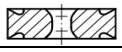
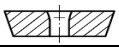
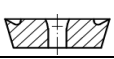
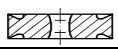
الجدول رقم (3.2): الترميز المعياري لزوايا تخليص لقم القطع [3]

شكل اللقمة	قيمة الزاوية α_n	المحرف المُعبِّر عن زاوية
	3°	A
	5°	B
	7°	C
	15°	D
	20°	E
	25°	F
	30°	G
	0°	N
	11°	P
	قيمة خاصة	O

الجدول رقم (4.2): ترميز لفئات تسامح اللقم من الأشكال H و O و P و S و T و C و E و M و w و R [3]

الشكل	التسامح بواحدة الـ mm على الأبعاد الأساسية للُّقمة			المحرف المُعبِّر عن فئة التسامح
	السماكة S	M	D	
	± 0.025	± 0.005	± 0.025	A
	± 0.025	± 0.005	± 0.013	F
	± 0.025	± 0.013	± 0.025	C
	± 0.025	± 0.013	± 0.013	H
	± 0.025	± 0.025	± 0.025	E
	± 0.13	± 0.025	± 0.025	G
	± 0.025	± 0.005	± 0.05 to ±	J
	± 0.025	± 0.013	± 0.05 to ±	K
	± 0.025	± 0.025	± 0.05 to ±	L
	± 0.13	± 0.08 to ± 0.2	± 0.05 to ±	M
	± 0.025	± 0.08 to ± 0.2	± 0.05 to ±	N
	± 0.13	± 0.13 to ± 0.38	± 0.08 to ±	U

الجدول رقم (5.2): الترميز المعياري لأنواع ثقوب تثبيت وقواطع رايش لقم القطع [3]

الشكل	ثقب التثبيت	قاطع الرايش	المحرف المُعبِّر عن التثبيت و/أو قاطع
	بدون ثقب تثبيت	بدون	N
		بوجه واحد	R
		بوجهين	F
	ثقب تثبيت اسطواني	بدون	A
		بوجه واحد	M
		بوجهين	G
	ثقب اسطواني مُخوَّش من جهة	بدون	W
		بوجه واحد	T
	ثقب اسطواني مُخوَّش من جهتين	بدون	Q
		بوجهين	U
	ثقب أسطواني مُخوَّش من جهة	بدون	B
		بوجه واحد	H
	ثقب أسطواني مُخوَّش من جهة	بدون	C
		بوجهين	J

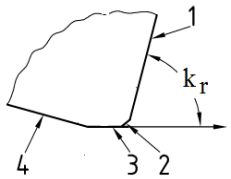
الجدول رقم (6.2): الترميز المعياري لحجوم لقم القطع [3]

الرقم المعبِّر عن الحجم	صفة اللُّقمة
الرقم المعبِّر عن الحجم مساوي لطول ضلع اللقمة، بواحدة الـ mm، مدوراً نحو القيمة الصحيحة الأصغر	متساوية الأضلاع
الرقم المعبِّر عن الحجم مساوي لقيمة أطول أضلاع اللقمة، بواحدة الـ mm، مدوراً نحو القيمة الصحيحة الأصغر	غير متساوية الأضلاع
الرقم المعبِّر عن الحجم مساوي لقطر اللقمة، بواحدة الـ mm، مدوراً نحو القيمة الصحيحة الأصغر	لقم دائرية

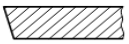
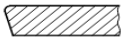
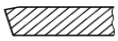
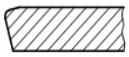
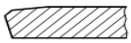
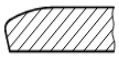
الجدول رقم (7.2): الترميز المعياري لسماكات لقم القطع [3]

الرقم المعبِّر عن سماكة اللقمة
تحذف الأجزاء الكسرية من القيمة العددية لسماكة اللقمة وتستعمل القيمة الصحيحة الناتجة، مسبوقة بصفر، كرمز معياري للسماكة. مثال: سماكة اللقمة = 3.18mm، الترميز المعياري = 03

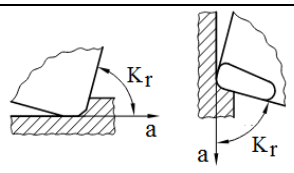
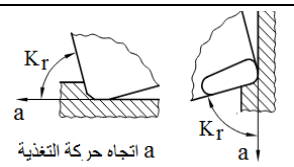
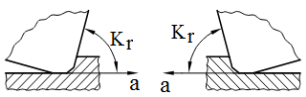
الجدول رقم (8.2): الترميز المعياري لشكل ركن اللقمة [3]

<table>
<tr><th>حالة الركن</th><th colspan="3">الرمز المعياري لشكل الركن</th></tr>
<tr><td>لقمة دائرية</td><td colspan="3">M0</td></tr>
<tr><td>ركن مُدوَّرة</td><td colspan="3">يتم اعتماد قيمة نصف قطر التدوير، بعد حذف الفاصلة العشرية منه، كرمز معياري لشكل الركن. مثال: نصف قطر التدوير = 0.8 mm، الرمز المعياري= 08</td></tr>
<tr><td>ركن غير مُدوَّرة</td><td colspan="3">يتم اعتماد القيمة 00 كرمز معياري لشكل الركن.</td></tr>
<tr><td rowspan="7">ركن متدرج التقوس
Wiper geometry</td><td>زاوية الحد القاطع k_r</td><td>الرمز المعياري</td><td rowspan="7">1- حد قاطع اساسي
2- ركن مشطوف
3- حافة متدرجة التقوس
4- حد قاطع ثانوي
 
</td></tr>
<tr><td>45°</td><td>A</td></tr>
<tr><td>60°</td><td>D</td></tr>
<tr><td>75°</td><td>E</td></tr>
<tr><td>85°</td><td>F</td></tr>
<tr><td>90°</td><td>P</td></tr>
<tr><td>قيمة أخرى</td><td>Z</td></tr>
</table>

الجدول رقم (9.2): الترميز المعياري لحالة الحد القاطع [3]

حالة الحد القاطع	الشكل	الرمز المعياري لحالة الحد القاطع
حدود قاطعة حادة		F
حدود قاطعة مدورة		E
حدود قاطعة مشطوفة		T
حدود قاطعة مشطوفة ومدورة		S
حدود قاطعة مزدوجة الشطف		K
حدود قاطعة مزدوجة الشطف والتدوير		P

الجدول رقم (10.2): الترميز المعياري لاتجاه القطع [3]

حالة الركن	مجال التطبيق	الشكل	الرمز المعياري لحالة لاتجاه القطع
لقمة يمينية	للقم غير متساوية الأضلاع وغير متساوية الزوايا، ولجميع اللقم غير متناظرة الأركان، و/أو غير متناظرة كاسر الرقائق، ما يحصر استخدامها باتجاه محدد للتغذية		R
لقمة يسارية			L
لقمة محايدة	للقم ذوات الأركان وكواسر الرقائق المتناظرة، ما يسمح باستخدامها باتجاهي التغذية اليميني واليساري		N

من الواضح أن التوصيف المعياري أعلاه يؤكد على وجود تشكيلة واسعة جداً من لقم القطع، وبالتالي فالعقبات التي ستواجه محاولات التوطين المحلي لتقانة تصنيع اللقم، بهدف تسويقها محلياً وإقليمياً، لن تكون مادية وتسويقية فحسب،

بل ستشتمل على بعد تقاني مُتمثِّل بالنوعية العالية للآلات والتجهيزات والمعدات والقوالب اللازمة لتحقيق الإنتاج المستهدف، وعلى التوازي على بعد علمي مُتمثِّل بشمولية المعارف والخبرات اللازمة لضبط متغيرات العملية الإنتاجية بما يضمن تكرارية وموثوقية القطع المُحقَّق باللقم التي ستنتج محلياً.

6.2 المواد الأولية المستعملة بإنتاج لقم القطع:

أثناء عملية قطع المعادن تتولَّد ضغوط مرتفعة، وكميات كبيرة من الحرارة، ويؤدي احتكاك رقائق الرايش بسطوح لقم القطع إلى تآكل أجزاءها العاملة، حيث تتغير أشكالها وحدودها القاطعة وزواياها، حيث تصبح بعد فترة من الزمن غير قادرة على تحقيق عمليات قطع مُجدِية، ما يستدعي استبدالها، مع ما يترتب على ذلك من تكاليف معتبرة. ولكي تعمل اللقمة لمدة أطول، دون قيام الحاجة لاستبدالها، يجب أن تتمتع بالمواصفات الميكانيكية اللازمة لتحقيق القدرة على تحمل كافة أنواع الإجهادات المطبقة عند درجات حرارة مرتفعة، وأن تملك قساوة أعلى بشكل ملحوظ من قساوة المعادن الخاضعة للتشغيل. وضمن ذلك السياق، تُصنَّع لقم القطع من مساحيق مواد فائقة القساوة، مترابطة مع بعضها البعض بمواد عضوية مثل السِلولُوز، وبولي إيتيلين غليكول، أو بمواد معدنية لدنة مثل النيكل والكوبالت، وفيما يلي عرض لبعض أنواع تلك المساحيق:

- مساحيق معدنية، مثل Fe،Cu، Al، Ni، Co، Ti، W، Mo.
- مساحيق خلائط معدنية، مثل خلائط البرونز والفولاذ سريع القطع والفولاذ المقاوم للصدأ.
- مساحيق غير معدنية مثل الغرافيت.
- مساحيق كربيدات معدنية، منفردة أو على شكل خلائط متعددة التراكيب، مثل كربيد التنغستين WC، وكربيد التيتانيوم TiC، وكربيد التنتاليوم TaC.
- مساحيق أكاسيد المعادن، مثل الألومينا Al_2O_3.
- مساحيق السيراميك ومساحيق السيرمت Cermet powder (مادة مركبة تتكون من السيراميك ومعادن ما):

وحيث إن الغالبية العظمى من لقم القطع تُصنَّع من خلائط مساحيق الكربيدات فقد عُمِل على معايرة تلك الخلائط من جهة نسب مساحيقها ومواصفاتها الفيزيائية والميكانيكية والحرارية، ولتمييز تلك الخلائط عن بعضها البعض

أعطيت تسميات معيارية مُميِّزة، وفقاً لما يعرضه محتوى الجدول رقم (11.2)، مع الأخذ بالحسبان أن التعامل بمرجعية ذلك المحتوى مهم لمصنعي اللقم ولمستثمريها وللعاملين على تطويرها وتقييم أدائها.

الجدول رقم (11.2): التصنيف المعياري لخلائط الكربيدات المستعملة بإنتاج لقم القطع

رمز الصنف	التركيب الكيميائي				القساوة (HRA)	الكثافة (g/cm^3)	التمزق المستعرض (PSI)
	كوبالت	كربيد التيتانيوم	كربيد التنتاليوم	كربيد التنغستين			
K25	8.00 %	– – –	– – –	92.00 %	91.7	14.70	450000
K01	3.75 %	– – –	– – –	96.25 %	92.8	15.18	275000
K30	10.00 %	– – –	– – –	90.00 %	91.3	14.50	480000
K40	11.50 %	– – –	– – –	88.50 %	89.8	14.26	360000
K40	12.00 %	0.50 %	2.50 %	85.00 %	90.2	14.07	540000
K20	6.25 %	– – –	4.25 %	89.50 %	92.0	14.73	340000
K20	6.00 %	– – –	– – –	94.00 %	91.8	14.94	350000
K10	6.00 %	– – –	– – –	94.00 %	92.8	14.94	360000
P30	8.70 %	8.25 %	8.80 %	74.25 %	91.3	12.27	310000
P40/M30	11.50 %	4.50 %	5.50 %	78.50 %	91.2	12.99	350000
P50/M50	12.50 %	4.00 %	9.00 %	74.50 %	90.3	12.94	380000
P35/M25	10.50 %	6.00 %	14.50 %	69.00 %	91.3	12.38	350000
P35/M35	10.10 %	7.05 %	12.70 %	70.15 %	91.4	12.22	330000
C15A	14.00 %	– – –	20.00 %	66.00 %	87.8	13.20	380000
P20/M15	8.00 %	6.00 %	4.50 %	81.50 %	92.1	12.95	325000
P10/M10	7.00 %	7.00 %	5.40 %	80.60 %	92.0	12.80	275000
P15/M10	10.00 %	8.125 %	6.50 %	75.375	91.8	12.27	300000
P05	5.00 %	12.00 %	15.75 %	67.25 %	91.7	11.80	240000
P30/K30	5.50 %	3.00 %	5.00 %	86.50 %	91.3	13.84	270000
P25/K30	6.50 %	4.50 %	6.50 %	82.50 %	91.8	13.35	250000
P20/K30	5.50 %	3.00 %	6.00 %	85.50 %	91.7	13.85	220000
P25/K25	9.75 %	– – –	7.60 %	82.65 %	90.9	14.15	370000
K10	6.00 %	– – –	– – –	94.00 %	93.5	14.82	400000
K20	8.00 %	– – –	– – –	92.00 %	92.6	14.65	475000
K25	10.00 %	– – –	– – –	90.00 %	92.3	14.44	575000
K30	12.00 %	– – –	– – –	88.00 %	91.8	14.20	550000
K35	15.00 %	– – –	– – –	85.00 %	91.2	13.94	600000

7.2 تحديات إنتاج لقم القطع، وأهم المساحيق المستعملة بإنتاجها:

وفقاً لما ذكر في الفقرة (5.2) أعلاه، تُصنَّع الغالبية العظمى من لقم القطع من مساحيق خاصة، ووفقاً للتفاصيل المُدرجة في الفقرة (7.2) يحقق ذلك بتقانة تعدين المساحيق، وضمن ذلك السياق، يُواجِه الإنتاج المُجدي لأدوات القطع بتقانة تعدين المساحيق التحديات التالية [4]:

- **أولاً:** قيام الحاجة لاختيار مساحيق المواد المستعملة بالإنتاج بعناية وبما يضمن تحقيق أدوات القطع المُنتجة للمواصفات الميكانيكية والحرارية والاحتِكاكية التالية:
  - قساوة عالية ومقاومة نوعية للاهتراء عند درجات الحرارة المرتفعة.
  - مقاومة عالية للتشوه لمنع حصول تشوه دائم بالحد القاطع.
  - صلابة عالية للحفاظ على دقة المشغولات عند الحدود الأسمية.
  - مقاومة للأحمال الديناميكية ومتانة تعب عالية.
  - سلوك لدن لزيادة القدرة على مقاومة الكسر.
  - موصلية حرارية عالية لنقل الحرارة الناتجة عن القطع بعيدا عن الحد القاطع.
  - مقاومة عالية للصدمات الحرارية.
  - تركيب كيميائي مستقر لضمان تكرارية الأداء القاطع على المدى الطويل.
- **ثانيًا:** قيام الحاجة لتجهيزات طحن وخلط ونخل واختبار ولقوالب تشكيل تلبي المتطلبات المعيارية لمُنتَج تعدين المساحيق، مثل: الوصول بحبيبات المساحيق المستعملة لدرجة النعومة المطلوبة، وتحقيق التوزع الحجمي المستهدف لتلك الحبيبات، وتحقيق تجانس عالي بخلطات المساحيق المُعدِّة، وتحقيق كثافة عالية بالمنتجات الخضراء (اللقم قبل أن تخضع لعملية التلبيد)، وتحقيق تجانس عالي بالكثافة المُحقَّقة.
- قيام الحاجة للتحديد والضبط الدقيق للضغط المطبق بهدف تحويل مساحيق المواد الأولية إلى منتجات خضراء، ذلك أن تطبيق ضغوط عالية جداً قد يتسبب بتشوه مرن وربما لدن بقالب التشكيل ,وبالنتيجة بأشكال وأبعاد اللقم المنتجة، كما أنه يتسبب حكماً بتشققات ملحوظة بأجسام تلك اللقم، وبالمقابل فتطبيق ضغط منخفض يتسبب

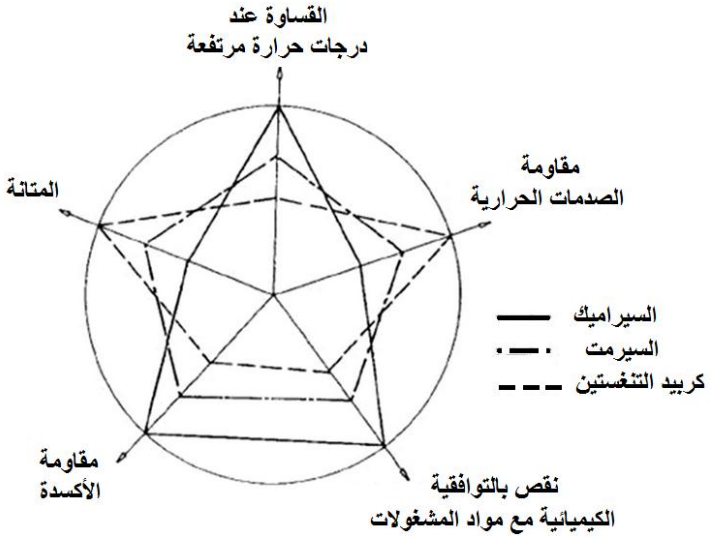
بمسامية ملحوظة ببنيات اللقم وبانخفاض كبير بمتانة المنتجات الخضراء وبالتالي بقدرة اللقم المنتهية على القطع بجدوى عالية.

- **ثالثاً:** قيام الحاجة لتقانات تلبيد غير تقليدية (مثل التلبيد بالأمواج الميكروية Microwave Sintering والتلبيد بالبلازما الومضية Spark Plasma Sintering)، ذلك أن تقانات التلبيد التقليدية محدودة من حيث درجات الحرارة الأعظمية الممكن تطبيقها، ومُكلفة من حيث الوقت اللازم لتحقيق التلبيد المستهدف.
- **رابعاً:** قيام الحاجة لتجهيزات تجليخ متعددة المحاور وعالية الإنتاجية، لتحقيق إمكانية الحصول على الأشكال والأبعاد المستهدفة بدقة عالية، وفقاً لما توصي به أنظمة المعايرة العالمية.
- **خامساً:** قيام الحاجة لتقانات طلاء بالترسيب الفيزيائي أو الكيميائي للبخار، وهي تجهيزات مكلفة جداً وتتطلب خبرات نوعية لاستثمارها بشكل جيد.

وبالعودة للمراجع المختصة نجد أن التحدي الأول لقي اهتماماً خاصاً بسبب تعدد المحاور المعرفية اللازمة لتخطيه. وضمن ذلك السياق، ينظر لاختيار مساحيق المواد اللازمة لإنتاج أدوات القطع المستهدفة باعتباره التحدي الأصعب والأكثر كلفة، وهنا تتحدث المراجع العلمية عن وجود الاحتمالات التالية من مساحيق المواد، والتي يظهر الشكل رقم (9.2) بعض مواصفاتها الميكانيكية والحرارية، والذي يؤكد على تمايز بعضها عن البعض الأخر من حيث مواصفة ما أو أكثر:

- **مساحيق السيراميك Ceramic powder:** مساحيق السيراميك صلبة ويمكن أن تتحمل درجة حرارة أكثر من 1600ºC دون أي تَحلُّل كيميائي. ووفقاً للأدبيات العلمية المختصة، يمكن لمساحيق السيراميك أن تتحمل حرارة أكثر بكثير من مساحيق الكربيدات لأنها تلين عند حرارة من مرتبة 2200ºC مقابل حوالي 870ºC للمساحيق الكربيدية، وبذلك تستخدم اللقم السيراميكية للتشغيل بسرعات قطع تصل لحوالي ثمانية أضعاف ما يمكن اعتماده بلقم القطع الكربيدية، وخاصة للمواد التي يصعب قطعها في حالة التشغيل الجاف (دون استعمال سائل تبريد). بالإضافة لذلك، تتمتع لقم القطع المصنعة من مساحيق السيراميك بخصائص ميكانيكية فريدة مثل القساوة العالية والمقاومة المرتفعة للاهتراء مقارنة بأدوات القطع المصنعة من مساحيق الكربيدات،

وبالمقابل فإن الهشاشة والقيمة المنخفضة لقوة التمزق المستعرض Transverse rupture strength والمقاومة المنخفضة للصدمات الميكانيكية والحرارية تضع بعض القيود على استخدام لقم مُصنَّعة من تلك المساحيق [4].



الشكل رقم (9.2): شكل تمثيلي للمقارنة بين المواصفات الأساسية لمساحيق المواد المستعملة بتصنيع اللقم [4]

- **مساحيق كربيد التنغستن Tungsten carbide powder:** كربيد التنغستن عبارة عن مُركّب كيميائي قاسي وقادر على مقاومة الشطر والتآكل والاختراق والانحناء والمط ولكنه هش، وبالمقابل فالكوبالت طري ولكنه متين ويملك اللدونة اللازمة للانفعال بدرجة كبيرة نسبياً بدون تمزق أو كسر، وبذلك، فالجمع بين كربيد التنغستن والكوبالت يُنتِج مركب عالي القساوة ولدن وهذا ما يبرر استعماله استعمالاً أساسياً بصناعة أدوات القطع بالعموم ولقم القطع بالخصوص. بالعموم، تختلف خواص المركب الناتج عن الجمع بين كربيد التنغستن والكوبالت كتابع لنسب الخلط المئوية من جهة، وكتابع للعوامل التالية من جهة أخرى [5]:
  - حجم وشكل وتوزيع جزيئات الكربيد.
  - درجة انحلال الكربيد Degree of inter-solubility of carbides.
  - زيادة أو نقص الكربون بتركيب الكربيد.
  - الاختلافات في تركيب وبنية الكربيد.

- معالجات الإنتاج ومتغيراتها، إبتداءً من استخلاص المواد الخام ومروراً بالطحن ومن ثم الكربنة (إنتاج كربيد التنغستن من التنغستن والكربون) وبعد ذلك الكبس وأخيراً التلبيد.
- معالجات ما بعد التلبيد.
- معالجات الطلاء بطبقة/طبقات من المواد عالية القساوة، بتقانة الترسيب الفيزيائي أو الكيميائي للبخار.

8.2 معالجات لقم القطع:

تُنتج لقم القطع بطريقة تعدين المساحيق Powder Metallurgy Process، وتُحقَّق عملية الإنتاج وفق التسلسل التالي، وفقاً لما يؤكده محتوى الشكل رقم (10.2) [6]:

أ. تأمين مساحيق المواد الأولية والمواد الرابطة اللازمة للإنتاج، وخلطها خلطاً جيداً بنسب وزنيه دقيقة جداً، بمرجعية معطيات الجدول رقم (11.2)، ثم طحنها لمدة تتراوح بين 8 و 50 ساعة، حيث تتحول إلى حبيبات Granules شبه كروية متراوحة الحجوم[2]، حيث تصبح جاهزة للاستخدام ويمكن تخزينها لحين مباشرة الإنتاج، أو يمكن تأمين الكمية اللازمة منها بالشراء المباشر من مصدر موثوق، لما يعرف بتسمية "المسحوق الجاهز للكبس Ready to press powder"، وفقاً للمصطلح المستعمل بشركة Sandvik المختصة بإنتاج وتسويق هذا النوع من المساحيق.

ب.تجفيف حبيبات المسحوق ثم العمل على وزن دقيق لكمياتها اللازمة لإنتاج لقم منفردة، وفقاً لنوع وقياس نموذج اللقمة المطلوب إنتاجه.

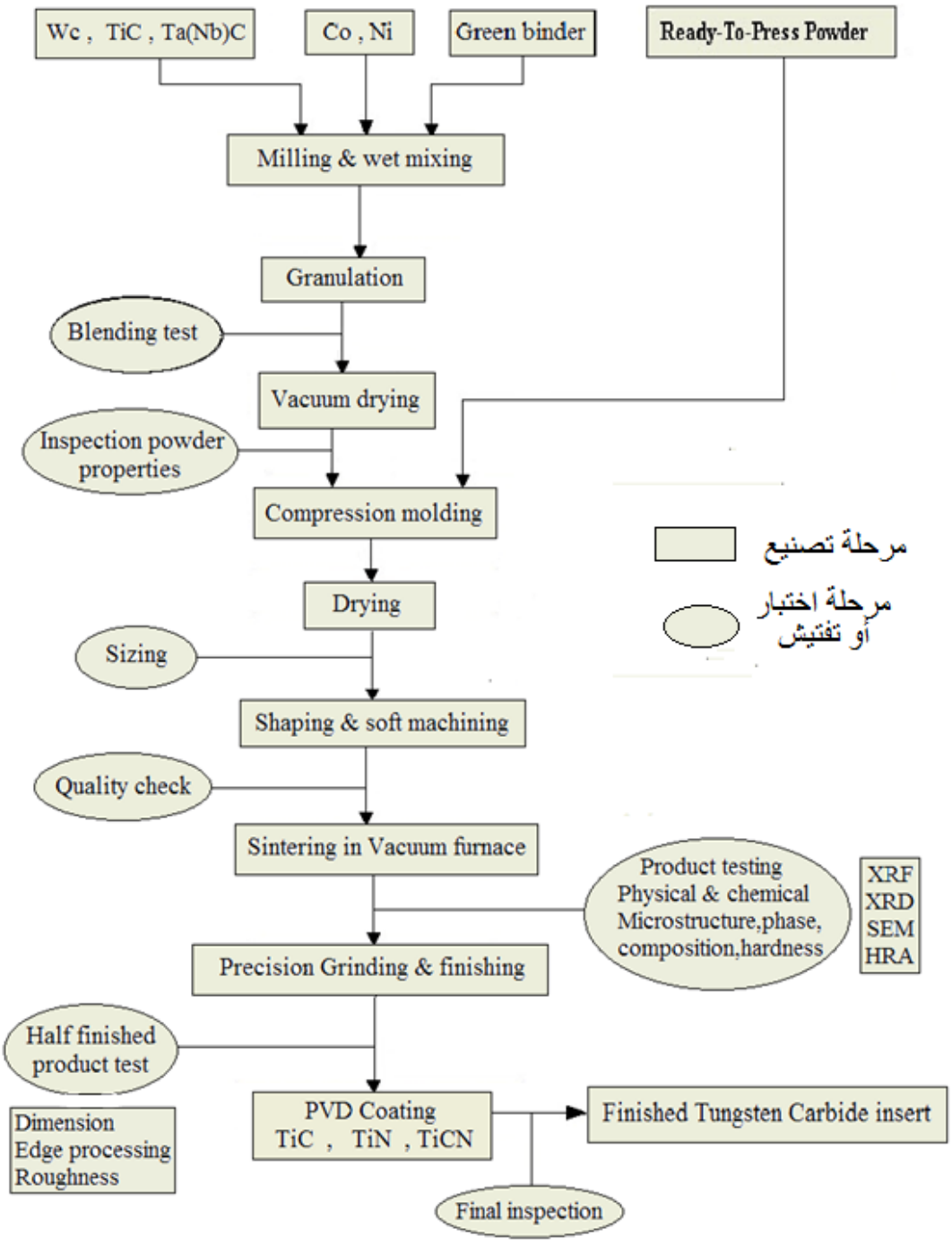
ت.تحويل كميات المساحيق اللازمة لإنتاج لقم منفردة لمضغوطات خضراء Green Compacts، بالكبس أو الحقن الآلي ضمن قالب تشكيل عالي القساوة، حيث تأخذ الشكل الأولي لنموذج اللقمة المطلوب إنتاجها، وفقاً لما يوضحه محتوى الشكل رقم (11.2).

ث.تجفيف اللقم الخضراء ثم إخضاعها لدورة تلبيد حراري ضمن فرن خلاء مُجهَّز بدارة تحكم تسمح بالضبط الدقيق لتغيرات الحرارة، بما يتوافق مع تفاصيل الدورة الحرارية المعتمدة للتلبيد.

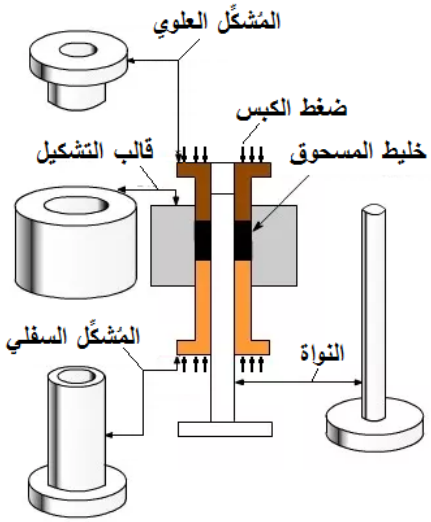
[2] تتراوح حجوم الحبيبات المتشكلة بنهاية هذه المرحلة بين 0.2 و 4 mm.

ج. إخضاع اللقم المُلبَّدِة لعمليات تجليخ دقيق، لضبط أبعادها ولتحقيق حدودها القاطعة وزواياها المختلفة، بمرجعية التفاصيل المدرجة بالجداول من (1.2) وحتى (10.2).

ح. إخضاع اللقم الناتجة عن المرحلة السابقة لعملية طلاء بالترسيب الفيزيائي أو الكيميائي للبخار Physical or Chemical Vapor Deposition، لإكسابها القساوة السطحية المطلوبة ولتحسين تبديدها الحراري.



الشكل رقم (10.2): تسلسل العمليات الخاصة بإنتاج لقم القطع بتقانة تعدين المساحيق [6]



الشكل رقم (11.2): بيان لآلية كبس منتجات تعدين المساحيق

ولضمان تحقيق اللقم المنتجة بمرجعية التسلسل أعلاه لمستوى الأداء المستهدف ولتكرارية عالية بالأداء المُحقَّق لابد من لحظ المسائل التالية:

i. تَوفُّر تجهيزات التحليل والاختبار اللازمة للتأكد من مطابقة المساحيق والمواد الرابطة المستخدمة، من حيث أنواعها ونسبها المئوية، والتَوزُّع الحجمي لجزيئاتها، وأخيراً من حيث مواصفاتها الفيزيائية والميكانيكية.

ii. توفر التجهيزات اللازمة لاختبار المساحيق والمواد الرابطة في بيئة نظيفة للتأكد من عدم وجود شوائب قد تؤثر على السلامة الهيكلية والإنشائية للقم المُنتجِة.

iii. تَوفُّر المعارف والخبرات اللازمة لتصميم وتصنيع قوالب التشكيل، وفقاً لنموذج اللقمة/اللقم المطلوب إنتاجها، وبما يعكس كافة الاحتمالات المبينة بالفقرة رقم (4.2) أعلاه، أو توفر إمكانية شراء تلك القوالب من مصدر مختص مع الأخذ بالاعتبار التكاليف المادية المرتفعة التي ستترتب على ذلك.

iv. توفر مكابس مزدوجة التأثير Double action press machine وقادرة على تطبيق قوى من مرتبة 100 طن أو أكثر، بما يضمن القدرة على تحقيق كثافات مرتفعة وتجانس عالي ببنية اللقم الخضراء.

v. توفر أفران معالجة حرارية مجهزة بما يلزم للتحكم الدقيق بمستوى الخلاء وبدرجة الحرارة كتابع للزمن، خلال مرحلتي التسخين والتبريد.

vi. تَوفُّر تجهيزات التجليخ اللازمة لضبط أشكال اللقم وأبعادها بمعدلات دقة معيارية، وبإنتاجيه كافية.

vii. تَوفُّر متطلبات ضبط قيم المتغيرات الخاصة بكل مرحلة من مراحل الإنتاج بدقة متناهية، ما يستلزم طيف واسع من المعارف والخبرات، بالإضافة لتوفر تجهيزات إنتاج مُتخصِّصة ومُجهَّزة بما يلزم لتنفيذ الضبط بالدقة المطلوبة.

viii. إخضاع مخرجات كل مرحلة من مراحل الإنتاج لعمليات تفتيش وتجويد واختبار، وإخضاع المنتجات المنتهية لما يلزم من عمليات التفتيش والتحليل والاختبار، وفقاً لما يؤكده محتوى الشكل رقم (10.2).

9.2 أنماط انهيار لقم القطع:

يُعرَّف انهيار اللقمة على أنه حالة اللقمة عندما تبدأ بإعطاء أداء غير مرضٍ أثناء القطع [6, 7]. ووفقاً لما هو مبين في الشكل رقم (12.2)، تتنوع أنماط انهيار لقم القطع حيث تشتمل على 1) كسر كامل أو جزئي باللقمة، 2) تشوّه لدن عام أو موضعي، 3) اهتراء تدريجي بفعل الإجهادات الميكانيكية أو الحرارية أو الظواهر الكيميا– حرارية والكهرو– كيميائية [6, 7]، حيث:

i. يحدث الكسر الميكانيكي Breakage والتشظي Chipping بسبب القوى والصدمات المفرطة، التي تُلّحِق أضراراً مباشرة إما بالحد القاطع أو بأجزاء أخرى من اللقمة. بالعموم، يحدث هذا النوع من أنماط الانهيار باللقم المُصنَّعة من مواد قاسية جداً وبتلك التي تتمتع بسلوك هشBrittle behavior، أي بسلوك لا يبدي أي تشوّه لدن قبل الكسر، وقد يحدث عند العمل على مشغولات ذات بنية مشوبة بالرمل أو غير متجانسة البنية.

ii. يحدث التشوّه اللدن Plastic deformation عندما تترافق الإجهادات المرتفعة المؤثرة على اللقمة مع درجات حرارة عالية، ذلك أن الحرارة العالية تتسبَّب بإضعاف المادة الرابطة ضمن بنية اللقمة ما يتسبب بتشوه غير عكوس لجسم اللقمة.

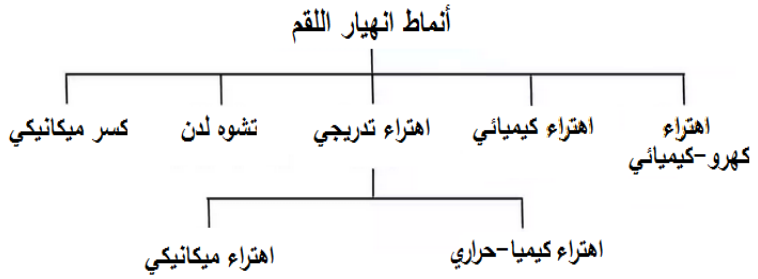
iii. يحدث الاهتراء الميكانيكي تدريجياً إما بركن اللقمة Corner wear أو بخاصرتها Flank wear أو بحفرتها Crater wear، وفقاً لما يبينه الشكل رقم (13.2).

iv. يحدث الاهتراء الكيميا–حراري Thermo-Chemical تدريجياً عند وجود قابلية ذوبان متبادلة بين مادتي اللقمة والمشغولة، حيث تبدأ جزيئات مادة اللقمة بالانتشار إلى رقائق الرايش المقتطع، و يزداد معدل الانتشار زيادة معتبرة مع زيادة درجة حرارة الرقائق.

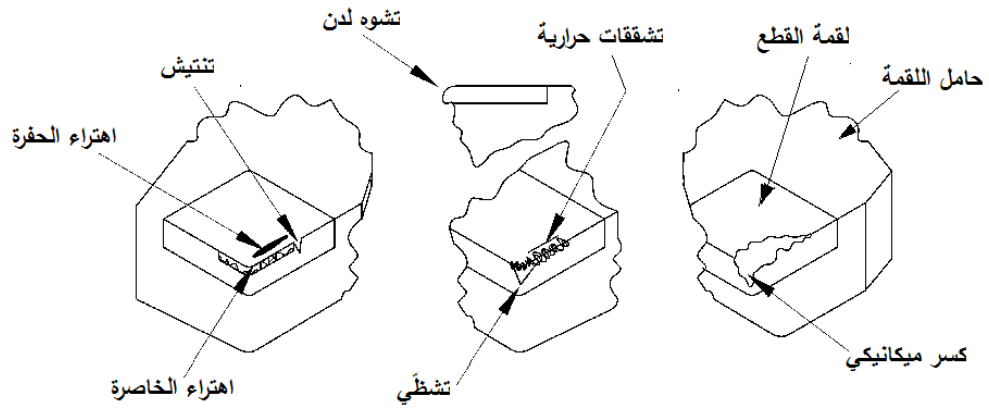
v. يحدث الاهتراء الكيميائي عندما لا تكون مادة الأداة خاملة كيميائيًا، أي عندما يحصل نوع من التجاذب الكيميائي Chemical affinity بين مادة الأداة ومادة المشغولة مع وجود سائل تبريد و/أو تزييت ملائم.

vi. يحدث الاهتراء الكهرو–كيميائي Electro-chemical بمعدلات قليلة جداً نتيجة تولد تيار كهربائي بتأثير الازدواج الكهرو–حراري Thermocouple effect الحاصل بين رقائق الرايش الحارة جداً وجسم اللقمة المُبدِّد للحرارة.

vii. التخديد Notch wear عبارة عن أخاديد منفردة وعميقة نسبياً ومُمتَدة بين سطح اللقمة وخاصرتها. هذا النوع من أنماط الانهيار ينتج عن تشغيل الأسطح عالية القساوة، بالعادة نتيجة تَعرُّضها لأكسدة شديدة.



الشكل رقم (12.2): الأصناف الأساسية لانهيار لقم القطع



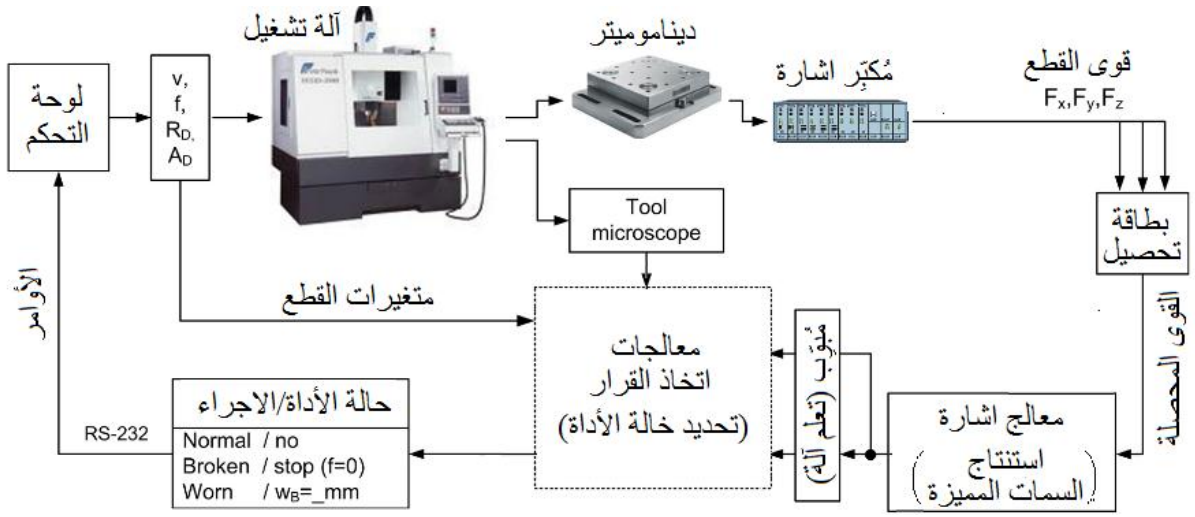
الشكل رقم (13.2): أنماط انهيار لقم القطع [7]

10.2 أنظمة مراقبة حالة اللقم بالزمن الحقيقي:

يتمثل الهدف الرئيسي من تطوير أنظمة مراقبة حالة أداة القطع بزيادة الإنتاجية وهذا يؤدي لزيادة القدرة التنافسية، بزيادة عمرها إلى الحد الأقصى وتقليل وقت التعطل وتقليل التآكل ومنع الضرر، وبذلك، فالقدرة التقليدية للمشغل على تحديد حالة الأداة بناءً على خبرته وحواسه هي الآن الوظيفة التي يجب أن يؤديها نظام المراقبة. بالعموم، ووفقاً لما هو مبين بالشكل (14.2)، يتكون كل نظام مراقبة حالة الأداة من حساسات استشعار ومكيفات/مكبرات وشاشة [8]، وحيث يُعمَل على تحليل الإشارات الواردة من الحساسات بأدوات ذكاء صنعي لاكتشاف التغيرات الحاصلة بحالة الأداة (اهتراء، كسر) [9, 10]. ووفقاً للمراجع المختصة، هناك طريقتان لاستشعار حالة الأداة: مباشرة وغير مباشرة. تعتمد الطريقة المباشرة على قياس التآكل الفعلي باستخدام تقانات متقدمة مثل رؤيا الحاسوب Computer vision أو التحليلات الإشعاعية لرقائق الرايش Radioactive analyses of the chip، وهو ما يتم تجنبه بالعادة نظراً لصعوبة تحقيق القياسات بالزمن الحقيقي. أما الطريقة غير المباشرة فتُحقَّق بالعمل بمرجعية الخطوات التالية:

- تحصيل معطيات محددة عائدة لعملية القطع، باستخدام مستشعرات منفردة أو متعددة.
- معالجة المعطيات المحصلة بالزمن الحقيقي، بهدف استنتاج سماتها المميزة Features.
- إخضاع القيم المُستنتجة للسمات المميزة للمعالجة بأداة صنع قرار Decision-making tool، للتنبؤ بحالة الأداة القائمة في حينه.

مبدئياً، قد تشتمل المعطيات التي تُحصَّل بهدف التنبؤ بالوضع القائم للأداة على قوى القطع، وعزوم الدوران، والاهتزازات، والانبعاثات الصوتية، وتغير درجة حرارة أداة القطع، وخشونة سطح المشغولة. وضمن ذلك السياق، يتم التعامل مع قوى القطع بعدها الشكل الأكثر فائدة من المعطيات التي تُحصَّل بهدف التنبؤ بحالة الأداة.

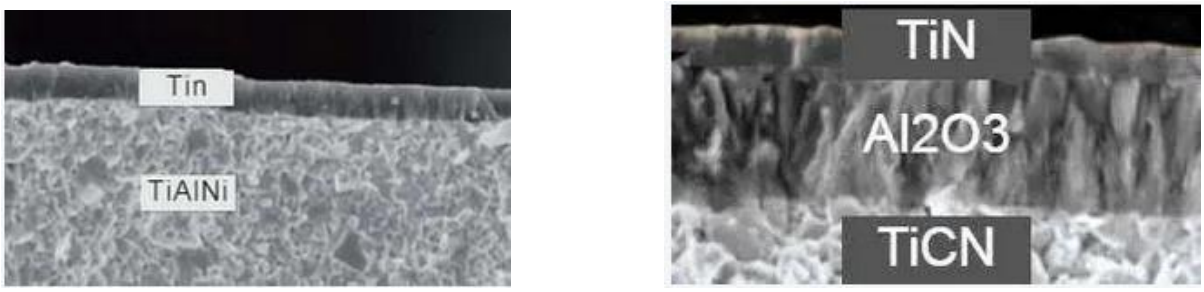


الشكل رقم (14.2): هندسة نظام مراقبة حالة الأداة [10]

11.2 المعالجة السطحية للقم القطع:

كجزء من معالجات الإنتاج بتقانة تعدين المساحيق، وكإجراء هدفه تحسين الأداء أثناء القطع، تخضع معظم لقم القطع الكربيدية لعمليات معالجة سطحية بالترسيب الكيميائي أو الفيزيائي للبخار، حيث تتراوح سماكة الطبقة المُرسَّبة على سطوح اللقمة بين 1 و 25 µm. بالترسيب الكيميائي للبخار، تُحقَّق سماكة الطلاء المستهدفة بالترسيب المتتابع لطبقات متراكبة من التيتانيوم ونتريد التيتانيوم Titanium nitride وأكسيد الألومنيوم Aluminum oxide ونتريد كربون التيتانيوم Titanium carbon nitride، حيث تعمل هذه الطبقات على تحسين جدوى عملية القطع مباشرةً عن طريق زيادة قساوة اللقمة والحد من الحرارة الواصلة إلى جسمها. ووفقاً لما هو مبين في الشكل رقم (15.2)، الطلاء بالترسيب الكيميائي للبخار يحدث بفعل تفاعل كيميائي بين المادة المطلية وجسم اللقمة، لذلك فالترابط بينهما يكون قوي جداً. بالعموم يمكن أن تصل سماكة الطبقات المُرسّبة كيميائياً لـ 25 µm، ما يسمح بتحقيق عزل حراري ممتاز، وما يسمح بسرعات قطع أعلى بالمقارنة مع ما يمكن تحقيقه باللقمة المعالجة بالترسيب الفيزيائي. وبالمقابل، بالترسيب الفيزيائي للبخار، لا يحدث أي تفاعل كيميائي بين المادة المُرسَّبة ومادة اللقمة، ما يعني أن الترابط بينهما يكون أضعف من ذلك المحقق كيميائياً. وبالمقابل، فالإجهاد المتبقي الناتج عن فعل الصدم المُحقَّق نتيجة الحركة العشوائية السريعة جداً للجزيئات المرسبة فيزيائياً يُحسِّن تحسيناً ملحوظاً من القساوة الكلية

للقمة المطلية بالتقانة الفيزيائية. ووفقاً لما يوضحه الشكل رقم (15.2)، تنفذ عملية الترسيب الفيزيائي بمادة واحدة فقط، وبسماكة لا تزيد عن 8 µm، ويتمتع سطح المادة المطلية بنعومة أعلى من النعومة المكافئة الناتجة عن عملية الترسيب الكيميائي.



أ) الترسيب الكيميائي ب) الترسيب الفيزيائي

الشكل (15.2): بينان لتوزع الطبقات المتشكلة بفعل الترسيب الكيميائي والفيزيائي للبخار

بالعموم وبغض النظر عن تفاصيل عمليات الطلاء المنفذة، تسهم عمليات الطلاء أعلاه بما يلي:

- زيادة أعمار الحدود القاطعة وزيادة مقاومة تلك الحدود للاهتراء.
- تقليل تأثير الرايش المتولد بفعل القطع على سطوح المشغولات والأجزاء العاملة بأدوات القطع، وهذا ما يساعد على الحصول على مشغولات دقيقة الأبعاد وذات سطوح عالية النعومة.
- تحسين عملية التبديد الحراري والحد من كميات الحرارة الواصلة لأجسام اللقم.

12.2 نماذج حياة أدوات القطع:

يُعرَّف عمر أداة القطع بأنه الوقت الذي يمكن استخدام حد من الحدود القاطعة للأداة دون حصول تراجع ملحوظ بقدرتها على القطع، أو دون أن تتسبب إما برفض المشغولة نتيجة عدم مطابقة أبعادها و/أو انهاءاتها، أو بضرر مؤقت أو دائم لآلة التشغيل. وبالمقابل، تطلق تسمية نمذجة الحياة على المعالجات الرياضية المنفذة بهدف استنتاج نموذج رياضي لأعمار الأدوات المقاسة تجريبياً، بما يغطي حالات استخدام محددة من حيث متغيرات القطع ومن حيث مواصفات المعادن الخاضعة للتشغيل. انطلاقا مما ورد بالتعريفين أعلاه يمكن القول بأن نمذجة الحياة تتطلب

قياس تجريبي، مُغطِّي لكافة احتمالات الاستثمار (من حيث سرعات وأعماق القطع، ومن حيث معدلات التغذية ... الخ) لمعطيات الحياة ومعالجة رياضية مناسبة لتلك المعطيات. وضمن ذلك السياق عُمِل على تطوير نماذج الحياة التالية:

1.12.2 نموذج تايلور:

يوفر نموذج تايلور لمتوسط أعمار أدوات القطع، الذي صاغه السيد F.W. Taylor، بالعام 1906، إمكانية تقدير أعمار ذلك النوع من الأدوات، بدقة جيدة، بمرجعية أحد متغيرات القطع الأساسية والمتمثل بسرعة القطع V_c [11]. وضمن ذلك السياق يتم التعامل مع المعادلة (1) باعتبارها تعبير رياضي عن ذلك النموذج، حيث T هو العمر المتوقع للأداة و m و C_t عبارة عن ثوابت مشتقة من البيانات المقاسة قياساً تحليلياً أو محسوبة عن طريق منحني المُقاربة Curve fitting باستخدام طريقة التربيع الصغرى Least squared method [12].

$$V_c . T^m = C_t \qquad \dots (1)$$

مما ذكر أعلاه يمكن القول بأن نموذج تايلور لا يأخذ بالحسبان متغيري مُعدَّل التغذية وعمق القطع، ذلك أن هذان المتغيران يؤديان وظيفةً ثانويةً بتآكل الأداة بالمقارنة مع الوظيفة التي يؤديها متغير سرعة القطع [13].

2.12.2 نموذج تايلور المُوسَّع Extended Taylor:

ضمن سياق السعي لتطوير نموذج يسمح بتقدير أفضل لعمر الأداة، عَمِلَ العديد من الباحثين على تعديل نموذج تايلور. وضمن ذلك السياق اقتُرِحَ تعديل نموذج تايلور حيث يأخذ بالحسبان متغيرات قطع إضافية، مثل معدل التغذية وعمق القطع، بالإضافة لبعض المتغيرات المتعلقة بشكل أداة القطع، وذلك بمتغير أطلق عليه التسمية "السماكة المكافئة للرايش Equivalent chip thickness (h_e)"، وبالنتيجة اعتمادنا المعادلتين (2) و (3) باعتبارهما تعبير رياضي عن النموذج المُعدَّل، والذي عرف بالتسمية "تايلور المُوسَّع Extended Taylor".

$$V_c . f^p . {a_p}^q . T^m = C_T \qquad \dots (2)$$

$$V_c . {h_e}^p . T^m = C_T \qquad \dots (3)$$

ضمن المعادلتين أعلاه يتم التعامل مع المتغيرين p و q باعتبارهما ثوابت مشتقة من البيانات المقاسة قياساً تحليلياً أو محسوبة عن طريق ملاءمة منحنى الحياة المحدد تجريبيا، وبالمقابل يتم التعامل مع الثابتين m و C_T باعتبارهما قيمتين مرجعيتين تحددان من معطيات الجدول رقم (12.2)، بينما يتم التعامل مع المتغير (h_e) باعتباره تابع لكل من معدل التغذية (f) وعمق القطع (a_p) وزاوية جرف الأداة (K) ونصف قطر أنف الأداة (R_ε)، وتقدم المعادلة رقم (4) ذلك التابع [14].

$$h_e = \frac{a_p . f}{\frac{a_p - r(1 - Cos\, k)}{Sin\, k} + k . r_\varepsilon + \frac{f}{2}} \qquad \dots (4)$$

جدول (12.2): قيمة الثوابت لمعادلة حساب عمر أداة القطع

مادة أداة القطع	مادة المشغولة	m	C (m/min)
فولاذ سريع القطع	غير فولاذية	0.125	120
	فولاذية	0.125	70
لقم كربيدية	غير فولاذية	0.25	900
	فولاذية	0.25	500
أدوات قطع سيراميكية	فولاذية	0.6	3000

3.12.2 نموذج كورومانت خراطة Coromant turning:

ضمن سياق العمل على تطوير نماذج حياة إضافي، عُمِلَ على بلورة المعالة رقم (5) باعتبارها تمثل نموذج حياة أكثر تطوراً من نموذج تايلور، وأطلق على ذلك النموذج التسمية "كورومانت خراطة–الإصدار 1"، حيث: vca و vcc و vcb و m عبارة عن ثوابت، أما المتغير TL_{act} فيمثل عمر الأداة بمرجعية معيار إهتراء مسبق التحديد، وفيما يتعلق بالمتغير TL_{nom} فيمثل العمر الاسمي للأداة، وتوصي بعض المراجع بإعطائه القيمة 15 min.

$$v_c = 10^{\frac{vca . f^2 + vcb . vcc}{(\frac{TL_{act}}{TL_{nom}})^m}} \qquad \dots (5)$$

ولأخذ بعض متغيرات أداة القطع بعين الحسبان، عَمِلَ الباحث Woxén على تعديل نموذج كورومانت حيث استبدالنا المتغير (f) بمتغير وسطي سماكة الرايش (h_m) Mean chip thickness، وذلك بهدف أخذ متغير زاوية القطع

الرئيسية (k) Major cutting angle بالحسبان. أما التعديل الأخر الذي عُمِلَ عليه فتمثل بتبديل المتغير (h_m) بمتغير السماكة المكافئة للرايش(h_e) Equivalent chip thickness، وتمثل المعادلات (6) و (7) و (8) النموذجين المستخلصين.

$$v_c = 10^{\frac{vca.h_m{}^2+vcb.h_m+vcc}{(\frac{TL_{act}}{TL_{nom}})^m}} \quad \dots (6)$$

$$v_c = 10^{\frac{vca.h_e{}^2+vcb.h_e+vcc}{(\frac{TL_{act}}{TL_{nom}})^m}} \quad \dots (7)$$

$$h_m = f.\sin(k) \quad \dots (8)$$

4.12.2 نموذج كولدينغ Colding:

بعد عدة عقود من تاريخ تطوير نماذج الحياة موضوع الفقرات من (1.1) وحتى (3.1)، اقترح الباحث كولدينغ نموذج الحياة المتمثل بالمعادلة رقم (9) [15]، والتي أثبتت قدرتها على النمذجة الدقيقة لحياة أدوات القطع بالأعمال البحثية المنفذة من قبل العديد من الباحثين [16, 17].

$$v_c = e^{[k-\frac{(\ln(h_e)-H)^2}{4.M}-(No-L.\ln(he)).\ln(T)]} \quad \dots (9)$$

حيث أن: K و H و M و NO و L تمثل ثوابت المعادلة.

13.2 الاختبار المعياري لحياة أداة القطع:

وفقاً لما ذكر في الفقرة (12.2)، النمذجة الرياضية لحياة أداة القطع تستلزم قياس تجريبي لمعطيات الحياة، وبذلك السياق تُقدِّم المواصفة الدولية ISO 3685 توصيات هدفها توحيد إجراءات القياس، لزيادة موثوقية نتائجها من جهة، ولتحقيق إمكانية مقارنة النتائج المستخلصة مع بعضها البعض، بغض النظر عن موقع تنفيذ القياس والجهة المنفذة، من جهة أخرى، وفيما يلي عرض لبعض ما توصي به تلك المواصفة [18]:

i. تنفيذ عمليات القطع على واحدة من الخليطتين التاليتين:

- خليطة الفولاذ CK 45، وفقاً لتوصيفها المعياري المُحدَّد بالمواصفة الدولية ISO 683.
- الخليطة Cast iron, grade 25، وفقاً لتوصيفها المعياري المُحدَّد بالمواصفة الدولية ISO 185.

ii. تنفيذ عمليات القطع مع لحظ المُحدِّدات التالية على أبعاد المشغولات وعلى قساوة مادتها:

- ألا تزيد نسبة طول المشغولة إلى قطرها عن الحد الأدنى الذي يؤدي لحدوث الطرطرة[3]. بالعموم، يجب ألا تزيد تلك النسبة عن القيمة 10.
- أن تقع القيم المقاسة للقساوة بكامل المقطع العرضي للمشغولة ضمن الحدود المتعارف عليها لخليطة المشغولة.
- ألا تزيد الانحرافات بقيم القساوة المقاسة على عينات مأخوذة من دفعة مواد أولية ما عن % 5±.

iii. تنفيذ اختبارات بنيوية مُكمِّمِه لمادة المشغولة، لتحديد بنيتها المجهرية الدقيقة وحجوم بلوراتها، إن كانت إمكانية ذلك متاحة، وإن لم تتح تلك الإمكانية، فيمكن الاكتفاء بصور مجهرية، مأخوذة بتكبير من 100 x إلى 500 x، حيث تضاف تلك الصور لتقرير نتائج الاختبار.

iv. تنفيذ عمليات القطع بأداة قطع مادتها مُحدَّد من قبل الهيئة المنفذة للاختبار، بشرط تحقيق تلك الأداة لأحد الخيارات المدرجة في الجدول رقم (13.2).

الجدول رقم (13.2): الخيارات المتاحة لهندسة شكل أداة القطع الموصى باستعمالها باختبارات تقييم الحياة [18]

الخيار	مادة أداة القطع	زاوية الجرف	زاوية الخلوص	زاوية الحد القاطع	الزاوية الداخلية
1	فولاذ سريع القطع	25°	8°	75°	90°
2	كربيد مُلدَّن	+6°	5°		
3		− 6°	6°		
4	سيراميك	− 6°	6°		

[3] الطرطرة: تشوه عشوائي على سطح المشغولة، نتيجة الاهتزاز المتولد بسبب زيادة نسبة طول المشغولة إلى قطرها عن قيمة حدية.

v. تثبيت أداة القطع تثبيتاً جاسئاً وبتوضُّع نسبي صحيح بالنسبة للمشغولة.

vi. استعمال حامل أداة Tool holder مُحقِّق للأبعاد المدرجة في الجدول رقم (14.2).

vii. حد المتانة Tensile strength لمادة حامل أداة القطع يجب ألا يقل عن 1200 MPa.

الجدول رقم (14.2): الأبعاد الموصى بها للمقاطع العرضية لحوامل أدوات القطع [18]

مادة أداة القطع	أبعاد المقطع العرضي لحامل الأداة
فولاذ سريع القطع	25X25 mm
كربيد	25X25 mm
سيراميك	32X25 mm

viii. تنفيذ اختبارات الحياة مع لحظ تراكيب متغيرات القطع المدرجة بالجدول رقم (15.2).

الجدول رقم (15.2): القيم الموصى بها لمتغيرات القطع التي يجب أن تلحظ خلال اختبار تقييم الحياة [18]

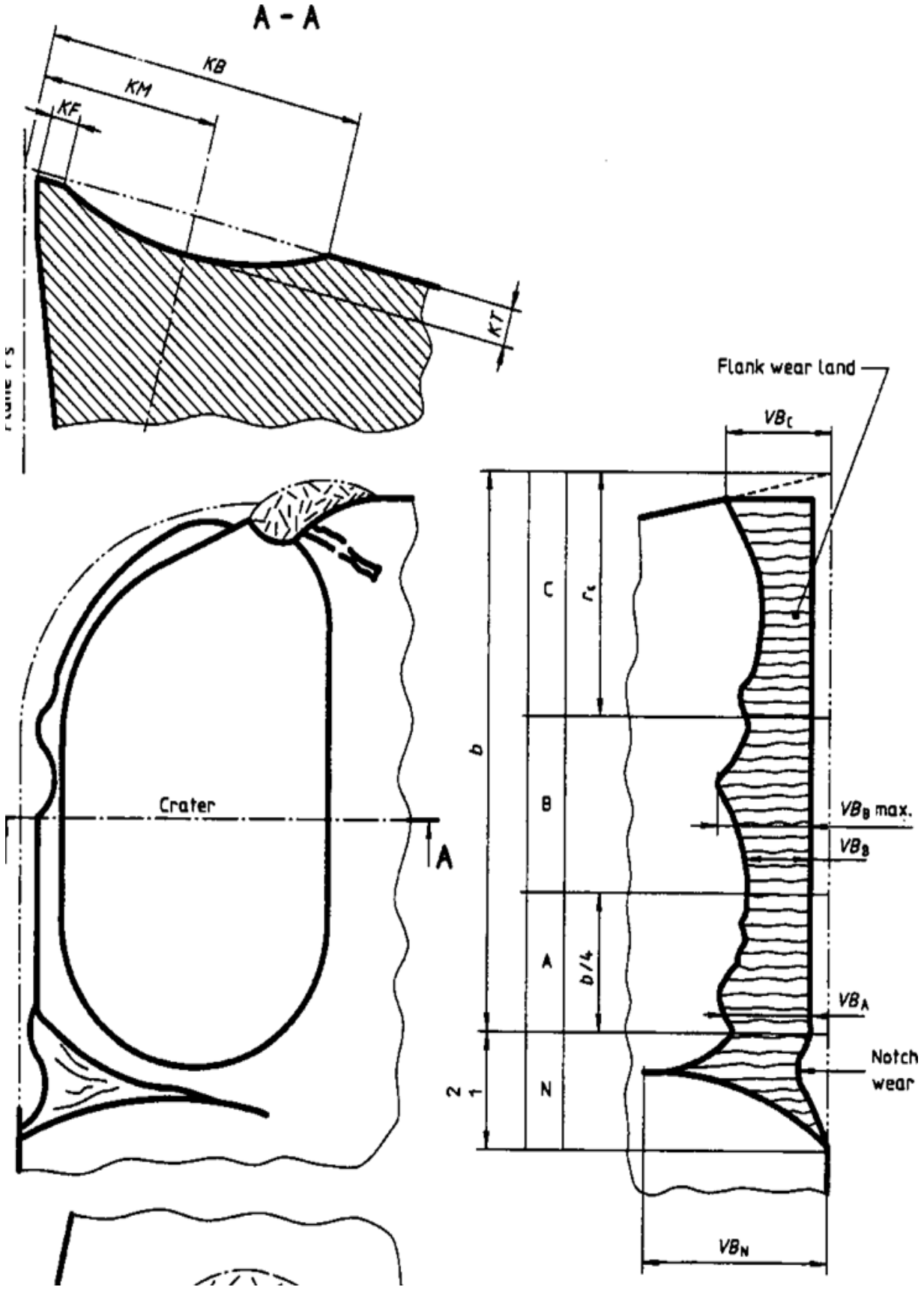
شروط القطع	التراكيب الموصى بها لقيم متغيرات القطع			
	A	B	C	D
معدل التغذية (mm/rev)	0.1	0.25	0.4	0.63
عمق القطع (mm)	1	2.5	2.5	2.5

ملاحظات:

- التفاوتات المسموح بها على قيم معدلات التغذية تقع بالمجال % 3+ to 2− من القيمة الجدولية المعتمدة.
- التفاوتات المسموح بها على قيم عمق القطع تقع بالمجال %5± من القيمة الجدولية المعتمدة.

ix. تنفيذ عمليات القطع اللازمة لقياس الحياة بمخرطة ذات هيكل عالي الجساءة ومجهزة بما يلزم للتحكم بسرعة دورانها، على أن تتمتع بحالة فنية جيدة حيث لا يُلاحَظ أي اهتزاز أو انحراف غير طبيعية عن الأداء المتوقع.

x. تقسيم الحد القاطع للقطاعات A و B و C و N، وفقاً لما هو مبين في الشكل رقم (16.2)، ومن ثم قياس عرض الاهتراء الحاصل بكافة المواقع اللازمة لتحديد قيم المتغيرات $VB_{B\ max}$، VB_{max}، وبعد ذلك الاقرار بانتهاء الحياة بمقارنة اعماق الاهتراء الحاصل مع القيم المرجعية المدرجة في الجدول (16.2).



الشكل رقم (16.2): بيان لقطاعات الحد القاطع ولمتغيرات تقييم نهاية عمر الأداة [18]

الجدول رقم (16.2): متغيرات الإقرار بانتهاء حياة اللقمة وقيمها الحدية [18]

المتغير	القيمة الحدية	ملاحظات
القيمة الأعظمية لعرض الاهتراء بالقطاع B، ($VB_{B\ MAX}$)	لا تزيد عن 0.6 mm	يطبق هذا المعيار إن كان الاهتراء بالقطاع B غير منتظم
متوسط قيم عرض الاهتراء بالقطاع B، (VB_{max})	لا يزيد عن 0.3 mm	يطبق هذا المعيار إن كان الاهتراء بالقطاع B شبه منتظم
عمق حفرة كاسر الرايش، (KT)	لا يزيد عن 0.06+0.3f	المتغير f يمثل معدل التغذية بواحدة الـ mm/rev
المسافة الجبهية لحفرة كاسر الرايش، (KF)	لا تزيد عن 0.02 mm	.....

14.2 مراجعة الأدبيات العلمية:

لقم القطع عبارة عن مُكوِّن أساسي مهم جداً بعمليات التصنيع الميكانيكي، ذلك أنها لا تقوم بإجراء القطع فحسب، بل تساعد في الحصول على الأشكال المستهدفة وعلى القيم المطلوبة لإنهاءات السطوح وللتسامحات البعدية. ومن أجل أداء هذه المهام، يجب أن تتمتع اللقمة المستخدمة بالمواصفات اللازمة لمقاومة الأحمال المطبقة والعمل لفترة طويلة من الوقت حيث تنتج عدد أكبر من المكونات قبل أن تنهار. من هنا عُمِلَ عملاً مكثفاً بالبيئات الأكاديمية والصناعية، على أبحاث تراوحت أهدافها بين تلك الساعية لضبط متغيرات عملية إنتاج اللقم، وصولاً للقم عالية الفعالية من جهة قدرتها على تحقيق عمليات القطع، وتلك الساعية لتحديد متغيرات القطع التي تضمن استثمار أمثل للقم المستعملة، وأخيراً تلك الساعية للتنبؤ بسلوك اللقم عند وضعها بالاستثمار الفعلي، أي التنبؤ بأعمارها الاستثمارية. ولإتاحة إمكانية الاطلاع على تفاصيل بعض الأبحاث التي عُمِلَ عليها ضمن سياق الأهداف أعلاه أدرجنا الملخصات التالية، مصنفة وفقاً لطبيعة مجالاتها المعتمدة:

- دراسات تأثير متغيرات عملية إنتاج لقم القطع على أعمارها:

- عمل الباحث M.M. Faiz وزملاؤه على بحث هدفه دراسة تأثير ضغط الكبس الهيدروليكي على 1) كثافة وقساوة والسلوك التأكلي للقم قطع سيراميكية مُصنَّعة بتقانة تعدين المساحيق، 2) خشونة أسطح مشغولات

فولاذية مُشغَّلِة بالأداة المُصنَّعة [19]. ولتحقيق ذلك الهدف قام الباحث بطحن كمية كافية من مسحوق الألومينا ومن المادة الرابطة المعتمدة، ثم حُوِّل المسحوق الناتج للقم قطع بالعمل بالتسلسل التالي:

- تقسيم كمية المسحوق الناتجة عن عملية الطحن لمجموعة من الكميات المتساوية وزنياً، مع لحظ تساوي وزن كلاً منها مع الوزن الاسمي لنموذج اللقمة المطلوب إنتاجه.
- تصنيف كميات المسحوق المتساوية وزنياً لأربعة مجموعات متكافئة.
- ضغط كلاً من كميات المسحوق المنتمية للمجموعة الأولى ضمن قالب تشكيل خاص بإنتاج نموذج اللقمة المطلوب إنتاجها، حيث حُقِّق ذلك بمكبس هيدروليكي ضغطه مضبوط على القيمة 6 طن.
- تكرار الخطوة السابقة على المجموعات الثانية والثالثة والربعة، بالمكبس الهيدروليكي المعتمد بعد ضبط ضغطه على القيم 7 و8 و 9 طن، بالتتابع.
- تلبيد اللقم الخضراء الناتجة عن عمليات الضغط أعلاه لمدة 4 ساعات، بفرن خلاء درجة حرارته 1700 .°C

ولتقييم النتائج، عُمِلَ على قياس قساوة وكثافة اللقم المُنتجِة، وعلى التوازن عُمِل على تحديد السلوك التأكلي لتلك اللقم بخراطة مبرمجة لمشغولات أسطوانية قطرها مساوي لـ 50 mm، مُصنَّعة من الخليطة الفولاذية AISI 1045، بسرعة قطع مساوية لـ 200 m/min، وبمعدل تغذية مساوي لـ0.05 mm/rev، وبعمق قطع مساوي لـ 1 mm، وأخيراً بتحديد خشونة السطوح المشغلة بتلك اللقم [19]. وبنتيجة العمل بالبحث استُنتج ما يلي:

1- تزداد كثافة وصلابة لقم القطع السيراميكية المنتجة بتقانة تعدين المساحيق مع زيادة ضغط الكبس الهيدروليكي المطبق خلال إنتاجها.

2- عند تطبيق ضغط كبس هيدروليكي قيمته 9 طن وصلت كثافة مادة اللقم للقيمة $2.77\ g/cm^3$، أما قساوتها المقاسة فقد وصلت للقيمة 86.1 HRA.

3- تميز السلوك التأكلي للقم القطع الخاضعة لكبس هيدروليكي قيمته 9 طن عن السلوك المكافئ الخاص بباقي اللقم من حيث تحقيقه لأقل معدل اهتراء، حيث لم يزد معدل الاهتراء المُحقَّق عند ذلك الضغط عن

القيمة 0.0025 mm/s، وبالمقابل وصل معدل الاهتراء المُحقَّق باللقم الخاضعة لكبس هيدروليكي قيمته 6 طن للقيمة 0.0049 mm/s.

4- الإنهاء الأفضل لسطوح المشغولات حُقِّق عند تنفيذ عمليات الخراطة باللقم الخاضعة لكبس هيدروليكي قيمته 7 طن، وإنهاءات سطوح المشغولات المُشغَّلِة باللقم الخاضعة لكبس هيدروليكي قيمته 8 و9 طن كانت أفضل بكثير من الإنهاءات المكافئة بالمشغولات المُشغَّلِة باللقم الخاضعة لكبس هيدروليكي قيمته 6 طن.

- عمل الباحث B. Srivijaia وزملاؤه على بحث هدفه دراسة تأثير درجة حرارة التلبيد على الكثافة والقساوة والمتانة الانضغاطية Compressive strength والحياة المفيدة للقم قطع مُصنَّعة بتقانة تعدين المساحيق، من خليطة محتوية على % 80 حجماً من مسحوق فولاذ سريع القطع و % 20 حجماً من مسحوق كربيد التيتانيوم [20]. ولتحقيق ذلك الهدف قام الباحث بطحن كميات محققة لنسب الخلط المفترضة من المسحوقين أعلاه ومن مادة رابطة نوع بولي إيتيلين غليكول Polyethylene glycol لمدة 12 ساعة بمطحنة كرات، ثم حُوِّل المسحوق الناتج للقم قطع بالعمل بالتسلسل التالي:
  - ضغط أولي وثانوي، على البارد، بقالب تشكيل لكميات مناسبة من خليط المسحوق بمكبس هيدروليكي ومن ثم بمكبس متوازن التضاغط Isostatic press، ما مَكَّن من الحصول على لقم خضراء نموذج CNMG120408. ولتحقيق التصليد، صنفت اللقم الخضراء ضمن المجموعات التالية:
    - المجموعة A، لُبِّدت بدرجة حرارة مساوية لـ 600 °C، بمعدل 4 ساعات لكل عينة.
    - المجموعة B، لُبِّدت بدرجة حرارة مساوية لـ 800 °C، بمعدل 4 ساعات لكل عينة.
    - المجموعة C، لُبِّدت بدرجة حرارة مساوية لـ 1000 °C، بمعدل 4 ساعات لكل عينة.

ولتقييم النتائج، عمل الباحث على قياس القساوة والكثافة والمتانة الانضغاطية للقم المُنتجِة، ومن ثم عُمِل على تحديد السلوك التأكلي لتلك اللقم بخراطة مبرمجة لمشغولات مُصنَّعة من الحديد الصب، بسرعة قطع مساوية لـ 350 m/min، ومعدل تغذية مساوي لـ 0.1 mm/rev، وعمق قطع مساوي لـ 0.5 mm، وبنتيجة العمل بالبحث استنتج الباحث ما يلي [20]:

1- تزداد قساوة اللقم المُنتجِة ضمن سياق العمل بالبحث مع زيادة درجة حرارة التلبيد.

2- تزداد المتانة الانضغاطية للقم المنتجة ضمن سياق العمل بالبحث ازدياداً غير خطياً مع زيادة درجة حرارة التلبيد.

3- تنخفض كثافة اللقم المنتجة ضمن سياق العمل بالبحث مع زيادة درجة حرارة التلبيد.

4- تَميَّز السلوك التأكلي للقم القطع المُلبَّدة بدرجة حرارة مساوية لـ 1000 °C عن السلوك المكافئ الخاص بباقي اللقم من حيث تحقيقه لأطول عمر مفيد، حيث وصل عمر تلك اللقم لـ166.91 min، وبالمقابل وصل العمر المكافئ للقم المُلبَّدة بدرجة حرارة 600°C للقيمة 116.66 min.

- دراسات تأثير متغيرات عملية القطع على أعمار لقم القطع:

- عمل الباحث K.B. Ahsan وزملاؤه على بحث هدفه دراسة تأثير سرعة القطع على أعمار اللقم الكربيدية المستعملة بتشغيل الخليطة Ti-6Al-4V [21]. ولتحقيق ذلك الهدف، نُفِّذت عمليات القطع المطلوبة بمخرطة نوع Harrison M400، بوجود سائل تبريد مناسب، باستعمال لقم كربيدية مطلية وغير مطلية نموذج CNMG 120404-MF1. وضمن ذلك السياق قيمت أعمار اللقم المستعملة بمرجعية المِدّة التي حُقِّق خلالها القطع دون زيادة متوسط خشونة سطوح المشغولات عن القيمة 1.5µm [21]. وبنتيجة العمل بهذا البحث توصل الباحث للاستنتاجات التالية:
  - عند سرعات القطع المنخفضة تُظهِر لقم القطع الكربيدية غير المطلية عمراً أطول من اللقم المكافئة المطلية.
  - تآكل اللقم الكربيدية المطلية أقل من التآكل المكافئ باللقم غير المطلية، ولكن انهاءات السطوح الناتج عن القطع بلقم غير مطلية أفضل من الانهاءات المكافئة الناتجة عن القطع بلقم مطلية.
  - عند سرعات القطع التي تزيد عن 140 m/min يكون عمر اللقم الكربيدية المطلية أعلى بشكل ملحوظ من العمر المكافئ المحقق باللقم غير المطلية، على الرغم من أن كلا العمرين أقل من دقيقة واحدة.

- ينخفض عمر اللقم الكربيدية انخفاضاً حاداً للغاية مع زيادة سرعة القطع، لحالتي اللقم المطلية وغير المطلية.

- دراسات تطوير وتقييم نماذج أعمار لقم القطع:

- عمل الباحث D. Johansson وزملاؤه على بحث هدفه تحليل واختبار نماذج حياة أدوات القطع الأكثر استخداماً، ذلك أن التطبيقات البرمجية المطورة لصالح المعنيين بالتصنيع الميكانيكي تتيح إمكانية نمذجة المعطيات التجريبية لحياة أدوات القطع بمرجعية عدد من النماذج دون الإشارة لمدى صلاحية تلك النماذج [22]. وضمن ذلك السياق نُفِّذت عمليات الخراطة اللازمة للتحصيل التجريبي لمعطيات الحياة على سبعة أنواع من الخلائط المعدنية، باستعمال ثلاثة أصناف من اللقم الكربيدية المطلية، وقُيِّم الاهتراء بمرجعية المعيار Maximum flank wear = 0.3 mm، أما نماذج الحياة التي أُخضِعت للتقييم فيقدمها الجدول رقم (17.2). بنتيجة العمل بهذا البحث استخلص الباحث ما يلي[4]:

- نتائج نموذج تايلور الموسع، والمُعتَمِد بحساب ثوابته على متغيري معدل التغذية وعمق القطع، كانت أكثر دقة من النتائج المكافئة المأخوذة من نفس النموذج عندما حُسِبَت ثوابته بالاعتماد على متغير السماكة المكافئة للرايش.
- النماذج التي حُسِبَت ثوابتها بمرجعية متغير السماكة المكافئة للرايش كانت أكثر دقة من النماذج المكافئة التي حُسِبَت ثوابتها بمرجعية متغير وسطي سماكة الرايش.
- نموذج كولدينج هو الأكثر دقة ولديه أدنى خطأ في التنبؤ بالعمر.

[4] استنتجت قيم الثوابت وقيمة متوسط مربعات الأخطاء ε_{err} لكل نموذج من النماذج المبينة في الجدول (17.2) ب تنفيذ عملية إلباس لمعطيات الحياة المُحصَّلِة تجريبياً Curve fitting of the life data، حيث تعاملنا مع القيم المحسوبة للمتغير ε_{err} باعتبارها معيار لتقييم مدى صلاحية النموذج.

الجدول رقم (17.2): تفاصيل نماذج الحياة المستعملة بالبحث [22]

تسمية النموذج	متغيرات عملية القطع
تايلور الموسعExtended Taylor	معدل التغذية وعمق القطعFeed rate and depth of cut
تايلور الموسع Extended Taylor	السماكة المكافئة للرايش Equivalent chip thickness [5]
Coromant turning ver.1 كورومانت خراطة – الإصدار 1	معدل التغذيةFeed rate
كورومانت خراطة – الإصدار 1	وسطي سماكة الرايشMean chip thickness
كورومانت خراطة – الإصدار 1	السماكة المكافئة للرايش
كولدينجColding	السماكة المكافئة للرايش

- عمل الباحث P. Dabreo وزملاؤه على بحث هدفه التقييم التجريبي والحسابي لعمر لقمة كربيدية مطلية نموذج TNMG-160404MS عندما تستعمل في خراطة التخشين لمشغولات مُصنَّعة من خليطة الفولاذ المقاوم للصدأ SS316L [23]. ولتحقيق ذلك الهدف، نُفِّذت عمليات القطع المطلوبة على مخرطة مبرمجة نوع Super Jobber-1428 حيث تبين أن وسطي عمر اللقمة الواحدة مساوي للقيمة 35.55 minutes. وللمقارنة مع ما يمكن استنتاجه بمرجعية النمذجة الرياضية للعمر المستهدف لجأ الباحث للمعادلة رقم (1)، والتي تمثل نموذج تايلور مُحقَّق لحالة القطع قيد الدراسة [24]، حيث تبين أن العمر المستنتج للقمة المعنية مساوي لـ T=35 min ، وهذا يثبت إمكانية حساب أعمار اللقم الكربيدية المستعملة بعمليات الخراطة بدقة كافية إن توفر نموذج تايلور مثبت لعملية القطع المعنية.

$$120 . T^{0.4} = 500 \ldots (1)$$

- عمل الباحث KouroshTatara وزملاؤه على بحث هدفه دراسة تأثير سرعة وعمق القطع على أعمار لقم القطع الكربيدية المستعملة بتشغيل مقاطع مُلدَّنة، أبعاد مقطعها العرضي 170x170 mm وأطوالها 700

[5] السماكة المكافئة للرايش عبارة عن متغير قطع يأخذ بعين الحسبان بعض متغيرات التشغيل (معدل التغذية وعمق القطع) بالإضافة لبعض متغيرات أداة القطع (زاوية الجرف ونصف قطر الأنف).

mm، من خليطة التيتانيوم Ti−6Al−4V [25]. ولتحقيق ذلك الهدف، نُفِّذت عمليات القطع المطلوبة على فارزة عمودية نوع Hermle C40U، بوجود سائل تبريد مناسب، باستعمال لقم قطع كربيدية مطلية، حوافها القاطعة حادة وزاويا جرفها موجبة، نموذج 390R−070204E−ML. وضمن ذلك السياق، قيمت أعمار اللقم المستعملة بمرجعية المِدَّة التي حُقِّق بها القطع حتى الوصول لاهتراء جناح مساوي للقيمة 0.2 mm [25]. وبنتيجة العمل بهذا البحث اقترح الباحث المعادلة رقم (2) بوصفها نموذج حياة مُحقَّق لتجارب القطع المنفذة ضمن سياق البحث، حيث: v_c متغير مُعبِّر عن سرعة القطع، a_c متغير مُعبِّر عن عمق القطع.

$$\ln(T) = 25.9887 - 1.0001\ln(a_c) - 4.0076\ln(v_c) \qquad \ldots(2)$$

وبذلك، أوصت استنتاجات البحث بما يلي:

- تفضيل تمثيل بيانات الحياة المستنتجة من تجارب القطع خطياً بالفضاء اللوغاريتمي Linear relationship in logarithmic domain على تمثيلها بمعادلة كثير حدود من مرتبة عالية Higher order polynomial، وفقاً لما عُمِل بمرجعيته من قبل العديد من الباحثين.
- سرعة القطع لها تأثير أكبر بكثير على عمر الأداة من عمق القطع. تقريباً، زيادة مقدراها % 1 بعمق القطع تؤدي لانخفاض نسبته % 1 بعمر اللقمة، وبالمقابل زيادة مقدراها % 1 بسرعة القطع تؤدي لانخفاض نسبته % 4 بعمر اللقمة.

15.2 التجربة المحلية بمجال إنتاج اللقم الكربيدية:

ضمن سياق العمل على تخفيض التكاليف المترتبة على شراء لقم كربيدية لصالح بعض مؤسسات القطاع الصناعي السوري، عُمِلَ على إنتاج واختبار أعداد محدودة من نموذجين من اللقم المستخدمة على نطاق واسع [26]. وضمن ذلك السياق، حضرت كمية المسحوق اللازمة لذلك الإنتاج بعملية طحن لمزيج مكون من % 92 كربيد التنغستن و % 8 كوبالت، حيث نفذ ذلك بعد التأكد من مطابقة النسب أعلاه كماً ونوعاً عبر التحليل الكيميائي للمساحيق المستعملة. بعد ذلك، أضيفت المواد اللازمة لعملية كبس المضغوطات الرطبة من مزلقات ورابط بوليميري وفقاً للتطبيقات المعيارية لاستخدامها النهائي كلقم كربيدية. في البداية أنتج عدد من اللقم الأولية بواسطة قالب كبس

صمّم وصنّع لهذا الغرض. ولتحقيق أعلى تجانس ممكن بكثافة المضغوطات زُوِّدَ ذلك القالب بمكبس علوي وأخر سفلي. بعد ذلك جرّبت سلسلة من عمليات التلبيد ضمن أجواء مختلفة (نتروجين، أرغون، خلاء) ، تم التوصل الى أفضل النتائج من حيث الشكل والبنية وحالة السطح لنماذج اللقم المُصنَّعة في جو فرن التخلية وعند درجة حرارة مساوية لـ 1300 °C وضغط خلاء قيمته 0.005 bar. ولاستكمال عملية التلبيد بالطور السائل، نُقِلت اللقم قيد المعالجة إلى فرن كتيم حيث وضعت ضمن حاوية من الغرافيت مملوءة بمسحوق خامل من أكسيد المغنيسيوم، وضمن تلك البيئة عُمِل على متابعة عملية التلبيد لمدة 14 ساعة وحتى درجة حرارة 1475 °C. ولتحديد خواص اللقم المنتجة بالتسلسل أعلاه نفّذ ما يلي [26]:

a) دراسة بنيتها المجهرية مما مكّن من التعرف على البنية البلورية المُحقَّقة، بالإضافة لذلك تم اختيار بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية.

b) قياس أبعاد اللقم الملبدة وأوزانها وكثافتها وقساوتها وحساب نسب الانكماش الحجمية والفاقد الوزني لهذه اللقم بعد التلبيد ومقارنتها بمواصفات بنية اللقمة المرجعية والتأكد من صحة النتائج التي حصلنا عليها ومعرفة وتحديد القيم المثلى لمعاملات الكبس والتلبيد. وبهدف تصنيع نماذج من اللقم الكربيدية التي تلبي متطلبات الاستخدام المحلي قامت الحاجة لتحديد نموذج تلك اللقم. وضمن ذلك السياق، نُفِّذت عملية الإنتاج بمرجعية لقمة نموذج RNMG من إنتاج شركة Sandvik، حيث حقق ذلك بالتسلسل التالي:

a) تم قياس أبعاد اللقمة المرجعية ورسم مجسمها.

b) ولأخذ ظاهرة الانكماش الحاصلة أثناء التلبيد بالحسبان، عدل المجسم المرسوم للقمة المرجعية بقيمة معامل الانكماش المستنتج بمرحلة إنتاج اللقم الأولية.

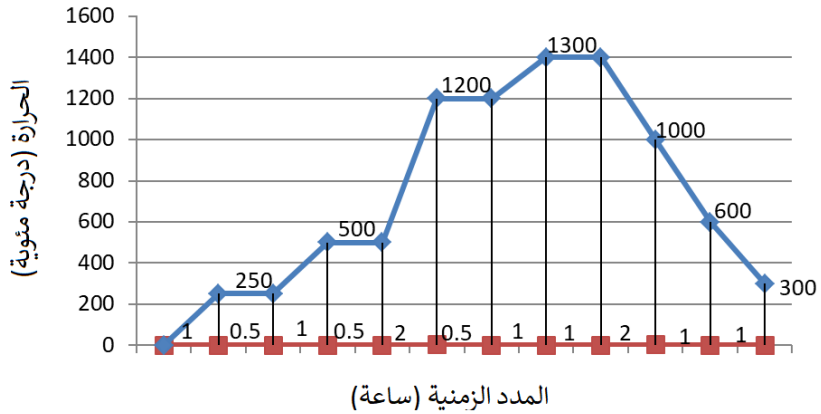
c) وبمرجعية ذلك المجسم، صمّم وصنّع القالب النهائي اللازم لكبس اللقمة بطريقة الكبس المحوري من جهتين.

d) حضّرت خلطة المسحوق المكونة من كربيد التنغستن والكوبالت والمضاف إليها الـ PVA كمادة رابطة والـ Zn Stearate كمادة تزليق، أخذين بعين الحسبان نسب المزج المشار إليها أعلاه.

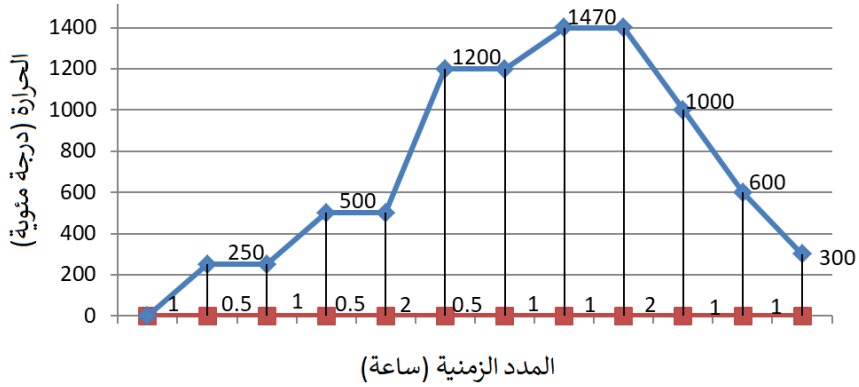
e) كبِست اللقم النهائية على مكبس استطاعة 50 ton، بضغط تراوحت قيمته بين 15 ton و 20 ton.

f) جفّفت اللقم لمدة 24 ساعة وتنفيذ عملية التلبيد وفق برنامج تلبيد مكون من المرحلتين التاليتين ومنفذ بمرجعية الدورات الحرارية المبينة بالشكلين (17.2) و (18.2):

- عند حرارة 1300 °C في فرن الخلاء لمدة 60 دقيقة عند قيم تخلية 0.5 Pa.
- عند حرارة 1475 °C لمدة 60 دقيقة ضمن حاوية غرافيتيه مملوءة بمسحوق أكسيد المغنيسيوم.



الشكل رقم (17.2): دورة المعالجة الخاصة بمرحلة التلبيد بفرن الفراغ [26]



الشكل رقم (18.2): دورة المعالجة الخاصة بمرحلة التلبيد بالفرن الكتيم ضمن حاوية غرافيت [26]

ولتقييم جدوى العمل بمرجعية الخطوات أعلاه، أجريت قياسات عدة واختبارات فيزيائية وميكانيكية على اللقم المنتجة، وبالنتيجة تم التوصل الى النتائج المدرجة في الجدول رقم (18.2)، والتي بالحسبان ذات دلالة عالية على النجاح بالإنتاج المحلي للقم قطع كربيديه جيدة الأداء، على الرغم من أن نتائج التجريب الفعلي لا يمكن أن تعتمد كدليل

لإثبات ذلك النجاح بسبب عدم لحظ المتطلبات المعيارية لتنفيذ اختبار تقدير العمر، وفقاً لما حددتها المواصفة الدولية ISO 3685.

الجدول رقم (18.2): نتائج الاختبارات المنفذة على اللقم المنتجة بعد أن تخضع لمعالجات التلبيد [26]

المواصفة المختبرة		رقم عينة اللقمة المختبرة						
		1	2	3	4	5	6	7
القطر الداخلي mm		6.28	6.25	6.3	6.35	6.33	6.32	6.25
القطر الخارجي mm		15.77	15.75	15.78	15.76	15.75	15.8	15.75
الارتفاع mm		6.43	6.45	6.45	6.55	6.25	6.45	6.5
الوزن g		14.82	14.77	14.8	14.89	14.5	14.79	14.75
الحجم cm^3		1.018	1.014	1.02	1.02	0.986	1.02	1.015
الكثافة الحقيقية g/cm^3		14.56	14.57	14.51	14.6	14.7	14.5	14.53
نسبة الانكماش الحجمي %		38.8	38.5	38.3	38.8	40	38.5	39.2
نسبة الانكماش الوزني %		3.3	3.3	3.26	3.6	4.9	3	3.9
الكثافة النظرية g/cm^3	$\rho = 1/(0.92/15.6+0.08/8.9) = 14.7$							
الكثافة النسبية %		99	99.1	98.7	98.6	100	99.3	98.8
القساوة	HRC	88	88.5	83.5	83	88.5	86	84
	HRA	70	71	64	63.5	71	69.5	65

16.2 الخاتمة:

اشتمل محتوى هذا الفصل على معلومات مرجعية عن آلية تَحقُّق عملية قطع المعدن، وعن لقم القطع المستعملة لتحقيق تلك العملية، من حيث أشكالها وأبعادها وتصانيفها المعيارية والمواد المستعملة بإنتاجها ومعالجات ذلك الانتاج. ولتحقيق الفائدة المرجوة من محتوى هذا الفصل لا بد من التركيز على النقاط التالية التي تلخص ما يمكن استنتاجه بذلك المحتوى:

1- المتغيرات التي تلعب دوراً ملحوظاً بالعمر المفيد للقمة قطع ما كثيرة من حيث العدد، ومتنوعة من حيث العائدية، ومتفاوتة من حيث الأهمية[6].

2- الأبحاث العلمية التي عُمِلَ عليها بهدف تحسين مردود عمليات قطع المعادن (وهذا يؤدي أعمار لقم القطع) كثيرة من حيث أعدادها وشاملة من حيث أهدافها، ذلك أن منها ما سعى لتحسين المردود بالضبط الامثل لقيم متغيرات القطع، ومنها ما سعى لرفع ذلك المردود بالبحث عن القيم الأمثلية لمتغيرات عملية الإنتاج، وأخيراً، منها ما أثبت إمكانية تحسين ذلك المردود بالعمل على هندسة اللقمة والمواد المُصنَّعة منها.

3- نتائج البحث العلمي الذي تحرى جدوى الإنتاج المحلي لحاجة القطر من لقم القطع الكربيدية أفاد بتحقق تلك الجدوى، بينما يُشكِّك العديد من المعنيون بالموضوع بنتائج ذلك البحث، بدعوى أن الاختبارات التي نفذت على نماذج اللقم التي أنتجت ضمن سياق ذلك البحث لم تنفذ بمرجعية مواصفة محلية أو عالمية معتمدة، بل نُفِّذت بمرجعية وضعها المعنيون بالبحث، وبذلك قامت الحاجة لطرح موضوع البحث الحالي الذي يهدف لحسم النقاشات القائمة بإعادة اختبار نماذج من اللقم المنتجة محلياً بمرجعية المواصفة الدولية ISO 3685.

[6] المتغيرات موضوع هذا الاستنتاج تشتمل على a) تلك التي تُوصِّف هندسة اللقمة، b) تلك التي تُوصِّف معالجات إنتاجها، c) تلك التي تُوصِّف سلوك المعدن الخاضع للتشغيل عندما يتعرض لقوى القطع، d) القيم المعطاة لمتغيرات عملية القطع، والتي تشتمل على سرعة وعمق القطع ومعدل التغذية.

الفصل الثالث

الفصل الثالث

الأعمال التمهيدية واختبارات القطع ونتائجها

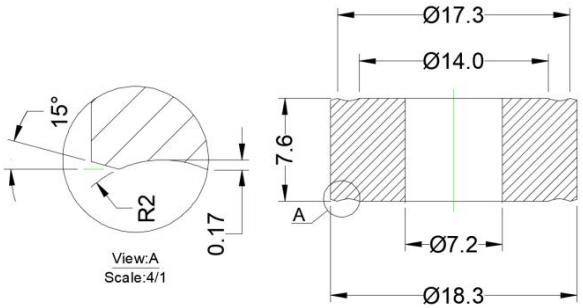
1.3 مقدمة:

قَدِّم الفصل السابق معظم المعلومات المرجعية التي قام عليها البحث، أما الفصل الحالي فيعرِّف بالتجهيزات والأدوات التي استخدمت، ويُقدِّم تفاصيل الأعمال التمهيدية التي عُمِلَ عليها، ويعرض تفاصيل أعمال القطع وأعمال الإلباس العددي التي نُفذَّت بهدف تحديد أعمار نماذج من لقم كربيدية منتجة محلياً ومن ثم ثوابت نموذج تايلور لتلك اللقم.

2.3 الأدوات والتجهيزات والمواد المستعملة بالبحث:

i. ثماني لقم قطع كربيديه غير مطلية مُصنَّعة محلياً، وفق النموذج والأبعاد المبينة في الشكلين رقم (1.3) ورقم (2.3)، ووفقاً لمعطيات الإنتاج المدرجة في الجدول رقم (1.3)، حسب ما أفادت به الجهة التي أنتجتها [26]. وحسب ما يؤكده محتوى الشكل رقم (2.3)، تلك اللقم مزدوجة الحدود القاطعة، أي أن لها حدود قاطعة بكل وجه من وجهيها العلوي والسفلي، وبحسب توصيفها المعياري فذلك النوع من اللقم يمتلك أربعة حدود قاطعة بكل وجه، ما يعني أن الإمكانية قائمة لتنفيذ ثمانية عمليات قطع حتى الانهيار باستعمال لقمة واحدة.

الشكل رقم (1.3): نموذج اللقم المستعملة بالبحث الحالي، أنتجت ضمن سياق العمل ببحث سابق [26]



الشكل رقم (2.3): الأبعاد الأسمية لنموذج اللقم المستعملة بالبحث الحالي، (الأبعاد بالـ mm)

ii. لقمة كربيديه مطلية، من إنتاج شركة Sandvik، نموذجها وأبعاده مطابقين لما هو مبين في الشكل رقم (2.3)، من المفترض أن يرقى أداء لقم القطع المنتجة محلياً لمستوى أداء هذه اللقمة، وفقاً لما سعت له الجهة التي عملت على الإنتاج المحلي للقم، وبذلك، يمكن التعامل مع نتائج اختبارات الحياة لهذه اللقمة باعتبارها مرجع مقارنة للإقرار بمدى تحقيق نماذج اللقم المنتجة محلياً لتطلعات الجهة التي أنتجتها.

iii. مخرطة مبرمجة نوع TC20 HS، مجهزة بترس ثلاثي الفكوك وبوحدة تغذية آلية، وتتمتع بالمواصفات الاسمية المدرجة في الجدول رقم (2.3).

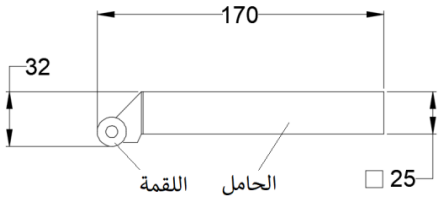
الجدول رقم (1.3): المعطيات التي صنعت اللقم المستعملة بالبحث بمرجعيتها [26]

متوسط قيمة القساوة	بيئة التلبيد	درجة حرارة التلبيد	ضغط الكبسلة	تركيب خليط المسحوق		
				Co	Ti + Fe + Si	WC
53.6 HRC	غاز أرغون	1475 °C	545 MPa	8%	1%	91%

الجدول رقم (2.3): المواصفات الاسمية الأساسية للمخرطة المستعملة بالبحث الحالي

التسلس	المواصفة	القيمة
1	Swing over bed	420 mm
2	Swing over cross	240 mm
3	Distance between centers	520 mm
4	Spindle bore	66 mm
5	Bar capacity	51 mm
6	Spindle speed range	25–4500 rpm
7	Spindle motor	15 kw
8	Cross travel (x–axis)	200 mm
9	Longitudinal travel (z–axis)	400 mm
10	Tailstock traverse	350 mm
11	Tailstock quill traverse	60 mm
12	Tailstock quill diameter	60 mm

iv. حامل أداة فولاذي خاص باللقم الدائرية (قلم خراطة) نوع Prgnr، أبعاده تحقق المتطلبات البعدية المدرجة بالجدول رقم (13.2)، وفقاً لما يؤكده محتوى الشكل رقم (3.3).



الشكل رقم (3.3): التفاصيل الشكلية والبعدية لحامل الأداة المستعمل بالبحث الحالي (الأبعاد بالـ mm)

v. جهاز قياس أبعاد مكرومتري نموذج TESA Micro-hite 600، لقياس أبعاد لقم القطع المستعملة بالبحث من جهة، ولتنفيذ القياسات اللازمة للإقرار بانتهاء أعمار تلك اللقم من جهة أخرى. ووفقاً لما هو مبين في الشكل رقم (4.3)، الجهاز مزود بشاشة رقمية، ومتوضع فوق طاولة قياس رخامية عالية الاستوائية، ومجهز بوسادة هوائية تسمح بانزلاقه دون مقاومة تذكر فوق تلك الطاولة.

الشكل رقم (4.3): صورة فوتوغرافية لجهاز القياس المكرومتري المستعمل بالبحث الحالي

vi. جهاز قياس قساوة عام طراز HBRV-187.5، مجهز بما يلزم لتحديد قساوة كافة أنواع الخلائط المعدنية بما في ذلك الخلائط المقساة، ويتضمن الشكل رقم (5.3) على صورة لذلك الجهاز، أما الجدول رقم (3.3) فيتضمن على مواصفاته العامة.

الشكل رقم (5.3): صورة فوتوغرافية للجهاز المستخدم بقياس القساوة ضمن البحث الحالي

الجدول رقم (3.3): المواصفات العامة لجهاز قياس القساوة المستعمل بالبحث الحالي

التسلس	المواصفة		القيمة
1	الأحمال المُمكِن تطبيقها، وفقاً لسلم القياس	برنيل	31.25 و62.5 و 187.5
		روكويل	60 و 100 و 150 Kgf
		فيكرز	30 و 100 Kgf
2	أقطار الكرات الفولاذية (mm)		1.5 و 2.5 و 5
3	المخروط الألماسي نصف قطر رأسه 0.2 mm وزاويته ´30±°120		
4	زاوية رأس الهرم الرباعي الألماسي		´30±°136
5	الارتفاع الأعظمي للعينة		200 mm
6	العمق الأعظمي للعينة		160 mm

vii. جهاز قياس قساوة ميكروية طراز HMV–2000، لتنفيذ عمليات القياس اللازمة لتحديد قساوة طبقات الطلاء المرسبة على نماذج اللقم التي ستخضع لعمليات طلاء بالترسيب الفيزيائي للبخار، (تحت أحمال خفيفة جداً لضمان الحصول على قساوة تلك الأغشية حكماً)، ويقدم الشكل رقم (6.3) التفاصيل الشكلية لهذا الجهاز، أما مواصفاته العامة فهي كالتالي:

- مجال القياس من 100 وحتى 1200HV، عند أحمال من 5 وحتى 2000g.
- نظام التحكم الخاص بالجهاز قادر على الاختيار الآلي لقيم متغيرات عملية التحميل.
- نظام التحكم الخاص بالجهاز يعالج نتائج القياس معالجةً آليةً ويحسب ويعرض قيمة القساوة المقاسة دون أي مداخلة من المستثمر.

- الجهاز مزود بشاشة رقمية وبنظام تكبير بصري 50x.
- الجهاز مزود بمدورات مكرومترية مرتبطة مع طاولة الجهاز، بما يسمح بالتحريك الدقيق للعينة، للتحديد الدقيق لموقع تنفيذ القياس من جهة، ولقياس أبعاد الطبعة الناتجة عن التحميل بدقة متناهية.

الشكل رقم (6.3): التفاصيل الشكلية لجهاز قياس القساوة الميكروية

viii. جهاز ترسيب فيزيائي للبخار، روسي الصنع، نموذج Polly cool–BAK760، لتنفيذ عملية طلاء سطحي لعدد من اللقم المُنتجِة محلياً، تمهيداً لتقييم تأثير عملية الطلاء على العمر الاستثماري لتلك اللقم. ووفقاً لوثائق الشركة المصنعة، وحسب ما يوضحه محتوى الشكل رقم (7.3)، يتضمن الجهاز على مدفعي تبخير إلكتروني، ويتكون من حجرة تبخير ونظام تخلية ونظام قياس ضغط ونظام قياس سماكة ضوئي ونظام تنظيف أيوني، وهو مجهز بمدخلي غازات وبمُحلِّل طيفي كتلي وببوتقة تسخين للمادة التي ستخضع للتبخير.

ووفقاً لنفس الوثائق، الجهاز قادر على تبخير طيف واسع من الخلائط المعدنية والسيراميكية وغيرها مما يلزم تبخيره لتعديل و/أو تحسين سلوك منتج ما. ولإتاحة إمكانية التحكم الدقيق زوِّد الجهاز بنظام تحكم محوسب، بما يسمح بالضبط الدقيق لدرجة حرارة حجرة التبخير وللضغط داخل تلك الحجرة ولمعدلات التبخير وتدفق الغازات ولغيرها من المتغيرات المعنية. ولإتاحة إمكانية الطلاء لطيف واسع ولكمية كبيرة من المنتجات من جهة، ولتحقيق تجانس عالي بسماكة طبقات الطلاء المُحقَّقة من جهة ثانية، الجهاز مُزوَّد بحامل قابل للدوران حول المحور العامودي لحجرة التبخير، وفقاً لما يبينه الشكل رقم (8.3).

الشكل رقم (7.3): صورة فوتوغرافية للجهاز المستخدم بطلاء اللقم موضوع البحث الحالي

الشكل رقم (8.3): صورة توضيحية لتوضع حامل المنتجات الدوار ضمن حجرة التبخير

ix. جهاز تحليل طيفي طراز SpectroMax-m metal analyzer، للتأكد من صحة التركيب الكيميائي لخليطة المعدن التي ستخضع لعمليات القطع اللازمة للبحث.

x. جهاز مقارن مكرومتري نموذج ZKM01-250D من إنتاج شركة CARL ZEISS، مجهز بنظام اسقاط بصري مُكبَّر ما يسمح بتنفيذ قياسات دقيقة جداً للأبعاد الطولية وللزوايا ولغيرها من السمات الشكلية.

الشكل رقم (9.3): صورة لجهاز المقارن البصري المستعمل بالبحث

xi. محاور مصمتة (مشغولات) متطابقة الأبعاد من مادة الفولاذ الكربوني CK45، أقطارها مساوية لـ 25mm وأطوالها مساوية لـ 200mm، لإخضاعها لعمليات القطع اللازمة لتقييم أعمار اللقم محلية الصنع.

xii. محدد قياس خشونة معياري وفق النموذج المبين في الشكل رقم (10.3).

الشكل رقم (10.3): بيان لنموذج محدد قياس الخشونة المستعمل بالبحث الحالي

3.3 الأعمال التمهيدية:

وفقاً لما ذكر في الفقرة رقم (13.2)، فإن تحقيق إمكانية مقارنة نتائج النمذجة الرياضية لحياة أداة القطع موضوع هذا البحث مع غيرها من النتائج المكافئة التي توفرها المراجع المختصة تستلزم التقيد التام بما توصي به المواصفة الدولية ISO 3685، وبذلك قامت الحاجة لتنفيذ الأعمال التمهيدية التالية:

1.3.3 قياس أبعاد اللقم المُخصَّصة للبحث:

مع الحسبان أن العمل الحالي يهدف لتحديد أعمار نماذج اللقم الكربيدية التي خُصِّصت للبحث فقد قامت الحاجة للتأكد من المطابقة والتكرارية البعدية لتلك اللقم، بمرجعية الأبعاد المعيارية التي يقدمها الشكل رقم (2.3). ولتحقيق ذلك عُمِل على قياس الأبعاد الأساسية لتلك اللقم، باستعمال جهاز القياس المبين في الشكل رقم (4.3)، والمقارن البصري المبين في الشكل رقم (9.3)، ويقدم الجدول رقم (4.3) النتائج المُقاسة. بمقارنة النتائج المتكافئة المدرجة بذلك الجدول مع بعضها البعض من جهة ومع القيم الأسمية المكافئة من جهة أخرى يمكن القول بأن القيم المقاسة لأبعاد اللقم المنتجة محلياً بعيدة جداً عن القيم الأسمية المكافئة، وبأن التشتت القائم بقيم الأبعاد المتكافئة الخاصة باللقم المنتجة محلياً كبير جداً، ما يشير لعدم قدرة التجهيزات المستعملة بإنتاج اللقم (الميزان، مطحنة المسحوق، الخلاط، قالب التشكيل، مكبس الكبسلة، فرن التلبيد) على تحقيق المطابقة البعدية والتكرارية المستهدفة بالأبعاد المتكافئة، وهذا ما يؤكد على ضرورة وجود مرحلة تجليخ تالية لمرحلة التلبيد، تضبط بها أبعاد اللقم المُلبَّدة وصولاً للقيم وللتكرارية البعدية المستهدفة، وهذا مالم يلحظ بالإجراء المتبع بإنتاج اللقم المحلية المستعملة. أما فيما يتعلق بالأبعاد المقاسة للقمة Sandvik فتؤكد معطيات الجدول رقم (4.3) على مطابقة تلك الأبعاد للأبعاد الأسمية التي يقدمها الشكل رقم (3.2).

الجدول رقم (4.3): الأبعاد الأساسية المُقاسة للقم المستعملة بالبحث الحالي

رقم اللقمة		اللقم المُصنَّعة محلياً							لقمة Sandvik
		1	2	3	4	5	الوسطي	الانحراف	
القطر الداخلي (mm)		6.21	6.42	6.50	6.33	6.35	6.36	0.0966	7.20
القطر الخارجي (mm)		15.61	16.12	16.53	15.76	16.01	16.0	0.317	18.30
الارتفاع (mm)		7.11	6.72	6.90	6.52	7.10	6.87	0.226	7.60
أقطار كاسر الرايش (mm)	خارجي	15.10	15.21	15.52	15.21	15.20	15.24	0.142	17.30
	داخلي	13.01	13.51	13.72	13.13	13.40	13.35	0.256	14.00
عمق كاسر الرايش		0.45	0.44	0.45	0.45	0.45	0.448	0.004	0.17
زاوية الجرف، بالدرجات		37.1	36.5	40.0	36.2	35.1	36.98	1.64	15.0

2.3.3 اختيار مادة المشغولات والتأكد من تحقيقها لمتطلبات المواصفة الدولية ISO 3685:

ضمن سياق السعي لتلبية المتطلبات المعيارية الخاصة بمادة المشغولات التي ستخضع للتشغيل عُمِلَ على ما يلي:

i. الأخذ بالحسبان الخليطة CK45 كمادة للمشغولات التي ستخضع لأعمال القطع اللازمة لتقييم أعمار اللقم، وهو ما يتوافق مع ما توصي به المواصفة الدولية ISO 3685، وفقاً لما ذُكِر في الفقرة (13.2).

ii. تأمين كمية كافية من المحاور المُصنَّعة من الخليطة CK45، أقطارها وأطوالها مساوية لـ 25mm و 200mm بالتتالي، وهو ما يُحقِّق قيمة مساوية لـ 8 لنسبة الطول إلى القطر، علماً بأن المواصفة الدولية ISO 3685 توصي بألا تزيد تلك القيمة عن 10، وفقاً لما ذكر في الفقرة رقم (13.2).

iii. تنفيذ عملية تحليل طيفي لخليطة المحاور، للتأكد من مطابقة تركيبها الكيميائي، ويبين الجدول رقم (5.3) النسب المقاسة ومكافأتها المعيارية للعناصر الكيميائية المُكوِّنة لخليطة المشغولات، والتي تؤكد المطابقة، وفقاً لما توصي به المواصفة الدولية ISO 3685.

الجدول رقم (5.3): النسب المئوية الكتلية للعناصر الداخلة بتركيب مادة المشغولات (%)

العنصر	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	Mo	Fe
المعيارية[7]	0.42 to 0.5	≤0.25	≤0.3	0.5 to 0.8	≤0.4	≤0.035	≤0.03	≤0.02	الباقي
المُقاسِة	0.458	0.15	0.15	0.61	0.277	0.0065	0.005	0.019	الباقي

iv. قياس القساوة بالمقطع العرضي لاثنين من محاور الخليطة التي ستخضع لأعمال القطع، للتأكد من تحقيقهما لمتطلبات القساوة الموصى بها بالمواصفة ISO 3685، ويبين الجدول رقم (6.3) كلاً من النتائج المُقاسِة بعشرة مواقع مختلفة ضمن المقطعين العرضيين المعنيين، بالإضافة للمتوسط الحسابي لقيم القساوات المقاسة. بمقارنة القيم المقاسة مع بعضها البعض من جهة وبمقارنة متوسط القيم المقاسة مع القيمة المرجعية المكافئة والمساوية لـ HRB 86 يتبين أن المحاور التي ستخضع للتشغيل تحقق متطلبات المواصفة الدولية ISO 3685 من حيث متوسط قيم قساوتها ومن حيث عدم زيادة الانحرافات بقيم القساوة المقاسة عن ±5 %.

v. تصنيف قضبان المواد الأولية المخصصة للاختبار لستة مجموعات، كلاً منها مخصص للاختبار بتراكيب متغيرات قطع محددة، وبما يلبي خطة الاختبار المدرجة بالفقرة (5.3.3).

الجدول رقم (6.3): قيم القساوة المقاسة ضمن سياق العمل بالبحث الحالي، بواحدة الـ (HRB) [8]

موقع القياس ضمن المقطع العرضي		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	متوسط قيم القساوات المُقاسة
القساوات المقاسة	عينة 1	89	91	90	90	92	89	91	92	90	90	90.7
	عينة 2	92	90	93	90	92	90	91	90	92	91	

[7] حسب المواصفة الألمانية DIN 17350.

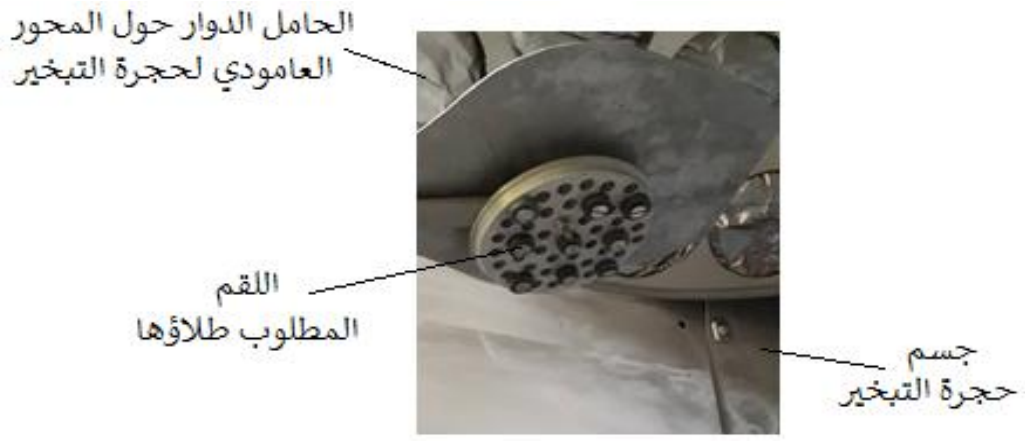
[8] نفذت أعمال قياس القساوة باستخدام رأس مخروطي ماسي زاوية رأسه 120 درجة، وبحمل مطبق قيمته 100 Kgf.

3.3.3 تنفيذ عملية طلاء بالترسيب الفيزيائي للبخار:

وفقاً لما ذكر في الفصل الأول، أحد الأهداف المعتمدة للعمل الحالي يتمثل بتقييم تأثير عملية الطلاء بالترسيب الفيزيائي على حياة نماذج لقم القطع المصنعة محلياً، من هنا قامت الحاجة لتنفيذ عملية الطلاء على أربعة من لقم القطع الثمانية التي استعملت بالبحث. وضمن ذلك السياق نُفِّذت عملية الطلاء باستعمال الجهاز الروسي Polly Cool–BAK76، وذلك بإتباع الخطوات التالية:

1- تنظيف اللقم المراد طلاؤها تنظيفاً جيداً بتعريضها لحمام كحول ومن ثم لأمواج فوق صوتية لمدة 20 دقيقة.

2- تثبيت اللقم على الحامل الملحق بجهاز الطلاء، بالتوضُّع المبين في الشكل رقم (11.3).



الشكل (11.3): بيان لموقع تثبيت اللقم ضمن حجرة التبخير

3- وضع المادة التي ستخضع للتبخير (أولاً، أوكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ومن ثم ثاني أوكسيد التيتانيوم TiO_2) ضمن بوتقة جهاز الطلاء.

4- ضبط متغيرات جهاز الطلاء على القيم المدرجة في الجدول رقم (6.3)، أخذين بالحسبان أن اعتماد تلك القيم بناءً على رأي المختصين المعنيين من جهة أولى، وعلى ما توفر من المواد المخصصة للتبخير من جهة ثانية، وعلى ما توصي به بعض المراجع المختصة من جهة أخيرة [27].

الجدول رقم (7.3): قيم المتغيرات الخاصة بعمليات الطلاء السطحي لنماذج اللقمة المستعملة بالبحث

المتغيرات	معدل الترسيب (Nano/sec)	درجة الحرارة (° C)		الضغط ضمن الحجرة (m bar)	جو الحجرة	سماكة الطبقة المطلوب طلاؤها
		ضمن الحجرة	ضمن البوتقة			
بمرحلة طلاء أوكسيد الألمنيوم	2.8	200	450	$(1 \text{ to } 2)x10^{-5}$	لا يوجد	1 µm
بمرحلة طلاء أوكسيد التيتانيوم	1.6	200	450	$(1 \text{ to } 2)x10^{-4}$	غاز O_2 [9]	2 µm

5- تنفيذ عمليات الطلاء بإتباع التسلسل التالي لمجموعة اللقم المطلوب طلاؤها:

i. تشغيل مضخة التخلخل لسحب الهواء من حجرة التبخير، وصولاً للقيمة المستهدفة لضغط التخلخل.

ii. تعبئة جو حجرة التبخير بالغاز، لمرحلة الطلاء بثاني أكسيد التيتانيوم، وفقاً لمعطيات الجدول رقم (7.3).

iii. تشغيل السخان الكهربائي الخاص بحجرة التبخير، لرفع درجة حرارة تلك الحجرة إلى القيمة 200 ºC، وفقاً لمعطيات الجدول رقم (7.3).

iv. تشغيل السخان الكهربائي الخاص بالبوتقة، لرفع درجة حرارة المادة التي ستخضع للتبخير، والتي سبق أن وضعت ببوتقة الصهر، حتى القيمة المعتمدة، وفقاً لمعطيات الجدول رقم (7.3).

v. تبخير مادة الطلاء بتعريضها لطاقة المدفع الإلكتروني التي تحولها لجزيئات متأينة تتحرك بسرعة عالية جداً ضمن جو الحجرة، حيث تترسب على سطوح اللقم بسماكة تتناسب مع كثافتها ومع زمن التعريض.

vi. التأكد من سماكة طبقات الطلاء المنجزة، باستعمال مقياس السماكة الضوئي.

vii. إخراج اللقمة من حجرة التبخير وحفظها بكيس نايلون مُفرغ من الهواء لحين استعمالها بعمليات القطع اللازمة لتقييم عمرها الاستثماري.

[9] أضيف غاز الأوكسجين بهدف ضمان الطلاء بثاني أوكسيد التيتانيوم TiO_2 وليس بأول أوكسيد التيتانيوم TiO.

4.3.3 قياس قساوة طبقات الطلاء المنجزة:

حيث إن الهدف الرئيسي من عمليات الطلاء المنفذة على نماذج اللقم المُصنعة محلياً يتمثل بزيادة قساوتها السطحية قامت الحاجة للتأكد من تحقُّق ذلك الهدف بقياس القساوة السطحية للقم المعنية قبل وبعد إخضاعها لعميات الطلاء. وضمن ذلك السياق، نفذت قياسات القساوة المستهدفة باستعمال الجهاز المبين في الشكل رقم (6.3)، ويُقدِّم الجدول رقم (8.3) النتائج المُحصلة، والتي تؤكد على ما يلي إن قورنت ببعضها البعض من جهة وبالقيم المرجعية من جهة أخرى:

i. المتوسط الحسابي لقيم القساوة المقاسة للقم غير المطلية المنتجة محلياً مساوي لـ HRA 86.92، ما يؤكد على انخفاض القساوة المحققة بالمقارنة مع القيمة المكافئة التي توردها المراجع المختصة 90.80 HRA.

ii. إخضاع اللقم المنتجة محلياً لعملية طلاء بالترسيب الفيزيائي للبخار رفع قساوتها السطحية بنسبة وهو أمر إيجابي، علماً بأن إمكانية زيادة تلك النسبة قائمة إن عُمِل على امثله متغيرات عملية الطلاء.

iii. القساوة السطحية للقمة SANDVIK أعلى بنسبة تصل لحوالي 20% من القساوة المكافئة الخاصة باللقم المنتجة والمطلية محلياً.

الجدول رقم (8.3): القيم المقاسة لقساوة بعض اللقم المخصصة للبحث الحالي

رقم اللقمة		1	2	3	4	5	المتوسط الحسابي
القساوة المقاسة للقم غير المطلية	HRA	88	88.6	83.5	86	88.5	86.92
	HRC	70	71	64	69.5	71	69.1
	HV30	1076	1160	800	1040	1160	1047.2
القساوة المقاسة للقم المطلية	HV	1764	1765	1771	1810	1743	1770.6
القساوة المقاسة للقمة	HV	2060		2070			2065

5.3.3 وضع وتنفيذ خطة أعمال القطع:

وفقاً لما ذكر في الفقرة رقم (13.2)، فإن تنفيذ عمليات القطع اللازمة للبحث الحالي يستلزم العمل بمرجعية خطة تأخذ بعين الحسبان القيم الموصى بها لمتغيرات القطع، أي القيم المدرجة في الجدول رقم (15.2). وضمن ذلك السياق، نفّذت عمليات القطع اللازمة للبحث بمرجعية خطة تلحظ تأثير متغيرات سرعة وعمق القطع بالإضافة لمعدل التغذية على حياة اللقم، ذلك أن نمذجة الحياة بمرجعية تايلور تستلزم ذلك، وفقاً لما يؤكده محتوى الفقرة رقم (1.12.2). وبناءً عليه، نفذت أعمال القطع بمرجعية الخطة التالي:

i. ضبط متغير سرعة القطع على القيمة 44.7 m/min، وتكرار الخطوات التالية بعد ضبط ذلك المتغير على سرعات قطع مساوية لـ 54.1 m/min و 65.1 m/min، بالتتابع[10].

ii. ضبط متغيري عمق القطع ومعدل التغذية على أحد التراكيب الموصى بها في المواصفة الدولية ISO 3685، أي على أحد التراكيب المدرجة في الجدول رقم (15.2).

iii. تثبيت أحد المشغولات المتاحة على ترس المخرطة وتركيب أحد اللقم المُخصَّصة للبحث على قلم الخراطة المعني، وضبط ارتفاع ذلك القلم حيث يقع حد اللقمة الذي سينفذ عمليات القطع بالقرب من المستوي الأفقي الذي يمر من مركز المشغولة، وعلى التوازي ضبط اتجاه ذلك القلم حيث يتوضع أحد الحدود القاطعة للقمة المركبة عليه تركيباً عامودياً على سطح المشغولة.

iv. المباشرة بتنفيذ باصات قطع متكررة، وعلى التوازي تنفيذ قياسات دورية لقيم الاهتراء الحاصل بكل من عرض القطاع B بالإضافة لمتوسط عرض الاهتراء بذلك القطاع، بمعدل مرة واحدة لكل خمسة باصات قطع، وفقاً لما يوصي به المرجع [28]، والاستمرار بتكرار ذلك حتى وصول قيم الاهتراء المقاسة، بتكبير x10 وفقاً لما توصي به المواصفة المعنية، لأحد القيم الحدية المدرجة في الجدول رقم (16.2)، علماً بأن القيمة الحدية التي استعملت كمعيار لتقييم نهاية العمر بالبحث الحالي هي عمق حفرة القطع KT.

[10] نفذت عمليات القطع عند سرعات دوران ترس مساوية للقيم 570 RPM و 690 RPM و 830 RPM، أي بزيادة نسبتها حوالي 21% بين كل قيمتين متتاليتين، وبمرجعية تلك السرعات حُسبَت قيم سرعات القطع، وهذا ما توصي به المواصفة ISO 3685.

v. توثيق النتيجة المستخلصة من زمن الاستثمار الفعلي حتى انتهاء عمر الحد القاطع المعني، مقاس بالدقائق.

vi. إعادة ضبط متغيري معدل التغذية وعمق القطع على تركيبة جديدة من التراكيب الموصى بها في المواصفة الدولية ISO 3685، وتغيير اتجاه اللقمة بالنسبة للحامل حيث تنفذ عمليات القطع اللاحقة باستعمال حد قاطع لم يسبق أن استعمل، وبعد ذلك يعمل على تكرار البندين iv و v أعلاه.

vii. تكرار البند vi أعلاه حتى تغطية كافة تراكيب القطع الموصى بها بالمواصفة الدولية ISO 3685.

viii. تكرار كل ما ورد أعلاه أربع مرات، والتعامل مع المتوسطات الحسابية لنتائج أعمال القطع المتطابقة بكل تفاصيلها باعتبارها صالحة احصائياً.

ix. تنفيذ عمليات قطع وفق التسلسل أعلاه باستعمال لقمة SANDVIK.

6.3.3 تحديد عدد اللقم اللازمة للبحث:

بما إن اللقم الكربيدية موضوع البحث الحالي تمتلك حدود قاطعة من كلا وجهيها، وبما إنها تملك أربعة حدود قاطعة بكل وجه، فالإمكانية قائمة لتنفيذ ثماني مجموعات من أعمال القطع بكل لقمة. وحيث إن تنفيذ الخطة المفصلة في الفقرة رقم (4.3.3) يستلزم الأخذ بالحسبان متغيرات القطع كافة التي يجب لحظها، وفقاً لمعطيات الجدول رقم (15.2).

7.3.3 تحديد خشونة أسطح المشغولات:

حيث أن العديد من المراجع العلمية تؤكد على الدور المهم لأداة القطع من حيث قدرتها على إعطاء سطوح تشغيل عالية النعومة، وحيث أن المواصفة الدولية التي اعتُمِدت كمرجعية لتنفيذ أعمال القطع الخاصة بالبحث الحالي تؤكد على ذلك الدور وتتعامل مع جودة السطوح المستخلصة باعتبارها أحد المعايير المستعملة بتقييم انهيار الأداة قامت الحاجة لتقييم جودة أسطح المشغولات الخاضعة للتشغيل ضمن سياق البحث الحالي حيث قُيّمت تلك الجودة بمرجعية المحدد المبين بالشكل رقم (10.3) الذي يكمّم تلك الجودة بمرجعية المواصفة ISO 1302 .

4.3 نتائج أعمال القطع:

وفقاً لما ذكر في الفقرة رقم (5.3.3) تم تنفيذ اختبارات القطع اللازمة للحصول على أعمار لقم القطع المنتجة محلياً كتابع لمتغيرات القطع بما يتوافق مع ما أوصت به المواصفة الدولية ISO 3685، أخذين بعين الاعتبار عدم لحظ تراكيب القطع المدرجة في الجدول رقم (9.3) ذلك أن:

- نتائج الاختبارات الأولية التي نفذت بتلك التراكيب لم تكن مرضية من ناحية حصول اهتراء سريع جداً بالحدود القاطعة بالعديد من الحالات وتكسر فوري بتلك الحدود بباقي الحالات.
- عمق القطع الذي توصي به شركة ساندفيك التي تنتج لقم معيارية مطابقة من حيث أشكالها وموادها للقم الجاري اختبارها مساوي للقيمة 1.5mm، ما يعني أن أداء ذلك النوع من اللقم لن يرقى الى المستوى المطلوب عند الاختبار بالتراكيب التي لم تلحظ بالبحث الحالي،

الجدول رقم (9.3): تراكيب القطع التي لم تلحظ باختبارات البحث الحالي

عمق القطع (mm)	معدلات التغذية (mm/rev)
1	0.1 و 0.63
1.5	0.1 و 0.63
2.5	0.1 و 0.25 و0.4 و 0.63

وفيما يلي النتائج المستخلصة:

1.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الأولى:

يعطي الجدول رقم (10.3) نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الأولى، أي مجموعات المشغولات المختبرة المكونة من 12 محور عند سرعات قطع متعددة وعمق قطع مستوي لـ 1mm ومعدل تغذية مساوي لـ 0.25mm/rev.

الجدول رقم (10.3): نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الأولى

سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	عمر الحد القاطع (min)					
			رقم المحور المختبر				المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
			1	2	3	4		
44.7	0.25	1	2.6	2.7	2.5	2.2	2.5	0.15
54.1			1.7	2	1.6	2	1.8	0.16
65.1			1.5	1.6	1.2	1.1	1.4	0.2

2.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثانية:

يعطي الجدول رقم (11.3) نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثانية، أي مجموعات المشغولات المختبرة المكونة من 12 عينة اسطوانية عند سرعات قطع متعددة وعمق قطع مساوي لـ 1mm ومعدل تغذية مساوي لـ 0.4mm/rev.

الجدول رقم (11.3): نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثانية

سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	عمر الحد القاطع (min)					
			رقم المحور المختبر				المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
			1	2	3	4		
44.7	0.4	1	1	1	0.9	0.8	0.9	0.11
54.1			0.5	0.4	0.3	0.2	0.3	0.13
65.1			0.06	0.1	0.08	0.1	0.08	0.01

3.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثالثة:

يعطي الجدول رقم (12.3) نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثالثة، أي مجموعات المشغولات المختبرة المكونة من 12 عينة عند سرعات قطع متعددة وعمق قطع مساوي لـ 1.5mm ومعدل تغذية مساوي لـ 0.25mm/rev.

الجدول رقم (12.3): نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الثالثة

سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	عمر الحد القاطع (min)					
			رقم المحور المختبر				المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
			1	2	3	4		
44.7	0.25	1.5	15	14.7	14.2	14.2	14.7	0.3
54.1			10.2	10.5	9.5	9.1	9.9	0.6
65.1			4.8	4.9	4.2	4.5	4.6	0.3

4.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الرابعة:

يعطي الجدول رقم (13.3) نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الرابعة، أي مجموعات المشغولات المختبرة المكونة من 12 محور عند سرعات قطع متعددة وعمق قطع مساوي لـ 1.5mm ومعدل تغذية مساوي لـ 0.4mm/rev.

الجدول رقم (13.3): نتائج أعمال القطع بلقم غير مطلية لمجموعة المشغولات الرابعة

سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	عمر الحد القاطع (min)					
			رقم المحور المختبر				المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
			1	2	3	4		
44.7	0.4	1.5	5.6	5.3	5.8	5	5.4	0.3
54.1			1.8	2	2.6	2	2.1	0.3
65.1			1	0.6	0.8	0.9	0.8	0.1

5.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات الخامسة:

يعطي الجدول رقم (14.3) نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات الخامسة، أي مجموعات المشغولات المختبرة المكونة من 12 محور عند سرعات قطع متعددة وعمق قطع مساوي لـ 1.5mmومعدل تغذية مساوي لـ 0.25mm.

الجدول رقم (14.3): نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات الخامسة

سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	عمر الحد القاطع (min)					
			رقم المحور المختبر				المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
			1	2	3	4		
44.7	0.25	1.5	17.9	18	17.6	17.6	17.8	0.2
54.1			12.7	12	13	12.9	12.6	0.3
65.1			7	6.9	6.4	7.3	6.9	0.3

6.4.3 نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات السادسة:

يعطي الجدول رقم (15.3) نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات السادسة، أي مجموعات المشغولات المختبرة المكونة من 12 محور عند سرعات قطع متعددة وعمق قطع مساوي لـ 1.5mmومعدل تغذية مساوي لـ 0.4mm/rev.

الجدول رقم (15.3): نتائج أعمال القطع بلقم مطلية لمجموعة المشغولات السادسة

سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	عمر الحد القاطع (min)					
			رقم المحور المختبر				المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
			1	2	3	4		
44.7	0.4	1.5	9	9.3	9.4	10.9	9.5	0.14
54.1			6.2	6	6.3	6.5	6.3	0.16
65.1			2.3	2.9	3	3	2.8	0.17

7.4.3 نتائج أعمال القطع بلقمة SANDVIK:

يعطي الجدول رقم (16.3) نتائج أعمال القطع بلقمة SANDVIK لمجموعة مشغولات اضافية، عند سرعات قطع متعددة وعمق قطع مساوي لـ 1.5mmومعدل تغذية مساوي لـ0.4mm/rev .

الجدول رقم (16.3): نتائج أعمال القطع بلقمة SANDVIK:

سرعة القطع (m/min)	معدل التغذية (mm/rev)	عمق القطع (mm)	عمر الحد القاطع (min)
44.7	0.4	1.5	لم يسجل أي اهتراء ملحوظ بالحدود القاطعة المستعملة بعد ساعتين من التشغيل المستمر على حد قاطع واحد حيث أوقفت اعمال القطع بعد ذلك نظراً للتكاليف الكبيرة جداً التي ستترتب على متابعة أعمال القطع حتى حصول الانهيار، وبذلك تم تأمين المعطيات اللازمة لمقارنة أداء اللقم المصنعة محلياً مع أداء لقمة مصنعة من قبل شركة متخصصة بإنتاج اللقم.
54.1			
65.1			

5.3 ألية انهيار اللقم المختبرة:

من خلال الفحص بالعين المجردة لبعض حدود القطع التي انتهت أعمارها والتي يبينها الشكل رقم (12.3)، ومن خلال مقارنة التفاصيل الخاصة بتلك الحدود مع التفاصيل المكافئة الخاصة بأنماط الانهيار المذكورة في الفقرة رقم (9.2) والمبينة في الشكل رقم (12.2) يمكن استخلاص ما يلي:

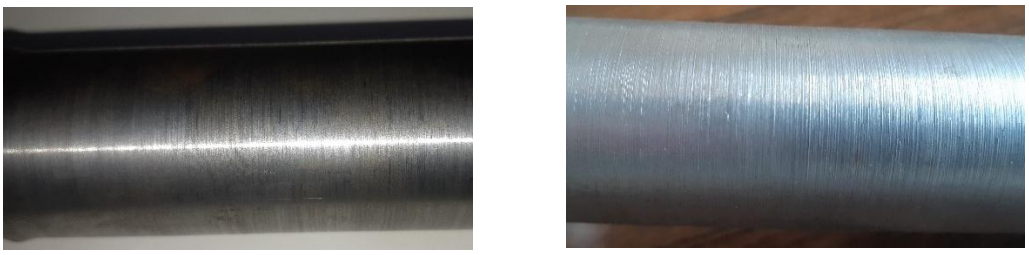
- انهيار الحدود القاطع الخاصة باللقم التي استعملت باختبارات مجموعتي المشغولات الأولى والثانية بنمط الكسر الميكانيكي والتشظي، وهذا ما يشير لتعرض تلك الحدود لقوى قطع عالية جدا بالمقارنة مع القوى المكافئة التي تعرضت لها باقي مجموعات المشغولات.
- انهيار الحدود القاطعة الخاصة باللقم التي استعملت باختبارات باقي المجموعات بنمط الانهيار الميكانيكي التدريجي لعمق حفرة اللقمة.

الشكل رقم (12.3): بيان لأنماط الانهيار الحاصلة بالحدود القاطعة

6.3 نتائج قياس خشونة سطوح المشغولات:

من خلال مقارنة طبيعة أسطح المشغولات المختلفة الخاضعة لأعمال التشغيل، وفقاً للنماذج المبينة في الشكل رقم (13.3)، مع طبيعة الأسطح المعيارية بالمحددات المبينة في الشكل رقم (10.3) يمكن استخلاص ما يلي:

- خشونة أسطح مشغولات المجموعتين الأولى والثانية من مرتبة N8، وهي خشونة مرتفعة بشكل ملحوظ بالمقارنة مع ما يمكن الحصول عليه بالخراطة المبرمجة.
- خشونة أسطح مشغولات باقي المجموعات من مرتبة N7، وهي خشونة مقبولة بأعمال التخشين المنفذة بالخراطة المبرمجة.
- خشونة أسطح المشغولات الخاضعة للتشغيل بلقمة Sandvik من مرتبة N6 وهذا ما يتماشى مع ما هو متعارف عليه بخشونات أسطح مشغولات الخراطة المبرمجة.



أ) نموذج لأسطح مشغولات المجموعة الأولى ب) نموذج لأسطح مشغولات المجموعة الرابعة

الشكل رقم (13.3): بعض نماذج الأسطح المستعملة لتحديد خشونة المشغولات الخاضعة لأعمال القطع

7.3 خطوات تحديد ثوابت نموذج تايلور:

أ- تنفيذ اختبارات قطع معيارية عند سرعة قطع V_{C1} بحيث يُحدَّد عمر الحد القاطعة المعني T_1 عند تلك السرعة.

ب- تنفذ اختبارات قطع معيارية عند سرعة قطع V_{C2} بحيث يُحدَّد عمر الحد القاطعة المعني T_2 عند تلك السرعة.

ت- تنفيذ اختبارات قطع معيارية عند سرعات قطع إضافية (V_{C3} و V_{C4} و.. الخ) بحيث تُحدّد أعمار الحدود القاطعة المعنية (T_3 و T_4 و.. الخ) عند تلك السرعات.

ث- تُحدّد قيمة الثابت m من المعادلة التالية:

$$m=[log(V_{C2})-log(V_{C1})]/[log(T_1)-Log(T_2)]$$

ج- تُحدّد قيمة الثابت Ct من المعادلة التالية:

$$C_t=V_{C1}.T_1^m$$

ح- تقييم قوة الارتباط القائمة بين سرعات القطع أعلاه والأعمار الموافقة المُقاسِة، وذلك باستعمال التابع CORREL ضمن البرنامج مكروسوفت اكسل. في حال وجود علاقة ارتباط عكسية قوية (أي قيمة معامل الارتباط قريبة من 1-) يمكن الانتقال للخطوة التالية، والا فالحاجة قائمة لاعادة النظر بنتائج الاختبارات المنفذة، ذلك أنها لا تعكس طبيعة العلاقة العكسية القوية القائمة بين سرعة القطع والعمر.

خ- تقييم دقة التنبؤ بأعمار الحدود القاطعة المعنية عند سرعات قطع لم تلحظ بالتجارب المنفذة من خلال الخطوات التالية:

a. حساب الأعمار الموافقة لعدد من سرعات القطع بعد استبدال الثابتين m و Ct بقيمتيهما العدديتين المحسوبتين وفق ما ذكر أعلاه.
b. رسم المنحني البياني الممثل للعلاقة بين الأعمار المحسوبة وقيم سرعات القطع الموافقة.
c. إسقاط النتائج المُحدّدة تجريبياً للحياة على المنحني البياني الناتج عن الخطوة السابقة.
d. التعامل مع الفروق بين البيانات المقاسة وموافقاتها المحسوبة باعتبارها أخطاء نمذجة.

8.3 خطوات تحديد ثوابت نموذج تايلور الموسع:

أ- تنفيذ اختبارات قطع معيارية عند سرعة قطع *VC1* بحيث يُحدَّد عمر الحد القاطعة المعني *T1* عند تلك السرعة.

ب- تنفذ اختبارات قطع معيارية عند سرعة قطع V_{C2} بحيث يُحدَّد عمر الحد القاطعة المعني T_2 عند تلك السرعة.

ت- تنفيذ اختبارات قطع معيارية عند سرعات قطع إضافية (VC3 و VC4 و.. الخ) بحيث تُحدّد أعمار الحدود القاطعة المعنية (T3 و T4 و.. الخ) عند تلك السرعات.

ث- تُحدّد قيمة الثابتين *m* و *CT* باعتبارهما قيمتين مرجعيتين من معطيات الجدول رقم (12.2)، حيث تبين أن *m*=0.25 و *CT*=500، وذلك بما يتناسب مع خليطتي اللقمة والمشغولة.

ج- تُحدّد قيمة المتغيرين *p* و *q* لحالة عمق قطع مساوية لـ 1.5mm كالتالي:

- تحدد قيمة المتغير *P* من المعادلة التالية:

$$P=0.25[log(T_2)-Log(T_1)]/[log(f_1)-log(f_2)]$$

بتعويض متغيرات القطع (V_C = 54.1m/min ، f_1= 0.25mm/rev ، f_2= 0.4mm/rev ، T_1=2.1min ، T_2=9.9min) في المعادلة السابقة والحل نحصل على قيم المتغير P بالنسبة للقم غير المطلية.

وبتعويض متغيرات القطع (V_C = 54.1m/min ، f_1= 0.25mm/rev ، f_2= 0.4mm/rev ، T_1=6.3min ، T_2= 12.5min) في المعادلة السابقة والحل نحصل على قيم المتغير *P* بالنسبة للقم المطلية.

- تحدد قيمة المتغير *q* من المعادلة التالية:

$$V_c.f^p.{a_p}^q.T^m = C_T$$

بتعويض متغيرات القطع والثوابت وبتعويض قيمة المتغير P المحسوبة فيما ذكر أعلاه في المعادلة السابقة والحل نحصل على قيم المتغير q.

- اللقم غير المطلية : $\boldsymbol{p = 0.8}$ ، $\boldsymbol{q = 6.83}$
- اللقم المطلية: $\boldsymbol{p = 0.36}$ ، $\boldsymbol{q = 5.15}$

وبذلك فالنموذج الرياضي الممثل لتايلور لتراكيب القطع المذكورة أعلاه لحالتي اللقم المطلية وغير المطلية هو التالي:

- *اللقم غير المطلية:*

$$V_c . f^{0.8} . {a_p}^{6.83} . T^{0.25} = 500$$

- اللقم المطلية:

$$V_c . f^{0.36} . {a_p}^{5.15} . T^{0.25} = 500$$

ح- من خلال معالجة نتائج التجارب المدرجة في جداول من (10.3) وحتى (13.3) باستعمال التابع CORREL ضمن البرنامج اكسل تم استنتاج معاملات الارتباط المدرجة في الجدول رقم (17.3) والتي تؤكد على وجود ارتباط عكسي عالية بين أعمار اللقم المستعملة بهذا البحث وسرعات القطع، وبالتالي فامكانية نمذجة ذلك النوع من الارتباط قائمة باستخدام المعادلتين أعلاه.

الجدول رقم (17.3): قيم معاملات الارتباط لنتائج الاختبارات المنفذة

سرعة القطع m/min	**القيم المقاسة للعمر المفيد min**					
	مجموعة العينات الأولى	مجموعة العينات الثانية	مجموعة العينات الثالثة	مجموعة العينات الرابعة	مجموعة العينات الخامسة	مجموعة العينات السادسة
44.7	2.5	0.9	14.7	5.4	17.8	9.5
54.1	1.8	0.3	9.9	2.1	12.6	6.3
65.1	1.4	0.08	4.6	0.8	6.9	2.8
معامل الارتباط	−0.979	−0.953	−0.999	−0.957	−0.9998	−0.9998

خ- تقييم قدرة النموذج على التنبؤ الصحيح بأعمار الحدود القاطعة المعنية عند سرعات قطع مختلفة عن السرعتين V_{C1} و V_{C2} من خلال الخطوات التالية:

a. حساب الأعمار (T_3 و T_4 و .. الخ) الموافقة لسرعات القطع (V_{C3} و V_{C4} و .. الخ) بعد استبدال الثابتين m و Ct والمتغيرين p و q بقيمهم وفق ما ذكر أعلاه.

b. رسم المنحني البياني الممثل للعلاقة بين الأعمار المحسوبة وقيم سرعات القطع المكافئة.

c. إسقاط النتائج المُحدّدة تجريبياً للحياة على المنحني البياني الناتج عن الخطوة السابقة.

d. التعامل مع الفروق بين البيانات المقاسة وموافقاتها المحسوبة باعتبارها أخطاء نمذجة.

9.3 الخاتمة:

يشتمل هذا الفصل على نتائج اختبارات القطع التي نفذت بمرجعية المواصفة الدولية ISO 3685 والتي تمثلت بالأعمار الاستثمارية حتى الانهيار كتابع لمجموعة متنوعة من متغيرات القطع لنماذج من لقم كربيدية مصنعة محلياً بحالتها المطلية وغير المطلية. كما يشتمل أيضاً على المعطيات التجريبية التي تم على أساسها تحديد ألية الانهيار الحاصلة باللقم المختبرة والتي انحصرت بالكسر الميكانيكي والتشظي وبالاهتراء الميكانيكي للحدود القاطعة.

الفصل الرابع

الفصل الرابع

مناقشة النتائج والخلاصة والتوصيات

1.4 مقدمة:

يتضمن هذا الفصل ثلاث فقرات أساسية تعرض الأولى نتائج تجاربنا السابقة ومناقشتها، وتقدم الثانية الاستنتاجات التي استخلصناها من البحث الحالي أما الثالثة فتقدم توصيات لأعمال بحثية مستقبلية.

2.4 عرض النتائج ومناقشتها:

وفقاً لما ذكر بالفصل الثالث يقدم الجدول رقم (4.3) نتائج القياسات المنفذة على نماذج اللقم التي استعملت باختبارات البحث الحالي، أما الجدول رقم (5.3) فيقدم نتائج التحليل الطيفي لخليطة المشغولات التي استعملت بالبحث، وفيما يتعلق بالجدول رقم (6.3) فيقدم نتائج تقييم خشونة أسطح المشغولات، والجدول رقم (8.3) يقدم نتائج قياس قساوة اللقم المستعملة لحالتيها المطلية وغير المطلية، وأخيراً تقدم الجداول من (10.3) حتى (16.3) الأعمار الاستثمارية المقاسة للقم التي اخضعت للاختبار. ولتقديم النتائج الأكثر أهمية بشكل بياني عمل على:

أ. تقديم محتوى الجداول من (10.3) وحتى (15.3) بشكل بياني وهذا ماتقدمه الأشكال من (1.4) وحتى (3.4)،

ب. تقديم نتائج نمذجة تايلور، باستعمال قيم الثوابت المدرجة بالفقرة (8.3)، على شكل منحنيات بيانية مشتملة على النتائج التجريبية الموافقة من حيث متغيرات القطع، للمقارنة والاقرار بمدى قدرة النمذجة على التنبؤ الصحيح، وفقاً لما تبين الأشكال (4.4) و(5.4).

بالنظر بمحتوى الجداول والمنحنيات البيانية المذكرة أعلاه وبمقارنة ذلك المحتوى مع المتطلبات المعيارية ومع ما يكافؤه بالمراجع العلمية، وفقاً لما تقدمه الفقرة رقم (14.2)، يمكن القول بأن:

- نتائج تجارب القطع المنفذة بالبحث الحالي تحقق متطلبات المواصفة الدولية ISO 3865، ذلك أن:

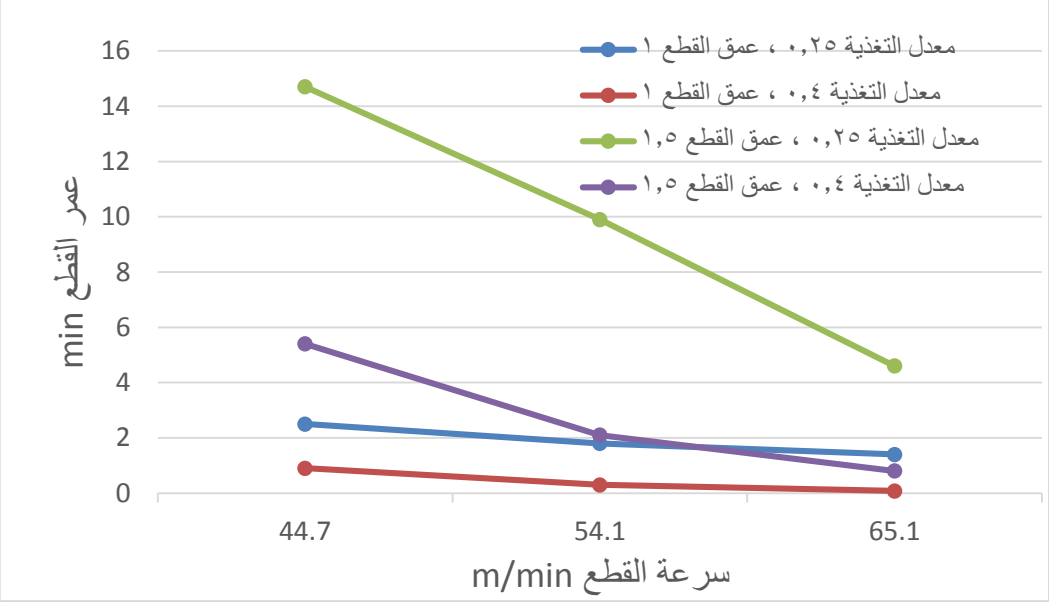
- القياسات المنفذة بهدف تحديد التفاصيل البعدية والشكلية للقم المستعملة بالاختبار تتوافق من جيث دقتها وشموليتها مع ما توصي به المواصفة المعنية وهذا ما يؤكده محتوى الجدول رقم (4.3).
- محتوى الجدول رقم (5.3) يؤكد أن الخليطة المستعملة بالاختبار هي فولاذ CK45 وهو ماتوصي به المواصفة المعنية.
- محتوى الجدول رقم (6.3) يؤكد أن القياسات المطلوبة لتحديد توزع القساوة بالمقاطع العرضية للمشغولات نفذت وفق لما توصي به المواصفة.
- محتوى الفقرة رقم (5.3.3) يؤكد أن تجارب القطع المنفذة بهدف تحديد الأعمار الاستثمارية أخذت بالحسبان كافة تراكيب متغيرات القطع التي توصي بها المواصفة.
- محتوى الفقرة (2.3) يؤكد على الالتزام بمتطلبات المواصفة المتعلقة بمواصفات آلة التشغيل المستعملة بالاختبارات، وبما توصي به تلك المواصفة من حيث تجهيزات القياس والاختبار.
- المعيار المستخدم لتحديد نهاية الأعمار الاستثمارية للقم المختبرة هو عمق الحفرة KT، وهذا ما يحقق مطلب المواصفة الذي يحدد المعايير الموصى باستخدامها.

- هناك اختلافات كبيرة جداً بالقيم المقاسة لكل بعد من الأبعاد الخاصة باللقم المستعملة والحدود القاطعة لتلك اللقم غير متطابقة وبالغالب غير واضحة المعالم، وهذا ما يؤكده التباعد بقيم كل متغير من المتغيرات المدرجة بالجدول رقم (4.3)، وهذا ما يدل على ضعف باجراء انتاج تلك اللقم وعدم ملائمة التقانات المسنعملة بالإنتاج. بالإضافة لذلك متوسط قيم المتغيرات المدرجة بالجدول لا تتطابق مع القيم الموافقة وفقاً لما توصي به المراجع وخاصة النشرات شركة SANDVIK، وهذا ما يؤكد على عدم ملائمة قوالب تشكيل اللقم الخضراء وعدم قدرة تلك القوالب على ضمان التكرارية بأبعاد وأشكال اللقم المنتجة.
- معظم قيم الانحرافات المعيارية الموافقة لمتوسطات أعمار اللقم المختبرة، وفقاً لما تقدمه الجداول من (10.3) وحتى (15.3)، أعلى بشكل ملحوظ من القيم المكافئة التي توردها المراجع المختصة، وهذا ما يؤكد الحقائق التالية:
  - عدم تطابق بنى اللقم المختبرة وعدم قدرة تلك البنى على إعطاء أداء قطع تكراري.

- عدم تطابق أشكال وأبعاد الحدود القاطعة الخاصة باللقم المختبرة ما يتسبب بعدم تكرارية أداء القطع الخاص بتلك اللقم.

- يبين الشكل رقم (1.4) العلاقات البيانية بين أعمار اللقم غير المطلية ومتغيرات القطع المطبقة خلال الاختبارات وذلك بمرجعية المعلومات المدرجة بالجداول من (10.3) الى (13.3)، ما يمكن استنتاجه من الشكل ينحصر بما يلي:

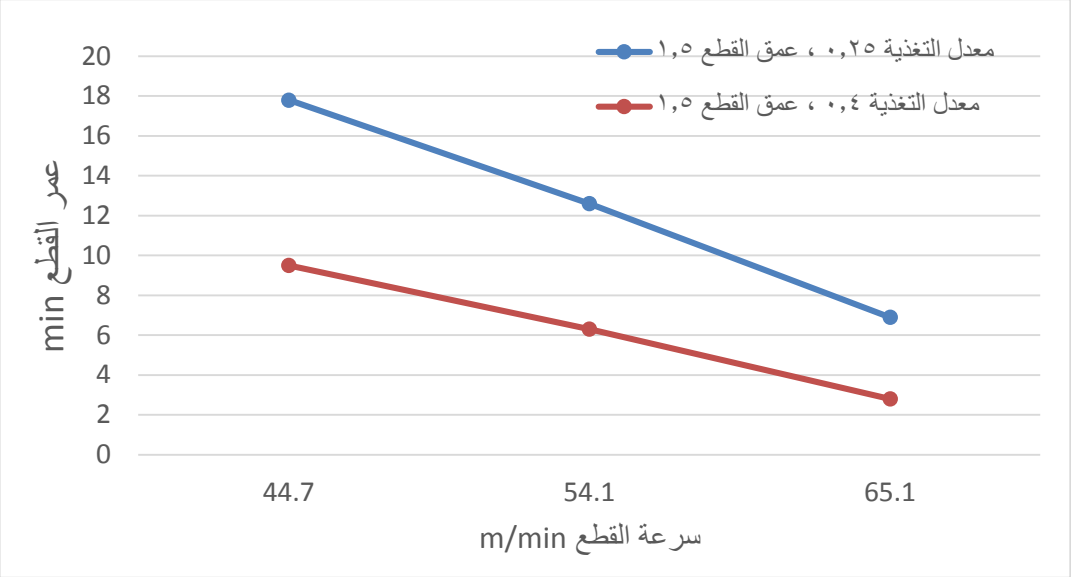
  - الزيادة في سرعة القطع عند أي معدل تغذية واي عمق قطع تؤدي إلى انخفاض وسطي لعمر |الأداة.
  - معدل انخفاض وسطي عمر الأداة كتابع لسرعة القطع عند معدلات تغذية عالية وأعماق قطع مرتفعة أعلى منه عند معدلات تغذية منخفضة وأعماق قطع قليلة.
  - أعمار اللقم المحققة عند عمق قطع 1.5mm، عند معدل تغذية 0.25mm أعلى بشكل ملحوظ من الأعمار المكافئة المحققة عند نفس عمق القطع ومعدل تغذية 0.4mm.
  - أعمار اللقم المحققة عند عمق قطع 1.5mm ومعدل تغذية 0.25mm أعلى بشكل ملحوظ من الأعمار المكافئة المحققة عند نفس معدل تغذية وعمق قطع 1mm.



الشكل (1.4): التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم غير المطلية ومتغيرات القطع

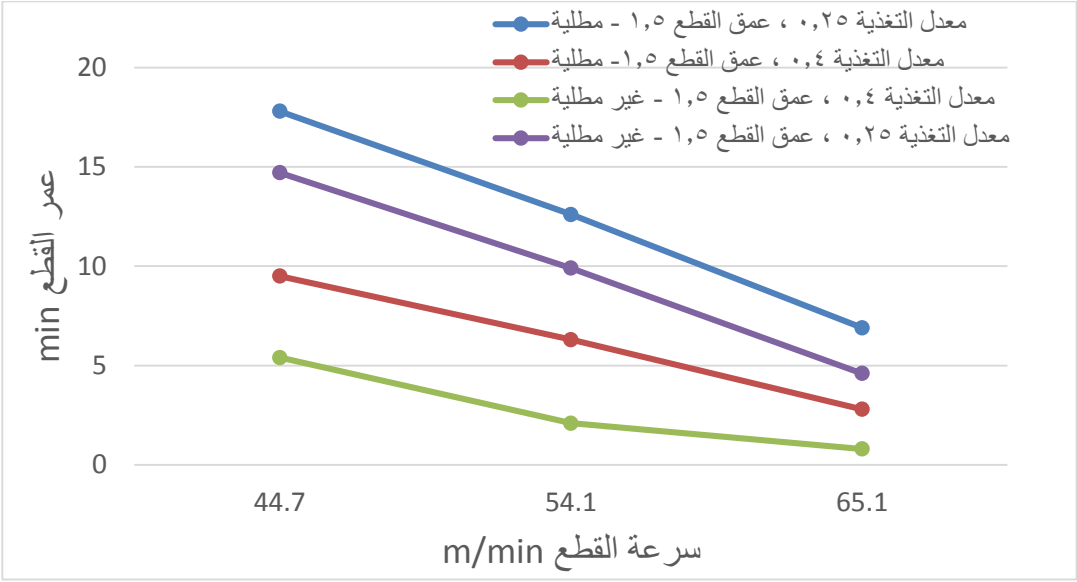
- يبين الشكل رقم (2.4) العلاقات البيانية بين أعمار اللقم المطلية ومتغيرات القطع المطبقة خلال الاختبارات وذلك بمرجعية المعلومات المدرجة بالجداول (14.3) و (15.3)، ما يمكن استنتاجه من الشكل ينحصر بما يلي:

  - الزيادة في سرعة القطع عند أي معدل تغذية واي عمق قطع تؤدي إلى انخفاض عمر أداة القطع.
  - أعمار اللقم المحققة عند عمق قطع 1.5mm، عند معدل تغذية 0.25mm أعلى بشكل ملحوظ من الأعمار المكافئة المحققة عند نفس عمق القطع ومعدل تغذية 0.4mm.



الشكل (2.4): التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم المطلية ومتغيرات القطع

- يبين الشكل رقم (3.4) العلاقات البيانية بين أعمار اللقم المطلية ومكافئاتها غير المطلية كتابع لمتغيرات القطع وذلك بمرجعية النتائج المدرجة في الجداول من (12.3) الى (15.3)، ما يمكن استنتاجه من الشكل ينحصر بما يلي:
  - الزيادة في سرعة القطع عند أي معدل تغذية واي عمق قطع تؤدي إلى انخفاض عمر أداة القطع.
  - أداء اللقم المطلية أفضل بشكل ملحوظ عند متغيرات قطع محددة من أداء المكافئ للقم غير المطلية.
  - لمعدل التغذية تأثير أكبر على أعمار اللقم من تأثير الطلاء، وهذا ما نلاحظه بمقارنة المنحنين البيانين الخاصين بلقم مطلية وغير مطلية عند نفس عمق القطع ومعدلي تغذية 0.4 و0.25 بالتتابع.

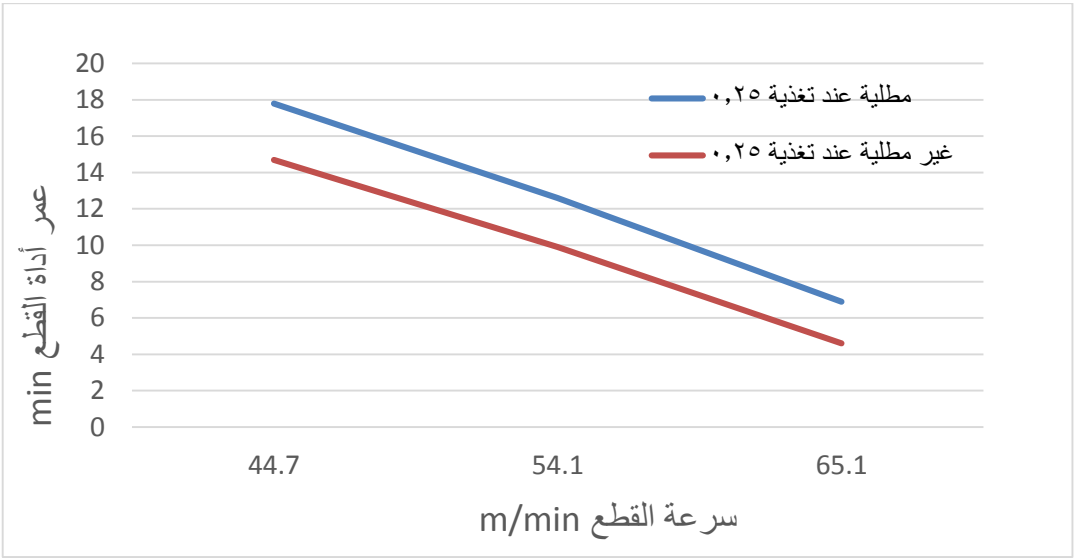


الشكل (3.4): التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم المطلية ومكافئاتها غير المطلية ومتغيرات القطع

- يبين الشكل رقم (4.4) العلاقات البيانية بين أعمار اللقم المطلية وغير المطلية ومتغيرات القطع عند عمق مساوي لـ mm1.5 وتغذية 0.25mm. ما يمكن استنتاجه من الشكل ينحصر بما يلي:

– عند قيم التغذية mm0.25 وقيم سرعات قطع منخفضة ومتوسطة (44.7–54.1 m/min) نلحظ أن عمر أداة القطع للقمة المطلية قد زاد بنسبة (20–30%).

– عند نفس قيم التغذية وقيم سرعات قطع عالية 65.1 m/min نلحظ أن عمر أداة القطع للقمة المطلية قد زاد بنسبة 76%.

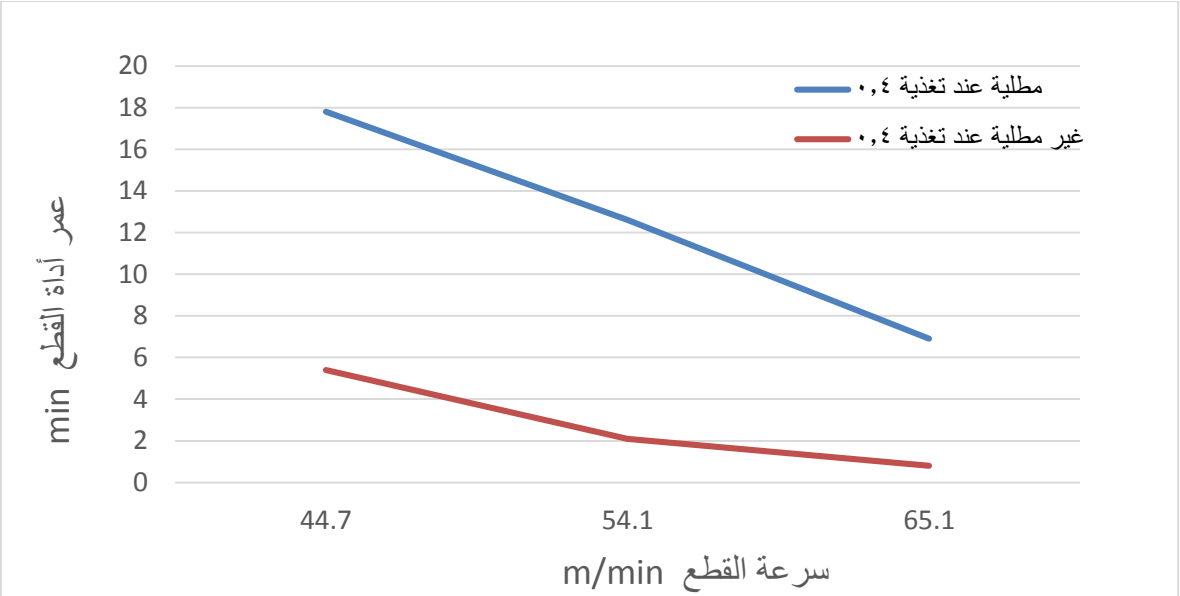


الشكل رقم (4.4) التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم المطلية وغير المطلية ومتغيرات القطع عند تغذية 0.25mm

- يبين الشكل رقم (5.4) العلاقات البيانية بين أعمار اللقم المطلية وغير المطلية ومتغيرات القطع عند عمق مساوي لـ mm1.5 وتغذية 0.4mm. ما يمكن استنتاجه من الشكل ينحصر بما يلي:

– عند قيم التغذية 0.4mm وقيم سرعات القطع العالية والمتوسطة (54.1–65.1 m/min) نلحظ أن عمر أداة القطع للقمة المطلية قد زاد بنسبة (130–160%).

– عند نفس قيم التغذية وقيم سرعات قطع منخفضة 44.7 m/min نلحظ أن عمر أداة القطع للقمة المطلية قد زاد بنسبة 70%.

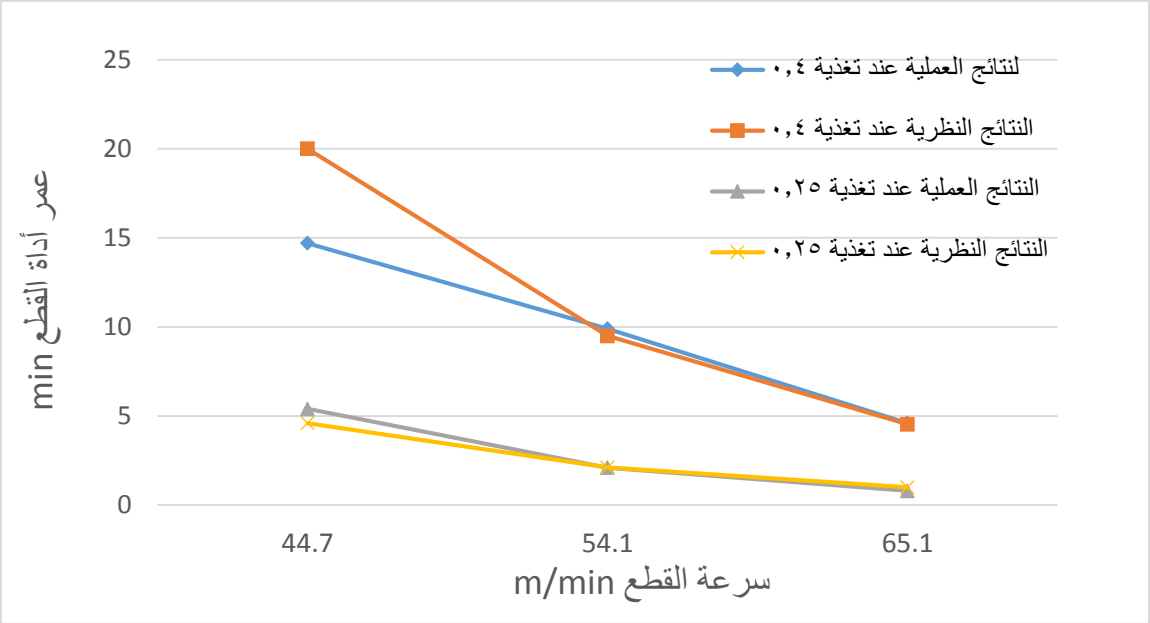


الشكل رقم (5.4) التمثيل البياني للعلاقة بين أعمار اللقم المطلية وغير المطلية ومتغيرات القطع عند تغذية 0.4mm

- يبين الشكل رقم (6.4) العلاقات البيانية بين أعمار اللقم غير المطلية وفقاً لما حدد بالاختبار ووفقاً لما استنتج من خلال نموذج تايلور الذي ادرجت ثوابته بالفقرة رقم (8.3)، لتراكيب متغيرات قطع مساوي عمق القطع (1.5mm)، وتلحظان قيمتين لمعدل التغذية (0.25 و 0.4 mm). مايمكن استنتاجه من هذا الشكل ينحصر بما يلي:

– الأعمار المستنتجة من نموذج تايلور عند عمق قطع 1.5mm ومعدل تغذية 0.4mm مطابقة تماماً للقيم الموافقة المستنتجة تجريبياً، وهذا ماهو متوقع نظراً لاستنتاج ثوابت معادلة تايلور باستعمال النتائج التجريبية الخاصة بمتغيري العمق والمعدل أعلاه.

- الأعمار المستنتجة من نموذج تايلور عند عمق قطع 1.5mm وقيمة تغذية 0.25mm لا تتطابق تماماً مع القيم الموافقة المستنتجة تجريبياً، وعدم تطابق ينخفض بشكل ملحوظ مع زيادة سرعة القطع، ويصل خطأ التنبؤ عند سرعات القطع المنخفضة لحوالي لـ 20%.

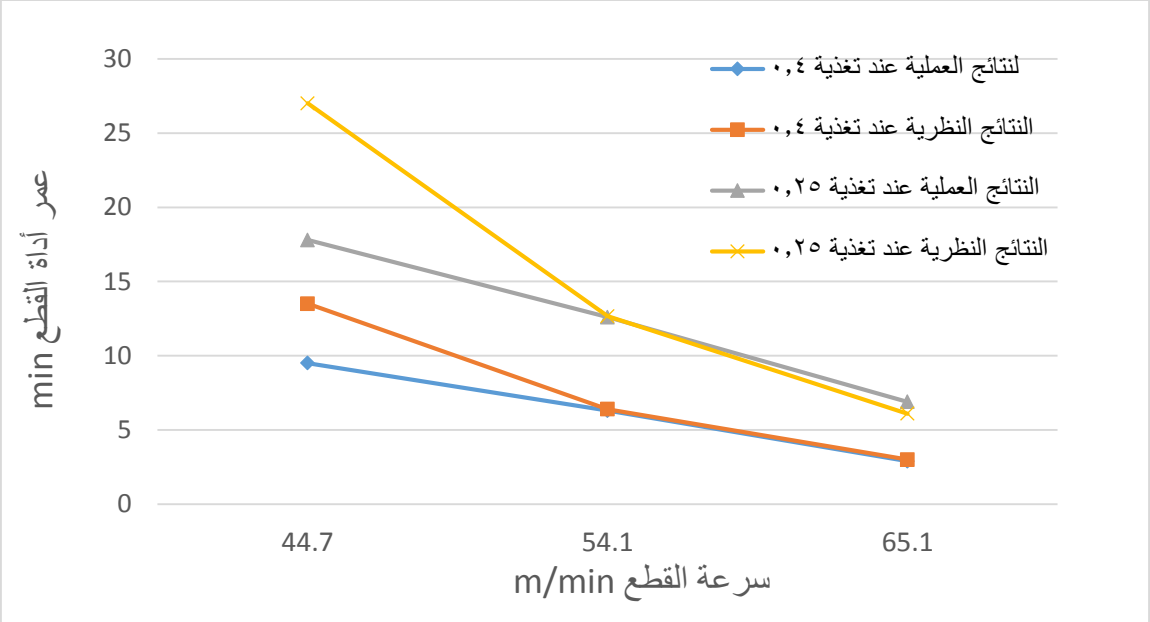


الشكل رقم (6.4): تمثيل بياني لنتائج النمذجة للقم غير مطلية بالمقارنة مع النتائج التجريبية لتركيبتي متغيرات قطع

- يبين الشكل رقم (7.4) العلاقات البيانية بين أعمار اللقم المطلية وفقاً لما حدد بالاختبار ووفقاً لما استنتج من خلال نموذج تايلور الذي ادرجت ثوابته بالفقرة رقم (8.3)، لتركبتي متغيرات قطع متساويتي عمق القطع (1.5mm) وتلحظان قيمتين لمعدل التغذية (0.25 و0.4 mm) ما يمكن استنتاجه من هذا الشكل ينحصر بما يلي:

- الأعمار المستنتجة من نموذج تايلور عند عمق قطع 1.5mm ومعدل تغذية 0.4mm مطابقة تقريباً للقيم المستنتجة تجريبياً عند سرعات قطع تزيد عن 50m/min، أما عند السرعات الأقل فيزداد عدم التطابق ليصل خطأ النمذجة لحوالي 40% عند سرعة قطع قريبة 45m/min.

- الأعمار المستنتجة من نموذج تايلور عند عمق قطع 1.5mm وقيمة تغذية 0.25mm لا تتطابق تماماً مع القيم الموافقة المستنتجة تجريبياً، وعدم تطابق ينخفض بشكل ملحوظ مع زيادة سرعة القطع، ويصل خطأ التنبؤ عند سرعات القطع المنخفضة لحوالي لـ 45%، وهذا ما سعت نماذج الحياة التي طورت بمرحلة لاحقة لتطوير نموذج تايلور لتداركه، ,فقاً لما ذكر في الفقرة رقم (12.2).



الشكل رقم (7.4): تمثيل بياني لنتائج النمذجة للقم مطلية بالمقارنة مع النتائج التجريبية لتركيبتي متغيرات قطع

3.4 نتائج العمل بالبحث الحالي:

عُمِل بالبحث الحالي على تنفيذ اختبارات القطع الخاصة بتحصيل المعطيات التجريبية اللازمة لتقدير الأعمار الاستثمارية لنماذج لقم قطع كربيدية منتجة محلياً بحالتيها المطلية وغير المطلية، وعلى التوازي على تنفيذ اختبارات قطع مكافئة على نماذج لقم كربيدية جاهزة ومكافئة من جهة شكلها وأبعادها للنماذج المنتجة محليا وذلك للسماح بالتقييم النسبي لأداء اللقم المنتجة محلياً بالمقارنة مع مكافأتها مما تنتجه الشركات العالمية المتخصصة. وبالنتيجة مكَّن العمل بهذا البحث مما يلي:

- حسم الجدل القائم حول جدوى إحداث منشأة صناعية محلية لإنتاج حاجة القطر من لقم القطع الكربيدية، انطلاقاً من المعارف والخبرات المكتسبة بالعمل بمجال تعدين المساحيق، وباستعمال بنى صناعية عامة متاحة بالبيئة الصناعية المحلية.
- استخلاص وتجميع المعارف الخاصة باختبارات تقييم الأعمار الاستثمارية لأدوات القطع وتلك الخاصة بالنمذجة الرياضية لنتائج ذلك النوع من الاختبارات لتكون متاحة للمعنيين بالهيئات الصناعية والأكاديمية المحلية.
- تقييم إمكانية وجدوى تنفيذ عمليات طلاء سطحي لنماذج لقم كربيدية مصنعة محلياً، بتقانة الترسيب الفيزيائي للبخار، باستعمال أجهزة طلاء عامة الاستخدام.
- تنبيه الهيئات الصناعية المحلية لأهمية اعتماد نظام تحصيل آلي للمعطيات اللازمة للإقرار بقيام الحاجة لاستبدال أداة القطع المستعملة بأخرى جديدة بالتوقيت المناسب تماماً لما لذلك من آثار ايجابية على جودة المنتجات وعلى الحالات الفنية لآلات الإنتاج.

أما فيما يتعلق بما تم استخلاصه من العمل بالبحث الحالي فيمكن حصره بما يلي:

- المتغيرات التي تلعب دوراً ملحوظاً بالأعمار المفيدة لأدوات القطع كثيرة العدد ومتنوعة العائدية ومتفاوتة الأهمية، وهذا ما يؤكده الكم الهائل من الأبحاث العلمية التي سعت لأمثلة أداء أدوات القطع ولتخفيض تكاليف إنتاجها إلى الحدود الدنيا الممكنة.
- تقييم أداء نماذج لقم القطع الكربيدية التي أنتجت بأحد البيئات الصناعية المحلية، ضمن سياق العمل ببحث ماجستير سابق، تم بمرجعية اختبارات قطع غير معيارية، ما أعطى انطباعاً غير صحيح حول جدوى الإنتاج المحلي، بالبنى الصناعية المتاحة، لحاجة القطر من ذلك النوع من أدوات القطع.
- البنى الإنشائية لنماذج لقم القطع المنتجة محلياً غير متطابقة، كما أن تفاصيل حدودها القاطعة غير متطابقة أيضاً، ما تسبَّب بتشتت معتبر بمتوسطات أعمارها الاستثمارية الموافقة لمتغيرات قطع محددة.

- نماذج اللقم الكربيدية المنتجة محلياً، ضمن سياق العمل ببحث ماجستير سابق، لا تحقق المتطلبات المعيارية من حيث أشكالها وأبعادها، وخاصة من حيث تفاصيل زواياها وحدودها القاطعة، ذلك أنها أنتجت دون لحظ إجراء التجليخ، ما تسبب بتدني أعمارها المفيدة عندما أخضعت لاختبارات قطع معيارية.
- قيم قساوة اللقم المنتجة محلياً، دون أن تخضع لإجراء الطلاء بالترسيب الفيزيائي للبخار، منخفضة نسبياً بالمقارنة مع القيم المرجعية من جهة وبالمقارنة مع القيم المكافئة الخاص بلقم مطابقة منتجة من قبل شركة SANDVIK المتخصصة بإنتاج لقم القطع.
- إخضاع نماذج لقم القطع المنتجة محلياً لعملية طلاء بالترسيب الفيزيائي للبخار رفع قساوتها السطحية بنسبة معتبرة، ولكنه لم يوصل تلك القساوة للحد الذي يضمن تحقيق تميز بأداء القطع المُحقَّق.
- خشونة سطوح المشغولات الخاضعة للقطع بنماذج اللقم المطلية المصنعة محلياً أعلى بشكل ملحوظ من الخشونة المكافئة الخاصة بالأسطح الخاضعة للتشغيل بلقم شركة SANDVIK، ما يؤكد على انحرافات معتبرة بأشكال وأبعاد وبنى الحدود القاطعة الخاصة باللقم المصنعة محلياً.
- نتائج اختبارات القطع التي نفذت بتراكيب متغيرات قطع مختلفة عن تلك التي توصي بها شركة SANDVIK لنوع اللقم المنتجة محلياً لم تكن مرضية من ناحية حصول تكسر فوري بحدود القطع المعنية.
- نتائج اختبارات القطع التي نفذت بتراكيب متغيرات قطع توصي بها المواصفة الدولية الخاصة بتحديد الحياة المفيدة لأدوات القطع لم تكن مرضية من ناحية حصول تكسر فوري بحدود القطع الخاصة ببعض اللقم وحصول تأكل ميكانيكي سريع بالبعض الأخر.
- إمكانية تنفيذ الاختبارات المعيارية الخاصة بتحديد أعمار أدوات القطع قائمة بالبيئة الأكاديمية المحلية وإمكانية نمذجة نتائج تلك الاختبارات بمرجعية تايلور قائمة أيضاً.
- الأخطاء الكبيرة بقيم الأعمار المستخلصة من نموذج تايلور الموسع لا تغير حقيقة أن أداء اللقم التي استعملت بالبحث الحالي لا ترقى الى الأداء المستهدف وبان الحاجة قائمة للمزيد من البحث العلمي الهادف لتوليد المعارف اللازمة للسيطرة على معالجات التصنيع المحلي للقم الكربيدية.

4.4 مقترحات لأعمال علمية مستقبلية:

ضمن سياق السعي لتوليد المزيد من المعارف والخبرات اللازمة للتوطين المحلي لمعالجات إنتاج اللقم الكربيدية يوصى بالعمل على الأبحاث العلمية التالية:

1. إعادة اختبارات القطع المعتمدة بالبحث الحالي على نماذج من اللقم المصنعة محلياً بعد إخضاع تلك النماذج لعمليات تجليخ (لتصحح أشكال وأبعاد الحدود القاطعة ذلك أن العمل بالبحث الحالي أثبت أن اللقم التي أخضِعت للاختبار لا تملك معالم واضحة لحدودها القاطعة)، أخذين بعين الاعتبار أن العمل بهذا المقترح قد يغير ما استنتج بالبحث الحالي من ناحية عدم جدوى محاولات الإنتاج المحلي لحاجة القطر من لقم القطع الكربيدية بالتكنولوجيات المتاحة.
2. دراسة جدوى التوطين المحلي لتقانات خاصة بإنتاج أدوات القطع بالعموم واللقم الكربيدية بالخصوص، ذلك أن استخدام تقانات خاصة بهذا النوع من المنتجات قد يكون أكثر جدوى من الإنتاج باستعمال ما هو متاح من تقانات التصنيع (وفقاً لما عُمِل عليه بالبحث [1])، وخاصة من ناحية ضمان الحصول على منتجات مستقرة الأداء، أي ذات تكرارية عالية بقدرتها على تحقيق وظائفها.
3. تطوير أجهزة الطلاء المحلي بتقانة الترسيب الفيزيائي للبخار بما يرفع جدوى عمليات الطلاء المنفذ من جهة، وبما تقلل تكاليف الإنتاج من جهة أخرى، ذلك أن الأجهزة المتاحة غير مخصصة لطلاء أدوات القطع ولا تملك الآليات الميكانيكية اللازمة لضمان توزع منتظم لسماكة طبقات الطلاء المنفذة.

المراجع

[1] M. Bourdim, A. Bourdim and S. Kerrouz,"Influence of Cutting Parameters on Cutting Forces", International Journal of Materials, Vol. 4, 2017.

[2] S Dasgupta, S Mukherjee, & quot, "Effects of Machining Parameters on Tool Life and its Optimization in Turning Mild Steel with Brazed Carbide Cutting Tool", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 149, 2016.

[3] ISO 1832, "Indexable Inserts for cutting Tools-Designation", Fourth edition, Web www.iso.org, 2004.

[4] Sergey N. Grigoriev, Sergey V. Fedorovand Khaled Hamdy, "Materials, Properties, Manufacturing Methods and Cutting Performance of Innovative Ceramic Cutting Tools; a Review", Manufacturing Rev., Vol. 6, 2019.

[5] Ruth Lunn, "Background Document for Cobalt–Tungsten Carbide; Powders and Hard Metals", Report on Carcinogens, National Toxicology Program, U.S. Department of Health and Human Services, 2009.

[6] DRIAN LÖKK, &quot, "Estimating Weight of Pressed Carbide Inserts using Machine Learning &quot, Master thesis, School of Electrical Engineering and Computer Science، KTH Royal Institute of Technology, 2020.

[7] I. Jung, V. Lubich AND H.-J. Wieland, "Tool Failures; Causes and Prevention", 6TH International Tooling Conference.

[8] N. Gangadhar, Hemantha Kumar and S. Narendranath, "Condition Monitoring of Single Point Cutting Tools Based on Machine Learning Approach", International Journal of Acoustics and Vibration, Vol. 23, No. 2, pp 131-137, 2018.

[9] Franci Čuš and Uroš Župerl, " "Real-Time Cutting Tool Condition Monitoring in Milling &quot", Journal of Mechanical Engineering, Vol. 57, P.P 142-150, 2011.

[10] Yongjiao Chi, Wei Dai, Zhiyuan Lu, Meiqing Wang, and Yu Zhao, "Real-Time Estimation for Cutting Tool Wear Based on Modal Analysis of Monitored Signals", Appl. Sci., 8, 708, 2018.

[11] F. W. Taylor, "On the Art of Cutting Metals", 3rd ed., the American Society of Mechanical Engineers, New York, USA, 1906.

[12] D. Johansson, S. Hägglund, V. Bushlya and Jan-Eric Ståhl, "Assessment of Commonly Used Tool Life Models in Metal Cutting", Procedia Manufacturing, Vol. 11, Pp 602 – 609, 2017.

[13] S. Hägglund, "Methods and Models for Cutting Data Optimization", Doctoral Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2013.

[14] W. W. Gilbert, "Machining – Theory and Practice", American Society for Metals, Pp 465, Cleveland, Ohio, 1950.

[15] B. Colding, "The Machining Productivity Mountain and its Wall of Optimum Productivity", 9th NAMRAC, 37-42, 1981.

[16] S. Hägglund, "Methods and Models for Cutting Data Optimization", Doctoral Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2013.

[17] D. Johansson, F, Schultheiss, V. Bushlya, J. Zhou and J.-E. Ståhl, "Tool Life and Wear in Metal Cutting, Part 1 – Influence of Varying Flank Wear Criterion on Colding's Tool Life Equation", Swedish Production Symposium SPS2014, Gothenburg, 2014.

[18] ISO 3685, 'Tool Life Testing with Single-Point Turning Tools", Second edition, 1993.

[19] M.M. Faiz, M. Hairizal, A.B. Hadzley, M.F. Naim, T. Norfauzi, U.A.A. Umar, A.A. Aziz and S. Noorazizi, "Effect of Hydraulic Pressure on Hardness, Density, Tool wear and Surface Roughness in the Fabrication of Alumina Based Cutting Tool", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020.

[20] B. Srivijaia, A.Jeganb, B.Iniyarajac and E.Thirumurugand, "Effect of Sintering Temperature on (Hss-Tic) Cutting Tool Life Enhancement for Cast Iron Machining", TEST Engineering & Management, Vol. 83, P.p 11922-11930, 2020.

[21] K.B. Ahsan, A.M. Mazid, R.E. Clegga and G.K.H. Pang, "Study on Carbide Cutting Tool Life Using Various Cutting speeds for α-β Ti-alloy Machining", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 55/2, PP. 600-606 , 2012.

[22] D. Johansson, S. Hägglund, V. Bushlya, Jan-Eric Ståhl,"Assessment of Commonly Used Tool Life Models in Metal Cutting", Procedia Manufacturing, vol. 11, pp 602 – 609, 2017.

[23] P. Dabreo, S. Pashte, L. Dmonte, L. Dabre, "Estimation of Tool Life by Industrial Method and Taylors Method Using Coated Carbide Insert in Turning of Work-Material Ss316l", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1070, 2021.

[24] K.Mahadevan, K.Balaveera Reddy, "Design Data Handbook for Mechanical Engineering in SI and Metric Units", Fourth Edition, CBS Publishers & Distributors, 2019.

[25] Kourosh Tatara, Sören Sjöberga and Niklas Andersson, "Investigation of Cutting Conditions on Tool Life in Shoulder Milling of Ti6Al4V Using PVD Coated Micro-grain Carbide Insert Based on Design of Experiments",Heliyon,Vol. 6, Issue 6, 2020.

[26] محمد نزار الحموي، "دراسة تحضير وتوصيف لقمة كربيدية من مادة كربيد التنغستين بتقانة تعدين المساحيق"، أطروحة ماجستير، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، 2014.

[27] Y.B. Kumbhar and C.A. Waghmare, "Tool Life and Surface Roughness Optimization of PVD TiAlN/TiN Multilayer Coated Carbide Inserts in Semi Hard Turning of Hardened EN31 Alloy steel Under Dry Cutting Conditions", International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, II/IV, PP 22-27, 2013.

[28] Caroline Eklund, "Variability and Quality Improvement", A case study at Sandvik Coromant in Gimo, Master Thesis in Engineering Technology, Lulea University of Technology, 2012.

[29] J. Mikula, D. Pakula, L. Zukowska, K. Golombek and A. Kriz, "Wear Resistance of (Ti,Al)N Metallic Coatings for Extremal Working Conditions", Coatings, 11,157,2021.

Abstract

in order to investigate the feasibility of local production for the national need of cutting tools, a limited number of models of commonly used carbide cutting inserts were produced. In order to assess the feasibility of the above production process, the produced insert models were subjected to cutting tests that did not notice any of the recommendations of the international standards for evaluating the performance of cutting tools, which caused an inaccurate assessment of the targeted feasibility. For proceeding, the need arose to re-execute the above tests, on models of the inserts concerned, with reference to the appropriate international standards. This is what prompted the idea of the current research aimed at re-evaluating the life of locally produced carbide insert models, with reference to the results of standard tests, and using a commonly used life model, which enables the correct evaluation of the feasibility of the local production of carbide cutting inserts. Within this context, extensive and sufficient cutting tests were carried out to obtain the necessary experimental data for estimating the investment lives of carbide cutting insert models in both coated and uncoated cases, in parallel, equivalent cutting tests were carried out on ready-made carbide insert models that are identical in terms of their shape and dimensions to locally produced models. The extracted results showed that the feasibility of the local production of cutting inserts, without working to localize the technologies and expertise of this type of product, is not achieved, because:

- The investment lives of the locally produced insert models did not reach 5% of the equivalent insert lives produced by companies specialized in this type of industries.
- Some types of collapse occurring in the cutting edges of the tested inserts, represented by fracture and fragmentation, do not occur in the inserts produced by specialized companies, which confirms the fragility of the locally produced

inserts and the weakness of their structure, and on the incorrect setting of the variables governing the procedure for its production.

- The physical deposition coating processes for the respective insert models improved their performance in a very low rate, knowing that this improvement did not reach the required level of performance.

In parallel, the ability to locally implement the necessary tests and measurements to evaluate the performance of cutting tools was demonstrated, with reference to what is recommended by international standards, allowing for mathematical modeling of tool lifetimes.

Key words: tool life, Taylor modeling, cutting tool testing, international standards ISO 3685

Syrian Arab Republic
DamascusUniversity
College of Mechanical and Electrical Engineering
Production automation engineering

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Production automation engineering

Modeling the life of carbide cutting tools based on Taylor's equation

By

Ali mohamad Ali

Supervisor

Dr. Ghassan Haddad **Dr. Majed Haiba**

2022-2023