



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل
كلية الهندسة

دراسة العوامل المؤثرة على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للعدد الكربيدية

رسالة

مقدمة إلى جامعة بابل كلية الهندسة
قسم هندسة المواد وهي جزء من متطلبات
نيل درجة الماجستير في هندسة المواد

من قبل

مشتاق طالب علي البديري

بإشراف

ا.م.د. حيدر عبد الحسن العذاري

ا.د. قحطان خلف الخزرجي

رجب

أيلول ٢٠٠٣

١٤٢٤

θωωωωωωωωωωωωωωωωωε

αΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣΣδ

αΣ Σδ

αΣ Σδ

αΣ **بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ**

αΣ Σδ

αΣ **وَأَنْ لَّيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَى! وَإِنْ سَعَيْهِ**

αΣ **سَوْفَ يُرَى! ثُمَّ**

αΣ **يُجْزَاهُ الْجِزَاءَ الْأَوْفَى!**

αΣ Σδ

αΣ **صدق الله العلي**

αΣ **العظيم**

αΣ **سورة النجم الآية (٣٩) -**

αΣ Σδ

الإهداء

إلى الشُّمُوسِ الطَّالِعَةِ .
إلى الأَقْمَارِ المُنِيرَةِ .
إلى الأَنْجُمِ الزَّاهِرَةِ .
إلى أَعْلَامِ الدِّينِ وَقَوَاعِدِ العِلْمِ .
إلى بَقِيَّةِ اللَّهِ التِّي لَا تَخْلُو مِنَ العَتْرَةِ الطَّاهِرَةِ .
إلى مِنْ أَكْرَمَنِ رَبِّي لِوَجُودِهِمْ وَوَفْقَنِي لِذَعَائِهِمْ .

أهدي ما وفقني الله إليه

مشاق

شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين صلى الله على سيدنا محمد واله الطيبين الطاهرين ،وبعد :

فلا بد لي وأنا أضع اللمسات الأخيرة لهذه الأطروحة أن أتقدم بالشكر الجزيل إلى :-

- الأستاذين الفاضلين الدكتور قحطان خلف الخزرجي والدكتور حيدر عبد الحسن العذاري لما أبدياه من جهد قيم ومتواصل في انجاز هذا البحث فلهما مني التقدير والامتنان كلهُ.
- رئاسة جامعة بابل ، عمادة كلية الهندسة وقسم هندسة المواد على إتاحة فرصة اكمال الدراسة .
- شركة بدر العامة على تمويلها لمشروع الدراسة ، والاخوة منتسبي مصنع الكار بيد فيها الذي ساهموا في تقديم يد العون والمساعدة لاكمال متطلبات البحث .
- الاخوة منتسبو مصنع التوصيف والمساحيق في شركة الراية العامة.
- الاخوة والأصدقاء الذين لم يقصروا بتقديم المساعدة لي ومنهم حيدر كاظم عماش و علي إبراهيم وسعد حميد .

والحمد لله أولاً و آخرأ ، وهو حسبنا ونعم الوكيل .

توصية الأساتذة المشرفين

نشهد بأن إعداد هذه الرسالة جرى تحت إشرافنا في قسم هندسة المواد- كلية الهندسة- جامعة بابل وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في تخصص هندسة المواد.

التوقيع:

الاسم: د. قحطان خلف الخزرجي

المرتبة العلمية:

التاريخ:

التوقيع:

الاسم: د. حيدر عبد الحسن العذاري

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد.

التاريخ:

توصية رئيس القسم

إشارة إلى التوصية المقدمة من قبل الأستاذ الدكتور قحطان خلف الخزرجي والأستاذ المساعد الدكتور حيدر عبد الحسن العذاري أحيل هذه الرسالة إلى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها.

التوقيع:

الاسم: د. تحسين علي حسين

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ:

قرار لجنة المناقشة

نشهد بأننا أعضاء لجنة المناقشة اطلعنا على الرسالة الموسومة
(دراسة العوامل المؤثرة على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للعدد الكربيدية) ،
وقد ناقشنا الطالب الذي أعدها (مشتاق طالب علي) في محتوياتها وفيما له علاقة بها
ونقر بأنها جديرة لنيل شهادة الماجستير في هندسة المواد.

التوقيع:

الاسم: قحطان خلف الخزرجي

المرتبة العلمية: أستاذ / مشرفاً.

التاريخ:

التوقيع:

الاسم: حيدر عبد الحسن العذاري

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد/ مشرفاً.

التاريخ:

التوقيع:

الاسم: احمد علي موسى

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد/ رئيساً.

التاريخ:

التوقيع:

الاسم: عدنان شمخي جبر

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد/ عضواً.

التاريخ:

التوقيع:

الاسم: علاء محمد حسين

المرتبة العلمية: مدرس/ عضواً.

التاريخ:

مصادقة رئيس قسم هندسة المواد

د. تحسين علي حسين

مصادقة عمادة كلية الهندسة

د. هارون عبد الكاظم شهد

الخلاصة

لُعدد القطع الدورالاساس في عمليات التشغيل لانتاج مختلف الأجزاء الصناعية ، وعليه جرت الكثير من البحوث والدراسات لتحسين خواص العُدد ككل والكاربيدية منها بشكل خاص من خلال دراسة المتغيرات المتعلقة بخواص المساحيق المكونة للعُدد كالحجم الحبيبي وتوزيعه، والتركييب الكيماوي للمساحيق الداخلة في تركيب العُدد ونسبها ، ودراسة متغيرات التصنيع المتمثلة بعملية المزج وضغط الكبس ودرجة التلييد وزمنه وغيرها من المتغيرات الأخرى.

يهدف البحث الحالي الى: دراسة تأثير إضافة مساحيق جديدة إلى تركيبة العُدد الكاربيدية ، دراسة تأثير تصغير الحجم الحبيبي لبنيتها ، دراسة المتغيرات المتعلقة بطريقة تصنيع العُدد باعتماد تقنية المساحيق كضغط الكبس ودرجة حرارة التلييد، كذلك دراسة تاثير تغير نسب المكونات الداخلة في تركيبة العدد كمحاولة لتحسين بعض خواصها وتوضيح تأثير كل متغير على الخواص.

أعدت في البحث الحالي خلطة أساسية مكونة من المساحيق (WC ,Ti-WC, Co) بنسب وزنية (6%, 32%, 62%) على التوالي واعتمدت كأساس في تصنيع النماذج الأساسية (العُدد الكاربيدية)، شكلت هذه النماذج بضغوط كبس مختلفة ، ولبدت بدرجاتي حرارة مختلفتين ، وذلك لدراسة تأثير ضغط الكبس ودرجة حرارة التلييد على خواص العُدد النهائية، ومن ثم تحديد أفضلهما حسب الخواص الناتجة واعتمادهما في تصنيع النماذج الجديدة. تمت دراسة تأثير إضافة نسب وزنية مختلفة (1%,3%,5%,7%) من المساحيق الجديدة (Al₂O₃ , SiC, TaC) كلاً على حدة ، ودراسة تأثير إضافة نسب مختلفة (4%,8%,12%) من مسحوق (WC) الى مزيج الخلطة الأساسية الموضح أعلاه على الخواص النهائية للعُدد الجديدة، ودراسة تغيير نسب مكونات الخلطة الأساسية من خلال زيادة نسبي(WC و Co) وتقليل نسبة (Ti-WC)، ودراسة تأثير تصغير حجم حبيبات مزيج الخلطة الأساسية على خاصيتي الكثافة والصلادة للنماذج المصنعة من المزيج الناتج بعد تصغير حجمه الحبيبي.

وقد قيمت النماذج المصنعة لاختيار افضل النتائج العملية المستحصلة وتحديد مدى إيجابياتها وسلبياتها من خلال إجراء الفحوصات الفيزيائية والمجهريية لبنياتها الداخلية المتمثلة بفحص الكثافة الخضراء والنهائية وفحص النقل والفحص بالمجهر الضوئي، فضلاً عن اختبارات خواصها الميكانيكية المتمثلة باختبار الصلادة المايكروية والعيانية ومقاومة الكسر المستعرض واختبار تقييم أداء القطع لثلاثة أنواع من العُدد : هي العُدد المصنعة من المزيج الأساسي والعُدد المصنعة من المزيج الأساسي المضافة اليه نسبة (4%) من مسحوق كاربيد التنتالوم(TaC) والعُدد المصنعة من المزيج الاساسي المضافة اليه نسبة (3%) من مسحوق كاربيد السليكون (SiC)، حيث تم التقييم بواسطة قياس البلى الناشئ على رأس العُدد (Nose wear) بعد مدة تشغيل مقدارها دقيقة واحدة لمعدن المشغولة (Steel CK-45) وقياس خشونة السطحية للمشغولة في مجال واسع من ظروف القطع المختارة . تم تحديد عمر عُدد القطع لغرض إعطاء صورة واضحة لعملها. وبعد مقارنة نتائج اختبارات العُدد أظهرت بان العُدد المضاف اليها(4% TaC) هي الأفضل والأطول عمراً نسبة الى باقي العُدد ، وان العُدد المضاف اليها(3% SiC) هي الأسوء والأقصر عمراً نسبة الى باقي العُدد لجميع سرع القطع ولمعدلات التغذية كلها.

الصفحات	المحتويات
i	المحتويات
v	الخلاصة
	الفصل الأول المقدمة
1	1.1 مقدمة.
1	1.2 الكاربيدات المسمنتة.
2	1.3 استخدام الكاربيدات في صناعة عدد القطع.
	الفصل الثاني الجزء النظري
٥	2.1 مقدمة .
٥	٢,٢ تقنية تصنيع العدد الكاربيدية.
١٤	2.3 مزايا ومحددات تقنية المساحيق.
١٤	2.3.1 مزايا تقنية المساحيق.
١٤	٢,٣,٢ محددات تقنية المساحيق.
١٥	2.4 بنية وتركيب الكاربيدات المسمنتة.
٢١	2.5 خواص واختبارات العدد الكاربيدية.
٢١	2.5.1 اختبارات المساحيق الداخلة في تصنيع العدد الكاربيدية.
٢١	٢,٥,٢ اختبارات العدد الكاربيدية الملبدة .
	الفصل الثالث البحوث السابقة
٣2	3.1 مقدمة.
٣2	3.2 تأثير بنية وتركيب الكاربيدات المسمنتة .
٣7	٣,٣ تأثير متغيرات التصنيع والتشغيل.
39	3.4 تأثير الشكل الهندسي للعدة.
٤0	3.5 طلاء العدد الكاربيدية.
٤2	3.6 هدف البحث الحالي.
	الفصل الرابع الجزء العملي
٤3	4.1 مقدمة
٤3	4.2 مراحل تصنيع النماذج
٤4	4.2.1 تحضير الخلطة الاساسية وتصنيع النماذج .
٤4	4.2.1.1 تهيئة المساحيق الاساسية.
٤5	4.2.1.2 مزج المساحيق.
٤5	4.2.1.3 مرحلة التشكيل.
٤6	4.2.1.4 مرحلة التليد.
٤6	4.2.2 تحضير الخلطات الجديدة وتصنيع النماذج منها.
٤7	4.2.2.1 تهيئة المساحيق الجديدة المضافة.
٤8	4.2.2.2 مزج المساحيق.

٤٨	4.2.3 تحضير الخلطات بنسب مكونات مختلفة من المساحيق الاساسية وتصنيع النماذج منها.
49	4.2.3.1 تحضير الخلطات ذات النسب المختلفة من المساحيق الاساسية.
49	٤,٢,٤ تصغير حجم حبيبات مزيج الخلطة الاساسية وتصنيع النماذج منها.
49	4.3 وصف النماذج المصنعة.
٥0	٤,٤ تحضير نماذج الفحوصات المختبرية.
٥1	4.4.1 تحضير عينات اختبار الكسر المستعرض.
٥1	4.4.2 تحضير عينات اختبار البنية المجهرية.
٥1	4.4.2.1 عينات اختبار المجهر الضوئي.
٥2	4.5 مرحلة اجراء الاختبارات.
٥2	4.5.1 فحوصات المساحيق الداخلة في تحضير الخلطات.
٥2	4.5.1.1 فحص الحجم الحبيبي.
٥2	4.5.1.2 فحص الكثافة الظاهرية.
٥3	4.5.2 الاختبارات الفيزيائية للنماذج المصنعة.
٥3	4.5.2.1 اختبار الكثافة الخضراء.
٥3	4.5.2.2 اختبار الكثافة النهائية.
٥3	4.5.2.3 اختبار التقلص.
٥4	4.5.3 الفحوصات المجهرية.
٥4	٤,٥,٤ الاختبارات الميكانيكية للنماذج المصنعة.
٥4	4.5.4.1 اختبار الصلادة المايكروية بطريقة فيكرز.
٥4	4.5.4.2 اختبار الصلادة العيانية بطريقة رو كويل.
٥4	4.5.4.3 اختبار مقاومة الكسر المستعرض.
٥5	4.5.5 اختبار تقييم أداء العدة.
٥6	4.5.6 البرنامج العملي المتبع لتقييم أداء العدة.
٥6	4.5.6.1 نظام القطع المعتمد.
٥7	4.5.6.2 خطوات اجراء التجارب.
الفصل الخامس النتائج والمناقشة	
٥٩	5.1 مقدمة.
59	5.2 نتائج تهيئة المساحيق.
59	5.2.1 نتائج فحص الحجم الحبيبي للمساحيق.
٦1	5.2.2 نتائج فحص الكثافة الظاهرية للمساحيق.
٦1	5.3 نتائج مرحلة الكبس.
٦1	5.3.1 تأثير ضغط الكبس على الكثافة النهائية.
٦2	5.3.2 تأثير ضغط الكبس على التقلص.
٦2	٥,٣,٣ تأثير ضغط الكبس على الصلادة العيانية.
٦٣	٥,٤ نتائج مرحلة التلييد.
٦٣	٥,٤,١ تأثير درجة حرارة التلييد على الكثافة النهائية.

٦٣	٥,٤,٢ تأثير درجة حرارة التلييد على النقلص.
٦٤	٥,٤,٣ تأثير درجة حرارة التلييد على الصلادة العيانية.
٦٤	٥,٥ نتائج تأثير اضافة المساحيق الجديدة على الخواص الفيزيائية.
٦٤	٥,٥,١ مسحوق كاربيد التنتالوم (TaC).
٦٤	٥,٥,١,١ تأثير اضافة مسحوق (TaC) على الكثافة الخضراء والنهائية.
٦٥	٥,٥,١,٢ تأثير اضافة مسحوق (TaC) على خاصية النقلص.
٦٥	٥,٥,٢ مسحوق كاربيد السليكون (SiC).
٦٥	٥,٥,٢,١ تأثير اضافة مسحوق (SiC) على الكثافة الخضراء والنهائية.
٦٥	٥,٥,٢,٢ تأثير اضافة مسحوق (SiC) على خاصية النقلص.
٦٦	٥,٥,٣ مسحوق أو أكسيد الالمنيوم (Al_2O_3).
٦٦	٥,٥,٣,١ تأثير إضافة مسحوق (Al_2O_3) على الكثافة الخضراء والنهائية.
٦٦	٥,٥,٣,٢ تأثير اضافة مسحوق (Al_2O_3) على خاصية النقلص.
٦٦	٥,٥,٤ مسحوق كاربيد التتستن (WC).
٦٦	٥,٥,٤,١ تأثير اضافة مسحوق (WC) على الكثافة النهائية.
٦٧	٥,٦ نتائج تأثير اضافة المساحيق الجديدة على الاختبارات الميكانيكية.
٦٧	٥,٦,١ مسحوق كاربيد التنتالوم (TaC).
٦٧	٥,٦,١,١ تأثير اضافة مسحوق (TaC) على الصلادة العيانية.
٦٧	٥,٦,١,٢ تأثير اضافة مسحوق (TaC) على مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S.).
٦٨	٥,٦,٢ مسحوق كاربيد السليكون (SiC).
٦٨	٥,٦,٢,١ تأثير اضافة مسحوق (SiC) على الصلادة العيانية.
٦٨	٥,٦,٢,٢ تأثير إضافة مسحوق (SiC) على مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S.).
٦٨	٥,٦,٣ مسحوق اوكسيد الالمنيوم (Al_2O_3).
٦٨	٥,٦,٣,١ تأثير اضافة مسحوق (Al_2O_3) على الصلادة العيانية.
٦٩	٥,٦,٣,٢ تأثير إضافة مسحوق (Al_2O_3) على مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S.).
٦٩	٥,٦,٤ مسحوق كاربيد التتستن (WC).
٦٩	٥,٦,٤,١ تأثير اضافة مسحوق (WC) على الصلادة العيانية.
٧٠	٥,٦,٤,٢ تأثير اضافة مسحوق (WC) على مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S.).
٧٠	٥,٧ نتائج تغير نسب مكونات الخلطة الأساسية (P10).
٧١	٥,٨ نتائج تصغير حجم حبيبات المزيج الاساسي (P10).
٧٢	٥,٩ نتائج تقييم اداء القطع للعدد وتقدير عمرها.
٧٢	٥,٩,١ قياس البلى الناشيء على رأس العدة.
٧٣	٥,٩,٢ قياس درجة خشونة السطحية.
٧٣	٥,٩,٣ نتائج تقييم اداء القطع للعدد الثلاث .
٧٣	٥,٩,٣,١ تأثير سرعة القطع على البلى.
٧٣	٥,٩,٣,٢ تأثير سرعة القطع على خشونة السطحية.

٧٤	٥,٩,٤ النتائج المستحصلة بعد تقييم أداء القطع للعدد الثلاث .
٧٤	٥,٩,٤,١ نتائج فحص البلى.
٧٤	٥,٩,٤,٢ نتائج فحص الخشونة السطحية.
٧٥	٥,٩,٥ عمر العدة.
٧٥	٥,٩,٥,١ تقدير عمر العدة (P10).
٧٦	٥,٩,٥,٢ تقدير عمر العدة (4% TaC).
٧٦	٥,٩,٥,٣ تقدير عمر العدة (3% SiC).
٧٧	٥,٩,٦ النتائج المستحصلة بعد تقدير عمر العدد الثلاث (3% SiC, 4% TaC, P10).
الفصل السادس	
الاستنتاجات والتوصيات	
١٠٧	٦,١ مقدمة.
١٠٧	٦,٢ الاستنتاجات.
١٠٨	٦,٣ التوصيات.
المصادر	
الملاحق	
A	الملاحق (A) التطورات التاريخية للكاربيدات المسمنة.
B	الملاحق (B) نتائج تغيير نسب المساحيق الأساسية المكونة للخلطة الأساسية (P10) على خواص النماذج الجديدة.
B	الملاحق (C) نتائج تصغير الحجم الحبيبي لمزيج الخلطة الأساسية (P10).
C	الملاحق (D) نتائج تقييم أداء القطع للعدد الكاربيدية المصنعة في البحث.
E	الملاحق (E) نتائج تقدير عمر العدد الكاربيدية المصنعة.

الفصل الأول

المقدمة

١,١ - مقدمة (Introduction)

أن التطورات السريعة والمستمرة في علم المواد الهندسية والحاجة المتزايدة الى تصنيع أجزاء منها دفعت الباحثين الى إجراء البحوث والدراسات في مجال تصنيع عدد ملائمة لتشغيل تلك الأجزاء بدقة عالية وبأنهاء سطحي جيد، لتضمن تحقيق أداء دقيق في التطبيقات الصناعية المختلفة، وعليه فقد زادت الحاجة إلى الإهتمام بمجال تصنيع عدد القطع. بدأت دراسات الباحثين بتصنيع عدد من الفولاذ الكربوني ، ثم من فولاذ السرعات العالية (High Speed Steel)، بعد ذلك جعلوا جل إهتمامهم في مجال تصنيع عدد كاربيدية (Carbide Tools) من الكاربيدات المسمنة (Cemented Carbide) وكذلك إهتموا في إمكانية تطويرها، وهم يواصلون دراساتهم في مجال تصنيع العدد المختلفة ما أتاحت لهم ذلك إمكانياتهم العلمية والتقنيات المتوفرة.

نالت الكاربيدات المسمنة حيزاً وإهتماماً واسعين في الصناعة منذ مدة ليست بالقصيرة فقد سجل أول إختراع لكربيد التنكستن (WC) من قبل الفرنسي (Henri Moissan) سنة (1893) خلال بحثه لطريقة تصنيع الماس الصناعي^[1]. أما أول إكتشاف للكاربيدات المسمنة فقد كان للعالم الألماني (Karl Shroter) سنة (1920) وأستخدمت أول مرة سنة (1926) في معامل أوسرام لصناعة المصابيح في ألمانيا كمادة لصنع قوالب سحب أسلاك التنكستن وفي السنة نفسها إستخدمت كعدد لقطع المعادن تحت إسم تجاري فيديا (Widia).

أن التقنية المستخدمة في تصنيع أجزاء الكاربيدات المسمنة هي تقنية ميتالورجيا المساحيق (Powder Metallurgy) وتشمل هذه التقنية المراحل التصنيعية الأساسية وهي مرحلة تهيئة المساحيق (Powders Preparation) وتشمل تصنيع المسحوق والمزج وإضافة المادة الرابطة، ومن ثم تعقبها مرحلتا التشكيل (Shaping) والتلييد (Sintering) فضلا عن العمليات الثانوية (تشغيل ميكانيكي ، معاملات حرارية)^[1-1].

1.2- الكاربيدات المسمنة (Cemented Carbides)

الكاربيدات المسمنة هي مواد مترابطة مكونة من دقائق الكاربيدات الصلدة والمقاومة للبللى مضمورة في أرضية من معدن مطيلي ومتمين يعمل على ربط تلك الدقائق مع بعضها البعض، ويتم التحكم في خواص الكاربيدات المسمنة بواسطة التحكم في تركيبها (نسب مكوناتها) والبنية المكونة لها وطريقة تصنيعها (ضغط الكبس ، حرارة التلييد)^[2].

تتصف الكاربيدات المسمنثة بصلابتها العالية وصلادتها الحرارية (Red Hardness) ومقاومتها الجيدة للبلى والإحتكاك (Abrasion & Wear Resistance) وبمقاومة الخضوع والحني الجيدة والمتانة المناسبة^[٢، ٧].

تتكون الكاربيدات المسمنثة من جزيئات الكاربيدات الصلدة والمعدن الرابط، فالكاربيدات الصلدة تتمثل بأنواع هي (كاربيد التنكستن (WC)، كاربيد التيتانيوم (TiC)، كاربيد التتالوم (TaC)، كاربيد الكروم (Cr₃C₂)، كاربيد الفناديوم (VC)، كاربيد الموليبدنوم (MO₂C)، كاربيد النيوبيوم (NbC) وكاربيد الهافنيوم (HfC)، وغيرها). أما المعادن الرابطة الممكن استخدامها في ربط جزيئات الكاربيد الصلدة هي (الكوبلت (Co)، النيكل (Ni)، النيكل-كروم (Cr-Ni) أو النيكل-كروم-كوبلت (Co-Cr-Ni)، وغيرها). ونظراً لصفات الكاربيدات المعروفة فهي تصلح للإستخدام في قطع الأحجار وثقب الصخور (Rock Drilling & Stone Cutting) وعُد تشكيل المعادن (Metals Forming Tools) وتستخدم في صناعة الأجزاء المعرضة للبلى (Wear Parts) وصناعة حبيبات التجليخ (Abrasive Grits) وفي صناعة بعض أجزاء التوربينات وفي صناعة عُد القطع (Cutting Tools) وكثير من الإستخدامات الأخرى^[6,5,1] - يوضح الشكل (1-1) بعض اشكال العُد الكاربيدية.

1.3- إستخدام الكاربيدات في صناعة عدد القطع (Carbide Cutting Tools)

أكثر إستخدامات الكاربيدات المسمنثة أهمية هي إستخدامها في صناعة عُد القطع وتشكل حوالي (70%) من جميع إستخداماتها^[٦]. تصنع عُد القطع بتقنية المساحيق (طريقة التصنيع ذكرت مفصلاً في الفصل الثاني) وذلك بتشكيل المزيج الناتج من خلط مساحيق الكاربيدات مع مسحوق المعدن الرابط بإعتماد تقنية الكبس بالقوالب ثم يلبد المكبوس في درجة حرارة كافية لإنصهار المعدن الرابط وعمل الترابط بين جزيئات الكاربيدات مع بعضها البعض لإعطاء المكبوس خواصه النهائية المطلوبة.

خواص العُد الكاربيدية المصنعة من الكاربيدات المسمنثة تتأثر بتركيبها (نسب مكوناتها) والبنية المكونة لها ويتم إختيار تركيب الكاربيدات المستخدمة لصناعة هذه العُد وفق المعادن المراد تشغيلها (فولاذ، سبائك الفولاذ، حديد الصب، وغيرها) ونوع عملية التشغيل (خراطة أولية، خراطة نهائية، تفريز، قشط وغيرها من العمليات)^[٦، ١]، وعلى هذا الأساس صُنفت الكاربيدات المستخدمة لصناعة عُد القطع الكاربيدية إلى صنفين أساسيين^[٦، ٤-١] هما:-

١. الكاربيدات الحاوية على كاربيد التتكتستن ومعدن الكوبلت (WC/Co) وتسمى بالكاربيدات الصرفة (Straight-Carbide Grade) أو كاربيدات حديد الصب (Cast Iron Carbides)^[1].

٢. الكاربيدات الحاوية على العديد من الكاربيدات ومعدن الكوبلت (WC/ TiC/ TaC/ Co) وتسمى بالكاربيدات المتعددة (Multi-Carbide Grade) أو كاربيدات الفولاذ (Steel-Carbide)^[1].

الكاربيدات من النوع الأول تتكون من كاربيد التتكتستن بمتوسط حجم حبيبي (0.5µm- 10µm) ومعدن الكوبلت بنسبة تتراوح بين (3%- 15%)^[3]، وهي تتصف بمقاومتها العالية للبلى التجليخي (Abrasive Wear) وبمتانتها العالية نسبياً، العُد المصنعة من هذه الكاربيدات ملائمة لتشغيل المواد الهشة (Brittle Materials) ذات النحافة القصيرة غير المستمرة (Discontinuous Chip) كحديد الصب (Cast-Iron) وكذلك ملائمة لتشغيل المواد اللاحديدية (Non-Ferrous Materials) مثل (الألمنيوم، البراص، البرونز، النحاس والسبائك الفائقة (Super Alloys)) وفي تشغيل المواد غير المعدنية (Non-Metallic Materials) مثل (الخشب، الكاربون، البلاستيك، المطاط، الإسبست، والزجاج).

وتعتمد خواص هذه العدد على نسبة المعدن الرابط والحجم الحبيبي لمساحيق الكاربيدات الصلدة ومسحوق المعدن الرابط^[6,1]، فمثلاً العُد المصنعة من تركيب ذي نسبة كوبلت واطئة تمتاز بصلادتها ومقاومتها للضغط العاليتين وهي ملائمة لتشغيل المعادن الصلدة، أما العُد المصنعة من تركيب ذي نسبة كوبلت عالية تمتاز بصلادة أوطاً نسبياً وبمتانة ومقاومة إحتكاك جيدتين وهي ملائمة لتشغيل المواد الهشة^[5].

أما الكاربيدات من النوع الثاني فتتكون أساساً من جزيئات كاربيد التتكتستن ومعدن الكوبلت مضافاً إليها نسب من كاربيد التيتانيوم و/أو كاربيد التنتالوم أو كاربيد النيوبيوم وهذه الكاربيدات تتركب من (WC+3-12% Co) (25% TaC+4-25% TiC+60-85%)^[3] وتتصف بمقاومتها العالية لدرجات الحرارة والبلى الحفري (Creater Wear) والعُد المصنعة من هذه الكاربيدات ملائمة لتشغيل المواد المطيلية التي تمتاز بنحافة طويلة مستمرة (Continuous Chip) مثل (الفولاذ، سبائك الفولاذ، السبائك الفائقة المطيلية، حديد الصب المطيلي) وخواص هذه العُد تتأثر بنسب المكونات وحجمها الحبيبي^[5].

تصنف عُد القطع الكاربيدية إلى ثلاثة أصناف حسب متطلبات الاستخدام^[5] هي:-

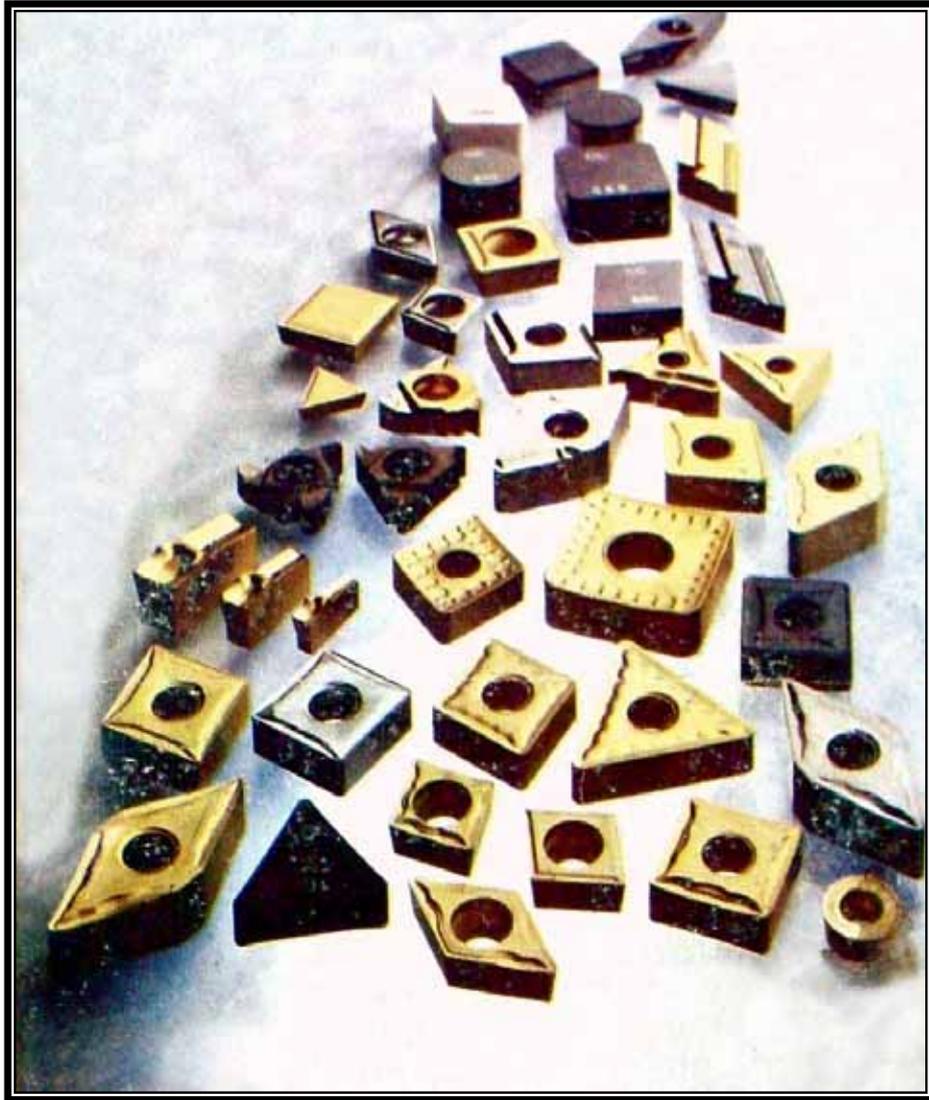
١- حسب تركيب العُد (Construction) كما في العدد الكاربيدية الصلدة للمثاقب الصغيرة وكرات الطحن، والعُد المثبتة باللحام كما في عُد الخراطة والمثاقب الكبيرة، والعُد المثبتة ميكانيكياً (Mechanically Held Insert) كما في عُد الخراطة وعُد التقريز (Milling Cutters).

- حسب عدد حافات القطع (Number of Cutting Edge) وهي: -

a- حافات القطع الأحادية (Single-Point Edge) كما في عدد الخراطة والقشط.

b- حافات القطع المتعددة (Multi-Point Edge) كما في مقصات التفريز والمنتقيات الشبكية (Broaches).

- حسب عملية التشغيل (Mode of Operation) .



الشكل رقم (١-١): يوضح بعض أشكال العُد الكاربيدية^[٥].

الفصل الثاني

الجزء النظري

2.1- مقدمة

يتضمن هذا الفصل مراحل تصنيع العدد الكاربيدية باعتماد تقنية ميتالورجيا المساحيق، مزايا ومعدات هذه التقنية، مع ذكر أصناف الكاربيدات المسمننة المستخدمة في صناعة العدد الكاربيدية، والخواص والاختبارات المهمة لهذه العدد.

٢,٢- تقنية تصنيع العدد الكاربيدية

إن تصنيع العدد الكاربيدية يتم بسلسلة من العمليات الطويلة والمعقدة لحين الوصول إلى المنتج النهائي الملبد، وهذه العمليات تدرج ضمن تقنية المساحيق (Powder Metallurgy) وهي مبينة أدناه [٢، ٨٠٦، ٥] :-

. استخلاص مسحوق معدن التنكستن (Tungsten Ore to metal).

. تهيئة كاربيد التنكستن (Tungsten Carbide).

. تهيئة الكاربيدات الأخرى.

. تهيئة المعدن الرابط (عادة ما يكون الكوبلت).

٥. عملية المزج (خلط ومزج الكاربيدات مع المعدن الرابط بنسب مختلفة حسب المرتبة المطلوبة).

- إضافة المادة المزيتة (lubricants).

- عملية الكبس (Pressing).

- التلبيد الأولي (Pre-sintering).

- التلبيد النهائي (Final-sintering).

فيما يلي عرض لكل عملية من العمليات أعلاه، الشكل رقم (1-2) يوضح تسلسل

عمليات تصنيع أجزاء الكاربيدات المسمننة (منها العدد الكاربيدية).

١- استخلاص مسحوق معدن التنكستن

الشكل رقم (2-2) يوضح مراحل إنتاج كاربيد التنكستن والكاربيدات الصلدة الأخرى، حيث يلاحظ إن جميع أنواع الكاربيدات الصلدة المستخدمة في تصنيع العدد الكاربيدية تنتج بواسطة الكربنة المباشرة لأكاسيدها دون المرور بالمرحلة المتوسطة والمبينة في الشكل، أما كاربيد التنكستن فقط ينتج عكس ذلك بواسطة كربنة مسحوق المعدن النقي من خلال معاملة خاماته المتمثلة بـ (الولفراميت- Wolframite) و (الشيلايت- Schelite)، فالولفراميت هي عبارة عن صخور ذات لون اسود أو بني أو احمر- بني مع لمعان معدني وبتركيب كيميائي $(Fe, Mn)WO_4$ ، أما الشيلايت فهي عبارة عن صخور صفراء أو رمادية أو بنية اللون وذات تركيب كيميائي $(Ca WO_4)$ ، وهذه الصخور تطحن وتخلط ثم تعامل معاملة كيميائية خاصة فينتج اما ملح أو حامض أو اوكسيد التنكستن حسب المعاملة المستخدمة وحسب الاستخدام^[٥].

٢- تهيئة كاربيد التنكستن

يُحصل على كاربيد التنكستن من خلال خلط معدن التنكستن الناتج من أعلاه مع مسحوق اسود الكربون (Carbon-black) وحرقه في درجة حرارة $(1550\text{ }^\circ\text{C})$ وبنسب وزنية مئوية مقدارها (تنكستن 94%W + اسود الكربون 6%C) ويجو مفرغ من الهواء ويجب إن تكون درجة الحرارة كافية لاعطاء كربنة كاملة (Full Carborization) وزمن كاف لازالة الشوائب المتركمة (Residual Impurities). ونظراً للاختلاف الكبير بين كثافتي مسحوق التنكستن واسود الكربون، لذلك يجب إن يتم الخلط بعناية تامة والسيطرة على اضافة نسبة الكربون لانه اذا كانت قليلة جداً سوف يؤدي الى تكون المركب (Di- tungsten carbide W_2C)^[5] الذي يحل ويذاب في المعدن الرابط فيما بعد ويؤدي الى تكوين الطور الهش ايتا (phase) $\eta - Co_3W_3C$ في الكاربيد الملبد النهائي.

٣- تهيئة الكاربيدات الأخرى

تتضمن الكاربيدات الصلدة الداخلة في تصنيع العدد الكاربيدية عدة أنواع منها:-

• كاربيد التنكستن - التيتانيوم (Ti-W)C

إن الصعوبة العالية في إنتاج مسحوق كاربيد التيتانيوم^[٥] هي التي دفعت الى إنتاج كاربيد التنكستن - التيتانيوم ، ويمكن الحصول عليه بواسطة كربنة مسحوق معدن التنكستن مع اوكسيد التيتانيوم النقي (TiO_2) بمسحوق اسود الكربون بدرجة حرارة $(2100\text{ }^\circ\text{C})$ ويجو مفرغ من الهواء.

• كاربيد (التكستن- التيتانيوم- التنتالوم) (النيوبيوم) C ((W- Ti- Ta(Nb))

يُحصل على هذا الكاربيد المعقد بواسطة كربنة أكاسيد المعادن مع بعضها أي أكسيد التيتانيوم (TiO_2)، أو أكسيد التنتالوم ($Ta_2 O_5$)، وأكسيد النيوبيوم ($Nb_2 O_5$) ومعدن التكستن مع مسحوق اسود الكربون^[5,1] بدرجة حرارية كافية لحدوث عملية الكربنة، إذ يضاف أكسيد النيوبيوم إلى أو أكسيد التنتالوم بنسبة (1:2) وذلك لان الأوكسيد الأول يمتلك نصف الوزن الذري للاوكسيد الثاني، المركب الثاني هو كاربيد (التكستن- التيتانيوم- التنتالوم) (النيوبيوم)، إذ إن فائدة كاربيد التيتانيوم هي تحسين مقاومة التحفر وتحسين الاستقرار الحرارية^[7]. أما كاربيد التنتالوم والنيوبيوم فهما يعملان على تحسين خاصية القطع في درجات الحرارة العالية^[7,1].

• المركب ذو أساس (كاربيد التيتانيوم) Titanium- based grade

يُعد معدن التكستن أساس الكاربيدات المسمّنة، ولكنه معدن غالٍ جداً لذا لجأت البحوث والدراسات الى اعتماد كاربيد التيتانيوم ولكنه لا يمكن الاستغناء عن كاربيد التكستن واعتماد نسبه منه الى كاربيد التيتانيوم (1:2) على الأقل، اما المركب ذو أساس كاربيد التيتانيوم فهو يتكون من ($10\% Ni + 10\% Mo_2C$ (or) $Mo + 80\% TiC$) وهذا المركب يمتاز بصلادته العالية إذ إن كاربيد التيتانيوم لوحده يعد اصلد مساحيق الكاربيدات^[6] في درجة حرارة الغرفة، وتصل صلابته المايكروية (Micro hardness) إلى (3200 Kg/mm^2).

• الكاربيدات الاخرى

من الكاربيدات المسمّنة الاخرى الداخلة في تصنيع عدد قطع المعادن هي كاربيد (التكستن- التنتالوم- الكروم) ($Cr_3C_2 - TaC - WC$)، وكاربيد (التكستن- التيتانيوم- التنتالوم- النيوبيوم- الكروم) ($Cr_3C_2 - NbC - TaC - TiC - WC$).

4- تهيئة المعدن الرابط The Binder Metal

نظراً لصلادة الكاربيدات العالية وصعوبة تشكيلها لذا يستعمل معدن مطيلي ومتمين كمادة رابطة اثناء التشكيل، وفي اكثر من (95%) من إنتاج الكاربيدات يستخدم الكوبلت (Cobalt) في عملية ربط جزيئات الكاربيدات مع بعضها البعض ويمكن الحصول على الكوبلت من خلال اختزال أوكسيده بعملية الكربنة. ومن المعادن الاخرى الممكن استخدامها في ربط جزيئات الكاربيدات (النيكل (Ni)، النيكل- كوبلت (Co-Ni) والنيكل- كوبلت- كروم (Cr-Co-Ni) ... وغيرها).

5- عملية المزج Mixing

لغرض إنتاج الكاربيدات المسمنتة بصلادة عالية ومسامية منخفضة (أو كثافة عالية)، والحصول على توزيع متجانس للمنتج النهائي، والحصول على توزيع حجمي ملائم لجزيئات مساحيق الكاربيدات فإنه يتم مزج (خلط) جزيئات مساحيق الكاربيدات المتكونة من نوع واحد أو أكثر مع مسحوق المعدن الرابط الكوبلت باستخدام طاحونة الكرات (Ball-milling) أو الخلاطات الدوارة (Rotating Mixers). الشرط الأساسي في عملية الخلط هو إن تظلى كل جزيئة من جزيئات الكاربيدات بأخرى من الكوبلت لذلك يجب إن يكون الحجم الحبيبي للكوبلت انعم من الحجم الحبيبي لجزيئات الكاربيدات لكي يعمل على تبليل او ترطيب (Wetting) جميع دقائق الكاربيدات.

هناك نوعان لعملية الخلط هما الخلط الجاف والخلط الرطب إذ إن الخلط الجاف (Dry mixing) يتم من دون استخدام سوائل الخلط، اما الخلط الرطب (Wet Mixing) فيتم باستخدام أحد سوائل الخلط وهي (الماء، الأسيتون، الكحول، البنزين، الكازولين والاثيلين الثلاثي الكلوريد)، في الخلط الرطب وباستخدام طاحونة الكرات تستخدم كرات اسطوانية أو مستطيلة الشكل مدورة النهايات مقاومة للبللى تعمل على زيادة تجانس المزيج وتتم اضافة أحد السوائل المساعدة على المزج بمقدار (270 cm^3 - 400 cm^3) لكل كيلوغرام واحد من وزن المسحوق الكلي^[٥٦] وتستمر عملية المزج لمدة تتراوح بين (6-48 ساعة) حسب المرتبة والخواص المطلوبة، فمن خلال التحكم بطريقة وزمن الخلط نستطيع الحصول على مرتبتين من الكاربيدات تمتلك التركيب نفسه وتختلف بالحجم الحبيبي للجزيئات وتوزيعه، إذ إن زيادة مدة الخلط تنتج كاربيدات ناعمة وهي تمتلك مقاومة عالية للاحتكاك وذات صلادة عالية. اما مدة الخلط المتوسطة أو القليلة فتنتج كاربيدات خشنة تمتلك مقاومة بلى انتشاري جيد (Diffusion Wear). وبعد الانتهاء من عملية الخلط وحصول التجانس يزال سائل الخلط من خلال تسخين المزيج في درجة حرارة ($90 \text{ }^\circ\text{C}$) تقريبا بجو مفرغ من الهواء وسحب السائل بعملية الطرد المركزي أو بعملية الترشيح.

6- إضافة المادة المزيتة Lubricant

تُضاف المادة المزيتة لغرض تطبيق ضغط متجانس بجميع الاتجاهات للمكبوس المنتج من الكاربيدات بتقنية المساحيق والحصول على مكبوس متجانس الكثافة والتقلص بجميع الاتجاهات وتتم الإضافة اما على شكل صلب أو سائل وبنسبة مقدارها (2%-0.5%) من وزن المزيج الكلي ويعاد الخلط جيداً للحصول على التوزيع المتجانس، من المواد المزيتة المستخدمة عادةً هي (شمع البرافين (Paraffin Wax)، رابع كلوريد الكربون (Carbon- Tetra Chloride)، بعض المحاليل الطيارة (Volatile Solvent) وشمع النحل (Bee Wax)).

هذه المواد يجب أن تتصف بالنقاوة وسهولة الإزالة ولا تحبذ أية مادة مزيتها تسبب المسامية في المنتج الملبد النهائي.

٧- عملية الكبس Pressing

إن الغرض الأساسي من عملية الكبس هو تشكيل مساحيق المعادن أو جزيئات الكربيدات الى مكبوسات بالشكل المطلوب وإعطائه المقاومة الكافية لتحمل المداولة المتسلسلة من إخراج المكبوس ولحين إتمام عملية التلييد النهائي دون كسر أو ضرر، وبالرغم من تعدد طرائق كبس المساحيق إلا إنها جميعاً تعمل بمبدأ واحد هو^[٨] :-

• مليء الفراغات بين الجسيمات الكبيرة بجسيمات اصغر.

• تحطيم الجسور والأقواس التي تتكون أثناء مليء القالب بالمسحوق.

• تسهيل عملية انزلاق ودوران الجسيمات.

وطرائق الكبس تصنف الى ثلاثة أصناف هي :-

a- تقنية التشكيل دون استعمال الضغط Pressure-less shaping technique

وهذه التقنية تعطي الشكل الملبد النهائي المطلوب دون الحاجة الى استعمال ضغط خارجي، إذ تصب المساحيق في قالب (حسب الشكل المطلوب)، ومن ثم تسخينه بدرجة حرارة التلييد الملائمة وهذه التقنية ملائمة في السباكة الانزلاقية (Slip Casting)، والتلييد في القوالب (التلييد السائب Loose Sintering)، والسباكة الدقيقة (السباكة بالعالق) (Slurry Casting)، وغير ملائمة في إنتاج الأجزاء المعقدة وذلك لصعوبة إخراج الجزء من القالب بعد التلييد وصعوبة السيطرة على تقلص المنتج. إن منتجات هذه التقنية تكون ذات مسامية عالية تصل إلى حدود (50%)^[٦].

b- تقنية التشكيل بالكبس على البارد Cold-Pressure Shaping technique

تدرج ضمن هذه التقنية عدة طرائق منها طريقة الكبس بالقوالب على البارد (Cold Die Compacting) وتشمل الكبس الاحادي التأثير (Single-action) والثنائي التأثير (Double-action)، طريقة الكبس الى جميع الاتجاهات (Isostatic Pressing)، الكبس الانفجاري (Explosive Forming)، درفلة المساحيق (Powders Rolling)، بثق المساحيق (Powders Extrusion)، الكبس الاهتزازي (Vibratory Compacting)، الكبس بالطرد المركزي (Centrifugal Compacting) والكبس المتناوب أو الدوري (Cyclic Compacting)^[٦].

c- تقنية التشكيل بالكبس على الحار Hot-pressure Shaping technique

تدرج ضمن هذه التقنية عدة طرائق منها: طريقة الكبس بالقوالب على الحار (Hot Die Compacting)، التلييد بالشرارة (Spark Sintering)، السك على الحار (Hot coining)، الكبس الحار الى جميع الاتجاهات، درفلة المساحيق على الساخن، بثق المساحيق على الساخن وحدادة المساحيق (Hot Forging)^[1].

من جميع الطرائق المبينة أعلاه فان الطريقة الأكثر استخداما في إنتاج العدد الكربيدية هي طريقة الكبس بالقوالب على البارد وباتجاهين (كابس علوي وآخر سفلي) وذلك لكونها طريقة سهلة وتلقائية الحركة ومن خلالها يمكن الإنتاج بإعداد كبيرة وبكثافات متجانسة وكذلك فهي تعمل على تحسين الإظهار السطحي للمكبوسات من خلال استبعاد الأكسدة في درجة حرارة الغرفة، وتطبق هذه التقنية كما يلي :

تهيئة قوالب خاصة حسب الشكل المطلوب (مصنوعة من الفولاذ السبائكي أو كربيد التنكستن) وتكون بسماحات وابعاد دقيقة وذات حجم اكبر بقليل من حجم الجزء المراد تشكيله لاعطاء الأبعاد المطلوبة بعد التقلص الحاصل نتيجة عملية التلييد النهائية والناجم من تبخر المادة المزيتة، تحديد وزن المسحوق أوليا، صب المسحوق الى فراغ قالب الكبس بتسليط الضغط باتجاهين، ومن ثم إخراج الجزء المكبوس من القالب^[7].

الكثير من الباحثين^[9,10,11] أكدوا بان للضغط تأثيرا بالغا في صفات المكبوسات وفي صفات المنتجات النهائية حيث أكد^[9] بان عملية الضغط تتم بثلاث مراحل هي حزم الجسيمات مع بعضها، حدوث التشوه المرن واللدن للجسيمات المكبوسة وتكوين الجسور وزيادة المساحة السطحية، واخيرا يحدث ضغط حجم المكبوس أي تقليص حجمه (حجم المسحوق قبل الكبس اكبر من حجمه بعد الكبس). وكذلك استنتج^[10] بأنه مع زيادة مقدار الضغط تزداد المقاومة الخضراء نتيجة زيادة مساحة التماس بين الجسيمات، واستنتج الباحث (Y. Liu)^[11] وجماعته^[11] بان الكثافة الخضراء والصلادة الخضراء تزداد مع زيادة مقدار ضغط الكبس^[9].

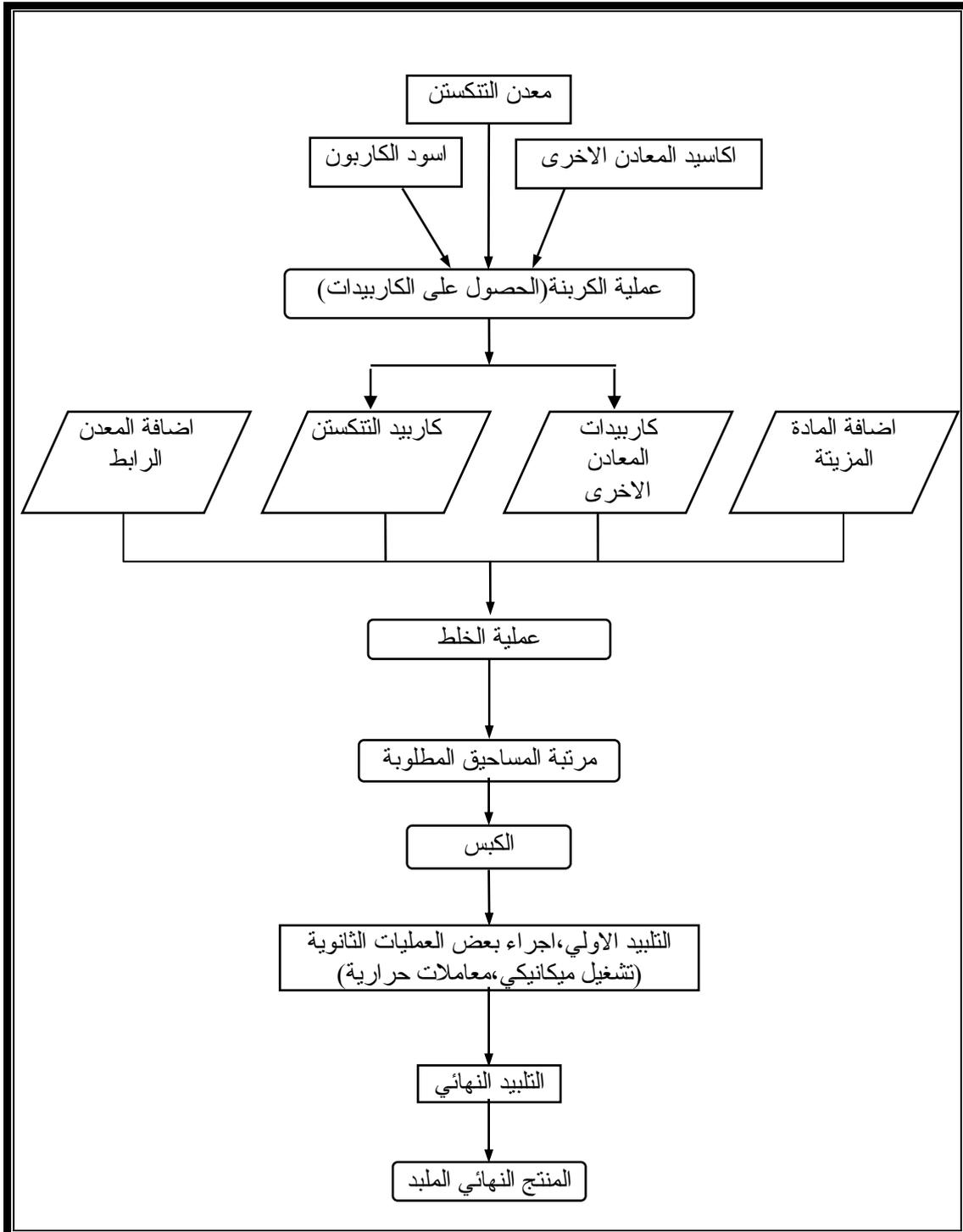
8- التلييد الأولي (Pre-sintering)

خلال هذه العملية يتم تسخين المكبوس الناتج من عملية الكبس بدرجة حرارية تتراوح بين (700 °C - 1000 °C) وفي فرن مفرغ من الهواء وهذه الدرجة تعتمد على نسبة الكوبلت ومرتبة الكربيد. إذ تزال في هذه العملية المادة المزيتة (شمع البرافين) دون إحداث تغيرات كيميائية أو فيزيائية. وتلحم جسيمات المساحيق مع بعضها البعض واعطاء المكبوس مقاومة كافية للمداولة وإجراء بعض عمليات التشغيل الثانوية والإضافية المطلوبة في بعض منتجات الكربيدات المسمتة الاخرى وفي هذه العملية لا يتشكل طور سائل ولا تلييد طور المعدن الرابط ويحدث تقلص قليل، وأحيانا لا يحدث^[9].

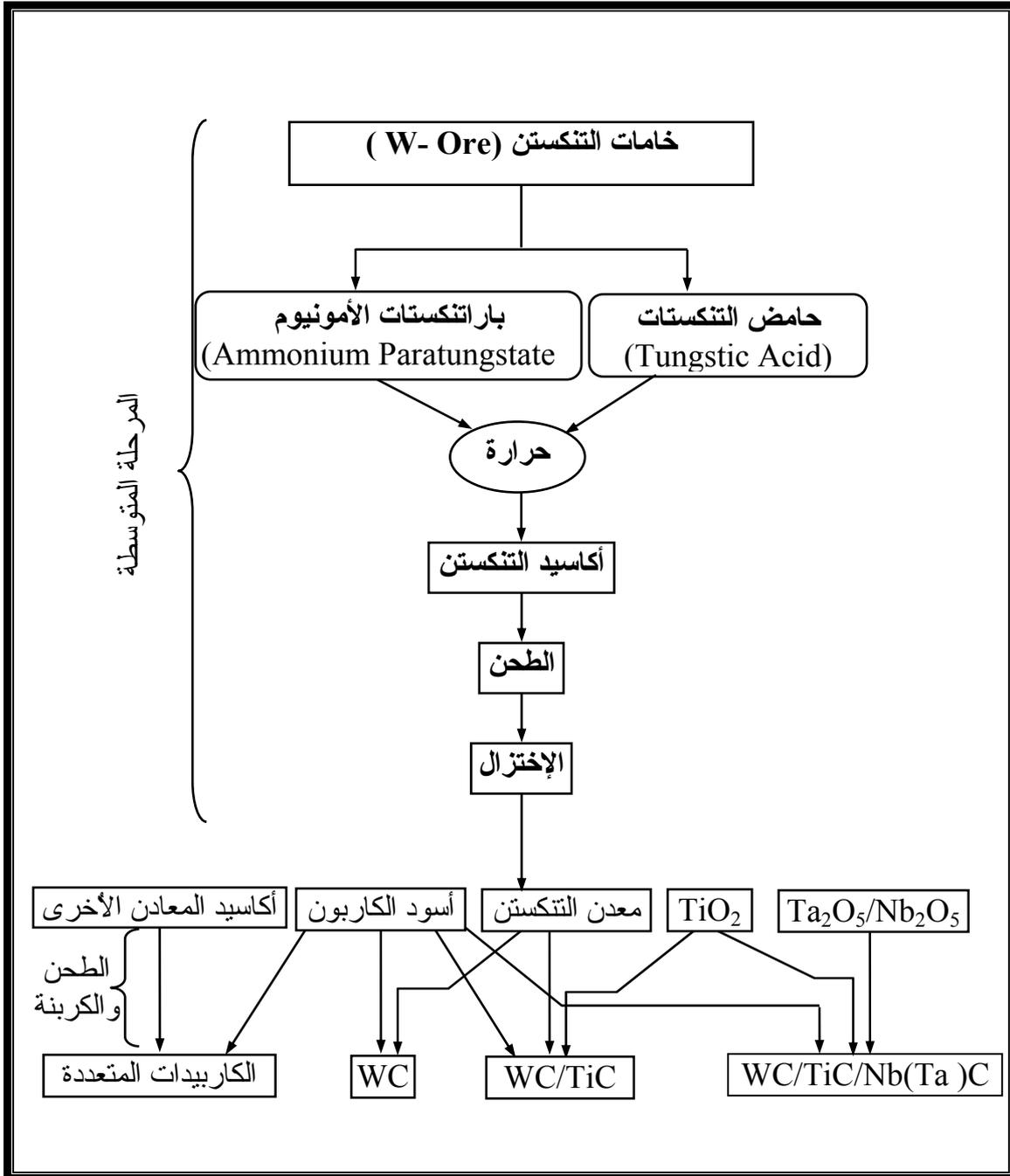
٩. التلبيد النهائي (Final Sintering)

تعد عملية التلبيد النهائي آخر عمليات تصنيع العدد الكربيدية وعند هذه العملية تأخذ المكبوسات الصفات الفيزيائية والميكانيكية النهائية. وتعد عملية التلبيد من اعقد عمليات تقنية المساحيق وذلك لكثرة متغيراتها حيث إن لدرجة حرارة وزمن التلبيد تأثيرا كبيرا على خواص المكبوسات النهائية لذا فان هناك قيم حرجة لها لاعطاء الخواص الدقيقة للمكبوسات وعادة ما تكون درجة حرارة التلبيد ما بين (1350°C - 1550°C) وهي تعتمد على نسب جزيئات الكربيدات (مرتبة الكربيدات) ونسب المعدن الرابط وحجمها الحبيبي، فمثلا عندما تكون مرتبة الكربيدات حاوية على نسب كوبلت (3 %) أو ما تسمى المرتبة عالية كاربيد التيتانيوم فإنها تتطلب درجة حرارة تلييد حوالي (1550°C)، بينما التركيبة الحاوية على نسبة كوبلت (30 %) فإنها تتطلب درجة حرارة تلييد حوالي (1350°C)، تتم هذه العملية في أفران مفرغة من الهواء ومحاطة بغاز خامل اما إن يكون الهيليوم أو الاركون وعادة ما يستخدم الغاز الأخير^[٥].

يحدث خلال عملية التلبيد انصهار المعدن الرابط وتحوله إلى الحالة السائلة مما يؤدي الى عمل يوتكتك أو مشابه لليوتكتك^[١٢] مع جزيئات الكربيدات المتعددة مما يؤدي الى ربط الجزيئات مع بعضها البعض. كما يحدث خلال عملية التلبيد تقلص للمكبوس (Shrinkage) بمقدار (16-26 %) بالنسبة للأبعاد الطولية او الخطية (Linear Dimension) وبمقدار (40-60 %) بالنسبة للأبعاد الحجمية (Volume Dimension) وهذا التقلص يعتمد على بعض الخواص الفيزيائية أهمها الحجم الحبيبي لجزيئات المساحيق وتوزيعه والتركيب الكيميائي لمساحيق الكربيدات^[٦]، وكذلك يتاثر مقدار التقلص بزيادة ضغط الكبس ودرجة حرارة التلبيد.



الشكل رقم (1-2): يوضح تسلسل عمليات تصنيع اجزاء الكاربيدات المسمنتة [5]



الشكل رقم (2-2): يوضح تسلسل عمليات إنتاج الكاربيدات^[9]

2.3- مزايا ومحددات تقنية المساحيق (Advantages & Limitations of Powder Metallurgy)

2.3.1 - مزايا تقنية المساحيق^[13,8,6]

١. يمكن بهذه التقنية إنتاج أجزاء معقدة مثل كراسي التحميل المسامية والمعدات ذات المسامية المسيطر عليها من خلال التحكم بظروف التصنيع.
٢. يمكن بهذه التقنية إنتاج أعداد كبيرة وبأبعاد دقيقة (معدل إنتاج عالي) وبإنجاز سطحي جيد باستخدام مكائن أوتوماتيكية.
٣. تعد عملية اقتصادية وواطنة الكلفة نظراً لعدم وجود فقدان في المواد وعدم حاجتها إلى عمال مهرة وخبرة فنيين.
٤. إمكانية إضافة مواد مختلفة وبنسب معينة للحصول على الخواص النهائية المطلوبة.
٥. تستخدم في إنتاج الأجزاء المختلفة من الكربيدات المسمنتة والمستخدمة في أجزاء السيارات، الفضاء، عدد القطع، الأجهزة الإلكترونية والكهربائية وفي صناعة الآلات الزراعية.

2.3.2- محددات تقنية المساحيق^[13,8,6]

١. ارتفاع كلفة المساحيق وعدم إمكانية تخزينها من دون حدوث تلف فيها.
٢. ارتفاع كلفة المعدات والأجهزة الضرورية المستخدمة في هذه التقنية.
٣. يصعب بهذه التقنية إنتاج الأجهزة المعقدة الشكل وذلك لانخفاض انسيابية المساحيق أثناء الكبس وصعوبة تصميم القالب.
٤. بهذه التقنية وخلال عملية التليد تنجم بعض المشاكل وخاصة المعادن ذات درجات الانصهار الواطنة مثل الرصاص والقصدير والزنك المعتمدة في صناعة كراسي التحميل إذ تتعرض للتأكسد مما يترك أثراً سلبية في الجزء المنتج.
٥. الكلفة العالية للقوالب في حالة تصنيع كميات قليلة نسبياً.
٦. تكون الخواص الميكانيكية للجزء المنتج بهذه التقنية أقل من الأجزاء المصنعة بالطرق التقليدية.
٧. محدودية إنتاج أجزاء كبيرة الحجم وذلك لحاجتها إلى مكابس ذات قدرة عالية وبالتالي ارتفاع كلفة الإنتاج.

٢،٤ - بنية وتركيب الكاربيدات المسمنتة (Composition & Structure of Cemented Carbides)

- تتأثر خواص الكاربيدات المسمنتة بالبنية المجهرية (Microstructure) أكثر من السبائك المشغلة والمصبوبة أو المشكلة وهذه الخواص تعتمد أساسا على أمور عدة منها^[٥] :-
- التركيب الكيميائي الاساسي للكاربيدات.
 - حجم طور المعدن الرابط (الأرضية).
 - حجم وتوزيع دقائق الكاربيدات.
 - النسب الوزنية المكونة للكاربيدات والمعدن الرابط.
 - زيادة أو نقص الكربون.
 - درجة عدم الذوبانية للكاربيدات.
 - الانعزال والانتشار في دقائق المساحيق.
 - عمليات الانتاج (الطحن، الكربنة، المزج، الكبس والتلبيد وتنوع المواد الخام).
- أما تركيب الكاربيدات فيصنف الى :-

1- سبيكة (كاربيد التنكستن / كوبلت) (WC \ Co)

إن أول أنواع الكاربيدات المسمنتة تتكون من دقائق كاربيد التنكستن مربوطة بواسطة بواسطة مسحوق الكوبلت، وقد استخدمت لأول مرة في صناعة قوالب سحب أسلاك التنكستن ويعتمد استخدامها على نسب مكوناتها من المساحيق أعلاه. فمثلا عندما يتطلب الاستخدام صلادة عالية ومقاومة احتكاك عالية فانه يصار الى تصغير الحجم الحبيبي لكل من جزيئات الكاربيد والكوبلت، وكذلك الى خفض نسبة الكوبلت (تكفي نسبة % 1.5) وزيادة نسبة الكاربيدات. اما عندما يتطلب الاستخدام متانة جيدة فيتعتمد الى زيادة الحجم الحبيبي للمساحيق وزيادة نسبة الكوبلت. عندما تستخدم هذه السبيكة في تصنيع عدد القطع فإنها عادة ما تتكون من (Co) % (2-13) والباقي WC) وبحجم حبيبي يتراوح بين (0.5-5µm) وهذه العدد ملائمة لتشغيل حديد الصب والسبائك المعدنية غير الحديدية والمواد غير المعدنية. كما يمكن استخدام السبيكة أيضا في تصنيع عدد الكبس (القوالب) و اجزاء البلى الأخرى عندما يتطلب سبائك مقاومة للصدمات العنيفة والمتوسطة ولذا فهي عادة ما تتركب من (Co % 30 والباقي WC) وبحجم حبيبي أكثر من (10 µm). يمكن تعديل خواص هذه السبيكة بإضافة نسبة قليلة (% 0.5-3) من كاربيدات (التنتالوم، النيوبيوم، الكروم، الفناديوم، الهافنيوم) التي تعمل على تصغير الحجم الحبيبي ورفع قيم الصلادة^[5,1].

2- سبيكة (كاربيد التنكستن/كاربيد التيتانيوم/كوبلت) (WC\TiC\ Co)

العدد الكاربيدية المصنعة من هذه السبيكة تكون ملائمة لتشغيل الفولاذ والسبائك الحديدية الأخرى، وهذه السبيكة تتركب أساسا من (كاربيد التنكستن-كوبلت) مضافا إليه كاربيد التيتانيوم بنسب (2-18%) الذي يعمل على زيادة مقاومتها للبلل الانتشاري نتيجة درجات الحرارة العالية المسبب للتحلل الكيماوي والتحفر، إذ إن كاربيد التنكستن ينتشر بسرعة إلى سطح النحافة^[5] عند تماسك العدة مع المشغولة عند وجه الجرف (Rake Face)، لكن يجب تجنب زيادة نسب إضافة كاربيد التيتانيوم (TiC)، لأن النسب العالية منه تعمل على زيادة صلادة السبيكة وجعلها أكثر هشاشة ويقلل مقاومتها للتجليخ (الشحذ) (الكميات العالية من (TiC) تمتز كمية من الأوكسجين الذي لا يمكن اختزاله بواسطة الفرن الفراغي والمسيطر على أجوائه وهو الذي يعطي صفة الهشاشة^[5]). بنية هذه السبيكة تتكون من بلورات مدورة (Rounded Crystals) وهي (WC/TiC) وبلورات حادة (ذات زوايا Angular Crystals) هي (WC)، وطور الكوبلت.

3- سبيكة (كاربيد التنكستن/كاربيد التنتالوم (النيوبيوم)/الكوبلت) (WC\Ta(Nb)C\Co)

هذه السبيكة تتكون أساسا من (كاربيد التنكستن-الكوبلت) (WC/Co) مضافا إليه نسب من كاربيد التنتالوم (النيوبيوم) Ta(Nb)C، إذ إن كاربيد التنتالوم يكون محلولاً استبدالياً مع كاربيد التنكستن ويعمل على تحسين الخواص بزيادة مقاومة التحفر والمقاومة في درجات الحرارة العالية وخاصة حافة الأداة المستخدمة في القطع وكذلك يحسن خاصية الصدمة. أما كاربيد النيوبيوم فله تأثير مشابه لتأثير كاربيد التانتالوم وذلك بسبب التشابه الكيماوي ولكن تأثيره أقل.

4- سبيكة (كاربيد التنكستن/كاربيد التيتانيوم/كاربيد التانتالوم (النيوبيوم)/كوبلت أو كوبلت-روثينيوم) (WC\TiC\Ta(Nb)C\Co or (Co-Ru)

تعد هذه السبيكة أفضل أصناف سبائك الكاربيدات المسمتة المألوفة والعدد المصنعة من هذه السبيكة ملائمة لتشغيل الفولاذ الكربوني والفولاذ السبائكي والسبائك الفائقة ذات أساس نيكيل (Ni-base alloy) وتشغيل حديد الصب المطيلي. إن بنية هذه السبائك معقدة جداً ومعتمدة على المقادير النسبية للمركبات الأساسية وحجمها الحبيبي وكذلك على عملية التصنيع حيث إن بنيتها المجهرية المثلى تظهر بتكوين الكاربيدات محاليل جامدة إستبدالية وعادةً ما يستبدل الكوبلت بمركب (الكوبلت - روثينيوم) (Ru-Co) حيث إن الروثينيوم يعمل على زيادة متانة الكسر من دون أي تغيير في البنية المجهرية^[9].

٥- سبيكة (كاربيد التيتانيوم/ الموليبدنوم/ النيكل) (TiC/Mo/Ni)

نظراً لصلادة كاربيد التيتانيوم العالية ومقاومته الجيدة للتخفر وكثافته الواطئة^[٤]، فضلاً عن رخصه بسبب توفر مادته الخام وهي (ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2) أدى إلى إنتاج طور كاربدي ذي أساس من كاربيد التيتانيوم لوحده مربوط بمعدن مكون من (النيكل- الموليبدنوم) حيث النيكل أكثر كفاءة من الكوبلت كمعدن رابط لكاربيد التيتانيوم ، أما الموليبدنوم فهو يقسم بين الرابط و طور الكاربيد ، العدد المصنعة من هذه السبيكة ملائمة لتشغيل الفولاذ في عمليات القطع غير المستمرة . بنية هذه السبيكة بسيطة ومعتمدة على الحجم الحبيبي وإستمرارية جزيئات كاربيد التيتانيوم وخاصة المسامية.

٦- سبيكة (كاربيد الكروم / النيكل) ($Cr_3C_2 \setminus Ni$)

هذه السبيكة تصنف ضمن سبائك الكاربيدات المسمنة^[٥] وخواصها مشابهة لخواص الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) ، فهي مقاومة للتآكل والتأكسد و تتكون أساساً من ($2\%W+15\%Ni+83\%Cr_3C_2$) وتمتلك مقاومة إحتكاك أقل من كاربيد التتكستن وهي تستخدم في الأجزاء التي تجمع بين مقاومتي الإحتكاك والتآكل مثل غطاسات الكابس (Compressor Plungers) وأجزاء الصمامات (Components Valves) .

٧- سبيكة (كاربيد التيتانيوم/ الفولاذ وسبائكها) (Steel & Alloys Bonded TiC)

تمتاز هذه السبيكة بصلادتها الواطئة ونسبة المعدن الرابط العالية مقارنة بباقي سبائك الكاربيدات المسمنة ، وتتكون أساساً من (كاربيد التيتانيوم مربوطاً بالفولاذ الذي يمثل المعدن الرابط) وبعض السبائك تحوي نسب من (كاربيد التتكستن و/أو سبائك النيكل والنحاس). وعادة ما تتكون هذه السبائك من [(50-60%) فولاذ ، (40-50%) كاربيد التيتانيوم] . صفات هذه السبائك تعتمد على المعاملة الحرارية المجرأة لها، اما البنية المجهرية لها فتختلف تماماً عن باقي السبائك الكاربيدية وتتكون من كاربيد التيتانيوم وأرضية متعلقة بالمعدن الرابط وتأثره بالمعاملات الحرارية . عادة ما تستخدم هذه السبائك في قوالب السحب^[٥].

٨- الكاربونتريدات ذات أساس التيتانيوم Titanium Base Carbonitrides

تستخدم هذه الكاربونتريدات عادة في طلاء عدد القطع الكاربيدية أكثر من تطبيقات الكاربيدات التقليدية^[5] ، و تصنف إلى (كاربيد التيتانيوم / كاربيد التتكستن / كاربيد التانتولوم(النيوبيوم) / كاربيد الموليبدنوم / نتريد التيتانيوم / الكوبلت / النيكل/الألمنيوم) (TiC/) WC/ Ta(Nb)C / Mo₂C/ TiC/ Ni/ Co/ Al وبنية مشتملة على جزيئات كاربيدية وحجم حبيبي متدرج.

٩- التركيبات بأرضيات مختلفة (Compositions with other bases)

إن البحوث والدراسات اتجهت نحو استخدام سبائك ذات تركيبات مختلفة منها (كاربيد التيتانيوم (كاربيد النيوبيوم)/ النيكل / موليبدنوم) (TiC(NbC)/Ni/Mo) وتستخدم للأجزاء المتطلبة مقاومة للحرارة وأحياناً تستخدم كعدد قطع، وكذلك أدت الى اكتشاف مواد العدد ذات الصلادة العالية (Ultra hard tools materials) والمتمثلة بالمواد السيراميكية (Ceramic materials) أو السرميت (Cermet) .

ومن المواد الصلدة المستخدمة كعدد قطع هي الماس الاحادي الذرة (Polycrystalline Diamond-PCD) ، وثلاثي نتريد البورون (Cubic Boron Nitride-CBN) ومركب ألومينا- زركونيا (Alumina/Zirconia-Al₂O₃/ZrO₂) والسيالون (Sialon) ، وافضل مثال لتلك المواد الصلدة هي (كاربيد التنكستن /اوأكسيد الألمنيوم) (Al₂O₃/WC) وتتركب من (10%+40%Al₂O₃+50%WC) كاربيدات غير مخصصة) وكذلك المركب (50 % Al₂O₃ / 50% TiC) ويمتاز بمقاومته العالية للتآكل وصلادته العالية وهو ملائم جداً لتشغيل الفولاذ بسرعه عالية.

بصورة عامة يمكن تصنيف الكاربيدات المسمنتة وفق نسب مكوناتها وأماكن استخدامها واتباع مواصفات عالمية متفق عليها فمثلاً مواصفة (ISO-513) [٧،٤] تصنف الكاربيدات الى ثلاثة أصناف ويرمز لكل صنف برمز معين واستخدمت الرموز (K,M,P) فالرمز (P) يستخدم للعدد الخاصة بقطع المعادن الحديدية المولدة لنحافة طويلة ، الرمز (M) للعدد الخاصة بقطع المعادن الحديدية المولدة لنحافة طويلة أو قصيرة والمعادن اللاحديدية ، اما الرمز (K) فيشير الى العدد الخاصة بقطع المعادن الحديدية المولدة لنحافة قصيرة والمعادن اللاحديدية والمواد غير المعدنية ، وكذلك يصنف كل صنف الى أنواع خاصة للاستعمالات المعينة، فمثلاً الرمز (P) يصنف الى (P50,P40,P30,P25,P20,P10,P05,P01) ، والرمز (M) يصنف الى (M40,M30,M20,M10) والرمز (K) الى (K40,K30,K20,K10,K05,K01) ويشار الى الصنف (P) باللون الأزرق والصنف (M) باللون الأصفر وباللون الأحمر للصنف (K) ، إذ تقل سرعة القطع المستعملة من P01 الى K40 ويزداد مقدار التطعيم وتقل مقاومة البلى وتزداد المتانة [7,5,4,3] . الجدول رقم (١-٢) يوضح التركيب الكيميائي التقريبي للأصناف المختلفة وبعض الخواص والجدول (٢-٢) يوضح تصنيف الكاربيدات وفق الاستخدام في عمليات التشغيل المختلفة .

الجدول رقم (٢-١): يوضح التركيب الكيميائي التقريبي للأصناف المختلفة وبعض الخواص^[5]

الرمز	التركيب الكيميائي (%Wt.)						الخواص			
	ISO Code	WC	TiC	Ta(Nb)C	Co	Ni	Mo	الكثافة (g/cm ³)	الصلادة (HV)	مقاومة الكسر المستعرض (MPa)
P01	-	٨٠	-	-	-	١٠	١٠	٥,٨	١٩٠٠	٨٥٠
P01	٥٠	٣٥	٧	٦				٨,٥	١٩٠٠	١١٠٠
P05	٧٨	١٦	-	٦				١١,٤	١٨٢٠	١٣٠٠
P10	٦٩	١٥	٨	٨				١١,٥	١٧٤٠	١٤٠٠
P15	٧٨	١٢	٣	٧				١١,٧	١٦٦٠	١٥٠٠
P20	٧٩	٨	٥	٨				١٢,١	١٥٨٠	١٦٠٠
P25	٨٢	٦	٤	٨				١٢,٩	١٥٣٠	١٧٠٠
P30	٨٤	٥	٢	٩				١٣,٣	١٤٩٠	١٨٥٠
P40	٨٥	٥	-	١٠				١٣,٤	١٤٢٠	١٩٥٠
P50	٧٨	٣	٣	١٦				١٣,١	١٢٥٠	٢٣٠٠
M10	٨٥	٥	٤	٦				١٣,٤	١٥٩٠	١٨٠٠
M20	٨٢	٥	٥	٨				١٣,٣	١٥٤٠	١٩٠٠
M30	٨٦	٤	-	١٠				١٣,٦	١٤٤٠	٢٠٠٠
M40	٨٤	٤	٤	١٠				١٤,٦	١٣٨٠	٢١٠٠
K01	٩٧	-	-	٣				١٥,٢	١٨٥٠	١٤٥٠
K05	٩٥	-	١	٤				١٥,٠	١٧٨٠	١٥٥٠
K٠١	٩٢	-	٢	٦				١٤,٩	١٧٣٠	١٧٠٠
K٢٠	٩٤	-	-	٦				١٤,٨	١٦٥٠	١٩٥٠
K٣٠	٩١	-	-	٩				١٤,٤	١٤٠٠	٢٢٥٠
K٤٠	٨٩	-	-	١١				١٤,١	١٣٢٠	٢٥٠٠

2.5- خواص واختبارات العدد الكاربيدية (Properties & Tests of Carbide Tools)**2.5.1- اختبارات المساحيق الداخلة في تصنيع العدد الكاربيدية (Powders Tests)^[6,5]**

إن عمليات تصنيع أجزاء الكاربيدات المسمنتة عامة و العدد الكاربيدية خاصة بتقنية المساحيق تعتمد أساسا على الصفات الكيماوية والفيزيائية للمساحيق الداخلة في صناعتها لذلك يجب إجراء الاختبارات لهذه المساحيق لتحديد الصفات المثلى ومن أهم الاختبارات المجرأة لها هي:-

١. نقاوة المسحوق وتركيبه الكيماوي .
٢. الحجم الحبيبي للمسحوق وتوزيعه .
٣. شكل حبيبة المسحوق .
٤. نسبة الكربون الحر فيها وكمية الكربون الداخلة في تكوين جزيئات مساحيق الكاربيدات .
٥. نسب كل من الأوكسجين والنتروجين فيها .
٦. الكثافة الظاهرية وكثافة الرص (Tap Density)^[٦] .
٧. صلادة المساحيق .
٨. الوزن النوعي (Specific Gravity) .
٩. السطح النوعي (Specific Surface) .

2.5.2- اختبارات العدد الكاربيدية الملبدة (Carbide Tools Tests)**١- الكثافة (Density)**

كثافة العدد الكاربيدية الملبدة تعطي مقياساً لآكمال عملية التلبيد التي تعمل على إحداث تقلص أو انكماش الأبعاد المكبوس النهائية وكثافة العدد الكاربيدية تعتمد أساسا على تركيبها الكيماوي حيث إن زيادة نسبة الكوبلت ونسبة كاربيد التيتانيوم تعمل على إنقاص الكثافة فمثلاً العدد المتكونة من تركيبة (WC/Co) تعطي كثافات عالية تصل إلى (15.4 g/cm³) أما تلك المتكونة من التركيبة العالية لكاربيد التيتانيوم مثل (WC/TiC/Co) أو (WC/TiC/Ta(Nb)C/Co) تعطي كثافات واطئة تصل إلى (5.5 g/cm³) وتحسب الكثافة عادة باستخدام طريقة أرخميدس من خلال المعادلة الآتية^[٦]:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

حيث إن :- M : كتلة النموذج (g) .

V : حجم النموذج (مقدار الماء المزاج)(cm³) ، ρ : كثافة النموذج (g/cm³) .

٢- الصلادة (Hardness)

تعد صلادة العدد الكاربيدية مقياساً لاداء البلى ومدى مقاومة الأداة لاختراق جزء مدبب من الماس خلالها ومقاومتها للتجليخ أو الخدش و صلادة العدد تقاس أما بمقياس فيكرز (HV-Vickers Hardness) وحسب المعادلة الآتية^[15,6] :-

$$HV = 1.8544 \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots(2-2)$$

حيث إن :-

P: الحمل المسلط (g).

d: طول الأثر الناتج (mm).

HV: قيمة الصلادة المايكروية (صلادة فيكرز) (Kg/mm²).

أو باعتماد مقياس روكويل (HRA) وتتراوح قيم الصلادة للعدد الكاربيدية بين (800-2400HV) أو (83-94.5HRA)^[9] وهذه القيم تتأثر بعوامل عدة منها :-
(التركيب الكيماوي للأداة ، الحجم الحبيبي للمساحيق الداخلة في تصنيع العدد ، توزيع الحجم الحبيبي ، مقدار الضغط المسلط ، درجة حرارة وزمن التلييد) حيث إنها تزداد بزيادة نسب الكاربيدات وتقل بزيادة نسبة الكوبلت وكذلك تزداد الصلادة مع تصغير الحجم الحبيبي للمساحيق وزيادة درجة حرارة وزمن التلييد (ليس زيادة عالية في درجة الحرارة لان الزيادة العالية تعمل على إعادة تبلور طور الكاربيد).

٣- الصلادة الحمراء أو الحرارية (Hot or Red Hardness)

صفة الصلادة الحرارية للعدد الكاربيدية المستخدمة في تشغيل المعادن مهمة جدا وذلك لجعلها محتقظة بمقاومتها في درجات الحرارة العالية المتولدة أثناء عملية القطع وخاصة عند قطع المعادن الصلدة بسرعات عالية والحصول على إنهاء سطحي وابعاد بدقة عالية للشغلة ، الصلادة الحرارية للأداة ترتفع مع زيادة كاربيد التيتانيوم وتقليل نسب الكوبلت فمثلا الأداة الحاوية على نسبة (6% Co) تبلغ صلابتها (1000 HV) عند درجة الحرارة (600°C) وهي أعلى من صلادة فولاذ السرعات العالية عند درجة حرارة الغرفة ، بصورة عامة فان قيم الصلادة الحرارية للأدوات الكاربيدية تتراوح بين (1300-1850 HV) عند درجة حرارة (100 °C) وبين (850-1380 HV) عند درجة حرارة (600°C)^[4] .

٤- مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S) Transverse Rupture Strength

تعد مقاومة الكسر المستعرض للعدد الكاربيدية مقياسا جيدا لمتانتها أو مقاومتها للصدمة وتحسب بتسليط حمل تدريجي على عينة مختبرية مهيأة لهذا الاختبار بأبعاد محددة وفق مواصفات عالمية وكما مبين في الشكل (2-3)، وتحسب بتطبيق المعادلة الآتية^[16]:-

$$T.R.S = \frac{3PL}{2Wt^2} K \quad \dots\dots\dots(2-3)$$

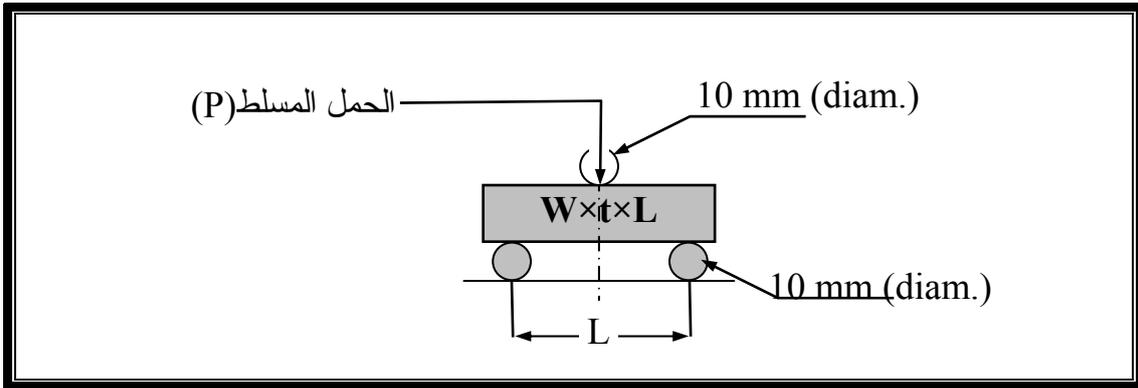
حيث إن:-

P: الحمل المسلط والمسبب للكسر (N)

L: المسافة بين نقطتي التثبيت (mm)

W: عرض العينة (mm) ، **K:** عامل التصحيح ≈ 1

t: سمك العينة (mm) ، **T.R.S.:** مقاومة الكسر المستعرض (N/mm^2)



الشكل رقم (2-3): يوضح طريقة حساب مقاومة الكسر المستعرض

مقاومة الكسر المستعرض تزداد مع زيادة الكوبلت وتكون أعلى قيمة لها عند السبيكة (WC/Co) وبنسبة كوبلت (20-25%) ، مقاومة الكسر المستعرض تتأثر بدرجة حرارة التليد حيث تنخفض مع خفض درجة حرارة التليد ، وبصورة عامة فان قيم مقاومة الكسر المستعرض للعدد الكاربيدية تتراوح بين ($600-3000 N/mm^2$)^[٥].

٥- مقاومة الانضغاط (Compressive Strength)

مقاومة الانضغاط للعدد الكاربيدية ولكلا المرتبتين (WC/Co) و (WC/TiC/Co) تكون عالية حتى في درجات الحرارة العالية وهي تقل بزيادة نسبة الكوبلت وكاربيد التيتانيوم وتكون أعلى قيم لها عند نسبة كوبلت (4%) وهي تمثل مقدار حمل الضغط المسلط على وحدة

المساحة لعينة مختبرية اسطوانية مهيأة لذلك الاختبار لحين الكسر ، تتراوح قيم مقاومة الانضغاط للعدد الكاربيدية بصورة عامة بين $(3000-7000 \text{ N/mm}^2)$ [9].

٦- مقاومة الصدمة (Impact Strength)

تعد مقاومة الصدمة للعدد الكاربيدية مقياسا لمتانتها ومقاومتها لحمل الصدم لذا فهي تبدو قريبة لمقاومة الكسر المستعرض (T.R.S)، ومقاومة الصدمة مهمة جدا للعدد المستخدمة في عمليات القطع غير المستمرة وقيم هذه المقاومة تعتمد على نوع السبيكة فمثلا سبيكة (WC/Co) تمتلك مقاومة صدمة أعلى من سبيكة (WC/TiC/Co) كما إنها تزداد مع زياد نسبة الكوبلت ، مقاومة الصدمة تمثل مقدار الطاقة المصروفة لكسر نموذج مختبري مربع الشكل مهيأ لهذا الاختبار نتيجة إسقاط حمل معلوم على نهايته وهذه الطاقة تمثل مقدار ارتفاع سقوط الحمل بصورة عامة فأن قيم طاقة الصدم للكاربيدات تتراوح بين $(٠,٤-٦ \text{ جول})$ حسب اختبار جاري (Charpy–Type Test)، يمكن حساب متانة الكسر (Fracture Toughness) بواسطة دراسة كيفية تولد الشق ونموه.

ولغرض الحصول على مقاومة صدمة مثالية يحبذ اتباع طريقة التشكيل بالكبس الحار الى جميع الاتجاهات (Hot-Isostatic Pressing) التي تعطي بنية متجانسة وخالية من العيوب الداخلية (Internal Flaws) [9].

٧- الموصلية الحرارية (Thermal Conductivity)

عدد القطع عامة والكاربيدية خاصة من الضروري إن تمتلك موصلية حرارية عالية لتشتيت الحرارة العالية الناتجة من عمليات القطع نتيجة تماس العدة مع الشغلة ، الحرارة العالية تعمل على تشويه حافة القطع وبالتالي حدوث الانهيار السريع للعدة ، الموصلية الحرارية لمرتبة (WC/Co) تعادل $(٢-٣)$ مرة الموصلية الحرارية لفولاذ السرعات العالية والمرتبطة (WC/TiC/Co).

بشكل عام الموصلية الحرارية للكاربيدات تنخفض مع زيادة نسب الكوبلت وكاربيد التيتانيوم وهي تساوي معدل الطاقة المنتقلة خلال وحدة المساحة لاختلاف درجة حرارة واحدة . قيم الموصلية الحرارية للكاربيدات تتراوح بين $(80-120 \text{ W/m.k}^\circ)$ للمرتبة (WC/Co) وهي أعلى من جميع أنواع الفولاذ ، وبين $(20-80 \text{ W/m.k}^\circ)$ لبقية أنواع المراتب وتكون اقل للسبائك ذات أساس (TiC) [9].

٨- معامل التمدد الحراري (Thermal Expansion Coefficient)

لا يعد هذا العامل ضروريا جدا للعدد الكاربيدية المستخدمة في عمليات القطع بل يكون ضروري للوصلات الكاربيدية الملحومة على مواد اخرى، معامل التمدد الحراري يزداد ببطء مع زيادة نسبة الكوبلت وكاربيد التيتانيوم وهو مقدار التمدد الحاصل لكل وحدة طول لدرجة حرارة ثابتة ، تتراوح قيم معامل التمدد الحراري للكاربيدات بين $(4.5-8.5) \times 10^{-6} / k^{\circ}$ درجات حرارة تتراوح بين $(0-800C^{\circ})$ [٥].

٩- مقاومة الشد (Tensile Strength)

تعد هذه الخاصية غير مهمة ايضا للعدد الكاربيدية بل تكون مهمة للاجزاء الكاربيدية الملحومة على أجزاء أخرى، ويمكن الحصول على مقاومة الشد التقريبية (T.S.) من مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S) ومقدارها $(T.S \approx 0.45-0.55 \text{ T.R.S})$ [٥]، أو من مقاومة الانضغاط (Compressive Strength) ومقدارها $(T.S. = 0.25 \text{ Comp. Str.})$ [٥]، أو يمكن الحصول على مقاومة الشد بدقة من اختبار الشد الأصلي ولكن هذا الاختبار صعب جدا وذلك لصعوبة مسك عينة الاختبار المهيأة لذلك ، تتراوح قيم مقاومة الشد للكاربيدات بين $(750-1500 \text{ N/mm}^2)$ ونتائج اختبار الشد تعتمد على حجم وتصميم عينة الاختبار وإنهائها السطحي [٥].

١٠- مقاومة التآكل (Corrosion Resistance)

تعد مقاومة التآكل للكاربيدات المسمنتة من الخواص المهمة وخاصة للكاربيدات المستخدمة في قوالب السحب والصناعات الكيماوية ومن السبائك الكاربيدية المستخدمة عادة في الأجواء الأكلة (Corrosive Environment) هي السبائك المتكونة من (WC/Co-Ni) [٥]. تعرف مقاومة التآكل بأنها معدل البلى التآكلي أو الكيماوي للكاربيدات الملبدة تحت ظروف مسيطر عليها وفي وسط تآكلي مناسب (Appropriate Corrosive Media) وهي تمثل مقدار الوزن المفقود لنموذج معرض لوسط أكال بدرجة حرارة ووقت محددين، ومقاومة التآكل تقاس بوحدات $(\text{mg} / \text{m}^2 \cdot \text{day})$ أو $(\text{mg} / \text{dcm}^2 \cdot \text{day})$ وهي تزداد مع تقليل نسبة الكوبلت [٥].

١١- مقاومة التأكسد (Oxidation Resistance)

مقاومة التأكسد للكاربيدات المسمنتة مهمة ومطلوبة ليس فقط لأدوات القطع بل حتى في الأجزاء الكاربيدية المستخدمة في الكبس الحار وزعانف التوربينات وفوهات الأنابيب ، السبائك المتكونة من (WC/Co) تكون اقل مقاومة للتأكسد من السبائك المتكونة من (WC/TiC/Co)

وذلك بسبب تكون طبقة غير ملتصقة في درجات الحرارة العالية (700°C - 1000°C) على حافة القطع المصنعة من السبيكة (WC/Co)^[٦].

١٢ - مقاومة الاحتكاك (Abrasion Resistance)

تعرف مقاومة احتكاك الكاربيدات المسمنتة بأنها مدى مقاومة نموذج من الكاربيدات لحمل الحك الفيزيائي ، تحسب مقاومة الاحتكاك أو التجليخ وفق المواصفات الألمانية (DINtest) بعمل نموذج كاربيدي بشكل قلم (Pin) أو جسيم (Block) ثم يسלט هذا القلم أو الجسيم على قرص الحك الدوار (Pin-on-Disc)، وهي تتمثل بعدد دورات القرص الحكاك (Abrasive Disc) ، قيم مقاومة الاحتكاك للكاربيدات تتراوح بين (1-250 mg/rev)^[٥].

١٣ - الفحص المجهرى (Metallographic Examination)

يعد الفحص المجهرى للعدد الكاربيدية ضروريا جدا لانه يستخدم في الكشف عن العيوب الداخلية فيها وتحديد بعض الخواص الفيزيائية لها (فحص الحجم الحبيبي وتوزيعه ، فحص المسامية (Porosity) ، نسبة الكاربون الحر ونقص الكاربون المتمثل بطور أيتا (η -phase) الهش ، وتحديد الأطوار المتكونة في البنية المجهرية للعدد) .

يتم الفحص المجهرى حسب المطلوب وهو على ثلاثة أنواع هي^[١٧،١٨] :

١ . الفحص المجهرى بصورة عامة .

٢ . فحص المسامية .

٣ . فحص الإظهار وتحديد الأطوار .

فالفحص الأول يتم بتكبير (Magnification) مقداره (30X أو 20X أو 10X أو اقل) ويستخدم للكشف عن النقر والحفر المكشوفة (Detecting Pits) وعيوب الكبس (Pressing Flaws)، والتلويث (Contamination) في الخلطة المستخدمة في صناعة العدد والانعزال (Segregation)، ونسبة الكاربون الحر ونقص الكاربون (Carbon Deficiency) المتمثل بطور أيتا (η -phase)، وفحص سطح الكسر (Fracture Surface) .

أما الفحص الثاني فيستخدم لفحص المسامية (Porosity) باعتماد تكبير مقداره (100X أو 200X) وهذا التكبير يحدد وفق حجم المسامية (Pore Volume) في بنية العدة الكاربيدية المراد فحصها وكما مبين أدناه^[١٧،١٩] :

المسامية (A) قطر المسامية $> 10\mu\text{m}$ - تحتاج تكبير (200X).

المسامية (B) $10\mu\text{m} >$ قطر المسامية $> 25\mu\text{m}$ - تحتاج تكبير (100X)

المسامية (C) قطر المسامية $< 25\mu\text{m}$ - تحتاج تكبير (100 X)

أما الفحص الثالث فيكون بعد تحضير محلول الإظهار المتمثل (10g) فيروسيانيد البوتاسيوم (Potassium Hexa Cyano-Ferrate / $K_3Fe(CN)_6$) + (10g) هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) أو هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) + 100ml ماء مقطر]، الذي يستخدم لغسل السطح النهائي المهيأ للفحص وهذا المحلول يساعد على إظهار الأطوار التالية المكونة لبنية الكربيدات .

- طور (α) / كربيد التنكستن .
- طور (β) / المعدن الرابط (كوبلت ، نيكل ، حديد) .
- طور (γ) / الكربيدات المركبة (Ti,Ta,Nb,WC)C
- طور (η) / المركب الهش ($Co_6W_6C-M_{12}C$) و ($Co_3W_3C-M_6C$) .
- كربيد التنكستن الثنائي (Di - Tungsten Carbide – W_2C) .
- البنية الداخلية لطبقة الطلاء المتمثلة ($Al_2O_3, TiN, TiCN, TiC$) .

١٤- أداء القطع (Cutting Performance)

يعد اختبار أداء العدة في قطع المعادن من الاختبارات المهمة والضرورية جدا لتقييم خواصها ومدى ملائمتها للاستخدام في القطع ، ويتأثر أداء عدة القطع بعدة عوامل منها^[٢٠،٢١]:-

- ١- متغيرات الماكينة (Machine Variables):- وتشتمل هذه المتغيرات على :-
 - a- الصفات العامة للماكينة (قدرة الماكينة ومكان تثبيت المشغولة وطريقة التثبيت) .
 - b- نظام القطع (Cutting Condition) (سرعة القطع والتغذية وعمق القطع) .
 - ٢- متغيرات المشغولة (Workpiece Variables):- وهذه المتغيرات هي :-
 - a- التركيب الكيماوي للمشغولة ، بعض العناصر الداخلة في تركيب المشغولة مثل (الكربون ، السليكون ، الفسفور والكبريت.. وغيرها) لها تأثير كبير على قابلية القطع^[٢٣، ٢٤] فقد دَرَس الباحثان (Donaldson & Goold)^[٢١] تأثير نسبة الكربون على قابلية التشغيل، ووضحا بأن زيادة محتوى الكربون يُحسن قابلية التشغيل للفولاذ المنخفض الكربون ذي نسبة أقل من (0.15 % C) .
 - b- الخواص الفيزيائية والميكانيكية والحرارية للمشغولة ، بشكل عام فان صلادة ومقاومة المشغولة العالية تنتج عمر أداة قصير ومعدل إزالة قليل .
- الموصلية الحرارية العالية للمشغولة تؤدي الى لحام أو التصاق حافة قطع الأداة وتكوين الحد القاطع الناشئ (B.U.E /Built-Up-Edge) الذي يؤثر على دقة أبعاد المنتج ، اما الموصلية الحرارية العالية للمشغولة تعمل على زيادة عمر الأداة من خلال حمل الحرارة المتولدة أثناء القطع بعيدا عن منطقة القطع أثناء تكوين النحافة^[٢٠] .

٣- تأثير سائل التبريد (Cutting Fluid):- إن اضافة سائل التبريد الى منطقة القطع يؤدي الى خفض تأثير تخفيض الحرارة المتولدة وتقليل الاحتكاك وقوى الاحتكاك وتقليل البلى وهذا يؤدي الى إطالة عمر الأداة .

٤- متغيرات العدة (Tool Variables) تشتمل هذه المتغيرات على :-

a- مادة العدة (Tool Material) أن المتطلبات الضرورية لمادة عُدّة القطع هي الصلادة العالية والصلادة الحرارية العالية والمتانة الجيدة ومقاومة البلى العالية لجميع أنواعه وموصلية حرارية عالية وحرارة نوعية واطئة ومعامل احتكاك واطئ ومقاومة تآكل عالية ومقاومة عالية لهجوم سوائل القطع ومقاومة كلال جيدة والكلفة الواطئة [٢٢،٧،٤،٣].

b- الشكل الهندسي للعدة (Tool Geometry) الشكل الهندسي للعدة يشير الى زواياها، وهذه الزوايا تصنف الى [٧،٤،٣] :-

- زاوية الجرف الجانبية (Side Rake Angle) هي الزاوية الواقعة بين وجه العُدّة العلوي والخط الموازي لقاعدة العدة ، وتقاس في المستوي العمودي لقاعدة العدة وزاوية حافة القطع الجانبية.
- زاوية الجرف الخلفية (Back Rake Angle) هي الزاوية الواقعة بين وجه العُدّة والخط الموازي لقاعدة العُدّة، والاختلاف في قيم زوايا الجرف الخلفية تؤثر على اتجاه جريان النحّاتة (Chip Flow).
- زاوية الخلوص الجانبية (Side Relief Angle) هي الزاوية الواقعة بين الخلوص الجانبي للعُدّة والخط النازل عموديا على القاعدة وزيادة هذه الزاوية تقلل القوى المطلوبة للتشغيل وإنجاز عملية قطع بكفاءة اكبر، والزيادة الكبيرة لزاوية الخلوص الجانبية تؤدي الى كسر حافة القطع بسبب التثبيت غير الكافي (Insufficient Support) أما نقصان هذه الزاوية يؤدي الى التصاق حافة القطع الجانبية بالمشغولة وتؤدي الى زيادة قوى القطع والحرارة المتولدة نتيجة فعل الحك .
- زاوية الخلوص النهائية (End Relief Angle) هي الزاوية الواقعة بين الخلوص النهائي والمستوي العمودي الى قاعدة العُدّة والغرض من هذه الزاوية هو منع الحك بين المشغولة وسطح خلوص العُدّة ، زاوية الخلوص العالية تقلل مقاومة العُدّة وتؤدي الى كسرها وذلك لان الزاوية العالية تحتاج الى مقاومة قص وصدمة عالية للعُدّة .
- زاوية حافة القطع الجانبية (Side Cutting Edge Angle-SCEA) الزيادة في هذه الزاوية تؤدي الى تناقص الاهتزازات في العدة نتيجة توزيع اجهادات القطع عليها بالتساوي وإنقاص سمك النحّاتة ودرجة الحرارة على حافة القطع وبالنتيجة فان زيادة زاوية حافة القطع الجانبية تؤدي الى إنقاص معدل بلى الأداة ومن ثم زيادة عمرها ولكن الزيادة الكبيرة جدا لها تسبب الاهتزاز في العدة وتؤدي الى فشلها بسبب زيادة مناطق التماس .

- زاوية حافة القطع الرئيسية (End Cutting Edge Angle-ECEA) تفصل هذه الزاوية عن زاوية حافة القطع الجانبية بواسطة زاوية الخلوص والتي تسمح فقط لجزء صغير من زاوية حافة القطع الرئيسية بتماس سطح المشغولة .
- راس العدة (Tool Nose) يتكون من تقاطع الحافة الرئيسية والحافة الجانبية وان زيادة راس العدة يؤدي الى زيادة طول تماس حافة قطع العدة بالمشغولة مما يؤدي الى تحسين عمر العدة والإنهاء السطحي للمشغولة وان الزيادة الكبيرة لراس العدة تسبب الاهتزازات .
- كسارات النحاتة (Chip Breaker) بالرغم من إمكان السيطرة على جريان النحاتة بواسطة التحكم بزوايا القطع للأداة لكنه يمكن ايضا بواسطة حفر مجرى في سطح الأداة أو بواسطة تثبيت قطع صغيرة من الفولاذ على سطح الأداة اللذين يعملان على تكسير النحاتة وتقليل التماس بين الأداة والمشغولة مما يعمل على تقليل قوى القطع ودرجة حرارة القطع مما يؤدي الى تحسين أداء الأداة وإطالة عمرها .
- ٥- بلى العدة (Tool Wear) يعرف بلى العدة بأنه مقدار الوزن المفقود من العدة خلال تماسها مع سطح المشغولة ويحدث البلى بعدة آليات منها [٢٢٠٧،٤٤٣٠١] :-
- البلى الالتصاقي (Adhesion Wear) ينتج البلى الالتصاقي من التحام أو التصاق المعدن المقطوع بسطح أداة القطع . ان زيادة الالتحام تعني زيادة قوى القطع وزيادة درجة الحرارة الناشئة عند القطع مما يؤدي الى ليونة سطح أداة القطع وعاقة أدائها في القطع .
- البلى التجليخي أو الحكي (Abrasive Wear) يحدث البلى التجليخي نتيجة توغل جسم متحرك صلادته أعلى من صلادة السطح المقابل، ورغم إن أداة القطع تقوم بقطع معدن اقل صلادة من صلادتها لكن هذا البلى يحدث نتيجة الشوائب الصلدة الموجودة في المعدن المراد قطعه والتي لها صلادة أعلى من صلادة سطح أداة القطع .
- البلى الانتشاري أو التنافذي (Diffusion Wear) هو البلى الناشئ من انتقال جزيئات معدن العدة الى المعدن المقطوع أو بالعكس. وهذا البلى يؤدي الى ارتفاع درجة الحرارة مما يؤدي الى تلين ترابط حبيبات سطح العدة فيحصل انتقال جزيئي أو معدني من سطح العدة الى المعدن المقطوع وتسمى هذه الحالة بنفوذ معدن العدة الى المعدن المقطوع.
- البلى الانهباري (Attrition Wear) يحدث هذا البلى نتيجة انخلاع جسيمات كبيرة نسبيا وبحالة منقطة من سطح أداة القطع، ويحدث هذا الانخلاع نتيجة جريان النحاتة غير المنتظم وتولد الحد القاطع الناشئ (BUE) وتماس العدة غير المستمر مع المشغولة .
- البلى التأكسدي (Oxidation Wear) هو البلى الناشئ نتيجة درجات الحرارة العالية المتولدة أثناء القطع نتيجة السرعة العالية للقطع وتماس العدة مع المشغولة .

- البلى الكلاسي (Fatigue Wear) هو البلى الذي يظهر كتشقق نتيجة الاهتزازات الناتجة من القطع .

يُقيم أداء العدة بتقدير عمرها ويتم ذلك بالاستعانة بمعادلة تايلر (Taylor's Equation) المبينة أدناه:-

$$VT^n = C \quad \dots\dots\dots(2-4)$$

حيث إن :- V : سرعة القطع (m/min).

T : عمر أداة القطع (min). C, n : قيم ثابتة.

وعمر الأداة يعرف بأنه مقدار الزمن المستغرق للعدة في قطع معدن ما وصولاً إلى حد الفشل ، حد الفشل يحدد وفق المعايير الآتية^[٧] :-

١- معيار البلى الخلوصي (Flank Wear Criterion) تعد الحرارة المتولدة على سطح الجرف أهم عامل لتكوين بلى سطح الخلوص ، إذ تنتقل الحرارة من سطح الجرف إلى سطح الخلوص ؛ عرض بلى الخلوص (VB) هو مجموع البلى الحاصل وكما مبين في المعادلة أدناه^[٧] :-

$$VB=(VB_1+VB_2 +VB_3)/3 \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

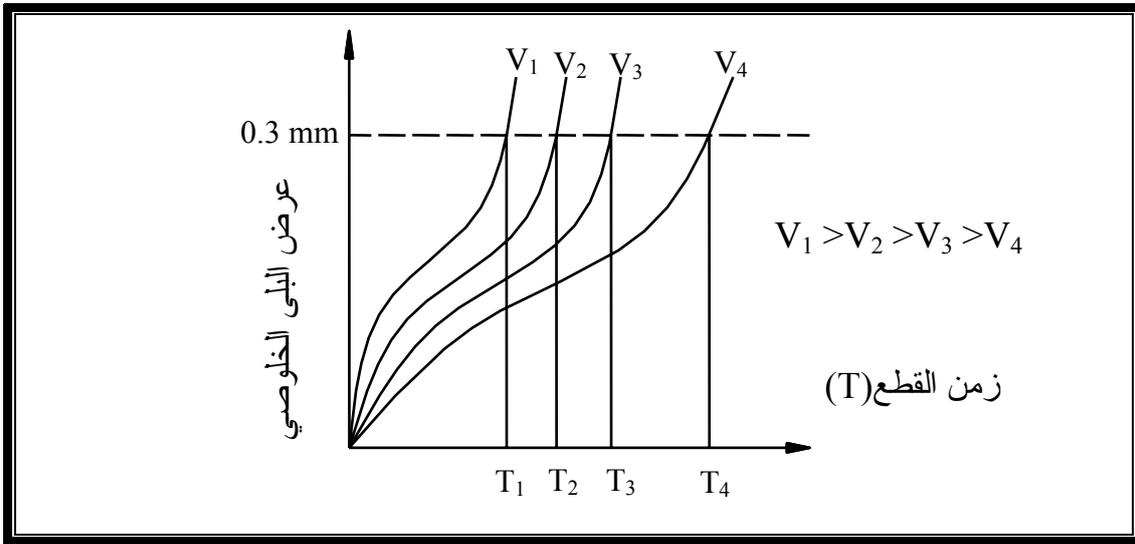
ويستمر قياس عرض بلى الخلوص كل (دقيقة مثلاً) حتى وصوله الحد المتفق عليه على وفق المواصفات العالمية فمثلاً يحدد حد البلى بين (0.3-0.6mm) بالنسبة للعدد الكاربيدية وفق مواصفة (ISO-3685)^[٢٣].

٢- معيار البلى التقرعي او الحفري (Crater Wear Criterion) على سطح الجرف :- يقع التقرع ضمن منطقة الالتحام التابعة لمنطقة التماس ويعد هذا المعيار اقل أهمية من معيار البلى الخلوصي في تقدير عمر أداة القطع ، يقاس البلى التقرعي كل فترة زمنية (دقيقة مثلاً) لغاية وصوله الحد المتفق عليه وهو (KT=0.18mm) حسب المواصفة أعلاه^[٢٣].

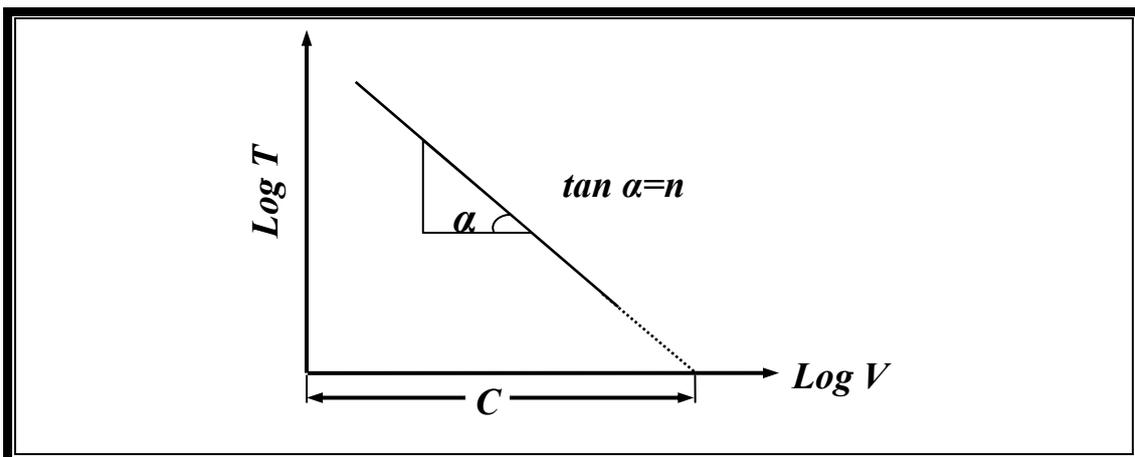
٣- معيار البلى الناشيء على رأس العدد (Nose Wear Criterion) ، يُعد هذا المعيار أقل المعايير أهمية في تقدير عمر اداة القطع، إذ يقاس البلى الراسي كل فترة زمنية (دقيقة مثلاً) حتى وصوله الحد المتفق عليه وهو (Nose Wear = 0.025 inch ≈ 0.6 mm)^[24].

4- معيار الإنهاء السطحي (Surface Finish Criterion) يعبر عن الإنهاء السطحي بالخشونة النهائية الناتجة من عمليات القطع المختلفة وهي حاصل تاثير الخشونتين المثالية والطبيعية فالخشونة المثالية هي الخشونة الناتجة من شكل العدة ومقدار التطعيم ، اما الخشونة الطبيعية هي الخشونة الناتجة عن عدم انتظام عملية القطع .
ولتقدير عمر أداة القطع يتبع الآتي :-

- تحديد قيم سرع القطع المختلفة وهي مثلا $(V_1 > V_2 > V_3 > V_4)$.
- التطعيم المستخدم لتقدير عمر الأداة به يجب أن يكون مقدار ثابت من V_1 الى V_4 .
- عمق القطع يجب ان يكون ثابت للسرع من V_1 الى V_4 . يتم تقدير عمر اداة القطع بواسطة حساب عرض البلى باعتماد معيار البلى الخلوصي – الذي يعد افضل مقياس لذلك وذلك لتقليل المعدن المشغل والاختصار في العملية^[٢٥] – ومن ثم ترسم العلاقة بين البلى الخلوصي والزمن المسبب لهذا البلى وكما مبين في الشكل (٢-٤)، ثم ترسم العلاقة بين السرعة والزمن المستغرق لحدوث حد الفشل للأداة (T-V)، وكما مبين في الشكل (٢-٥)، ثم يحسب الثابت (n) والثابت (C) وتطبق معادلة تايلر $(VT^n = C)$ لحساب عمر الاداة.



الشكل رقم (٢-٤) العلاقة بين البلى الخلوصي والزمن المسبب له^[7].



الشكل رقم (٢-٥) العلاقة بين السرعة والزمن المستغرق لحدوث حد الفشل^[1]

جدول رقم (2-2): يوضح تصنيف الكاربيدات حسب استخدامها في عمليات التشغيل المختلفة^[5].

الرمز	معادن الشغلات	اللون	التسمية	معادن الشغلات	شروط الإستعمال	إتجاه زيادة الصفات
P	المعادن الحديدية بنحاة طويلة	أزرق	P01	فولاذ، مصبوبات الفولاذ	إنهاء سطحي للخراطة الداخلية والخارجية، مساحة مقطع نحاة صغيرة، دقة الإنهاء، خلو العملية من الإهتزازات	زيادة السرعة زيادة التطعيم
			P10	فولاذ، مصبوبات الفولاذ	خراطة، إستسناخ، قوالب، تفريز، سرعة قطع عالية ومقطع نحاة صغير أو متوسط	
			P20	فولاذ، مصبوبات الفولاذ، حديد الصب الطروق ذو نحاة طويلة	خراطة، إستسناخ، تفريز، سرعة قطع ومقطع نحاة متوسط، التسوية بمقطع صغير	
			P30	فولاذ، مصبوبات الفولاذ، حديد الصب الطروق ذو نحاة طويلة	خراطة، تفريز، تسوية، سرعة قطع متوسطة أو منخفضة ومقطع نحاة متوسط أو كبير	
			P40	فولاذ، مصبوبات الفولاذ بمتضمنات رملية وفجوات	خراطة، تسوية، تحديد، سرعة قطع واطنة ومقطع نحاة طويل، الإستعمال مكان أو توماتيكية	
			P50	فولاذ، مصبوبات الفولاذ ذات مقاومة شد متوسطة أو واطنة بمتضمنات رملية وفجوات	خراطة، تسوية، سرعة قطع واطنة، مقطع نحاة كبير، إستخدام مكان أو توماتيكية	
M	معادن حديدية بنحاة طويلة أو قصيرة	أصفر	M10	فولاذ، مصبوبات الفولاذ، الفولاذ المغنيسي، حديد الصب الرمادي	خراطة، سرعة قطع عالية أو متوسطة مقطع نحاة صغير أو متوسط	زيادة السرعة زيادة التطعيم
			M20	فولاذ، مصبوبات الفولاذ الأوستنايتي والمغنيسي، حديد الصب الرمادي	خراطة، تفريز، سرعة قطع متوسطة أو عالية، مقطع نحاة صغير أو متوسط	
			M30	فولاذ، مصبوبات الفولاذ، الفولاذ الأوستنايتي سبانك المقاومة للحرارة	خراطة، تفريز، سرعة قطع متوسطة، مقطع نحاة متوسط	
			M40	فولاذ طري سهل التشغيل، فولاد ذو مقاومة واطنة، معادن لا حديدية وسبانك خفيفة	خراطة، تفريز، تسوية، سرعة قطع متوسطة، مقطع نحاة متوسط أو كبير	
K	معادن حديدية بنحاة قصيرة ومعادن لا حديدية	أحمر	K01	حديد صب رمادي صلب جداً، مصبوبات، حديد الصب الأبيض، سبانك الألمنيوم-السليكون العالية، فولاد مصلد، مواد لدنة حاكة وسيراميك	خراطة، خراطة نهائية، تجويف، تفريز، تلقيط	زيادة السرعة زيادة التطعيم
			K10	حديد صب رمادي لحد ٢٢٠ برنل، حديد صب طروق، فولاد مصلد، سبانك نحاسية	خراطة، خراطة نهائية، تجويف، تفريز، تلقيط	
			K20	حديد صب رمادي لحد ٢٠٠ برنل، معادن لا حديدية (نحاس، برصاص، برونز، ألمنيوم)	خراطة، تفريز، تسوية، تجويف، تخليق، تسنين	
			K30	حديد رمادي لين، فولاد مطاوع، خشب مضغوط	خراطة، تفريز، تسوية	
			K40	خشب طري أو خشب صلد ومعادن غير حديدية	خراطة، تفريز، تسوية	

الفصل الثالث

البحوث السابقة

3.1- مقدمة

تعد عمليات قطع المعادن من العمليات المهمة والضرورية في تصنيع الأجزاء المهمة في المجالات الصناعية المختلفة مما أدى إلى الاهتمام بعدد القطع بهدف تحسين صفتها واستغلالها بشكل أمثل من أجل خفض تكاليف الإنتاج وزيادة الإخراج بدقة عالية وإنهاء سطحي جيد ، وبما إن خواص العدد عامة والكاربيدية خاصة تتأثر بعوامل عدة ، فقد اتخذت البحوث في هذا المجال اتجاهات عدة منها :

- دراسة تأثير البنية والتركيب الكيميائي بواسطة تغيير نسب المكونات الأساسية للكاربيدات المسمنة ، أو بواسطة استبدال أو إضافة مساحيق جديدة إلى التركيبة الداخلة في صناعة العدد الكاربيدية أو من خلال تغيير بنيتها بواسطة تصغير الحجم الحبيبي لمكونات البنية .
- دراسة الشكل الهندسي للعدة وتأثيره على إداؤها وعمرها التشغيلي .
- دراسة تأثير إكساء العدة بطبقة أو عدة طبقات على إداؤها وعمرها التشغيلي .
- تحديد ظروف تصنيع العدد وظروف تشغيلها المثلى للخروج بعدة ذات عمر أطول وتكاليف تصنيع واطئة نسبياً .

وفي هذا الفصل عرض لبعض البحوث التي اهتمت بتطوير خواص عدد القطع الكاربيدية ورفع كفاءة استخدامها والتي تتحصر ضمن الاتجاهات المذكورة أعلاه.

3.2- تأثير بنية وتركيب الكاربيدات المسمنة

(Effect of Structure and Composition of Cemented Carbide)

تتكون الكاربيدات المسمنة أساساً من جزيئات الكاربيدات الصلدة المتمثلة بكاربيدات التيتانيوم (Ti) والتنتستن (W) والتنتالوم (Ta) والنيوبيوم (Nb) ... وغيرها (مطمورة في أرضية من معدن مطيلي عادة ما يكون الكوبلت (Co) وعادة ما تتكون بنية الكاربيدات المسمنة بعد التليد من $(Ti, W, Ta, Nb)C / \gamma$ -phase) و $(WC / \alpha$ - phase) وطور المعدن الرابط (β -phase)، ولهذا فإن صفات الكاربيدات المسمنة تتعلق بنسب تركيب المكونات ونسب ظهور الأطوار وكذلك تتعلق بالبنية المكونة لها بعد التليد من حيث الحجم الحبيبي وتوزيعه وشكل الحبيبة وظهور طور (η) القصيف ودرجة ارتباط (Contiguity)

واستمرارية (Continuity) جزيئات الكاربيدات بعضها البعض، وعلى هذا الأساس فإن الكثير من الباحثين [28,27,26,21,3] درسوا تأثير بنية وتركيب الكاربيدات المسمنتة على خواصها النهائية.

فمثلا الباحث (E. Lardner) [26] ركز على تأثير بنية وتركيب الكاربيدات المسمنتة على خواصها من خلال دراسة بعض المتغيرات (نسبة الكاربيدات الصلدة وظهور طور (η) والحجم الحبيبي للمساحيق وتوزيعه ودرجة ارتباط واستمرار جزيئات (WC/WC) في البنية)، إذ استنتج بان زيادة ارتباط جزيئات (WC/WC) يؤدي إلى زيادة الصلادة والتقليل من مقاومة الكسر المستعرض، ووضح أيضا بان تأثير توزيع الحجم الحبيبي اكبر من تأثير الحجم الحبيبي وانه بالإمكان الحصول على بنية كاربيدات مسمنتة مثالية بواسطة تحديد العوامل الآتية :-

- الحجم الحبيبي إذ يعد من العوامل المؤثرة على مقاومة البلى والصلادة .
- السيطرة على نسبة الكربون بواسطة تحديد نسبة الكربون في بنية الكاربيدات الصلدة وهي (6%) مع السيطرة على هذه النسبة بسماحات (± 0.05) .
- السيطرة على المسامية إذ يجب الاحتفاظ بمقدار مسامية قليل جداً من حيث عدد وحجم المسامات.

ووضح الباحث [26] أيضاً بان إضافة (TiC) يعمل على تكوين طبقة حامية على سطح العدة مما تقلل البلى الحفري ، أما الزيادة الكبيرة منه تقلل المقاومة . كما بين إمكانية تحسين مقاومة البلى الانتشاري لسبائك الكاربيدات المتكونة من (WC-(4-30%)Co) بواسطة إضافة مواد جديدة (TiC, NbC, TaC) وإمكانية تحسين صلابتها بإضافة (VC, Cr₃C₂, TaC) حيث الكاربيدات الصلدة الأخيرة تعمل على تصغير الحجم الحبيبي والحد من نموه. درس الباحث أيضاً تأثير الكربون الحر على المقاومة ومقاومة البلى حيث إن زيادته تقلل المقاومة ونقصانه يؤدي إلى تكوين طور (η) القصيف ، واهم استنتاج للباحث هو إن معدلات البلى تتعلق بالحجم الحبيبي للمكونات اكثر من الصلادة فمثلا السبائك ذات الحجم الحبيبي الناعم والمتكونة من (WC-16%Co) وذات صلادة (1265 HV) تكون اكثر مقاومة للبلى الانتشاري من السبائك ذات الحجم الحبيبي الخشن والمتكونة من (WC-4.5% Co) وذات صلادة (1600 HV) .

أما الباحثان (Donaldson & L. Goold) [21] والباحثان (R.Komanduri & W.R.Reed) [27] والكثير غيرهم [5,4,3] فقد وضحوا بان أي تغير في نسبة الكوبلت أو الحجم الحبيبي لجزيئات (WC) في الكاربيدات المسمنتة سوف تؤثر على قيم الصلادة والمتانة فمثلا تقليل نسبة الكوبلت أو تصغير الحجم الحبيبي يؤدي إلى تحسين صلادة

ومقاومة بلى العُدَد الكاربيدية المصنعة من تلك الكاربيدات ، وأن زيادة الكوبلت أو الحجم الحبيبي تؤدي الى زيادة مقاومة الكسر المستعرض وتحسين المتانة.

أما الباحث (J. Basse)^[28] فدرس تأثير بنية وتركيب الكاربيدات المسمنة على خواصها فاستنتج بان إضافة (TaC ,TiC) يحسن أداء العدة، وان زيادة نسبة الكوبلت تخفض الصلادة وتزيد مقاومة الكسر المستعرض ، وأيضا استنتج بأن الصلادة تنخفض مع زيادة الحجم الحبيبي لجزئيات (WC) في السبائك ذات أساس (WC-Co) ، ووضح إمكانية تحسين هذه السبائك بإضافة (TiC,NbC,TaC) إليها .

أما الباحث (E. Trent)^[3] فبين بأن السبائك ذات أساس (WC-(4-12%)Co) تمتلك مقاومة شد عالية وتعطي تشوه لدن عالي قبل الكسر مما يؤدي إلى زيادة الطاقة الممتصة قبل تكوين الشق وهذه الطاقة أعلى من بقية سبائك الكاربيدات المسمنة ، وهذه السبائك (WC-Co) تمتلك مقاومة بلى انهيارى افضل من بقية السبائك عند سرع قطع واطئة وانه توجد إمكانية لتحسين مقاومتها للبلى الانهيارى عند سرع قطع عالية وتقليل البلى الانتشارى من خلال إضافة كاربيدات (Ti,Nb,Ta,Zr) بنسب (5-20%) ، كذلك درس (Trent) تأثير البنية (الحجم الحبيبي وتوزيعه وشكل حبيبة الكاربيدات الصلدة والمعدن الرابط) على صفات (صلادة ومقاومة ومتانة) أجزاء الكاربيدات المسمنة فوجد بأن صفاتها تتأثر جدا ببنيته وبنسب مكوناتها من الكاربيدات الصلدة والمعدن الرابط وتوزيع الأطوار فيها ، فمثلا مقاومة الانضغاط والصلادة تكون عالية عند نسب كوبلت واطئة بينما مقاومة الحني (Bending Strength) تكون واطئة والعكس بالعكس وكذلك فان مقاومة الانضغاط والصلادة تكون عالية عند حجم حبيبي ناعم للمساحيق ومقاومة الحني تكون واطئة ، ووضح الباحث أيضا العلاقة بين (الإجهاد-الانفعال) (معامل المرونة-Modulus of Elasticity) لسبائك الكاربيدات المسمنة فكانت قيمته تساوي (628 GPa) لسبائك (WC-6%Co) ويساوي (600 GPa) لسبائك (WC-12%Co) بينما تساوي (230 GPa) لفولاذ السرعات العالية (HSS).

أما دراسات الباحثين^[31,30,29] فتضمنت تأثير الحجم الحبيبي على صفات الكاربيدات المسمنة ، فمثلا الباحث (J. Chermant) وجماعته^[29] وضحوا بان تغير البنية والتركيب لسبائك ذات أساس (WC - Co) من حيث نسبة الكوبلت والحجم الحبيبي لمكوناتها له تأثير كبير على مقاومة الحني والانضغاط فاستنتجوا بان مقاومة الحني تزداد مع زيادة نسبة الكوبلت والحجم الحبيبي للمكونات ومقاومة الانضغاط تقل مع زيادة الكوبلت والحجم الحبيبي والعكس صحيح .

أما الباحث (E. Uygur)^[30] فقد استنتج بان قيم الصلادة تنخفض مع زيادة الحجم الحبيبي ونسبة الكوبلت وكذلك فان الكثافة النهائية (Bulk-Density) تنخفض مع زيادة نسبة (Co) بالنسبة للسبائك ذات أساس (WC-Co) ، ومع زيادة نسبة (TiC) بالنسبة للسبائك ذات أساس (WC-TiC-Co) ، كذلك قيم الكثافة الخضراء والنقلص تنخفض مع زيادة (TiC) أيضا بينما معدلات حجوم المسامات تزداد مع زيادة نسبة (TiC).

أما الباحث (Ch. Chatfield)^[31] فأكد بأن مسحوق التتستن الناعم يمتلك صلادة حرارية أعلى من مسحوق التتستن والتيتانيوم الخشن في جميع درجات الحرارة وهذا شيء مهم لاستخدام المساحيق الناعمة أو تصغير الحجم الحبيبي للمساحيق الداخلة في صناعة العدد الكربيدية لتحسين صلابتها الحرارية ومقاومتها للبلى الساخن.

الباحثون^[4,2,1] وضحوا بان خواص الكربيدات المسمتة تتأثر أساسا بنسب الكربيدات الصلدة والمعدن الرابط والحجم الحبيبي لهما فمثلا الكربيدات المسمتة تكون صلدة عند حجم حبيبي ناعم وتكون متينة واقل صلادة نسبيا عند الحجم الحبيبي الخشن ، وكذلك اتفقوا مع (دمحمد التورنجي و دضياء شنشل)^[7] بان إضافة (TaC, TiC, WC) إلى مكونات الكربيدات تؤدي إلى تحسين خواصها وتقليل مقدار تحفرها فمثلا إضافة (WC) يؤدي إلى رفع مقاومة البلى ومقاومة الضغط وان زيادة (Co) يؤدي إلى تحسين مقاومة الحني والمتانة ، وان زيادة (TiC) يرفع الصلادة ويحسن مقاومة البلى ، ويقلل مقاومة الحني والمتانة وكذلك يقلل قابلية التوصيل الحراري ، وان إضافة (TaC) بنسبة قليلة (2%) يؤدي إلى تعميم الحبيبات ورفع الصلادة بشكل طفيف ، ولكن مع زيادته تقل الصلادة وتقل المتانة ولكن بشكل اقل من تأثير (TiC) ولهذا فان العدد الكربيدية الحاوية على نسبة من (TaC) تمتلك مقاومة حواشي عالية إذ أنها ذات مرونة ولا تتكسر بسرعة وذلك لان صلادة (TiC) هي (3200 HV) بينما صلادة (TaC) لا تتعدى (1800 HV).

الباحثان (A. Kulmburg & F. Zeman)^[32] درسا تأثير زيادة ونقصان محتوى الكربون في العدد الكربيدية المتكونة من (WC-TiC-(Ta,Nb)C-Co) وذلك من خلال إضافة اسود الكربون لغرض زيادة الكربون وإضافة مسحوق التتستن لإنفاص الكربون فاستنتجا بان زيادة الكربون تؤدي إلى تكوين مسامات في المنتج النهائي مما يؤدي إلى خفض الصلادة مما يقلل أداء القطع بصورة كبيرة ، وان إضافة نسبة (0.1% C) يخفض النقلص بمقدار (2%) واستنتجا بان نقصانه يؤدي إلى ظهور طور (Co₃W₃C-η) القصيف في البنية النهائية.

أما الباحث (A. Perry)^[33] فوضح بان إضافة (TiC) إلى تركيبة العدد (WC/Co) تعمل على خفض المتانة ورفع الصلادة ، مما تعطي العدة قابلية التشغيل بسرعات قطع عالية

وكذلك فإن (TiC) يعمل على إنقاص الحجم الحبيبي والمسامية المتبقية ويعمل على تحسين مقاومة البلى والمتانة ، ودرس الباحث أيضا تأثير إضافة كربيد الهافنيوم (HfC) إلى تركيبتي (WC-Co) و (WC-TiC-Co) على بعض الخواص فاستنتج بان (HfC) يؤدي إلى إنقاص البلى الحفري وتحسين مقاومة الحني بمقدار (50%) عن تركيبة (WC-Co) التقليدية، وكذلك يحسن مقاومة التحفر (Cratering Resistance) واستنتج الباحث بان افضل معدن رابط يستخدم لربط (HfC) هو (Co) ولا يصلح (Ni) ولا (Mo-Ni)، كربيد الهافنيوم يعطي خواص مقاربة أو اقل بقليل من (NbC, TaC, VC) ، وان أهم استنتاج للباحث هو إمكانية استبدال (HfC) مكان (TaC)، وان افضل إضافة إلى (WC-Co) هي (4NbC-2HfC-2TaC) ولا يمكن استبداله مكان (TiC).

الباحث (M. Hellsing)^[34] وضح بان المعاملة الحرارية للكاربيدات المسمتة وبحالتها الصلبة تعمل على تغيير تركيبة الرابط على أساس إن مقدار محدد من (WC) سوف يذاب وكمية (W) ستصبح متساوية التوزيع واستنتجوا بان ذوبانية التنكستن في المعدن الرابط لا تحدث فقط نتيجة درجة الحرارة بل أيضا بواسطة نسبة الكربون وذلك مما يتيح لعدد القطع الكربيدية مقاومة درجة الحرارة ومقاومة البلى الساخن أثناء القطع .

أما الباحث (A. Shatov) وجماعته^[35] فقد توصلوا إلى إن إضافة نسب مختلفة من (TiC) مقدارها (0.04-0.4%) إلى تركيبة (WC-Ni) ذات نسب نيكل مختلفة (22%, 14, 8) يؤدي إلى جعل جزيئة (WC) مسطحة (flatted) مما يقلل قطر الجزيئة بغض النظر عن نسبة النيكل وكذلك ذكروا بان تركيز (TiC) ينفصل عن طور المعدن الرابط السائل إلى الحدود المتداخلة للجزيئات الكربيدية (Inter-Phase Boundary) .

أما الباحث (A. Schwartz) وجماعته^[36] فدرسوا تأثير إضافة مسحوق التنكستن بنسب مقدارها (10, 5, 2, 5%) إلى مكبوسات ذات أساس من التنتالوم (Ta) ، فأظهرت نتائجهم بان مقاومة الشد والانضغاط تزداد مع زيادة مسحوق التنكستن.

أما الباحث (I. Konyashin) وجماعته^[37] فصنعوا عدد كاربيدات متركبة من سبيكة (WC-Co) ذات بنية متكونة من توزيع حجم حبيبي أحادي الشكل (uni-model) أي متساوية الحجم والشكل ولا تحتوي على حبيبات خشنة ولا كسور في الحبيبات الناعمة جدا لمسحوق (WC) إذ استنتجوا بان هذه العدد تعطي عمرا اطول وخواص افضل من تلك العدد المتركيبة من سبيكة (WC-Co) التقليدية ، وكذلك وضحوا بان إضافة نسبة قليلة من (TaC) إلى (WC-Co) المتساوية الحجم والشكل الحبيبي تؤدي إلى إعطاء بنية أكثر تساوي من حيث الحجم والشكل وان التركيبة الجديدة (WC-TaC-Co) تعطي خواص ميكانيكية وفيزيائية افضل بمقدار (30 %) عن التركيبة (WC-Co).

واخيرا الباحث (I. Seung) وجماعته [38] أكدوا بإمكانية تحسين خواص العدد الكربيدية المصنعة من تركيب (WC-10%Co) من خلال إضافة مانعات الحجم الحبيبي (Grain-Growth Inhibitors) إليها، إذ أضافوا مساحيق (TaC / VC) و (Cr₃C₂ / VC) كلا على حدة ، فاستنتجوا بان الصلادة ترتفع ومقاومة الكسر المستعرض تنخفض بإضافة هذه المساحيق ، وان إضافة (0.35 TaC/0.35 VC) تكون اكثر فاعلية من إضافة (0.35Cr₃C₂/ 0.35VC).

٣,٣- تأثير متغيرات التصنيع والتشغيل (Effect of Variables of Machining and Manufacturing)

تشمل تقنية ميتالورجيا المساحيق المعتمدة في تصنيع العدد الكربيدية سلسلة من العمليات المعقدة، ولكل منها متغيراتها الخاصة، والسيطرة على هذه المتغيرات له تأثير كبير على خواص العدد ، ومن هذه المتغيرات (متغيرات مرحلة الطحن ، متغيرات الكبس (مقدار ضغط الكبس ومعدل الكبس)، ومتغيرات التلييد (درجة حرارة وزمن التلييد)) وعلى هذا الأساس فالكثير من الباحثين [39, 26, 5] اهتموا بدراسة تأثير هذه العمليات – متغيرات التصنيع العُدد باعتماد تقنية المساحيق – على الخواص النهائية للمكبوسات . الباحث (K.JA.Brookes) [5] ذكر بان زيادة فترة الطحن تزيد الطاقة السطحية لجزيئات المساحيق بواسطة التشوه الشبكي (Lattice Distortions) ، حينئذ تعطي المساحيق قوة دافعة للتلييد .

كذلك الباحث (E. Iardner) [26] أكد بان زيادة مدة الطحن (Milling Time) له تأثير كبير على الحجم الحبيبي للمزيج وعلى المسامية وبتأثير اقل على نسبة الكربون ، إذ يقل الحجم الحبيبي وتزداد الأكسدة بزيادة فترة الطحن، وكذلك فأن نسبة الكربون تنقص بمقدار قليل (0.05%) مع زيادة مدة الطحن.

أيضا الباحث (J. Lee) وجماعته [39] درسوا تأثير زمن الطحن وزيادة ضغط الكبس وزيادة درجة حرارة وزمن التلييد على درجة ارتباط جزيئات (WC/WC) لمكبوسات متكونة أساسا من (WC-25%Co)، فاستنتجوا بان زيادة مدة الطحن تقلل الحجم الحبيبي للمزيج بغض النظر عن نسبة الكوبلت وتقلل درجة ارتباط (Contiguity) واستمرارية (Continuity) جزيئات (WC/WC) ، وكذلك فان زيادة درجة حرارة التلييد وزمن التلييد تقلل من ارتباط واستمرارية جزيئات (WC/WC) ولكن بزيادة ضغط الكبس فان استمرارية جزيئات الكربيدات تزداد وان الحجم الحبيبي الكبير لجزيئات المساحيق تقلل الاستمرارية لجزيئات الكربيدات، وبشكل عام فان زيادة ارتباط واستمرار جزيئات (WC/WC) او جزيئات الكربيدات الأخرى تؤدي إلى زيادة الصلادة والعكس صحيح .

أما الباحثان (J. Tengzelius & C. Blande)^[40] وضحا بان زيادة درجة حرارة التلييد تؤدي إلى زيادة الكثافة النهائية ومقاومة الشد وقيم الصلادة وكذلك تزيد مقدار التقلص وان زيادة مدة التلييد (Sintering Time) من (٣٠) إلى (١٢٠) دقيقة تؤدي إلى زيادة مقاومة الشد والصلادة للأجزاء النهائية الملبدة من الكاربيدات المسمنتة .

الباحث (J. Kim) وجماعته^[41] أكدوا بان زيادة ضغط الكبس تؤدي إلى زيادة كثافة التلييد وزيادة الصلادة تدريجياً وكذلك تزداد قابلية الاحتكاك بقليل وتتناقص معدلات البلى بقليل مع زيادة ضغط الكبس، ووضحوا أيضاً بان معدلات البلى تتناقص مع زيادة الصلادة .

الكثير من الباحثين^[٤٤،٤٣،٤٢] ذهبوا في مجال تحديد ظروف التشغيل المثلى إذ وضح الباحث (M. Shaw)^[٤٢] بان فشل العدة لحظة مغادرتها المشغولة - لحظة الخروج - يكون أكبر منه لحظة دخولها المشغولة - لحظة القطع-(Entering a Cut) .

أما الباحث (K. Chopra) وجماعته^[٤٣] استنتجوا بأن الأوكسجين المحيط بنقطة التماس بين العدة والمشغولة يزيد معدل البلى نتيجة انتقال العناصر المعدنية من سطح المشغولة إلى سطح العدة ، فاقترحوا طلاء العدد لحمايتها من تأثير الأوكسجين وزيادة مقاومتها للبلى وكذلك ذكروا بان خواص العدد الكربيدية تتأثر بالتركيب والبنية وتوزيع الأطوار في بنيتها .

الباحثان (G. Tennenhouse & F. Runkle)^[٤٤] أكدوا ضرورة تجنب وجود الأوكسجين أو ضرورة إنقاصه لحظة تلامس العدة بالمشغولة ، فبينوا انه عند تقليل نسبة الأوكسجين من (20%) إلى (2%) بواسطة ضخ غاز النتروجين في نقطة التلامس تنخفض قيم البلى من (2 mm) إلى (1 mm) في حالة تشغيل حديد الصب ومن (2 mm) إلى (0.8 mm) في حالة تشغيل الفولاذ وباعتماد عدد متكونة من أساس (WC-Co) .

الباحث (أ. خالد)^[٤٥] درس تأثير مراحل خروج العدة من المشغولة على عمر العدة في عمليات القطع غير المستمرة (Intermittent Cutting) بواسطة التغير بنوع الخروج ونظام القطع إذ استنتج بأنه عند زاوية جرف حقيقية ثابتة وزاوية الخروج تقترب من الصفر ان طول القدم يصبح أطول وعمر العدة اقصر ، وكذلك فان تأثير مراحل الخروج على حافة القطع بزواوية الصفر هي اقل وعمر العدة أطول منه عند استخدام زاوية جرف سالبة أو موجبة .

أما الباحث (التورنجي) وجماعته^[٤٦] أكدوا بان تكاليف العدة - عدة القطع الكربيدية - تزداد مع ارتفاع سرعة القطع وكذلك مع ارتفاع معدلات التغذية بسبب انخفاض عمرها وانهيائها السريع ، وذكروا بان تحديد الظروف الاقتصادية يتم من خلال تصميم المنتوح والتغذية المتاحة في ماكنة القطع وعمق القطع الأقصى الذي تتحمله عدة القطع والعزم الأقصى المنقول إلى عمود الدوران وكذلك ذكروا بان لشكل النحاتة المتولدة تأثير كبير على أداء العدة في القطع فمثلاً شكل

النحاة الشريطي الطويل (Ribbon Long Chips) له تأثير كبير على معدلات بلى العدة ، أما شكل النحاة اللولبي الطويل (Long Helical Chips) له تأثير اقل نسبيا على معدلات بلى العدة لذا اقترحوا أما إضافة كسارات النحاة (Chip Breakers) الى تصميم العدة لغرض تفتيت النحاة إلى قطع صغيرة مما يقلل تلاحقها بالعدة ومن ثم تقليل بلى العدة وبالتالي أطالة عمرها ، أو التحكم بشروط القطع من خلال سرعة القطع ومعدلات التغذية للحصول على قطع نحاته صغيرة.

3.4- تأثير الشكل الهندسي للعدة Effect of Tool Geometry

يقصد بالشكل الهندسي للعدة هو تصميمها وزواياها- شكل وحالة وضع العدة بالنسبة للمشغولة- فمثلا موقع حافة قطع العدة واتجاه وجهها بالنسبة للمشغولة ، ويتم اختيار زوايا عدة القطع - الشكل الهندسي للعدة- حسب مادة العدة ومادة المشغولة وجسائتها وعمق القطع^[٤٧،١] ، ونظرا لأهمية الشكل الهندسي للعدة وتأثيره الكبير على أدائها في عمليات القطع. درس الباحثين^[٢٢،٤] ذلك .

أذ أن الباحث (Dr. Ranganath)^[٤] بين إمكانية تقليل الحرارة المتولدة أثناء القطع من خلال تغيير تصميم العدة وشكلها الهندسي وبالأخص زاوية الجرف (Rake Angle) وزاوية الاقتراب (Approach Angle) ورأس العدة (Nose Radius)، فمثلا إنقاص زاوية الجرف تؤدي إلى زيادة التشوه (Deformation) والشغل المنجز للقطع مما يؤدي إلى زيادة الحرارة المتولدة أثناء القطع فمثلا التشغيل بعدة ذات زاوية جرف سالبة (-10°) ترفع درجة حرارة القطع حوالي (15%) عن تلك العدة ذات زاوية الجرف الموجبة ($+10^{\circ}$) ، أما زاوية الاقتراب فتأثيرها ينحصر بين (90° - 60°) وزيادتها تؤدي إلى رفع درجة حرارة القطع وإنقاص عرض النحاة وطول حافة القطع الفعلية ،بينما زيادة رأس العدة يزيد التشوه وقوة القطع المماسية (Tangential Cutting Force) مما يؤدي إلى زيادة الحرارة المتولدة هذا من جهة ، ومن جهة أخرى فان زيادته تؤدي إلى زيادة طول حافة القطع الفعلية مما يؤدي إلى تشتيت الحرارة المتولدة وابعاد تركيزها عن سطح العدة وهذا مشابه لما ذكره (N. Al-Nimri)^[٢٢] في بحثه أذ ذكر بان زيادة رأس العدة تؤدي إلى زيادة طول تماس العدة بالمشغولة مما يحسن عمر العدة والإنهاء السطحي للمشغولة ، وان الزيادة الكبيرة لرأس العدة يسبب الاهتزازات ونقصانه يؤدي إلى تشوه حافة القطع بسرعة مما يؤدي إلى إنقاص عمر العدة .

أما الباحثان (التورنجي وكريم)^[48] بينوا بان زاوية الجرف السالبة للعدة لا تؤدي دائما إلى زيادة عمرها بل تزيد الاهتزازات مما تؤدي إلى إنقاص عمر العدة ، وان حماية رأس العدة من الصدمات لا يشترط استعمال زاوية جرف سالبة لان أول تماس بين العدة والمشغولة لا يعتمد

على قيمة زاوية الجرف وانما يعتمد على مقدار ميل سطح دخول العدة بالمشغولة - زاوية الاشتباك - فمن الممكن الحصول على تماس اولي بعيد عن راس العدة على الرغم من استخدام زاوية موجبة .

اما الباحثان (K. Maekawa & H. Ohhata)^[49] فقد درسا تأثير الشكل الهندسي للعدة على جريان النحاتة وبلى العدة عند تشغيل الفولاذ المنغنيزي (18% Mn - 18% Cr) باعتماد عدد ذات شكل مربع وأخرى ذات شكل ماسي (Diamond Shape) ، فاستنتجا بان اختيار زاوية حافة القطع الجانبية الكبيرة وراس العدة الكبير يعملان على زيادة زاوية جرف النحاتة وإنقاص سمك النحاتة غير المقطوع ومن ثم إنقاص درجة حرارة القطع وإنقاص البلى الحفري . واخيرا بين الباحث (التورنجي)^[50] بإمكانية زيادة عمر العدة باستخدام زاوية جرف حقيقية تساوي صفرا وذلك لأنها تقلل التأثير السلبي لظاهرة تكون القدم في مرحلة الخروج ووضح الباحث أيضا بإمكانية زيادة عمر العدة باستخدام زوايا الخروج الموجبة أو السالبة ويكون أعلى عمر للعدة عند زوايا خروج اكبر من (+75°) واصغر من (-50°).

3.5- طلاء العدد الكاربيدية Coating of Carbide Tools

إن الحاجة المتزايدة لتصنيع أجزاء بدقة عالية وإنهاء سطحي جيد دفعت الباحثين لتصنيع عدد كاربيدية بصلادة ومقاومة بلى عاليتين نسبيا وبخمولية كيميائية جيدة وذات عمر أطول واداء قطع امثل ، ويتم ذلك باعتماد تقنية الطلاء (Coating Technique) – طلاء العدد الكاربيدية – وقد استخدمت هذه التقنية أول مرة سنة (1965) وبطبقة طلاء واحدة (Single Layer) أو عدة طبقات (Multi-Layers) ، ومن المواد التي تصلح لطلاء العدد الكاربيدية هي (HfC, HfN, TiAlN, Al₂O₃, TiCN, TiN, TiC) ، وفي سنة (1975) اعتمدت طبقات طلاء بالماس الاحادي الذرة (Polycrystalline Diamond)^[51,24,5] .

تعد طريقة الترسيب بالطور الغازي (Gas Phase) الطريقة الاكثر استخداما لطلاء العدد الكاربيدية^[7] وتشمل طريقة الترسيب الكيميائي للبخار (Chemical Vapour Deposition -CVD) ، وطريقة الترسيب الفيزيائي للبخار (Physical Vapour Deposition -PVD). إن اختيار نوع طبقة الطلاء ومواصفاتها يعتمد على أمور عدة منها: تحديد صفات طبقة الطلاء المطلوبة وصفات المادة الأساس ، ويجب إن تكون طبقة الطلاء محققة للمتانة الجيدة وللصلادة العالية نسبيا والتوافق الجيد لمعامل التمدد الحراري بين طبقة الطلاء والمادة الأساس ، ومحققة للتوافق الكيميائي (Chemical Compatibility) ، ومعامل الاحتكاك الواطئ والموصلية والاستقرارية الحرارية^[51,24] .

الباحث (H. Prengel) وجماعته^[51] ذكروا ان الطلاء بطبقة (Al₂O₃) تعطي عدة ذات صلادة حرارية جيدة ومقاومة بلى انتشاري وتأكسدي عالية ، وهذه العدد تكون ملائمة لتشغيل الفولاذ وحديد الصب بسرعات قطع عالية .

أما الباحثان (E. Trent & P. Dearnley)^[52] فقد قاما بدراسة أداء القطع لعدد كاربيدية مطلية بطبقة واحدة وأخرى مطلية بعدة طبقات (Al₂O₃-TiN-TiC) ومقارنتها مع عدد كاربيدية تقليدية - غير مطلية - ، فاستنتجوا بان دخول العدة المطلية بالمشغولة مشابهة لدخول العدة التقليدية ، وان مقدار البلى للعدة الأولى يكون اقل بمقدار (١٠-١٠٠) مرة عن العدة الثانية ، وان طبقة الطلاء تقلل البلى من خلال تقليل معامل الاحتكاك وليس من خلال تقليل درجة حرارة دخول العدة بالمشغولة .

بينما الباحث (Cho. Toshiaki) وجماعته^[53] فدرسوا تأثير الحجم الحبيبي لمادة طبقة الطلاء (TiC) وتوجيه هذه الطبقة وتأثير ذلك على أداء العدة في عمليات القطع وكذلك درسوا كيفية اختيار سمك الطبقة الأمثل والتخلص من طور (η) المتكون على سطح المادة الأساس، فاستنتجوا بأنه عند استخدام مادة (TiC) بحجم حبيبي ناعم وبأشكال حبيبية متساوية (Fine-equiaxed) تعطي طبقة طلاء بصفات عالية جدا مما تعطي عدة بعمر أطول ، فمثلا استخدام مادة (TiC) بحجم حبيبي مقداره (0.3 μm) لطبقة الطلاء بسمك (5±1 μm) تعطي عدة بعمر (10 min) وان استخدام نفس المادة بحجم حبيبي (2 μm) تعطي عدة بعمر (4 min) ، ومن هذا فانه يجب السيطرة على تدرج الحجم الحبيبي وتوزيعه لغرض الحصول على خواص طلاء افضل واداء قطع امثل .

وفي السنة نفسها درس الباحث (P. Dearnley)^[54] التداخل بين العدة والمشغولة وبعتماد عدة مطلية وأخرى غير مطلية فأظهرت نتائج بان التداخل يتم بثلاث مناطق : التداخل بين العدة والنحاة الرئيسية ، ومنطقة التماس بين العدة والحافة الخارجية لسطح النحاة الأسفل (under side) ، ومنطقة التداخل بين سطح خلوص العدة والمشغولة . فاستنتج بان التداخل يكون متشابه لكتا العدد المطلية وغير المطلية ولكن مقاومة الربط (Bonding Resistance) لمنطقة التداخل بين العدة والنحاة الرئيسية تكون اكبر نسبة إلى العدد غير المطلية مما تؤدي إلى طول منطقة التماس بين العدة والنحاة فتؤدي إلى رفع درجة حرارة سطح الجرف للعدة غير المطلية .

الباحث (J. Audy) وجماعته^[55] قاموا بحساب قوى القطع لعدد مطلية وأخرى غير مطلية فاستنتجوا بان قوى القطع للعدد غير المطلية تكون أعلى بمقدار (15%) من القوى الناتجة باعتماد العدد المطلية عند تشغيل الفولاذ منخفض الكربون لمدة (٢٠ ثانية).

٦,٣- هدف البحث الحالي

يهدف البحث الحالي الى تطوير خواص و أداء العدد الكاربيدية من خلال دراسة بعض العوامل الرئيسية المؤثرة فيها والمتمثلة بما يلي :

- ١ . تقييم المساحيق الأساسية الداخلة في تصنيع العدد الكاربيدية واختيار متوسط الحجم الحبيبي المناسب ومن ثم تصغيره ودراسة تأثير ذلك على الخواص النهائية للعدد .
- ٢ . دراسة تأثير ضغط الكبس على الكثافة الخضراء والنهائية وعلى الصلادة والتقلص ومن ثم تحديد مقدار الضغط الأمثل اللازم لصناعة العُد .
- ٣ . دراسة تأثير درجة حرارة التلييد على الخواص النهائية للعُد المصنعة.
- ٤ . دراسة تأثير إضافة مواد جديدة إلى مزيج الخلطة الأساسية المعتمدة في تصنيع العُد وتحديد مساحيق (WC,Al₂O₃,SiC,TaC) كلا على حدة على الخواص النهائية للعُد.
- ٥ . دراسة تأثير تغيير نسب مكونات الخلطة الأساسية المعتمدة.
- ٦ . معرفة تأثير إضافة المواد الجديدة على أداء العدة في عمليات القطع – تقييم أداء العدة وتقدير عمرها .
- ٧ . تحديد الفوائد المترتبة من إضافة المواد الجديدة وتغيير نسب المكونات فضلاً عن مناقشة المساويء ومقارنة خواص العدد الجديدة الناتجة بعد الإضافة مع تلك العدد قبل الإضافة.

الفصل الرابع

الجزء العملي

4.1- مقدمة

يتناول هذا الفصل : المواد والأجهزة المستخدمة في الدراسة الحالية ، الأسلوب العملي المتبع لتحضير النماذج ابتداءً من مرحلة تحضير المساحيق وصولاً الى مرحلة التليد وتهيئة المنتج الملبد النهائي باعتماد المراحل الأساسية لتقنية المساحيق ، والعمليات اللازمة لتهيئة النماذج للفحوصات الفيزيائية والمجهريية والاختبارات الميكانيكية ، لغرض تقييم النماذج المصنعة بحالتها الخضراء والنهائية ، وكذلك يتناول البرنامج العملي الخاص بتقييم اداء العدد في القطع.

4.2 - مراحل تصنيع النماذج

قسمت النماذج المصنعة في البحث الحالي الى أربع مجموعات :-

- **المجموعة الأولى:** النماذج الأساسية التي تصنع من مزيج الخلطة الأساسية التي يدخل في تركيبها مسحوق كاربيد التنكستن (WC) ، ومسحوق كاربيد التيتانيوم - تنكستن (TiWC)، ومسحوق المعدن الرابط الكوبلت (Co).
- **المجموعة الثانية:** النماذج المصنعة من مزيج الخلطة الأساسية بعد تصغير حجمه الحبيبي.
- **المجموعة الثالثة:** النماذج الجديدة التي تصنع من مزيج الخلطة الجديدة الذي يتكون من مزيج الخلطة الأساسية مضافاً إليه مساحيق جديدة متمثلة بمسحوق كاربيد التنتالوم (TaC) ومسحوق كاربيد السليكون (SiC) ، ومسحوق اوكسيد الألمنيوم (Al_2O_3)، ومسحوق كاربيد التنكستن (WC) المضاف .
- **المجموعة الرابعة:** النماذج الجديدة المصنعة بعد تغيير نسب مكونات الخلطة الأساسية التي تدخل في تركيبها المساحيق الأساسية .

ولغرض تهيئة مزيج الخلطة الأساسية والخلطات الجديدة ولتصنيع النماذج منها فانه

يتطلب الاستعانة بالأجهزة الآتية :-

١- ميزان حساس بدقة (0.001g) .

٢- طاحونة الكرات (Ball-Milling) .

٣- فرن تجفيف (Dryer Oven) .

- ٤- خلاط ميكانيكي .
- ٥- خلاط مختبري .
- ٦- طاحونة مختبريه .
- ٧- مكبس هيدروليكي كهربائي.
- ٨- قالب كبس كاربدي ثنائي التأثير .
- ٩- فرن فراغي كهربائي (Vacuum Furnace) .
- ١٠- قواعد كرافيتية بأبعاد (300×230×6mm) لغرض الاستفادة منها في وضع النماذج الخضراء عند إجراء عملية التليد .

4.2.1 - تحضير الخلطة الأساسية وتصنيع النماذج منها

تتضمن هذه المرحلة تهيئة المساحيق الداخلة في تحضير الخلطة الأساسية وحساب متوسط الحجم الحبيبي لمكوناتها، وأجراء فحص الكثافة الظاهرية وتحديد النسب الوزنية المثوية لهذه المساحيق ومزجها مع بعض وإضافة المادة المزيتة إليها للحصول على المزيج الأساسي المطلوب ثم خطوات تصنيع النماذج منها .

4.2.1.1- تهيئة المساحيق الأساسية

الجدول رقم (٤-١) يبين المساحيق المكونة للخلطة الاساسية المعتمدة في تصنيع النماذج ونسبها الوزنية ومتوسط حجمها الحبيبي والشركة المجهزة لها .

جدول رقم (٤-١): يوضح المساحيق الاساسية ونسبها الوزنية المكونة للخلطة الاساسية ومتوسط الحجم الحبيبي والشركة المجهزة لها .

ت	اسم المسحوق	النسب الوزنية (%)	متوسط الحجم الحبيبي (μm)	الشركة المجهزة للمساحيق (المنشأ)
١-	كاربيد التنكستن (WC)	٦٢	(١,٥-٣)	الفرنسية (UGICARB)
٢-	كاربيد التيتانيوم - تنكستن (Ti-WC)	٣٢	(١,٥-٤)	الالمانية (HCST , BERLIN)
٣-	الكوبلت (Co)	٦	١,٣٥	الالمانية (HCST , BERLIN)

4.2.1.2- مزج المساحيق (Mixing)

بعد تهيئة المساحيق الأساسية حسب النسب المبينة في الجدول رقم (٤-١) تم مزجها باعتماد المزج الرطب (Wet Mixing) وباستخدام عامل مساعد للمزج هو الاستيون (Acetone) وبنسبة (٤:١) من وزن المساحيق الكلي وباستخدام طاحونة الكرات نوع (Szegevaria , Attritor , USA) ولمدة (١٢ ساعة) لغرض الحصول على عالق كثيف ومتجانس، ثم جفف العالق بفرن تجفيف مفرغ من الهواء نوع (Paulo ABBC , Inc , USA.) بدرجة حرارة (90 C°) لازالة المحلول المرطب المضاف ، بعدها أضيف شمع البرافين (Paraffin Wax) كمادة مزيتة بنسبة (٢%) من وزن المزيج الكلي واعد المزج الجاف باستخدام خلاط ميكانيكي لمدة قصيرة للحصول على مزيج متجانس ، والمزيج الناتج يمثل الخلطة الأساسية المعتمدة في الدراسة الحالية . لقد تم اختيار النسب المذكورة من المساحيق الأساسية وكذلك نسب المواد المساعدة لتحضير الخلطة الأساسية حسب مواصفات شركة [Sandvic] [٥٦].
السويدية وهي المواصفات المعتمدة في الشركة المصنعة لكاريبيدات القطع .

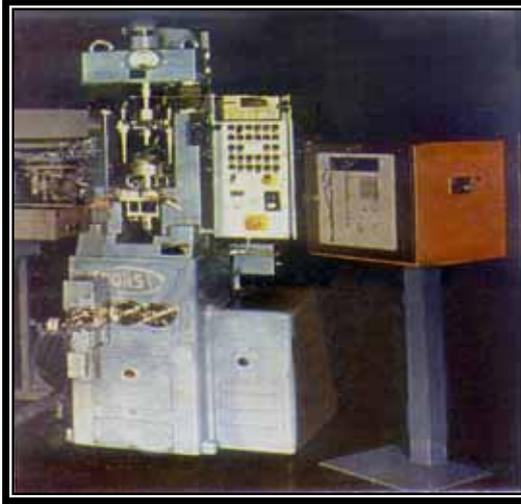
4.2.1.3- مرحلة التشكيل (Compacting)

أستخدمت تقنية الكبس بالقوالب على البارد (Die Cold Compacting) وتحت ضغوط كبس متغيرة هي (16,14,12,10,8 ton/in²) (248,217,186,155,124 MPa) بالاستفادة من قوالب كبس ثنائية التأثير مثبتة على مكبس هايدروليكي كهربائي بسعة (٣٠ طن) نوع (Hydramet.USA,1989) مبين في الشكل (٤-١) للحصول على النماذج بحالتها الخضراء ، تشكيل النماذج تم كما يلي:-

- ملئ فراغ القالب بالمزيج الأساسي .
 - كبس المزيج (بتحريك الكابس العلوي والسفلي في ان واحد) لحين الوصول الى ضغط الكبس المطلوب .
 - إبقاء الضغط مسلطاً لمدة (١٥ ثانية).
 - إخراج النموذج المكبوس من القالب (بواسطة تحريك الكابس العلوي والسفلي الى الاعلى)
- لقد اجريت العديد من التجارب الاولية لتثبيت ظروف الكبس (قيمة ضغط الكبس) ومعرفة تأثيره وذلك من خلال تحديد الأبعاد الخضراء للنماذج وحساب تلك الأبعاد بعد عملية التليد ومقارنة النتائج لجميع الضغوط وكذلك معاينة الشقوق السطحية للنماذج ومن ثم تحديد الضغط الأمثل ، وعلى هذا الأساس اعتمد مقداراً للضغط بلغ (200 MPa) (13 ton/in²) لتشكيل جميع النماذج النهائية المعتمدة في الدراسة الحالية .

4.2.1.4- مرحلة التلييد (Sintering)

أجريت عملية التلييد بعد تهيئة المستلزمات الرئيسية لها وهي (النماذج الخضراء ، قواعد كرافيتية ، كمية من مسحوق (Al_2O_3))، حيث تم وضع النماذج الخضراء الناتجة بعد الكبس فوق القاعدة الكرافيتية المجهزة لذلك والحاوية على قليل من مسحوق الالومينا (Al_2O_3) الذي يعمل على الحد من امتصاص العدة للكربون الحر من سطح القاعدة الكرافيتية ، ثم توضع القاعدة في فرن فراغي نوع (Vacuum Industries, Inc, Dep.700, USA.) موضح في الشكل رقم (٢-٤) ، فضاؤه محاط بغاز الاركون الخامل ، واجريت عملية التلييد بالتسخين الى درجة حرارة $(1410\text{ }^{\circ}\text{C})$ و $(1450\text{ }^{\circ}\text{C})$ للنماذج الأولية وبمدة مكوث مقدارها (٦٠ دقيقة) وبمعدل تسخين وتبريد مختلف وفق الدورة الحرارية الموضحة في الشكل (٣-٤) ، وقد اعتمدت درجة $(1410\text{ }^{\circ}\text{C})$ لتلييد جميع النماذج النهائية المصنعة في البحث .



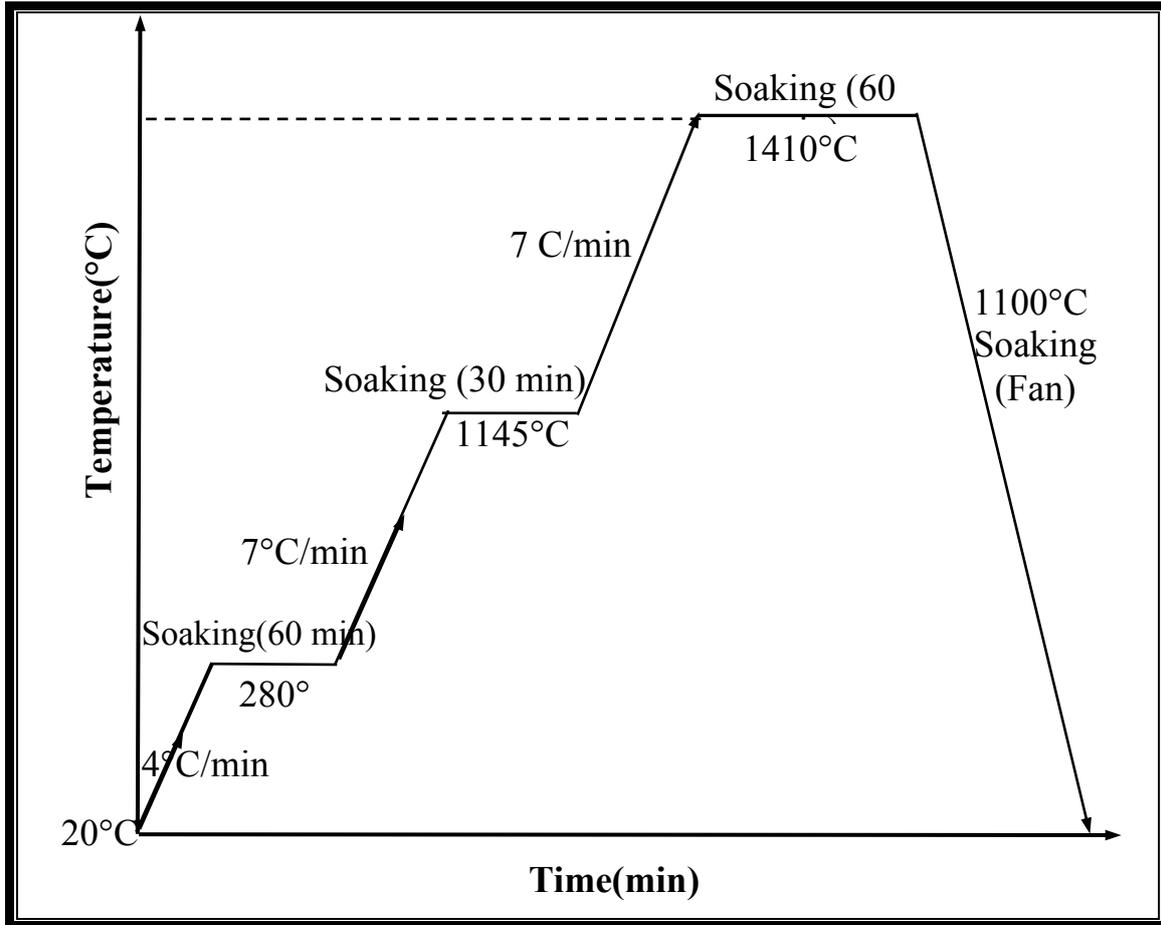
الشكل رقم (4-1)
المكبس الهيدروليكي المعتمد في تحضير
النماذج.



الشكل رقم (4-2)
فرن التلييد الفراغي المعتمد في تحضير
النماذج.

4.2.2- تحضير الخلطات الجديدة وتصنيع النماذج منها

تتضمن هذه المرحلة تهيئة المساحيق الجديدة المعتمدة في البحث واجراء فحص الكثافة الظاهرية والحجم الحبيبي لها وتحديد النسب الوزنية المئوية المراد اضافتها من المساحيق الجديدة الى مزيج الخلطة الاساسية ، واعادة المزج للحصول على الخلطة الجديدة ، ومراحل تصنيع النماذج الجديدة منها ، وهذه المرحلة تتلخص بما يلي:-



الشكل رقم (3-4): الدورة الحرارية المعتمدة في عملية التلبيد^[٥٦].

4.2.2.1- تهيئة المساحيق الجديدة المضافة

اعتمدت مساحيق جديدة لتضاف الى مزيج الخلطة الاساسية ، الجدول (٢-٤) يبين المساحيق الجديدة ونسب الاضافة منها ، ومتوسط الحجم الحبيبي ، وكثافتها الظاهرية والشركة المجهزة لهذه المساحيق .

الجدول رقم (٢-٤): يوضح المساحيق الجديدة المضافة ونسب الاضافة منها وبعض خواصها .

الشركة المجهزة للمساحيق	الكثافة الظاهرية (g/cm ³)	متوسط الحجم الحبيبي (μm)	نسب الاضافة (wt %)				المساحيق الجديدة المضافة
			٧	٥	٣	١	
(HCST, Berlin) الالمانية	٦,١٨	٢,٣٧	٧	٥	٣	١	كاربيد التنتالوم (TaC)
فرنسية	٥,٩٢	٤,٢٦	٧	٥	٣	١	كاربيد السليكون (SiC)
ALM-41-sumito .comp , UK.	٥,٧٩	١,٢٣	٧	٥	٣	١	اوكسيد الالمنيوم (Al ₂ O ₃)
(UGICARB) الفرنسية	٤,٨٣	(١,٥-٣)	-	١٢	٨	٤	كاربيد التتستن (WC)

وقد اعتمدت نسب الاضافة المبينة في الجدول من المساحيق الجديدة لتضاف الى مزيج الخلطة الاساسية هو لتحقيق الجدوى الاقتصادية من الاضافة ، ولان خواص الاجزاء الكاربيدية تتاثر باية اضافة من المساحيق وكذلك لعمل ببيانات اولية لتاثير كل مسحوق على حده على اعتبار ان هذه المساحيق الجديدة تعد غير نمطية .

4.2.2.2- مزج المساحيق (Mixing)

بعد اضافة المساحيق الجديدة وحسب النسب الموضحة في الجدول (٢-٤) الى مزيج الخلطة الاساسية المهياً مسبقاً ، تمت عملية المزج لمدة ساعة واحدة باستخدام خلاط مختبري للحصول على مزيج الخلطات الجديدة . الجدول (٣-٤) يوضح نسب كل من الخلطة الاساسية والخلطات الجديدة الناتجة بعد الاضافة ، حيث ان :

الخلطة رمز (١) تمثل الخلطة الاساسية ، الخلطات (٢،٣،٤،٥) تمثل الخلطات الجديدة حيث يرمز الحرف (T) الى مسحوق (TaC) ، والحرف (S) الى مسحوق (SiC) ، والحرف (A) لمسحوق (Al_2O_3) ، اما الخلطات (٦،٧،٨) تمثل الخلطات الناتجة بعد اضافة مسحوق (WC) .

الجدول رقم (3-4): يوضح نسب مكونات الخلطة الأساسية والخلطات الجديدة (فمثلاً الرمز (2A) : (٢) تشير الى رمز الخلطة ، (A) تشير الى اضافة (١%) من مسحوق (Al_2O_3) الى مزيج الخلطة الاساسية ، وهكذا لبقية الرموز.)

النسب الوزنية للمكونات (%)							رمز الخلطة
المساحيق الجديدة المضافة				المساحيق الاساسية			
WC	Al_2O_3	SiC	TaC	Co	Ti-WC	WC	
-	-	-	-	٦	٣٢	٦٢	١
-	١	١	١	٥,٩٤	٣١,٦٨٣	61.377	2T,2S,2A
-	٣	٣	٣	٥,٨٢	٣١,٠٤٠	60.138	3T,3S,3A
-	٥	٥	٥	٥,٧٠	٣٠,٤٠٣	58.897	4T,4S,4A
-	٧	٧	٧	٥,٥٨	٢٩,٧٦٢	57.658	5T,5S,5A
٤	-	-	-	5.760	30.720	59.520	٦
٨	-	-	-	5.520	29.439	٥٧,٠٤	٧
١٢	-	-	-	5.280	28.160	54.560	٨

4.2.3- تحضير الخلطات بنسب مكونات مختلفة من المساحيق الأساسية وتصنيع النماذج

من المتغيرات المدروسة في البحث الحالي هو تغير نسب مكونات الخلطة الأساسية من المساحيق الأساسية ، وغيّرت على وفق مواصفات عالمية محددة وقد اعتمدت هنا شركة Carbide Imp. & Exp. Company , Zhuzhou Hunan China Zhuzhou (Cemented)^[٥٧] للحصول على خلطات جديدة ومن ثم تصنيع النماذج منها باعتماد الاسلوب نفسه بواسطة تطبيق مراحل تقنية المساحيق ، واجراء بعض الفحوصات للنماذج المصنعة لتقييمها ومعرفة مدى تأثير تغير نسب المساحيق . وهذه المرحلة تتلخص بما يلي :-

١,٣,٤- تحضير الخلطات ذات النسب المختلفة من المساحيق الاساسية

حضرت الخلطات ذات النسب المختلفة من المساحيق الاساسية وفق مواصفات الشركة المذكورة اعلاه . إذ مزجت المساحيق مزجاً جافاً باستخدام خلاط مختبري حاوي على كرات كاربيدية لمدة ساعة واحدة وحسب النسب الموضحة في الجدول (٤-٤) ، وقد اتبع هذا المزج وذلك لان الكميات المهيأة من المساحيق كانت قليلة ، وطاحونة الكرات المستخدمة في المزج الرطب تستخدم لكميات كبيرة ومثل هذه غير ملائمة لتلك ، وكذلك لان فرن التجفيف يستخدم لتجفيف كميات كبيرة من المساحيق ايضا .

الجدول رقم (٤-٤) : يوضح نسب مكونات الخلطات ذات النسب المختلفة من المساحيق الاساسية

النسب الوزنية للمكونات (%)			رمز الخلطة
CO	(Ti-WC)	(WC)	
٦	٣٢	62	P10*
٧,٥	٢٥	٦٧,٥	P10B*
٩	١٤	٧٧	P10C*

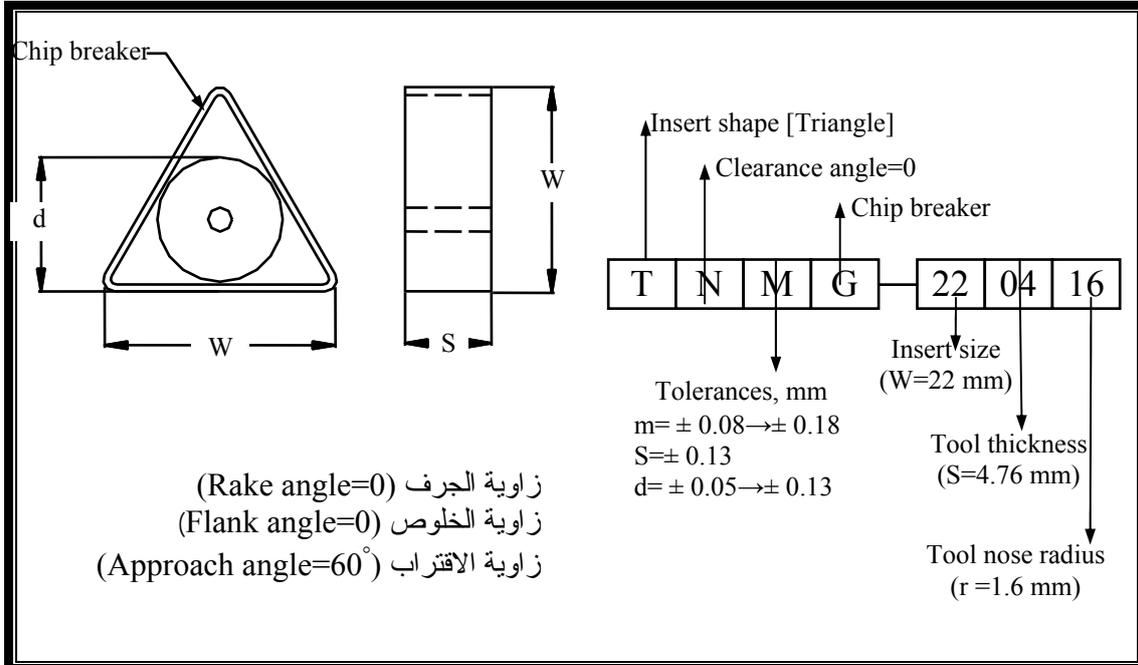
إذ استخدم الرمز (*) للدلالة على ان الخلطات ناتجة من تغير نسب مكوناتها من المساحيق الاساسية .

٤,٢,٤- تصغير حجم حبيبات مزيج الخلطة الاساسية وتصنيع النماذج

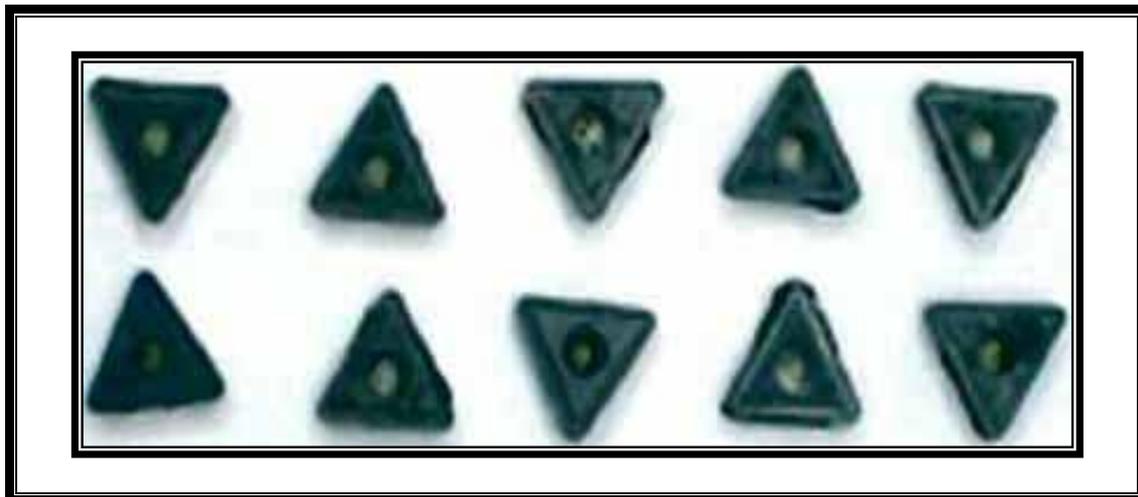
إن تصغير حجم حبيبات مزيج الخلطة الاساسية (P10) من المتغيرات التي درست في البحث الحالي . كمحاولة لتحسين خواص اللقم الكاربيدية المصنعة (النماذج المصنعة) والخروج بلقمة ذات خواص جيدة ملائمة لظروف التشغيل المختلفة ، وقد صغر حجم حبيبات المزيج ذي الرمز (1) المبين في الجدول (3-4) باستخدام طاحونة مختبرية ومن ثم تصنيع النماذج باعتماد المزيج الناتج بعد التصغير .

4.3- وصف النماذج المصنعة

النماذج المصنعة المعتمدة في البحث الحالي عبارة عن لقمة كربيدية مثلثة الشكل نوع (TNMG-220416) مصنعة وفق مواصفات شركة (Sandvic)^[٥٨] السويدية ، الشكل رقم (٤-٤) يوضح المواصفات الهندسية للنماذج المعتمدة في البحث الحالي ، والشكل (٤-٥) يمثل النماذج النهائية المصنعة .



الشكل رقم (4-4): المواصفات الهندسية للنماذج المعتمدة في البحث الحالي^[٥٨].



الشكل رقم (4-5): النماذج (اللحم الكربيدية) المصنعة في البحث.

ضمن مرحلة تصنيع نماذج اللقم الكربيدية بشكلها النهائي لا بد من اجراء اختبارات تُعد اساسية لتقييم تاثير متغيرات مراحل التصنيع المختلفة – الاختبارات المجراة ذكرت مفصلا في الفقرة (٤-٥) – . هناك بعض الاختبارات يتطلب اجراؤها القيام ببعض العمليات الثانوية للنماذج المهيأة لذلك . ومن هذه الاختبارات ، اختبار البنية المجهرية واختبار الكسر المستعرض .

٤,٤,١- تحضير عينات اختبار الكسر المستعرض

لغرض تهيئة عينات اختبار الكسر المستعرض للفحص فانه يتطلب ما يلي:-

- ١- تهيئة وتنصيب قالب كارببيدي ثنائي التاثير بمواصفات عينة اختبار الكسر المستعرض وبابعاد اولية (60×8×6mm) على المكبس الهايدروليكي الكهربائي .
- ٢- ملي فراغ القالب بمزيج الخلطة المراد تصنيع عينات الاختبار منه .
- ٣- تشكيل عينات اختبار الكسر المستعرض بضغط بلغ (248 Mpa) .
- ٤- تلييد عينات اختبار الكسر المستعرض في فرن فراغي وبدرجة حرارة (1410°C) لفترة ساعة واحدة .
- ٥- القيام باجراء بعض العمليات الثانوية للنماذج الناتجة من اعلاه والمتمثلة بتتعيمها باستخدام حجر تجليخ للحصول على الابعاد النهائية لعينات الاختبار وفق مواصفات (ASTM)^[16] الخاصة بهذا الاختبار .

4.4.2- تحضير عينات اختبار البنية المجهرية

لغرض اختبار البنية المجهرية ومعرفة تاثير المساحيق الجديدة المضافة المعتمدة في البحث الحالي فانه يتطلب تهيئة عينات الاختبار ويتم ذلك كما يلي:-

4.4.2.1- عينات اختبار المجهر الضوئي

- ١- تهيئة عينات صغيرة بابعاد (5×5×5mm) بواسطة تقطيعها من عينات اختبار الكسر المستعرض باستخدام ماكينة القطع بالسلك (Wire Cut) وبتقنية [Electro Discharge Machining -EDM].
- ٢- تثبيت العينات الصغيرة في قالب بلاستيكي .
- ٣- تتعيم العينات اوليا باستخدام حجر تجليخ .
- ٤- تتعيم العينات نهائيا باستخدام قرص دوار مغطى بنوع خاص من الورق وباستخدام معجون الصقل الماسي (Diamond Paste) وبدرجات مختلفة (25 μm) ، (15 μm) ، (6 μm) ،

(1 μm) وعلى مراحل متعاقبة وتستمر هذه العملية حتى الحصول على سطح صقيل وخال من الخدوش .

٥- تهيئة محلول الاظهار المتكون من (5g) لكل من [(فيروسيانيد البوتاسيوم – $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) و (هيدروكسيد الصوديوم-NaOH) بالإضافة إلى (50ml) من الماء المقطر^[١٧] .

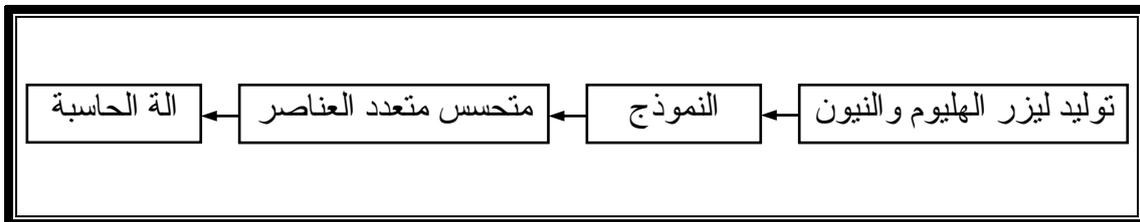
4.5- مرحلة اجراء الاختبارات

اجريت مجموعة من الاختبارات للمساحيق الداخلة في تحضير الخلطات الخاصة بتصنيع النماذج المعتمدة في البحث وكذلك اجريت مجموعة من الاختبارات للنماذج المصنعة بحالتها الخضراء والنهائية بهدف تقييم خواصها النهائية وتحديد فوائد البحث الحالي .

4.5.1- فحوصات المساحيق الداخلة في تحضير الخلطات

4.5.1.1- فحص الحجم الحبيبي

فُحص الحجم الحبيبي للمساحيق الاساسية والمساحيق الجديدة المضافة الداخلة في تحضير الخلطات باستخدام جهاز فحص الحجم الحبيبي نوع (Laser Analysette 22,1989) الذي يتالف من اربع وحدات هن وحدة توليد ليزر ، وحدة معالجة النماذج ، وحدة التحسس ووحدة اظهار النتائج (الحاسوبية) وهذه الوحدات الاربعة موضحة في الشكل (٦-٤) . حيث تم الفحص بوضع مسحوق النموذج المراد فحص حجم حبيباته في مكان مخصص لذلك على هيئة معلق مع الماء وتحديد مدى الاحجام التي يتم من خلالها الفحص ولهذا تم تحديد (0.2-10 μm) ثم تم تشغيل وحدة توليد الليزر وإسقاط ضوءها على المعلق ويتم اظهار النتائج على شكل جداول ومخططات تكرارية على الة الحاسبة المربوطة مع وحدة التحسس ، ونتائج الفحص مبينة في الفصل الخامس .



الشكل رقم (4-6): وحدات جهاز فحص الحجم الحبيبي.

4.5.1.2- فحص الكثافة الظاهرية Apparent Density

الكثافة الظاهرية هي وزن وحدة حجم من المسحوق ، تحسب باستخدام وعاء قياسي مدرج معلوم الحجم وقمع ذي فتحة ضيقة ، إذ يوزن الوعاء وهو فارغ ثم يصب المسحوق المراد فحص كثافته الظاهرية في الوعاء باستخدام القمع وصولاً إلى قياس محدد ثم يوزن الوعاء والمسحوق معا وبعدها تحسب قيمة الكثافة الظاهرية باستخدام العلاقة الآتية^[٥٩].

$$\rho_A = \frac{W_2 - W_1}{V_p} \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

حيث أن:-

W_1 : وزن الوعاء فارغاً (g) .

W_2 : وزن الوعاء والمسحوق معا (g) ،

V_p : حجم المسحوق بالوعاء (cm^3) ، ρ_A : الكثافة الظاهرية للمسحوق (g/cm^3).

4.5.2- الاختبارات الفيزيائية للنماذج المصنعة

4.5.2.1- اختبار الكثافة الخضراء Green Density Test

حددت الكثافة الخضراء أو الرطوبة للنماذج المكبوسة غير الملبدة (الحالة الخضراء للنماذج) بوزن النموذج المراد حساب كثافته الخضراء بميزان حساس ثم حساب حجمه على وفق قاعدة أرخميدس ثم تحسب قيمة الكثافة الخضراء وفق المعادلة الآتية^[٦٠]:-

$$\rho_g = \frac{M_g}{V_g} \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

بحيث أن :-

M_g : وزن النموذج (g).

V_g : حجم الماء المزاح بعد وضع النموذج (cm^3).

ρ_g : الكثافة الخضراء (g/cm^3).

4.5.2.2- اختبار الكثافة النهائية Bulk-Density Test

حُسبت الكثافة النهائية للنماذج الملبدة النهائية (الحالة النهائية للنماذج بعد التلبيد) بواسطة تطبيق المعادلة (٤-٢) الخاصة بحساب الكثافة الخضراء مع الأخذ بنظر الاعتبار المتغيرات للحالة النهائية .

4.5.2.3- اختبار التقلص Shrinkage Test

مقدار التقلص الحاصل في النماذج النهائية - تغير الأبعاد - نتيجة عملية التليد حسب استخدام عدة قياس دقيقة (مايكروميتر-Micrometer) بدقة (0.01mm) وذلك بقياس سمك النماذج قبل وبعد عملية التليد ومن ثم تطبيق العلاقة التالية^[٦١]:-

$$S = \frac{L - L_1}{L_1} \dots\dots\dots(4-٣)$$

بحيث ان :-

L : سمك العينة قبل التليد (mm).

L_1 : سمك العينة بعد التليد (mm)، S : مقدار التقلص الخطي (%).

4.5.3- الفحوصات المجهرية Metallographic Examination

استخدمت العينات المحضرة في الفقرة (٢-٤-٤) لأجراء الفحوصات المجهرية لمعرفة مدى الترابط بين الجزيئات الكربيدية ومدى تأثير المساحيق الجديدة المضافة على البنية المجهرية للنماذج المصنعة من الخلطات الأساسية والجديدة وكذلك للتعرف على العيوب الموجودة من خلال فحص المقطع العرضي بواسطة المجهر الضوئي نوع (Olympus, Japan) وباستخدام تكبيرات مختلفة مقدارها (Magnification X100, X200) وكذلك لدراسة أشكال دقائق المساحيق وتوزيع حجمها الحبيبي في أرضية النماذج النهائية المصنعة.

٤,٥,٤- الاختبارات الميكانيكية للنماذج النهائية Mechanical Tests

4.5.4.1 - اختبار الصلادة المايكروية بطريقة فيكرز Vickers Microhardness

أجري اختبار الصلادة المايكروية بعد اجراء التنعيم الاولي باستخدام حجر تجليخ ، والتنعيم النهائي بواسطة الصقل باستخدام معجون ماسي (Diamond Paste) بدرجة (25µm) و (15 µm) وبمرحلتين متعاقبتين للعينات المهيأة لهذا الفحص وذلك للحصول على سطح خال من الخدوش . إذ تم الفحص بطريقة فيكرز عن طريق تسليط حمل مقداره (100g) (0.98N) وقياس أبعاد الأثر الناتج من الحمل المسلط باستخدام جهاز فحص الصلادة المايكروية نوع (Microhardness Tester ,China , HV-1000)، ثم حددت قيم الصلادة حسب العلاقة (٢-٢).

4.5.4.2- اختبار الصلادة العيانية بطريقة رو كويل Rockwell's Macro hardness

أجري اختبار الصلادة العيانية بطريقة رو كويل (HRC) للنماذج النهائية المصنعة من الخلطات الأساسية والجديدة باستخدام كرة قطرها (1.2mm) وبحمل ابتدائي مقداره (30kg) وحمل نهائي (150kg) باستخدام جهاز قياس الصلادة العيانية نوع

(Wolpert.Type : Testor, German)، إذ يحصل على قيم الصلادة مباشرة من الجهاز بوحدات رو كويل (HRC) ومن ثم تحول الى قيم مناظرة الى رو كويل (HRA) حسب بيانات خاصة مأخوذة من قياسات عالمية خاصة بذلك .

4.5.4.3- اختبار مقاومة الكسر المستعرض Transverse Rupture Strength

استخدمت عينات مهيأة خصيصا لهذا الاختبار كما موضح في الفقرة (٤-٤-١) بأبعاد نهائية مقدارها (51.5×5.46×5.13mm)، الشكل رقم (٤-٧) يبين عينات اختبار الكسر المستعرض وقد حددت مسافة بين نقطتي التثبيت (Span Length) مقدارها (40mm) لأجراء الاختبار باعتماد الحني ذي الثلاث نقاط (3-Point Bending Test) وبلاستعانة بجهاز اختبار الشد نوع (Shimadzu Servopulser Machine Model-FHF20,Japan) إذ يُسلط حمل مقداره (5tons) بمعدل تسليط (0.5mm/min) على منتصف العينة لحين حدوث الكسر ، ثم تسجل القوة المسببة للكسر وتحسب قيمة مقاومة الكسر المستعرض حسب العلاقة (٢-٣) .



الشكل رقم (4-7): يمثل عينات اختبار الكسر المستعرض.

4.5.5- اختبار تقييم أداء العدة Tool Performance Test

يعد اختبار تقييم أداء العدد في قطع المعادن من الاختبارات المهمة لها ، وقد تم في البحث الحالي تقييم أداء ثلاثة أنواع من العدد المصنعة وهي العدد المصنعة من مزيج الخلطة الأساسية ويرمز لها بالرمز (P10)، والعدد المصنعة من مزيج الخلطة الأساسية مضافا اليه نسبة (4%TaC) ويرمز لها بالرمز (4%TaC) ، والعدد المصنعة من مزيج الخلطة الأساسية مضافا اليه نسبة (3%SiC) يرمز لها بالرمز (3%SiC) ، وقيمت من خلال تقدير عمر العدة باعتماد معيارين مهمين هما :-

- حساب بلى راس العدة (Nose Wear) .

- تقدير الخشونة السطحية للمشغولة (Surface Roughness) .
ولتقييم أداء العدد تم الاستعانة بالمواد والاجهزة التالية: -

١- ماكينة الخراطة Lathe Machine

استخدمت لأجراء التجارب المختبرية ماكينة خراطة نوع (Mode SN 50B, TOS Trencic , Czechoslovakia) ذات قدرة (5.5 kw) وسرع دورانية تتراوح بين (22.5-2000 rev/min) ومعدلات تطعيم بين (0.05-6.4mm/rev) .

٢- معدن المشغولة Workpiece

استخدمت مشغولات من الفولاذ متوسط الكربون (CK-45) – الجدول (٤-٥) يوضح صلادة وتركيب معدن المشغولة – بقطر اولي مقداره (60 mm) وطول (300 mm) لاجراء التجارب المختبرية المطلوبة لتقييم اداء العدة . وقد اعتمد الفولاذ كمشغولة وذلك لكونه ذا معدن مطيلي وذا نحاعة طويلة وهو ملائم للتشغيل باعتماد العدد المستخدمة هنا ، وكذلك لكثرة البحوث المستخدمة له^[45,22] .

جدول (٤-٥): صلادة وتركيب المشغولة المعتمدة في البحث .

نوع المشغولة (DIN)	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Fe	صلادة فيكرز (HV)
فولاذ (CK-45)	٠,٤ ٢	٠,١ ٥	٠,٦٥	٠,٠٣ ٦	٠,٠٣٥	Bal.	٢٢٠

٣- حامل العدة Tool Holder

استخدم لاجراء التجارب المختبرية لتقييم اداء العدة حامل عدة نوع (W25G313, China) وبالمواصفات التالية :

أبعاد الحامل / 20×25×120mm ، زاوية جرف الحامل / -11° ،
زاوية خلوص الحامل / $+6^{\circ}$ ، زاوية الاقتراب / 60° .

٤- المجهر الضوئي Optical Microscopy

استخدم مجهر ضوئي نوع (Olympus, Japan) لقياس مقدار بلى راس العدة المعتمد في البحث الحالي ، وتم قياس البلى بواسطة مايكروميتر مثبت على احدى العدسات العينية للجهاز ذي دقة (0.001mm) .

٥- جهاز قياس الخشونة السطحية Surface Roughness Test

استخدم جهاز قياس الخشونة السطحية نوع (Taylor Hanson) لقياس مقدار خشونة الأسطح المشغلة باعتبارها إحدى المعيارين المعتمدين لتقييم أداء العدد المصنعة في البحث .

4.5.6- البرنامج العملي المتبع لتقييم أداء العدة

4.5.6.1- نظام القطع المعتمد

الجدول رقم (٦-٤) يوضح نظام القطع المعتمد لاجراء التجارب المختبرية الخاصة بتقييم اداء العدد الكاربيدية المصنعة في البحث الحالي ومن ثم تقدير عمرها ، إذ قيّم أداؤها باعتماد الاختبار السريع لفترة دقيقة واحدة (One-minute- Short Time Test) وقد تم اختيار القيم المثبتة في الجدول استنادا على الخبرة العملية ، ووفق أقطار المشغولات المتوفرة.

الجدول رقم (٦-٤): نظام القطع المعتمد في البحث .

عمق القطع (mm)	معدلات التغذية (mm/rev)	سرع القطع (m/min)
٠,٥	٠,١٤	٦٨
	٠,٢٢	
	٠,٣٦	
	٠,٤٨	
٠,٥	٠,١٤	٩٩
	٠,٢٢	
	٠,٣٦	
	٠,٤٨	
٠,٥	٠,١٤	١٤٦
	٠,٢٢	
	٠,٣٦	
	٠,٤٨	
٠,٥	٠,١٤	٢١٨
	٠,٢٢	
	٠,٣٦	
	٠,٤٨	

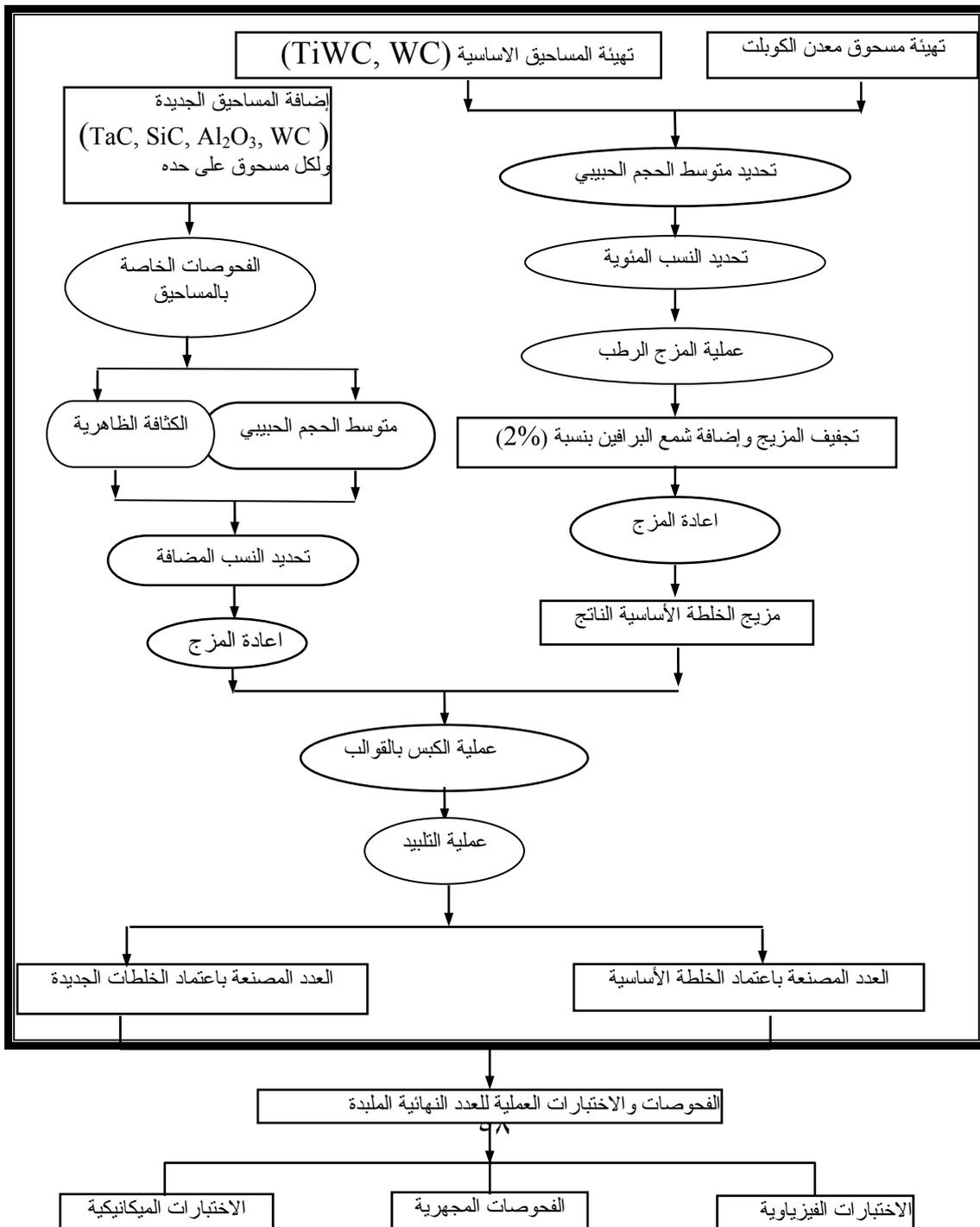
4.5.6.2- خطوات إجراء التجارب

- أجريت التجارب العملية لتقييم أداء العدد وفق التسلسل الآتي :-
- ١- بعد تهيئة المشغولة بشكل اولي يتم تحديد نظام القطع وتهيئة المخرطة .
 - ٢- تثبيت اللقمة الكاربيدية المراد تقييم اداءها في قلم الخراطة .
 - ٣- تشغيل المخرطة وفقا لنظام القطع المحددة بحيث تستمر عملية القطع لفترة دقيقة واحدة ثم توقف المخرطة ويقاس مقدار عرض البلى ثم تعاد عملية القطع والقياس تحت نظام القطع نفسه

لحين وصول اللقمة حد الفشل المعتمد البالغ (0.6mm) وقد اعتمد هذا المقدار من حد الفشل باعتماد مقدار البلى غير المنتظم (Not-Regularly Worn) المبين وفق مواصفات [ISO-3685]^[٢٣] العالمية.

٤- بعد أول دقيقة تشغيل يتم قياس الخشونة السطحية باستخدام جهاز الخشونة السطحية ولكل تجربة من خلال وضع العينة المراد قياس خشونتها على قاعدة بشكل حرف (V) ، وتحديد مسافة الفحص وملامسة مجس الجهاز بواسطة عتلة خاصة لسطح المشغولة ، بعدها يشغل الجهاز وتستمر حركة المجس ذهاباً وإياباً وتؤخذ قيمة درجة الخشونة مباشرة من لوحة تسجيل الجهاز ثم تدور العينة المراد فحص سطحها وتقاس الخشونة مرة أخرى ثم تكرر العملية عدة مرات ، ثم يؤخذ معدل القراءات ليمثل قيمة الخشونة السطحية وبوحدات (μm).

٥- تعاد الخطوات من (١) الى (٤) لعينات أخرى وفق أنظمة قطع جديدة . الشكل رقم (١١-٤) يوضح تسلسل البرنامج العملي المتبع في البحث الحالي .





الشكل رقم (4-11): مخطط تسلسل البرنامج العملي المتبع في البحث.

الفصل الخامس

النتائج والمناقشة

١, ٥- مقدمة

أن الهدف الاساسي من البحث الحالي هو دراسة تاثير بعض المتغيرات المهمة التي لها علاقة بتقنية ميتالورجيا المساحيق المعتمدة في تصنيع العدد الكاربيدية والمتمثلة بمتغيرات الكبس ومتغيرات التلييد وتغير نسب مكونات مزيج الخلطة المعتمدة في تصنيع تلك العدد ، وذلك لاجل تحديد المتغيرات المثلى للتصنيع وكذلك عمل بيانات خاصة بذلك لتمثل قاعدة تعتمد لغرض الحصول على عدة ذات خواص جيدة وذات اداء افضل .

يتناول هذا الفصل اهم النتائج التي حُصل عليها من الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية وهي نتائج فحص الحجم الحبيبي للمساحيق الجديدة المراد اضافتها ولمسحوق مزيج الخلطة الاساسية (P10) وكذلك نتائج فحوصات النماذج النهائية المصنعة والمتمثلة بفحوصات الكثافة الخضراء والنهائية والتقلص وفحص الصلادة ومقاومة الكسر المستعرض ونتائج تقييم اداء العدة بواسطة تقدير عمرها وقياس خشونة الأسطح المشغلة باستخدام تلك العدد ومن ثم مناقشة النتائج المستحصلة ومقارنتها وتحديد سلبياتها وايجابياتها للخروج بعدة ذات مواصفات عالية ملائمة لظروف التشغيل المختلفة .

ولغرض تحديد ومناقشة نتائج البحث مفصلا فان هذا الفصل قسم إلى أجزاء عدة لدراسة تأثير كل مما يلي:-

١. ضغط الكبس المعتمد في تشكيل النماذج على خواصها الخضراء والنهائية .
٢. درجة حرارة التلييد على خواص النماذج الخضراء والنهائية .
٣. تغير نسب المساحيق الاساسية المكونة للخلطة الاساسية (P10) .
٤. نسب المساحيق الجديدة المضافة (WC , Al₂O₃ , SiC , TaC) الى الخلطة الاساسية على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للنماذج الجديدة.
٥. تصغير حجم حبيبات مزيج الخلطة الاساسية على الخواص النهائية للنماذج .

وقد عني هذا البحث عناية خاصة بتقييم اداء العدد الكاربيدية المصنعة ذات الخلطات الثلاث (3%SiC,4%TaC,P10) وكيفية تقييم الأداء وتقدير عمرها ومناقشة نتائج ذلك بشكل موجز وواضح .

٥,٢ - نتائج تهيئة المساحيق

٥,٢,١ - نتائج فحص الحجم الحبيبي للمساحيق

أن مما تقدم في الفصول السابقة نجد بان الحجم الحبيبي للمساحيق له تأثير كبير على خواص العدد الكاربيدية وتأثيره واضح في مراحل التصنيع كافة لذا فانه من الضروري قياس الحجم الحبيبي لجميع المساحيق الداخلة في تصنيع العدد او على الاقل فحص الحجم الحبيبي لمزيج الخلطة الاساسية وفحص الحجم الحبيبي للمساحيق الجديدة المراد اضافتها الى المزيج الاساسي في البحث الحالي وكانت نتائج الفحص ما يأتي:-

اولاً:- المساحيق الاساسية

(الكوبلت ، كاربيد التتكتستن، و كاربيد التيتانيوم - تتكتستن) تمثل المساحيق الاساسية المعتمدة في تحضير الخلطة الاساسية (P10). إذ أن الحجم الحبيبي لمسحوق الكوبلت دون المايكرون (Fisher Sub Sieve Size-FSSS)، والحجم الحبيبي لمسحوق كاربيد التتكتستن ينحصر بين $(1,5-3 \mu m)$ ، وبين $(1,5-4 \mu m)$ بالنسبة لمسحوق كاربيد التيتانيوم- تتكتستن (Ti-WC) وفق البيانات الواردة مع كل مسحوق من المنشأ ، وبعد تحضير مزيج الخلطة الاساسية وفق النسب الموضحة في الفصل الرابع تم اجراء فحص الحجم الحبيبي للمزيج الناتج، فأظهرت نتائج الفحص بانه ذو حجم حبيبي يقع ضمن مدى $(3,46 \mu m - 11,76 \mu m)$ وبمتوسط حجم حبيبي مقداره $(5.78 \mu m)$ وهذا الحجم الحبيبي للمزيج يدل بان المسحوق الاساسي ملائم للاستخدام في تصنيع العدد ، إذ ان الادبيات الواردة والمتعلقة بدراسة تأثير الحجم الحبيبي تستخدم بصورة اساسية احجام دقائق مختلفة تتراوح بين $(0,7 \mu m)^{[3,5]}$ و $(10 \mu m)^{[3,5]}$ فضلاً عن إمكانية استخدام مزيج من احجام دقائق متباينة ^[3]. نتائج فحص الحجم الحبيبي لمزيج الخلطة الاساسية وتوزيع الحجم الحبيبي له مبينة في الجدول رقم (٥-١) والشكل (٥-١) على التوالي .

ثانياً: المساحيق الجديدة

أظهرت نتائج فحص الحجم الحبيبي للمساحيق الجديدة (Al_2O_3, SiC, TaC) المعتمدة كمساحيق مضافة الى المزيج الاساسي في البحث الحالي وجود تقارب بالحجم الحبيبي بينها وبين المزيج الاساسي وكون متوسط حجمها الحبيبي أقل مما للمزيج الاساسي مما يدل ان المساحيق الجديدة ذات دقائق منخفضة مما يؤدي الى زيادة فاعلية المزيج الجديد الناتج بعد الاضافة على أساس تقليل المسامية اثناء عملية المزج والكبس والتلييد وكذلك زيادة المساحة السطحية للمساحيق مقارنة بالوزن مما يؤدي الى تقليل درجة الحرارة والزمن اللازمين لاتمام عملية التلييد وبالتالي تقليل الطاقة المصروفة في عملية التصنيع .

أظهرت نتائج فحص الحجم الحبيبي لمسحوق كاربيد التنتالوم (TaC) انه يتالف من دقائق تقع ضمن مدى (5.78-1.48 μm) وبمتوسط حجم حبيبي مقداره (2.37 μm) وبمساحة سطحية مقدارها (28789 cm^2/cm^3) وكما موضح في الجدول (5-2) الذي يمثل نتائج فحص الحجم الحبيبي ، والشكل (5-2) الذي يمثل توزيع الحجم الحبيبي للمسحوق . اما نتائج فحص الحجم الحبيبي لمسحوق كاربيد السليكون (SiC) فأظهرت وكما هي مبينة في الجدول (5-3) وتوزيعه في الشكل (5-3) انه يتالف من دقائق ذات مدى يقع ضمن (8.39-2.07 μm) وبمتوسط حجم حبيبي (4.26 μm) وانه ذو مساحة سطحية مقدارها (17262 cm^2/cm^3) ، اما مسحوق أوكسيد الالمنيوم (Al₂O₃) فإظهرت نتائج فحص حجمه الحبيبي بانها تقع ضمن مدى (3.91-0.42 μm) وبمتوسط حجمي (1.23 μm) وانه ذو مساحة سطحية مقدارها (35963.21 cm^2/cm^3)، ونتائج فحص الحجم الحبيبي وتوزيعه مبينة في الجدول رقم (5-4) والشكل (5-4) على التوالي .

٥,٢,٢- نتائج فحص الكثافة الظاهرية للمساحيق (Apparent-Density)

يعد فحص الكثافة الظاهرية للمساحيق من الفحوصات الفيزيائية المهمة وذلك لأن خواص النماذج الخضراء والنهائية المصنعة من مزيج تلك المساحيق تتأثر كثيرا بالحجم الحبيبي للمساحيق وكثافتها الظاهرية وبالأخص خاصية الكثافة الخضراء والنهائية ومقدار وحجم المسامية وبالتالي على خاصية الصلادة ، وفي البحث الحالي ولغرض دراسة تأثير إضافة نسب وزنية مئوية مختلفة من المساحيق الجديدة (WC, Al₂O₃, SiC, TaC) الى المزيج الاساسي (P10) على الخواص النهائية للنماذج المصنعة من المزيج الجديد بدقة عالية فانه يتطلب إجراء فحص الكثافة الظاهرية لتلك المساحيق واتباع الطريقة المذكورة في الفصل الرابع ، وقد اظهرت نتائج فحص الكثافة الظاهرية للمزيج الاساسي (P10) انها تساوي (2.9g/cm³) ، وتساوي (2.9g/cm³) لمسحوق كاربيد التنتالوم وهي قيمة تعد عالية نسبة الى قيمتها لمسحوق كاربيد السليكون واوكسيد الالمنيوم التي تساوي (0.92g/cm³) و (0.79g/cm³) على التوالي وهذا امر بديهي كون (TaC) من المساحيق الكاربيدية الصلدة وذي حجم دقائق متساو تقريبا وكون (Al₂O₃, SiC) من المساحيق السيراميكية ذات الكثافة الواطئة وكذلك لتباين الحجم الحبيبي لها ، وتساوي (4.83 g/cm³) بالنسبة لمسحوق كاربيد التنتالوم.

5.3- نتائج مرحلة الكبس

5.3.1- تأثير ضغط الكبس على الكثافة النهائية (Bulk-Density).

يوضح الشكل (٥-٥) والشكل (٥-٦) كيفية تغير الكثافة النهائية للنماذج المصنعة من مزيج الخلطة الاساسية (P10) مع ضغط الكبس ولدرجتي حرارة تلييد مختلفة (1410°C) و (1450°C) على التوالي ، وتمثل هذه النتائج المتوسط الحسابي لخمسة قيم من قيم الكثافة لكل حالة من الحالات المذكورة ، إذ يلاحظ من الشكلين بان قيم الكثافة تزداد مع زيادة ضغط الكبس ولكلتي درجتي الحرارة وذلك لكون الحجم الحبيبي للمزيج الاساسي المعتمد في تصنيع النماذج يمتلك مدى واسعاً من التوزيع الحبيبي مما يؤدي الى تغلغل الحبيبات الناعمة في الفجوات الموجودة بين الحبيبات الخشنة وبالتالي زيادة وزن المكبوسة نسبة الى حجمها (أي زيادة كثافتها) ، ويلاحظ من الشكلين أيضاً وجود التشابه الكبير بين منحنى الكثافة أي التشابه في زيادة قيم الكثافة مع ضغط الكبس لدرجتي حرارة التلييد مع عدم تجاهل تأثيرها ، ونتائج الفحص هنا تدلل بأن تأثير درجة حرارة التلييد اقل من تأثير ضغط الكبس .

٥,٣,٢- تأثير ضغط الكبس على التقلص (Shrinkage)

تغير الأبعاد (Dimensional Change) من المسائل المهمة في تصنيع الاجزاء الدقيقة الابعاد وخاصة في تحديد ابعاد العدد الكاربيدية لكون الاخيرة يجب ان تكون بقياس محدد وفق القلم الحامل لها، مع إعطاء سماحات ثابتة ضمن مواصفات عالمية ، ولهذا أجري فحص التقلص (نقص الابعاد) مع تغير ضغط الكبس بعد اجراء عملية التلييد بدرجتين مختلفتين (1410°C) و (1450°C). فأظهرت نتائج الفحص تقلصاً كبيراً في بادئ الأمر نتيجة تطاير شمع البرافين المستخدم كعامل مساعد على الربط وتسهيل عملية الكبس ومن ثم تتناقص قيم التقلص مع زيادة ضغط الكبس ولكلتي درجتي الحرارة وكما موضح في الشكل (٥-٥) والشكل (٥-٦). وهذا التناقص بديهي لكون زيادة ضغط الكبس يؤدي الى زيادة مدى توزيع الحبيبات في المكبوسة الواحدة مما يساهم في زيادة مساحة التماس بين الحبيبات مما يعيق حركة وانتشار الحبيبات. فمثلا عند ضغط كبس (124 MPa) ودرجة حرارة تلييد (1410°C) ولمدة ساعة واحدة فان مقدار التقلص هو (20.2%) وعند نفس الدرجة وضغط كبس (248 MPa) فان التقلص يصبح (17.2 %) ، اما عند درجة حرارة تلييد (1450°C) فان مقدار التقلص يكون اكثر بقليل وذلك لان اية زيادة في درجة الحرارة تنشط من حركة الحبيبات فمثلا عند ضغط كبس (124MPa) فان التقلص (20.3 %) وعند ضغط (248 MPa) فان التقلص (17.6%) في درجة حرارة التلييد الاخيرة علما بان تأثير درجة حرارة التلييد اقل من تأثير ضغط الكبس على قيم التقلص.

٥,٣,٣- تأثير ضغط الكبس على الصلادة العيانية (Micro hardness)

الشكل (٥-٥) والشكل (٥-٦) يوضحان كيفية تغير قيم الصلادة العيانية بمقياس رو كويل (HRA) للنماذج المصنعة من المزيج الاساسي مع تغير مقادير ضغط الكبس. ويلاحظ من الشكلين وبالتحديد منحنى الصلادة فيهما زيادة قيم الصلادة مع زيادة ضغط الكبس ولكلتا درجتى حرارة التلييد (1410°C) و (1450°C) وعلى التوالي، ويرجع سبب ذلك نتيجة تغلغل الحبيبات الناعمة في الفجوات الموجودة بين الحبيبات الخشنة مع زيادة ضغط الكبس مما يؤدي إلى زيادة التراص بين الحبيبات وإعاقة حركة الانخلاعات وبالتالي زيادة الصلادة، ويلاحظ أيضا وجود تعرجات على المنحنيين (أي منحنى الصلادة مع ضغط الكبس في درجة (1410°C) ومنحنى الصلادة مع ضغط الكبس في درجة (1450°C) نتيجة التفاوت في تجانس الحبيبات مما يعطي مناطق ذات كثافة عالية وأخرى ذات كثافة أوطأ، وكذلك لوجود المسامية وتقليلها نتيجة زيادة الضغط لكون المسامية مناطق خالية من المقاومة الميكانيكية (ويمكن ملاحظة ذلك في الصور المجهرية - الشكل (٥-٧ a,b)).

5.4- نتائج مرحلة التلييد

اعتمدت في البحث الحالي درجتان مختلفتان لعملية التلييد هما (1410°C) و (1450°C) وفترة مكوث ثابتة مقدارها ساعة واحدة ولضغطي كبس مختلفين هما (155MPa) و (248MPa) لاجراء التجارب ودراسة تأثير درجة حرارة التلييد على بعض الخواص المهمة للنماذج المصنعة من المزيج الاساسي (P10) والمتمثلة بالكثافة النهائية والتقلص والصلادة النهائية وكما موضح ادناه.

٥,٤,١- تأثير درجة حرارة التلييد على الكثافة النهائية

يوضح الشكل (٥-٨) والشكل (٥-٩) كيفية تغير الكثافة النهائية للنماذج المشكلة بضغط كبس (155MPa) و (248MPa) على التوالي مع درجة حرارة التلييد، ويلاحظ من منحنى الكثافة حصول زيادة طفيفة في قيم الكثافة مع زيادة درجة حرارة التلييد بغض النظر عن زيادة الكبس الذي مر ذكره. ولتوضيح الزيادة في الارقام فمثلا عند ضغط كبس (155MPa) ودرجة حرارة تلييد (1410°C) فان مقدار الكثافة (11.4g/cm³) ومقدارها (11.45g/cm³) عند نفس الضغط وبدرجة حرارة (1450°C)، وعند ضغط كبس (248MPa) وبدرجة حرارة تلييد (1410°C) فمقدار الكثافة للنماذج هو (12.1g/cm³) ومقدارها (12.34g/cm³) عند نفس الضغط وبدرجة

تليد (1450°C) وهذه الزيادة الطفيفة حاصلة نتيجة عملية التكتيف للمكبوسات إذ يحصل تراص بين الحبيبات مما يؤدي الى تقليل حجم المكبوسة نسبة الى وزنها وبالتالي زيادة كثافتها .

٥,٤,٢- تأثير درجة حرارة التليد على التقلص

يوضح الشكل (٥-٨) والشكل (٥-٩) أيضا كيفية تغير نسب التقلص مع درجة حرارة التليد لضغطي كبس مختلفين (155MPa) و (248MPa) على التوالي. وقد أظهرت نتائج الفحص وكما هي واضحة من المنحنيين حصول زيادة طفيفة في قيم التقلص مع زيادة درجة حرارة التليد ولكلا لضغطي الكبس. فعند ضغط كبس (155MPa) ودرجة حرارة التليد (1410°C) فان مقدار التقلص هو (19.5%) وعند زيادة درجة الحرارة الى (1450°C) فان مقدار التقلص يصبح (19.7%) عند نفس الضغط ، ولو أخذنا مثالا ثانيا لتبيان تأثير درجة حرارة التليد على التقلص، فوجد عند ضغط كبس (248MPa) ودرجة حرارة (1410°C) فان مقدار التقلص هو (17.2%) واصبح مقداره (17.6%) عند نفس الضغط ودرجة حرارة تليد (1450°C)، ويرجع سبب ذلك لكون درجة الحرارة تعمل على زيادة حركة الذرات وزيادة مدى توزيع الحبيبات في المكبوسة الواحدة مما يساهم في زيادة مساحة التماس بين الحبيبات وبالتالي زيادة كفاءة عملية التليد وزيادة التقلص الحاصل من جرائها وكما هو واضح في الشكل (5-7a,b) الصور المجهرية .

٥,٤,٣- تأثير درجة الحرارة على الصلادة العيانية

دُرُس تأثير درجة حرارة التليد على مقدار الصلادة العيانية بطريقة روكويل (HRA) واتباع ضغطين مختلفين للتشكيل هما (155MPa) و (248MPa). فأظهرت نتائج الفحص حصول زيادة طفيفة لقيم الصلادة مع زيادة درجة حرارة التليد وكما هو واضح في الشكل (٥-٨) والشكل (٥-٩)، اللذين يوضحان كيفية تغير مقادير الصلادة مع درجة حرارة التليد ولضغطي الكبس المختلفين على التوالي ، فمثلا عند ضغط كبس (155MPa) ودرجة حرارة تليد (1410°C) كانت صلادة رو كويل تساوي ($82,6 \text{ HRA}$) ثم زادت لتصبح (82.7 HRA) عند نفس الضغط ودرجة حرارة تليد (1450°C) وكانت صلادة رو كويل تساوي ($83,7$) عند ضغط كبس (248MPa) ودرجة حرارة تليد (1410°C) ثم أصبحت (83.9HRA) عند نفس الضغط بدرجة حرارة (1450°C)، ويمكن استدلال نسب الزيادة من خلال مطابقة منحنى الصلادة مع منحنى الكثافة النهائية لكون خاصية الصلادة هي خاصية مناظرة للكثافة النهائية أي انه عند زيادة الكثافة تزداد الصلادة وبما ان الكثافة تزداد مع زيادة درجة الحرارة (مر ذكره) وللاسباب المذكوره سلفا والتي اهمها زيادة التراص وزيادة التكتيف

واعاقة حركة الانخلاعات فتحصل زيادة في قيم الصلادة. وان الأدبيات الواردة في الفصل الثالث والخاصة بتأثير درجة الحرارة^[٤٠] أكدت ذلك. ومن الجدير بالذكر ومن خلال مقارنة منحنيات تأثير ضغط الكبس وتأثير درجة حرارة التلييد. ونلاحظ بان تأثير ضغط الكبس هو اكبر من تأثير درجة الحرارة على اغلب الخواص الفيزيائية وسائر الخواص الميكانيكية.

٥,٥- نتائج تأثير اضافة المساحيق الجديدة على الخواص الفيزيائية

أجريت مجموعة من الفحوصات الفيزيائية قبل وبعد تلييد النماذج المكبوسة المصنعة من المزيج الاساس المضافة اليه نسب وزنية مختلفة من المساحيق الجديدة (WC, Al₂O₃, SiC, TaC). تمثلت هذه الفحوصات بفحصي الكثافة الخضراء والنهائية وفحص النقل وذلك لغرض التعرف على خواص النماذج الجديدة - العدد الكربيدية - الناتجة بعد الاضافة ومقارنتها مع تلك قبل الإضافة، وكذلك لتحديد تأثير هذه النسب عليها، ومعرفة سلبيات وايجابيات كل مسحوق ومن ثم تقييم نتائج الإضافة من المساحيق الجديدة. وقد سُكلت النماذج الجديدة بضغط كبس مقداره (200MPa) ولبتت بدرجة حرارة (1410°C) ولفترة ساعة واحدة.

٥,٥,١- مسحوق كاربيد التنتالوم (TaC)

٥,٥,١,١- تأثير مسحوق (TaC) على الكثافة الخضراء والنهائية

يوضح الشكل (١٠-٥) تغير قيم الكثافة الخضراء والكثافة النهائية مع نسب مسحوق (TaC) (1%, 3%, 5%, 7%) المضافة الى المزيج الاساسي (P10)، ويلاحظ من المنحنى حصول زيادة قيم الكثافة الخضراء والنهائية - لكونهما حالة واحدة أي عند زيادة الكثافة الخضراء تزداد الكثافة النهائية والعكس صحيح - مع زيادة نسب الاضافة. وترجع سبب الزيادة هذه الى كون كثافة كاربيد التنتالوم اعلى من كثافة المزيج الاساسي (P10)، وكذلك فان كاربيد التنتالوم يعمل على تصغير الحجم الحبيبي للمزيج الذي بدوره يؤدي الى زيادة تداخل الحبيبات الناعمة في فراغات الحبيبات الخشنة وزيادة التراص مما يؤدي الى زيادة وزن المكبوسة نسبة الى حجمها. ويلاحظ من المنحنيين وجود تعرجات مما تؤشر حدوث ارتفاعات وانخفاضات نسبية بفعل زيادة المضاف وتأثيره على حجم المسامات المحتواة في المكبوس وعلى أية حال فإن التعرج المذكور قليل جدا وان القيم المدروسة هذه هي نتائج المتوسط الحسابي لاكثر من قيمة.

٥,٥,١,٢- تأثير مسحوق (TaC) على خاصية التقلص

أوضح هذا الفحص حصول زيادة ملحوظة في قيمة التقلص مع زيادة نسبة (TaC) المضافة الى المزيج الأساسي وكما موضح في الشكل (٥-١٠) ، وترجع هذه الزيادة لكون (TaC) يعمل على تصغير الحجم الحبيبي مما يؤدي الى زيادة مساحة التماس بين الحبيبات. وهذا امر بديهي من خلال ملاحظة قيم الكثافة الخضراء والنهائية لكون مقدار التقلص متأثراً بقيم هاتين الخاصتين وكذلك بسبب انخفاض حجم المسامات المتكونة وكما هو واضح في الصور المجهرية - الاشكال (٥-11a,b,c,d,e,f).

٥,٥,٢- مسحوق كربيد السليكون (SiC)

٥,٥,٢,١- تأثير مسحوق (SiC) على الكثافة الخضراء والنهائية

أظهرت نتائج الفحص انخفاض قيم الكثافة الخضراء والنهائية مع زيادة نسب الاضافة من مسحوق (SiC) وكما موضح في الشكل (٥-١٢) ، ومعدل الانخفاض هذا يتأثر بمقدار نسبة الاضافة. ويلاحظ انه عند نسبة إضافة (1%) يكون معدل الانخفاض قليلاً ذلك لكون كثافة (SiC) اقل من كثافة المزيج الاساسي (P10) ، وكذلك لكون المسامات المتولدة قليلة وكما موضح في الصور المجهرية - الاشكال (٥-١٣ a,b,c) ، اما عند زيادة نسبة الاضافة الى (7%) فإن معدل الانخفاض يصبح عالياً لزيادة المسامات المتولدة وكما موضح في الصور المجهرية، وكذلك لكون كثافة (SiC) اقل من كثافة المزيج الاساسي (P10) مما يؤدي الى انخفاض وزن المكبوسة نسبة الى حجمها .

٥,٥,٢,٢- تأثير مسحوق (SiC) على خاصية التقلص

أظهرت نتائج الفحص حدوث تناقص في قيم التقلص مع زيادة نسب الاضافة وكما موضح في الشكل (٥-١٢) ، ويعود سبب التناقص الى زيادة حجم المسامات المتولدة في المكبوسة والتي تعيق التقلص، ويمكن ملاحظة ذلك في الصور المجهرية - الأشكال (5-13 a,b,c).

٥,٥,٣- مسحوق اوكسيد الالمنيوم (Al_2O_3)

٥,٥,٣,١- تأثير مسحوق (Al_2O_3) على الكثافة الخضراء والنهائية

يوضح الشكل (٥-١٤) كيفية تغير قيم الكثافة الخضراء والنهائية للنماذج المكبوسة مع نسب الألومينا (Al_2O_3) المضافة الى المزيج الاساسي (P10) حيث يلاحظ انخفاض واضح، ويرجع سبب الانخفاض هذا الى كون كثافة الالومينا اقل بكثير من كثافة المزيج الاساسي حيث أن كثافة

الالومينا الظاهرية تساوي (0.79g/cm^3) وكثافة المزيج الاساسي تساوي (2.9g/cm^3) ، وكذلك الى زيادة حجم المسامات المتولدة نتيجة تجمع وتكتل دقائق الالومينا مما يؤدي الى كبر حجم الدقائق التي تعيق عملية التكتيف وكما موضح في الصور المجهرية الموضحة في الأشكال (٥-١٥ a,b) وبالتالي انخفاض وزنها نسبة الى حجمها.

٥,٥,٣,٢- تأثير إضافة مسحوق (Al_2O_3) على خاصية التقلص

أظهرت نتائج الفحص تناقصاً واضحاً في قيم التقلص مع زيادة نسبة المسحوق المضاف (الالومينا) وكما موضح في الشكل (٥-١٤) لان تقلص الالومينا اقل من تقلص المزيج الاساسي (P10) وكذلك لكبر حجم المسامات المتولدة - ممكن ملاحظة ذلك من الصور المجهرية الأشكال (٥-١٥ a,b) ، التي تعيق من حركة الذرات وتداخلها مع بعضها وكذلك بسبب اعادة الخلط التي تعطي مناطق مختلفة الكثافة.

٥,٥,٤- مسحوق كربيد التنكستن (WC)

٥,٥,٤,١- تأثير مسحوق (WC) على الكثافة النهائية

من ضمن المساحيق الجديدة المتبعة في البحث الحالي كمساحيق مضافة الى المزيج الاساسي هو مسحوق كربيد التنكستن (WC) وبنفس صفات المسحوق المستخدم في تكوين الخلطة الاساسية، وقد اضيف هذا المسحوق بثلاث نسب (12%,8%,4%) وبعد الاضافة وتصنيع النماذج باعتماد الاسلوب نفسه من حيث ضغط الكبس (200MPa) ودرجة حرارة تلييد (1410°C) لمدة ساعة واحدة . تم اجراء فحص الكثافة النهائية والصلادة العيانية بطريقة رو كويل (HRA) ومقاومة الكسر المستعرض ، أظهرت نتائج فحص الكثافة زيادة في قيمتها مع زيادة نسب الاضافة وكما هو واضح في الشكل (٥-١٦) وذلك لكون كثافة مسحوق (WC) اعلى من كثافة المزيج الاساسي نفسه كذلك لحصول عملية التكتيف الجيدة وانخفاض المسامية نتيجة الترابط التقاعلي الجيد بين المساحيق الكاربيدية وكما واضح في الصور المجهرية - الأشكال (٥-١٧ a,b,c,d) مما يؤدي الى زيادة وزن المكبوسة نسبة الى حجمها . ويلاحظ من الشكل (٥-١٨) الذي يمثل مقارنة بين نسب الاضافة للمساحيق الجديدة وقيم الكثافة الخضراء بان مسحوق (WC) يكون ذا تأثير اكبر على قيم الكثافة النهائية ومن بعده مسحوق (TaC) ، ويكون مسحوق (Al_2O_3) ذا تأثير اقل على قيم الكثافة النهائية.

٥,٦- نتائج تأثير اضافة المساحيق الجديدة على الاختبارات الميكانيكية

تضمنت الاختبارات الميكانيكية للنماذج المصنعة بعد اضافة المساحيق الجديدة بفحص الصلادة العيانية (رو كويل (HRA)) ومقاومة الكسر المستعرض وتقييم اداء العدة ومن ثم تقدير عمرها .

١, ٦, ٥- مسحوق كربيد التنتالوم (TaC)

١, ٦, ٥- تأثير اضافة مسحوق (TaC) على الصلادة العيانية

يوضح الشكل (١٩-٥) تأثير اضافة (TaC) على قيم الصلادة العيانية للنماذج المصنعة من المزيغ الجديد الناتج بعد الإضافة، بحيث أن هذه النماذج سُكّلت بضغط كبس (200MPa) ولبّدت بدرجة حرارة (1410C°) لمدة ساعة واحدة. إذ يلاحظ من الشكل بان جميع قيم الصلادة للعينات المفحوصة تفوق قيمة (84 HRA) وهذه القيم تعد عالية بالنسبة للعينات المصنعة باعتماد المزيغ الأساسي (P10) التي قيمتها (82.5HRA)، وعند زيادة نسب الأضافة تزداد الصلادة لتصل (85.9HRA) عند نسبة (7%) وان سبب الزيادة يمكن ان يفهم بمقارنة منحنى الصلادة أعلاه مع منحنى الكثافة، وكذلك تزداد الصلادة نتيجة تناقص الحجم الحبيبي للمزيغ بواسطة المسحوق المضاف (TaC) وزيادة عملية التراص والتكثيف نتيجة زيادة المساحة السطحية للحبيبات. وكذلك أُجْري فحص الصلادة المايكروية (HV-100g) للعينات المصنعة من المزيغ الأساسي (أي نسبة إضافة 0%)، فإظهر بانها تساوي (961HV) وعند إضافة نسبة (7%) من مسحوق (TaC) الى المزيغ الأساسي فانها تزداد لتصل الى (1298HV) مما يؤكد حصول عملية التكثيف والتراص بصورة جيدة وكما هي موضحة في الصور المجهرية - الأشكال (١١ a, b, c, d, e, f).

٢, ٦, ٥- تأثير اضافة مسحوق (TaC) على مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S.)

الشكل (١٩-٥) يوضح تأثير اضافة نسب من (TaC) على مقاومة الكسر المستعرض، إذ يلاحظ منه تناقص المقاومة مع زيادة نسبة الاضافة، وهذا امر بديهي وذلك لانه مع زيادة الصلادة تزداد القسافة أي تقل المتانة التي هي مقياس لمقاومة الكسر.

وتجدر الإشارة إلى أن اختبار مقاومة الكسر اجري فقط للنماذج المصنعة باعتماد المزيغ الاساسي (P10)، والنماذج المصنعة بعد إضافة (1%, 3%, 5%, 7%) من مسحوق (TaC)، والنماذج المصنعة بعد إضافة (1%, 3%, 5%) من مسحوق (SiC) وللنماذج المصنعة بعد اضافة (1%, 3%) من مسحوق (Al₂O₃) وللنماذج المصنعة من المزيغ الاساسي المضافة اليه نسب (4%, 8%, 12%) من مسحوق (WC) وذلك لكون النماذج ذات نسب الاضافة (7% SiC, 5% Al₂O₃, 7% Al₂O₃) لم تكن ذات نتائج مشجعة نسبيا بعد اجراء الفحوصات المجهرية (المجهر الضوئي) وفحصي الكثافة والصلادة النهائية ولهذا تم اختيار نماذج النسب المضافة المذكورة أعلاه لأجراء هذا الاختبار وتقييم نتائجها.

٥,٦,٢- مسحوق كربيد السليكون (SiC)

٥,٦,٢,١- تأثير إضافة مسحوق (SiC) على الصلادة العيانية

الشكل (٥-٢٠) يوضح العلاقة بين قيم الصلادة العيانية بطريقة رو كويل (HRA) وبين نسب كربيد السليكون (SiC) المضافة الى المزيج الاساسي (P10)، فقد أظهرت نتائج الفحص للنماذج المصنعة من المزيج الجديد والمشكلة بضغط كبس (200 MPa) والمليدة بدرجة حرارة (1410°C) لمدة ساعة واحدة. زيادة في قيم الصلادة لغاية نسبة اضافة مقدارها (3%) إذ بلغت (84.2 HRA) ، بعدها تنخفض هذه القيم سريعا لتصل إلى (66 HRA) عند نسبة اضافة (7%)، إذ يعود سبب الزيادة الى كون كربيد السليكون (SiC) يعمل على تقليل ظاهرة نقص الكربون (الطور الهش- η) ذلك لتركيبته النظرية وهي (30% C+70% Si) أي تحوي على نسبة كربون عالية نسبة لبقية المساحيق الكاربيدية (WC, Ti-WC) وهذا بدوره يوازن النقص القليل الحاصل في الكربون بسبب زيادة فترة المزج ويقلل من ظاهرة نقص الكربون ويؤدي إلى رفع الصلادة ، أما الانخفاض السريع في قيم الصلادة بعد نسبة اضافة (3% SiC) فيعود الى كون مسحوق (SiC) لا يعمل ترابطاً تقاعلياً مع (WC, Ti-WC) في مزيج الخلطة الأساسية وانما يتكون طور سيلسايد (Msi) والذي يتميز بكونه ذا طبيعة هشّة ولا يحدث ترابطاً تقاعلياً (J. Whithead & T. Page) [62].

5.6.2.2- تأثير إضافة مسحوق (SiC) على مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S.)

الشكل (٥-٢٠) يوضح تأثير نسب الاضافة من مسحوق (SiC) على مقاومة الكسر المستعرض، إذ يلاحظ انخفاض قيم مقاومة الكسر لجميع النسب المعتمدة ويعود سبب هذا الانخفاض الى زيادة مقدار وحجم المسامية نتيجة عدم حصول التراص والتكثيف الجيدتين بسبب عدم حصول ترابط تقاعلي بين مسحوق (SiC) ومكونات المزيج الأساسي وكما موضح في الصور المجهرية - الأشكال (٥-١٣ a,b,c).

٥,٦,٣- مسحوق اوكسيد الالمنيوم (Al₂O₃)٥,٦,٣,١- تأثير إضافة مسحوق (Al₂O₃) على الصلادة العيانية

يوضح الشكل (5-21) العلاقة بين نسب (Al₂O₃) المضاف وقيم الصلادة العيانية للنماذج المصنعة - من المزيج الجديد الناتج بعد إضافة نسب (Al₂O₃) الى المزيج الأساسي- بضغط كبس (200 MPa) ودرجة حرارة تلييد (1410° C) لمدة ساعة واحدة ، ويلاحظ من الشكل

انخفاض واضح لقيم الصلادة مع زيادة نسب الاضافة. ان سبب الانخفاض الكبير هذا يرجع لعدم حصول عملية التكتيف الصحيحة فانه بزيادة نسب الاضافة يتكون طور وسطي يعيق من عملية الانتشار للدقائق مما يؤدي الى انعزال مسحوق (Al_2O_3) عن المساحيق الكاربيدية المكونة للمزيج الاساسي المضاف اليه فتؤدي الى تكتل وتجمع دقائق (Al_2O_3)، ومن ثم زيادة حجمها ونقصان عددها مما يؤدي الى توليد المسامات وزيادة حجمها- كما هي واضحة في الصور المجهرية -الشكل (5-15 a,b) مما يولد مناطق ضعيفة المقاومة الميكانيكية وكذلك فان كبر حجم الدقائق يؤدي الى تقليل الاعاقة لتقدم الشقوق المايكروية ولحركة الانخلاعات ضمن هذه المسافات، وبذلك تقل الصلادة وهذا مشابه لما جاء به الباحثون (M. Lafer & et al.)^[63] حيث استنتجوا بان دقائق مسحوق (Al_2O_3) المضاف الى تركيبة السبائك الفائقة تعد مدخلات صلدة غير ذاتية تماماً مما تؤدي الى تقليل التكتيف وتقليل الترابط بينها وبين دقائق المساحيق الاخرى المتوفرة ، وتعمل على زيادة الترابط مع بعضها البعض وبالتالي تؤدي الى الفصل (الانعزال) بين دقائق المساحيق الأخرى ، مما تقلل التكتيف وبالتالي نقصان وزن المكبوسة نسبة الى حجمها فتقل الكثافة وبالتالي تقل الصلادة .

٢,٣,٥- تأثير إضافة (Al_2O_3) على مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S)

الشكل (5-21) يوضح تأثير اضافة مسحوق (Al_2O_3) على مقاومة الكسر المستعرض . إذ يلاحظ منه انخفاض كبير لقيم مقاومة الكسر المستعرض مع زيادة نسب الإضافة ، وهذا الانخفاض يعود الى كون دقائق (Al_2O_3) لن تتداخل مع دقائق المساحيق الكاربيدية ، بل تداخلت مع بعضها البعض وتكتلت وزاد حجمها مما ادى الى تولد المسامات وبزيادة نسب الاضافة كبر حجمها وكما موضح في الشكل (5-15a,b)- الصور المجهرية ، وبالتالي ولدت مناطق ذات كثافات عالية نسبياً واخرى ذات كثافات اوطأ ، وقيمة صلادة فيكرز بمقياس (HV-100g) تساوي (1200HV) عند نسبة اضافة (1%) من (Al_2O_3) والتي كانت (961HV) عند نسبة (0%) تثبت صحة ذلك .

٤,٦,٥- مسحوق كاربيد التنكستن (WC)

١,٤,٦,٥- تأثير إضافة مسحوق (WC) على الصلادة العيانية

أظهرت نتائج فحص الصلادة العيانية بطريقة رو كويل (HRA) للنماذج المصنعة من المزيج الاساسي المضافة اليه نسب وزنية (12%,8%,4%) من مسحوق (WC). حصول زيادة في قيم الصلادة مع زيادة نسب الاضافة وكما موضح في الشكل (5-16) ، ويرجع سبب ذلك إلى زيادة عملية التكتيف وانخفاض المسامية المتولدة نتيجة التراص والترابط الجيدين ، ونتيجة للاستمرارية الحاصلة لجزيئات (WC/WC) وكما هي واضحة في (الصور المجهرية - الأشكال (5-17a,b,c,d)) ،

ومن الجدير بالذكر فإنه يلاحظ من الشكل (22-5) بعد مقارنة نتائج فحص الصلادة (HRA) لجميع العدد المصنعة من المزيج المضاف اليه المساحيق الجديدة (WC, Al₂O₃, SiC, TaC) بان مسحوق (WC) يعد الافضل من حيث تأثيره على قيم الصلادة إذ بلغت (HRA 87) عند نسبة اضافة (12%) ، ومسحوق (Al₂O₃) يعد ألسوء لكونه يخفض قيم الصلادة إلى حدود قليلة وقد بلغت (HRA 62.3) عند اضافة (7%) منه.

٢, ٤, ٦, ٥- تأثير إضافة (WC) على مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S.)

يوضح الشكل (16-5) العلاقة بين قيم مقاومة الكسر المستعرض ونسب (WC) المضافة ، إذ يلاحظ منه حدوث تناقص قليل في قيم المقاومة هذه مع زيادة نسب الاضافة ، وذلك لزيادة قيم التكتيف والصلادة، وكذلك فان زيادة (WC) يقلل نسب المعدن الرابط (الكوبلت) المسؤول عن مقاومة الكسر (خاصية المتانة).

وتجدر الإشارة الى الشكل (23-5) الذي يمثل مقارنة بين نتائج فحص مقاومة الكسر المستعرض لجميع العدد المصنعة من المزيج الاساسي المضاف اليه المساحيق الجديدة ، إذ يلاحظ من الشكل بأن قيم مقاومة الكسر تتخفض مع زيادة الاضافة ولجميع المساحيق المعتمدة.

5.7- نتائج تغير نسب مكونات الخلطة الأساسية (P10)

تتصف منتجات ميتالورجيا المساحيق ومنها العدد الكاربيدية بإمكانية التحكم بالخواص المطلوبة من حيث الصلادة والمتانة وغيرها من الخواص بواسطة تغيير نسب المساحيق المكونة لمزيجها . ولهذا فقد درس في البحث الحالي تغيير نسب مكونات المزيج الاساسي وفق مواصفات عالمية محددة - محاولة للخروج بعدة ذات خواص جيدة - ، ففي بادئ الامر تم تحضير الخلطة الاساسية (P10) باعتماد المزج الجاف (Dry Mixing)، ومن ثم حضرت خلطة جديدة وفق النسب الموضحة في جدول (4-4) أي زيادة نسب (WC) ونسب (Co) وإنقاص نسبة (TiC) على اساس ان مسحوق (WC) يعمل على زيادة المقاومة ويحسن الصلادة ، وقد رمز لهذه الخلطة بالرمز (P10B*) وكذلك حضرت خلطة اخرى رُمز لها بالرمز (P10C*) وهذه ايضا تم فيها زيادة نسب (WC) ونسب (Co) وانقاص (TiC) وذلك محاولة لتحسين الصلادة على اساس ان اضافة مسحوق (TiC) يعمل على تحسين مقاومة البلى وبزيادته تنقص المقاومة (راجع الادبيات - الفصل الثالث) .

بعد تحضير الخلطات الجديدة ذات نسب المكونات المختلفة أُجري فحص الكثافة النهائية والتقلص بالإضافة الى فحص الصلادة العيانية وقد أظهرت نتائج الفحص وكما مبينة في الملحق (B)، بان المزج الجاف - بصورة عامة- يعد غير مُجدٍ في تحضير الخلطات الجديدة ، حيث باتباعه لا يحصل الترابط الصحيح بين جزيئات المساحيق ولا يحصل التكتيف والتداخل الجيدان، وان قيم الخواص انخفضت للخلطتين ($P10^*$) ، ($P10B^*$) عما عليها للخلطة الاساسية ($P10$) بغض النظر عن الخلطة ($P10C^*$) التي اعطت نتائج فحص جيدة نسبياً وكما هو موضح في الشكل (5-24) وذلك بسبب زيادة نسبة (WC) التي زادت عملية الترابط بين جزيئاتها (WC/WC) وكما هو موضح في الصور المجهرية الشكل (5-25 a,b)، ولتوضيح ذلك بالارقام فان الخلطة ($P10^*$) اعطت نتائج ذات قيمة (9.77 g/cm^3) للكثافة النهائية و (13.43%) للتقلص وذات قيمة صلادة (74.5 HRA) والتي كانت (82.5 HRA) للخلطة الاساسية ($P10$) ويرجع سبب ذلك لعملية المزج.

وان الخلطة ($P10B^*$) فانها تمتلك قيمة (10.66 g/cm^3) للكثافة النهائية وقيمة (14.3%) للتقلص و (77.5 HRA) للصلادة النهائية ، وان الخلطة الجديدة ($P10C^*$) فانها تمتلك قيمة (11.34 g/cm^3) للكثافة النهائية و (16.8%) للتقلص وقيمة (85 HRA) للصلادة النهائية، وتجدر الاشارة الى انه عند زيادة مسحوق (WC) فان قيم الكثافة تزداد لزيادة كثافة مسحوق (WC) .

٥,٨ - نتائج تصغير حجم حبيبات المزيج الأساسي (P10)

من العوامل المؤثرة في خواص العدد الكاربيدية هي حجم حبيبات المساحيق الداخلة في تركيبها ، وعلى هذا ولغرض دراسة تأثير تصغير الحجم الحبيبي للمزيج الاساسي ($P10$) المعتمد في البحث الحالي، صُغّر الحجم الحبيبي باستخدام طاحونة مختبرية (كسارة) لمدة طحن مقدارها (15 min) ولمرحلتين متتاليتين ، وقد أظهرت نتائج فحص الحجم الحبيبي لمزيج الخلطة الاساسية قبل التصغير والموضحة في الجدول (5-1) والتوزيع الحجمي في الشكل (5-1) بانه يمتلك متوسط حجمي مقداره ($5.78 \mu\text{m}$) ، ونتائج الفحص للمزيج الاساسي بعد تصغير حجمه الحبيبي للمرحلة الاولى ($P10I$) والموضحة في الجدول (5-5) وتوزيعه الحجمي في الشكل (5-26) بانه ذو متوسط حجمي يساوي ($4.64 \mu\text{m}$) مع حصول زيادة في المساحة السطحية من ($12448 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$) للمزيج ($P10$) الى ($16542 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$) للمزيج ($P10 I$) ، وأظهرت نتائج تصغير الحجم الحبيبي للمرحلة الثانية بان المزيج الناتج بعد التصغير ($P10 II$) بانه يمتلك متوسطاً حجمياً ($4.2 \mu\text{m}$) ومساحة سطحية مقدارها ($17328 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$) ونتائج فحص الحجم الحبيبي والتوزيع الحجمي للمزيج ($P10 II$) موضحة في الجدول (5-6) والشكل (5-27) على التوالي .

وتجدر الإشارة الى ان مقدار التصغير الحاصل هنا قليل نسبيا وذلك لصعوبة الطحن بسبب الصلادة العالية للمساحيق الكاربيدية وبعد اجراء عملية تصغير الحجم الحبيبي تم اجراء فحص الكثافة النهائية وفحصي الصلادة العيانية والميكروية لتقييم نتائج ذلك وقد اظهرت نتائج الفحص وكما هي مبينة الملحق (C) زيادة في جميع القيم للخواص المفحوصة مع نقصان الحجم الحبيبي، فمثلا ان قيمة الكثافة النهائية للمزيج (P10) تساوي (11.7g/cm^3) وقيمتي الصلادة العيانية (روكويل HRA) والصلادة المايكروية (فيكرز HV) تساوي (82.5 HRA) و (961 HV) على التوالي، بينما نتائج فحص الكثافة النهائية للمزيج (P10I) أظهرت بأنها تساوي (11.85g/cm^3) ونتائج فحصي الصلادة هي (84 HRA) و (1023 HV) ، وان المزيج (P10II) يمتلك كثافة نهائية مقدارها (11.98g/cm^3) وصلادة عيانية (85 HRA) وصلادة مايكروية (1090 HV) ونتائج الفحص هذه ممثلة في الشكل (28-5) الذي يوضح العلاقة بين الحجم الحبيبي (Grain Size) وقيم الخواص المفحوصة للنماذج المحضرة من المزيج الاساسي بعد التصغير والمصنعة بضغط كبس (200 MPa) ودرجة حرارة تلييد (1410°C) لمدة ساعة واحدة ، وتجدر الإشارة إلى ان الزيادة الطفيفة الحاصلة للخواص مع نقصان الحجم الحبيبي تعود لزيادة التكتيف نتيجة تداخل الحبيبات مع بعضها البعض وذلك لكون التصغير اعطى تدرجاً حجمياً ، مما يؤدي الى زيادة وزن المكبوس نسبة الى حجمها وبالتالي زيادة الكثافة وكذلك زيادة الصلادة .

٩,٥- نتائج تقييم أداء القطع للعدد وتقدير عمرها

من الفحوصات الضرورية التي يجب ان تُجرى على عدد القطع ككل والعدد الكاربيدية (بصورة خاصة) هو فحص تقييم أدائها ، وقد تم هنا تقييم اداء القطع لثلاثة انواع من العدد الكاربيدية وهي العدد المصنعة من المزيج الاساسي فقط ورمز لها بالرمز (P10)، والعدد المصنعة من المزيج الاساسي بعد اضافة نسبة (4% TaC) اليه والتي رمز لها بالرمز (4% TaC) ، والنوع الثالث من العدد هي المصنعة من المزيج الاساسي المضاف اليه نسبة (3%SiC) والتي رمز لها بالرمز (3%SiC) ، حيث شكّلت هذه العدد بضغط كبس مقداره (200MPa) ولُبّدت بدرجة حرارة (1410°C) لمدة ساعة واحدة.

إذ قُيِّم أداء القطع للعدد المذكورة اعلاه باعتماد برنامج خاص مشتمل على سرع قطع متنوعة ومعدلات تغذية مختلفة واعتماد عمق قطع ثابت هو (0.5mm) ومشغولة فولاذية نوع (Steel CK-45) (موضح في الجدول (١)- الملحق (D)) ، وجميع اختبارات تقييم اداء القطع تمت بالاختبار السريع (Short-time Test) لمدة دقيقة واحدة (1 minute) وباعتماد عملية الخراطة الطولية ، وقد قُيِّم أداء القطع باعتماد معيارين مهمين هما :

١. قياس البلى الناشئ على راس العدة (Nose wear)
٢. قياس درجة خشونة السطحية للأجزاء المشغلة (Surface Roughness).

٥,٩,١- قياس البلى الناشئ على راس العدة

تم تقييم أداء القطع للعدد الكاربيدية المتمثلة بالرموز (P10 ، TaC ٤ % ، SiC ٣ %) من خلال قياس البلى الناشئ على راس العدة (Nose Wear) بعد كل عملية تشغيل وفق نظام القطع المعتمد والمثبت في الجدول (4-6) ولمدة تشغيل مقدارها دقيقة واحدة ، وجميع النتائج موضحة في الجدول رقم (٢) - الملحق (D).

٥,٩,٢- قياس درجة خشونة السطحية

اجري فحص خشونة السطحية للأجزاء المشغلة من معدن (Steel CK-45) لاعتماده كمعيار لتقييم أداء العدد المصنعة (P10 ، TaC 4% ، SiC 3%) ، إذ أُجري فحص خشونة بعد كل عملية تشغيل وفق نظام القطع المثبت في الجدول (4-6) ولمدة تشغيل مقدارها دقيقة واحدة ، وجميع النتائج مثبتة في الجدول رقم (٣) - الملحق (D) .

٥,٩,٣- نتائج تقييم أداء القطع للعدد الثلاث (3%SiC, 4%TaC, P10)

٥,٩,٣,١- تأثير سرعة القطع على البلى

توضح الاشكال (5-29) ، (5-30) ، و(5-31) تأثير سرعة القطع على مقدار البلى الناشئ على راس العدد الثلاث (P10 ، TaC 4% ، SiC 3%) على التوالي ولمعدلات تغذية مختلفة ، إذ يلاحظ زيادة في عرض البلى مع زيادة سرعة القطع لجميع معدلات التغذية ولجميع العُد المعتمدة، وذلك لان زيادة سرعة القطع تصاحبها زيادة درجة الحرارة المتولدة التي بدورها تؤدي الى زيادة البلى الالتصاقى على حافة قطع العدة^[٣] وكذلك فان زيادة سرعة القطع تؤدي الى انقاص مقاومة القص (Shear Strength) للعدة والتي تؤدي الى تليين (Softening) حافة القطع في العدة وبالتالي حصول التشوه اللدن في حافة القطع والتي تسبب انبعاج (bulge) جزء من العدة^[22] ، كما يلاحظ وثبات (Jumps) واضحة لقيم البلى مع زيادة معدلات التغذية ولجميع سرعة القطع مما يدل على ان زيادة معدل التغذية يؤدي الى زيادة عرض البلى .

٥,٩,٣,٢- تأثير سرعة القطع على خشونة السطحية

توضح الاشكال (5-32) ، (5-33) ، و(5-34) تأثير سرعة القطع على درجة خشونة الأسطح المشغلة باعتماد العدد (P10) ، (4% TaC) ، و(3% SiC) على التوالي ولمعدلات تغذية مختلفة ، إذ يلاحظ انخفاض درجة خشونة مع زيادة سرعة القطع بغض النظر عن معدلات التغذية ،

بحيث انه عند سرعة القطع الواطئة فان الخشونة السطحية تتأثر بتكون الحد القاطع الناشئ (B.U.E. Built-Up edge) وانه عند زيادة السرعة تزداد درجات الحرارة مما يؤدي الى التقليل من احتمالية تولد الحد القاطع الناشئ وتلاشيها تماماً في درجات الحرارة العالية ، كما يلاحظ زيادة في درجة الخشونة السطحية بزيادة معدلات التغذية وتثبيت سرعة القطع وذلك لتأثير ظاهرة (B.U.E) الواضح عند زيادة معدلات التغذية.

5.9.4- النتائج المستحصلة بعد تقييم أداء القطع للعدد الثلاث (3%SiC ,4% TaC، P10)

١,٤,٩,٥- نتائج فحص البلى

يوضح الشكل (5-35) والشكل (5-36) العلاقة بين سرع القطع المختلفة ومقدار البلى الناشئ على راس العدد المعتمدة في البحث الحالي (3%SiC ,4% TaC ، P10) ولمعدلي تغذية مختلفين هما الأوطأ (0.14 mm/rev) والأعلى (0.48 mm/rev) على التوالي ، ويلاحظ من الشكلين ما يلي :-

- تعد العدد (4%TaC) الافضل من حيث مقدار البلى الناشئ عليها .
 - تعد العدد (3%SiC) ألسوء من حيث مقدار البلى الناشئ عليها ، وعادة ما يحصل البلى الانهياري لهذه العدد وكذلك يحدث البلى الانتشاري الذي يحدث بانتقال جزيئات مسحوق (SiC) من العدة الى سطح المشغولة بسبب عدم حصول التكتيف الجيد في العدة لعدم حصول الترابط الجيد بين المساحيق الكاربيدية المكونة لها ومسحوق (SiC) المضاف أليها ذي الكثافة الواطئة نسبياً .

- وجود تشابه بين المنحنيات الموضحة في الشكلين أي التشابه في تزايد البلى مع السرعة مع مراعاة الفرق نتيجة زيادة معدل التغذية ، حيث يزداد عرض البلى مع زيادة معدل التغذية ولجميع العدد المعتمدة .

٢,٤,٩,٥- نتائج فحص الخشونة السطحية

يوضح الشكل (5-37) والشكل (5-38) العلاقة بين سرع القطع المختلفة ومقدار الخشونة السطحية للأجزاء المشغلة باعتماد العدد الثلاث (3%SiC ، 4% TaC ، P10) ولمعدلي التغذية الأوطأ (0.14 mm/rev) والأعلى (0.48 mm/rev) على التوالي ، ويلاحظ من المنحنيات الموضحة ما يلي :-

- وجود التشابه بين المنحنيات ولكلا الشكلين (أي لكلا معدلي التغذية) أي التشابه من حيث التناقص في درجة الخشونة مع زيادة سرع القطع مع مراعاة تأثير التغذية عليها .

- تعد العدد (4%TaC) الأفضل من حيث الخشونة السطحية لجميع سرع القطع ولكل معدلات التغذية .

- تعد العدد (3%SiC) ألسوء من حيث الخشونة السطحية لجميع سرع القطع ولكل معدلات التغذية .

٥,٩,٥- عمر العدد (Tool Life)

يُعرف عمر عدد القطع بأنه زمن القطع اللازم لوصول العدة حد الفشل المحدد لها على وفق معايير تقدير عمر العدد (Tool Life Criterion) ، تم تقدير عمر ثلاثة أنواع من العدد الكربيدية هي نوات الرمز (P10)، (4%TaC) و (3%SiC) . أعتمد في ذلك حساب الزمن الذي تستغرقه كل عدة قبل الفشل والذي يتمثل بوصول مقدار البلى الى (Nose wear = 0.6 mm) عند خراطة مشغولة فولاذية نوع (Steel Ck-45) . نظام القطع المتبع ضمن البرنامج العملي تم باعتماد أربع سرع للقطع هي (218, 146, 99, 68 m/min) وكذلك اعتماد معدلي تغذية هما ألسوأ (0.14 mm/rev) والأعلى (0.48 mm/rev) مع تثبيت عمق القطع (0.5mm) . برنامج التجارب العملية الخاصة بتقدير عمر العدد مثبت في جدول (1) – الملحق (E) .

5.9.5.1- تقدير عمر العدة (P10)

يوضح الشكل (5-39) والشكل (5-40) العلاقة بين زمن القطع (Cutting Time) ومقدار البلى الناشئ على راس العدد (Nose wear) ذات الرمز (P10) ولمعدلي التغذية (0.14 mm/rev) و (0.48 mm/rev) على التوالي ، ويلاحظ من المنحنيات الموضحة في الشكلين ما يلي :-

- ان مقدار البلى الابتدائي بعد فترة تشغيل مقدارها دقيقة واحدة يكون عالياً لجميع سرع القطع ولكلا معدلي التغذية .

- حصول زيادة في قيم البلى مع زيادة سرع القطع ولكلا معدلي التغذية وهذا مطابق للكثير من الأدبيات ومنها [64,52,22] .

- أوطأ زمن تحققه العدة ذات الرمز (P10) لحدوث الفشل هو (7.2 min) عند سرعة قطع (218 m/min) ومعدل التغذية (0.14 mm/rev) و (6 min) عند نفس السرعة ومعدل التغذية (0.48 mm/rev) .

- أعلى زمن تحققه العدة لحدوث الفشل هو (10.15 min) عند السرعة (68m/min) ومعدل التغذية (0.14 mm/rev) ، وأعلى زمن تحققه العدة هو (9.15 min) عند نفس السرعة ولكن معدل تغذية (0.48 mm/rev) وبعد تحديد الزمن الذي تحققه كل عدة ذات الرمز (P10) لبلوغ الفشل ولكل سرعة القطع ولكلا معدلي التغذية تم رسم العلاقة اللوغاريتمية (Log -Scale) بين سرعة القطع والزمن الذي فشلت به العدة ولكلا معدلي التغذية وكما هي موضحة في الشكل (5-41) وبعد رسم العلاقة تم حساب الثابت (n) والثابت (C) ومن ثم اعتماد معادلة تايلر ($VT^n=C$) لحساب عمر العدد ذات الرمز (P10) لكل سرعة القطع ولكلا معدلي التغذية وكما هي موضحة في الجدول رقم (٢) - الملحق (E) .

5.9.5.2- تقدير عمر العدة ذات الرمز (4% TaC)

يوضح الشكل (5-42) والشكل (5-43) العلاقة بين زمن القطع ومقدار البلى الناشئ على راس العدد ذات الرمز (4% TaC) ولكلا معدلي التغذية (0.14 mm/rev) و (0.48 mm/rev) على التوالي ، ويلاحظ من المنحنيات المرسومة في كلا الشكلين ما يلي :-

- ميل المنحنيات بالنسبة للعدد ذات الرمز (4 %TaC) يكون اقل من ميلها للعدد ذات الرمز (P10) أي ان معدل زيادة البلى مع سرعة القطع يكون اقل باعتماد العدد ذات الرمز (4%TaC) .

- أوطأ زمن تحققه العدة ذات الرمز (4%TaC) لحدوث الفشل هو (9.7min) عند سرعة القطع (218 m/min) ومعدل التغذية (0.14 mm/rev) و (6.25 min) عند نفس السرعة وعند معدل التغذية (0.48 mm/rev) .

- أعلى زمن تحققه العدد ذات الرمز (4%TaC) لحدوث الفشل هو (12.15 min) عند سرعة القطع (68 m/min) ومعدل التغذية (0.14 mm/rev) و (11.2 min) عند نفس السرعة وعند معدل التغذية (0.48 mm/rev) وبعد تحديد الزمن الذي تستغرقه العدد ذات الرمز (4% TaC) لحدوث الفشل لجميع سرعات القطع ولكلا معدلي التغذية ، تم رسم العلاقة اللوغاريتمية الموضحة في الشكل (5-44) بين سرعة القطع وزمن حدوث الفشل وبعد رسم العلاقة ، حُسب مقدار الثابت (n) والثابت (C) ومن ثم اعتماد معادلة تايلر لحساب عمر كل عدة لجميع سرعات القطع ولكلا معدلي التغذية ، ونتائج الفحص موضحة في الجدول (٢) - الملحق (E) .

5.9.5.3- تقدير عمر العدة ذات الرمز (3% SiC)

العلاقة بين زمن القطع ومقدار البلى الناشئ على راس العدد ذات الرمز (3 % SiC) ولكلا معدلي التغذية (0.14mm/rev , 0.48) موضحة في الشكل (5-45) والشكل (5-46) على التوالي ومن ملاحظة المنحنيات يستنتج ما يلي :-

- ان مقدار البلى الابتدائي (عند زمن قطع مقداره دقيقة واحدة) الناشئ على راس العدد ذات الرمز (3%SiC) يكون اعلى نسبيا من العدد ذات الرمز (P10) والرمز (4%TaC) لجميع سرع القطع ولكلا معدلي التغذية .

- حصول زيادة نوعا ما سريعة للبلى الناشئ مع زيادة سرع القطع ولكلا معدلي التغذية .

- حدوث فشل سريع للعدة المستخدمة بسرعات عالية وخاصة السرعة (218m/min) ولكلا معدلي التغذية حيث انه اوطأ زمن تحققه العدد ذات الرمز (3 %SiC) هو (5.5min) عند السرعة المذكورة ومعدل التغذية (0.14 mm/rev) وأوطأ زمن هو (3.25 min) عند نفس السرعة ومعدل التغذية (0.48mm/rev) .

- أعلى زمن تحققه العدد ذات الرمز (3%SiC) هو (9.1min) عند سرعة قطع (68m/min) ومعدل التغذية (0.14mm/rev) واعلى زمن هو (7.1min) عند نفس السرعة ومعدل التغذية (0.48mm/rev) .

وبعد تحديد زمن فشل العدد ذات الرمز (3%SiC) لجميع سرع القطع ولكلا معدلي التغذية ، رُسمت العلاقة اللوغاريتمية (Log-Scale) والموضحة في الشكل (5-47) بين سرع القطع وزمن حدوث الفشل لكل سرعة ، ثم حُسب مقداري الثابتين (C, n) ولكلا معدلي التغذية وحساب عمر العدد باعتماد معادلة تايلر لجميع سرع القطع ولكلا معدلي التغذية وكما هي موضحة في الجدول (٢) - الملحق (E) .

5.9.6- النتائج المستحصلة بعد تقدير عمر العدد الثلاث (3%SiC , 4%TaC , P10)

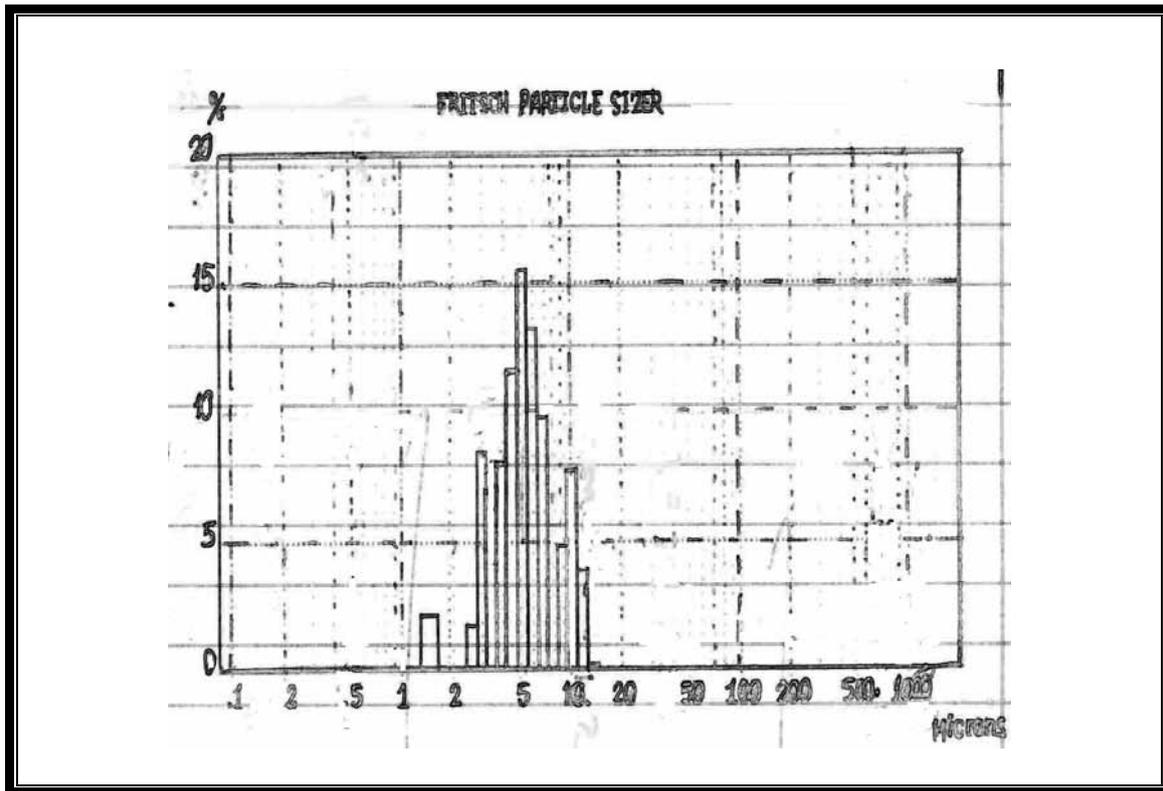
الجدول رقم (٢) - الملحق (E) يمثل نتائج تقدير عمر العدد الثلاث (3%SiC , 4%TaC , P10) المعتمدة في البحث الحالي لجميع سرع القطع ولكلا معدلي التغذية، ولغرض مقارنة هذه النتائج مع بعضها لتقييم العدد الأفضل ثم ألا سوء وتثبيت مدى الفائدة المستحصلة من البحث ، تم رسم الشكل (5-48) والشكل (5-49) اللذين يمثلان

العلاقة اللوغارتمية بين سرعة القطع وعمر العُد (مقارنة بين العُد الثلاث) ولكلا معدلي التغذية (0.14mm/rev)، (0.48mm/rev) على التوالي، وكذلك رسم الشكل (5-50) والشكل (5-51) اللذين يمثلان العلاقة الاحصائية بين سرعة القطع وعمر العُد ولكلا معدلي التغذية، حيث يلاحظ منهما مايلي :-

- تعد العدد ذات الرمز (4%TaC) الافضل والاطول عمرا نسبة الى باقي العدد ذوات الرمز (P10) والرمز (3%SiC) لجميع سرعة القطع ولكلا معدلي التغذية .
- تعد العدد ذات الرمز (3%SiC) الاسوء والاقصر عمرا نسبة الى العدد ذوات الرمز (P10) والرمز (4%TaC) لجميع سرعة القطع ولكلا معدلي التغذية .

جدول رقم (5-1): يوضح نتائج فحص الحجم الحبيبي لمزيج الخلطة الاساسي

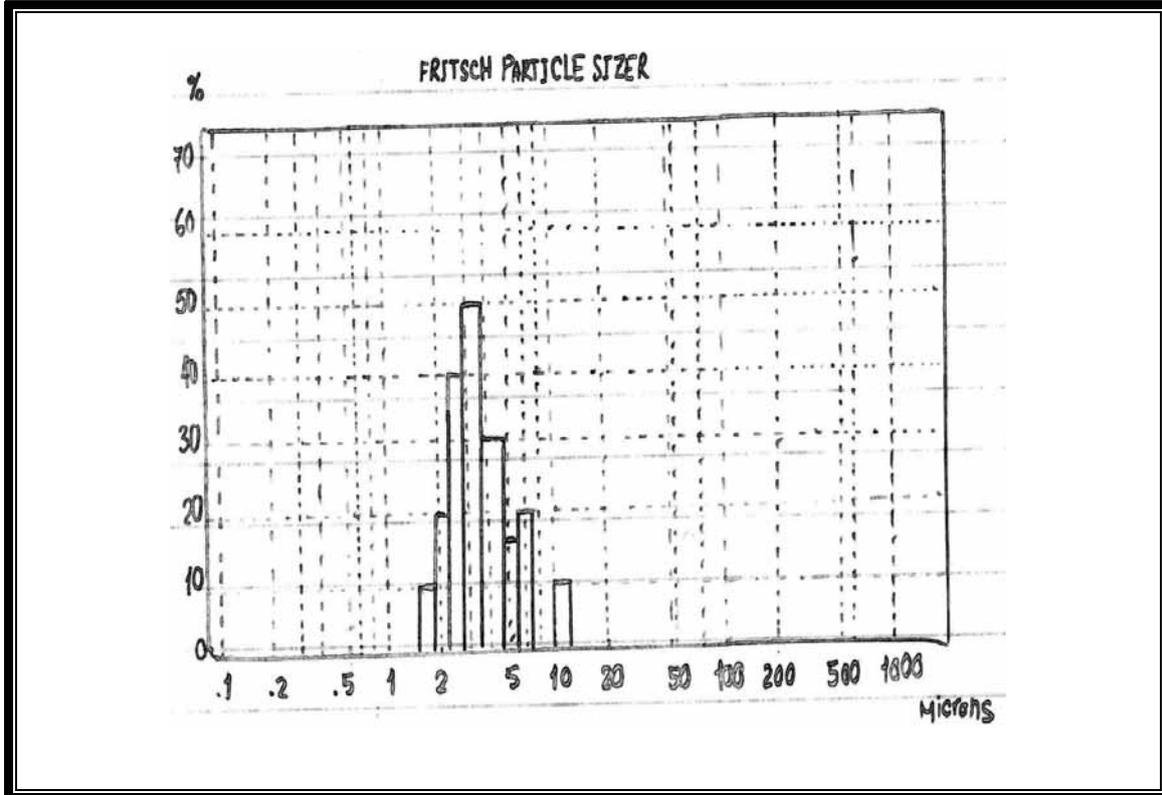
p10aen	
Date	: 04-01-99
Time	: 17:11
Meas.Nr.	: 443
Fixed percentage volumes (undersize)	
20.00 %	< 3.46 microns
40.00 %	< 4.53 microns
60.00 %	< 5.45 microns
80.00 %	< 7.17 microns
100.00 %	< 11.67 microns



الشكل رقم (5-1): يوضح توزيع الحجم الحبيبي لمزيج الخلطة الاساسي

جدول رقم (5-2): يوضح نتائج فحص الحجم الحبيبي لمسحوق (TaC).

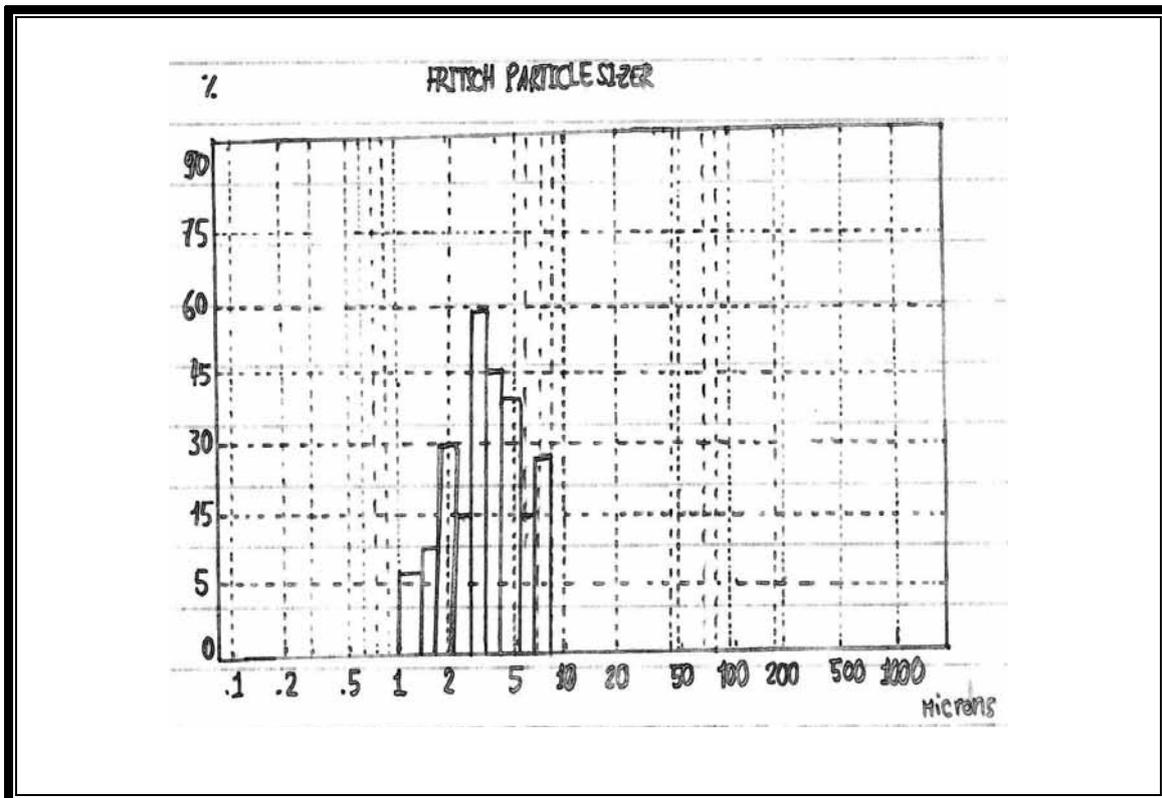
TAC	
Date	: 04-01-99
Time	: 17:57
Meas. Nr.	: 347
Fixed percentage volumes (undersize)	
20.00 %	< 1.48 microns
40.00 %	< 2.03 microns
60.00 %	< 3.09 microns
80.00 %	< 4.13 microns
100.00 %	< 5.78 microns



الشكل رقم (5-2): يوضح توزيع الحجم الحبيبي لمسحوق (TaC).

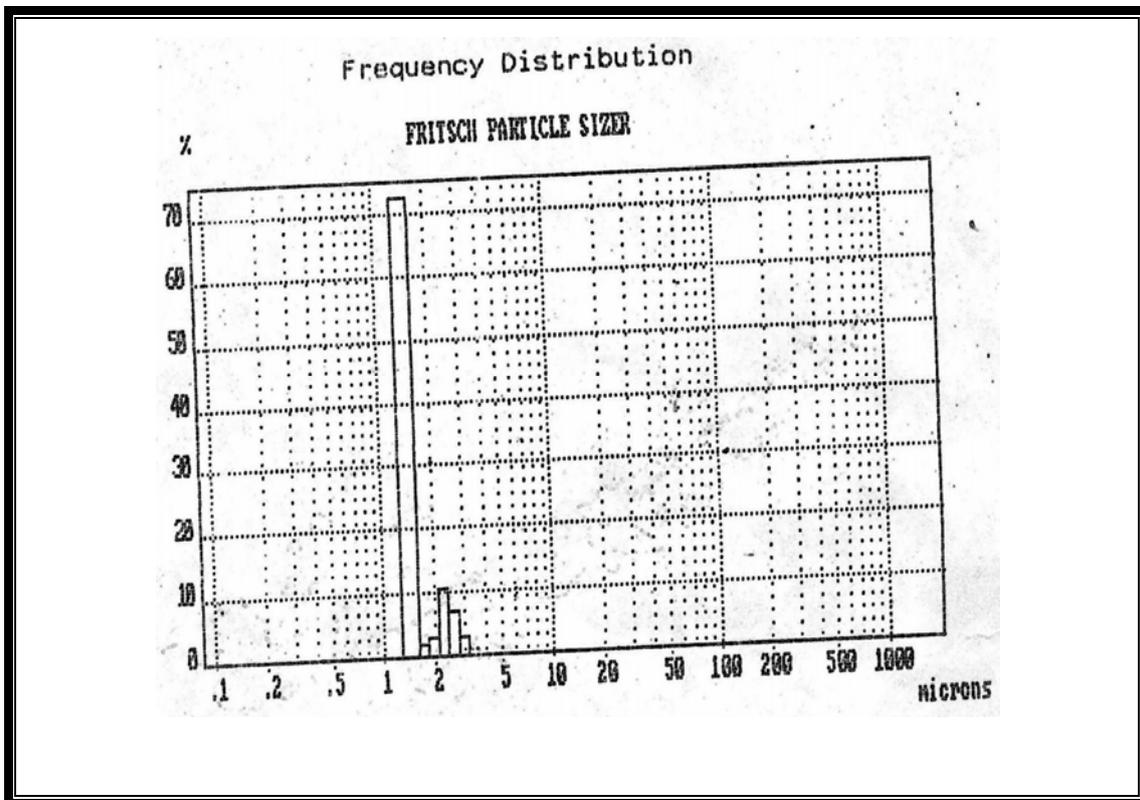
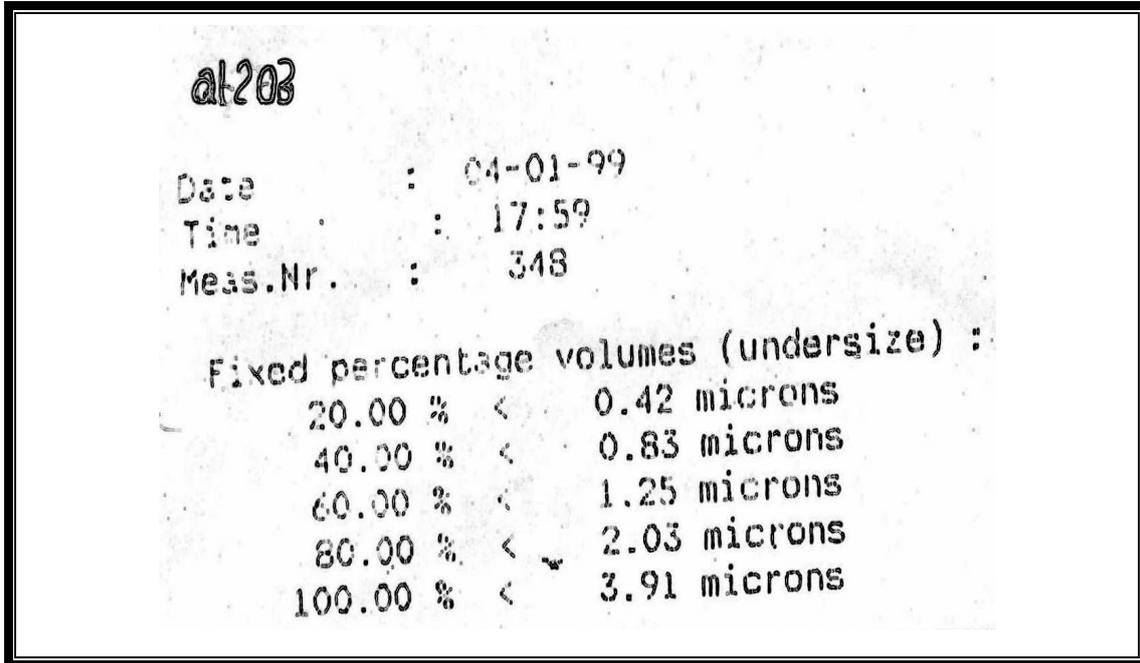
جدول رقم (5-3): يوضح نتائج فحص الحجم الحبيبي لمسحوق (SiC).

SiC	
Date	: 04-01-99
Time	: 17:54
MeqS. Nr.	: 346
Fixed percentage volumes (undersize)	
20.00 % <	2.07 microns
40.00 % <	3.66 microns
60.00 % <	4.13 microns
80.00 % <	6.47 microns
100.00 % <	8.39 microns



الشكل رقم (5-3): توزيع الحجم الحبيبي لمسحوق (SiC).

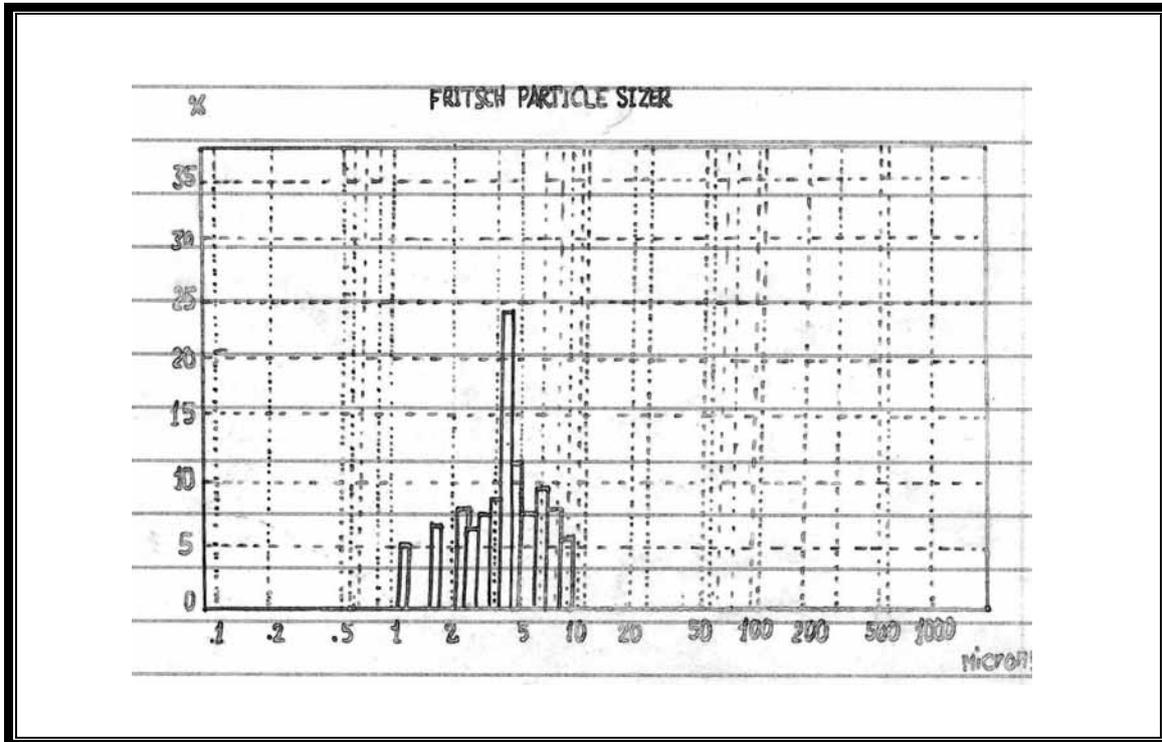
جدول رقم (5-4): يوضح نتائج فحص الحجم الحبيبي لمسحوق (Al_2O_3).



الشكل رقم (5-4): يوضح توزيع الحجم الحبيبي لمسحوق (Al_2O_3).

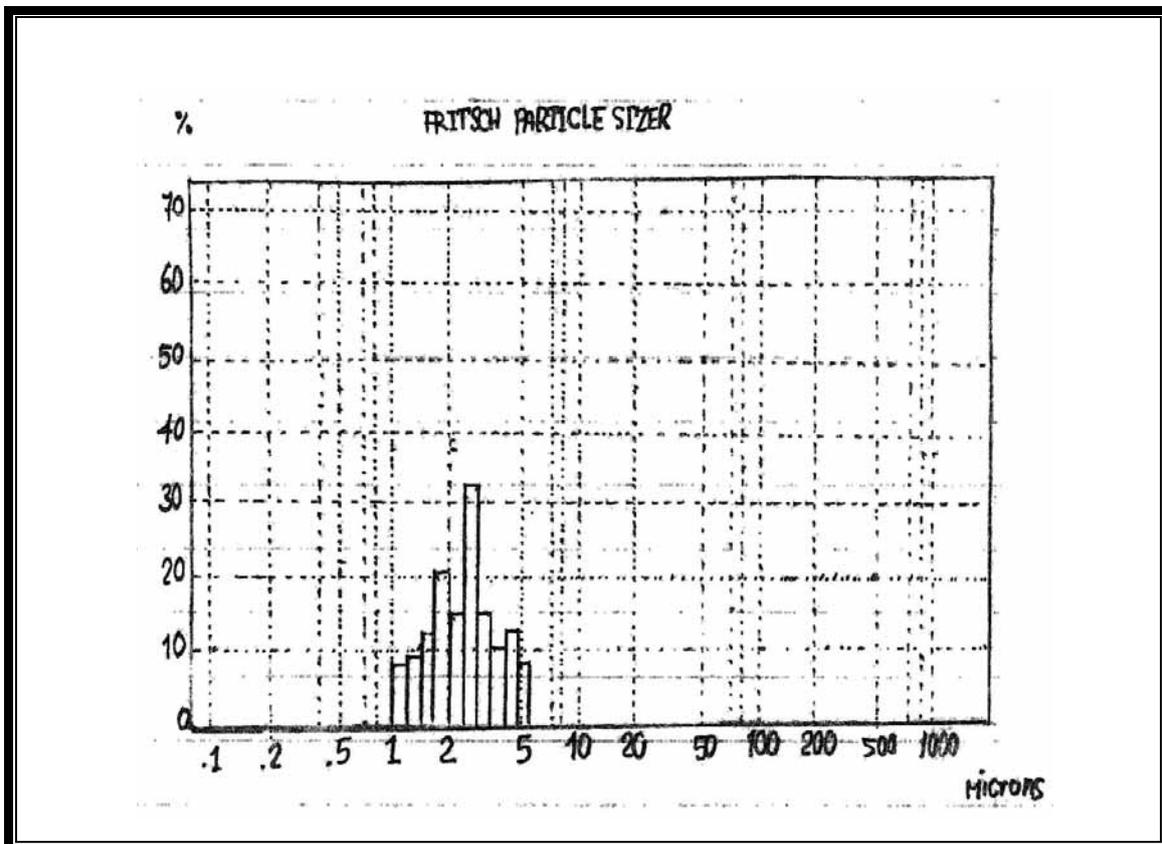
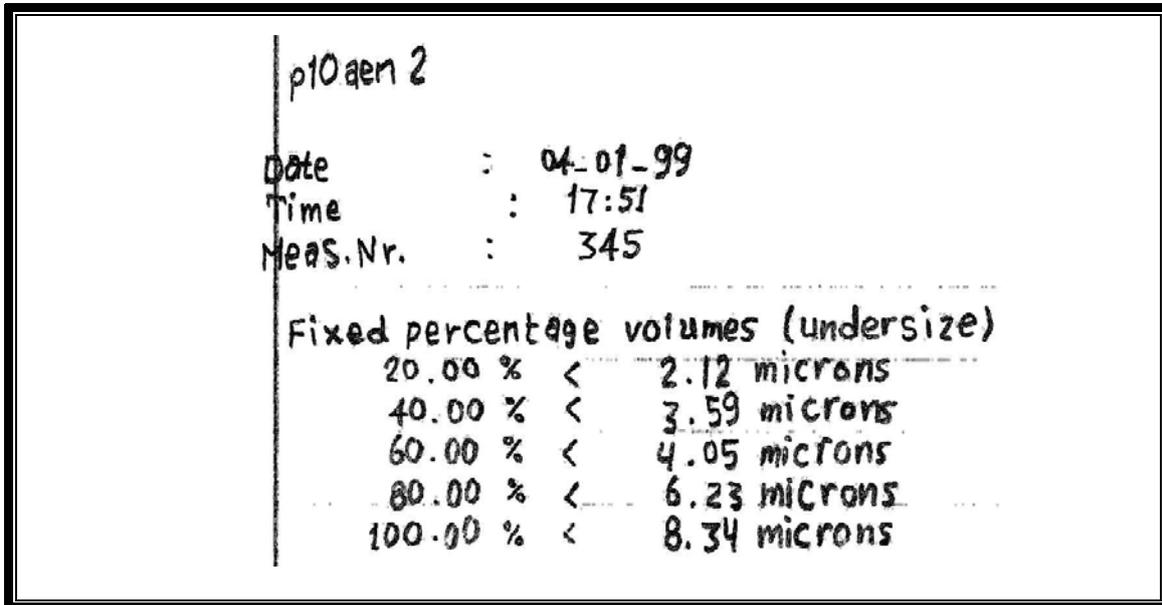
جدول رقم (5-5): يوضح نتائج فحص الحجم الحبيبي للمزيج الاساسي بعد تصغيره للمرحلة الاولى (P10 I).

p10 aen 1	
Date	: 04-01-99
Time	: 17:47
Mees. Nr.	: 344
Fixed percentage volumes (undersize)	
20.00 % <	2.17 microns
40.00 % <	3.88 microns
60.00 % <	5.11 microns
80.00 % <	7.27 microns
100.00 % <	9.43 microns

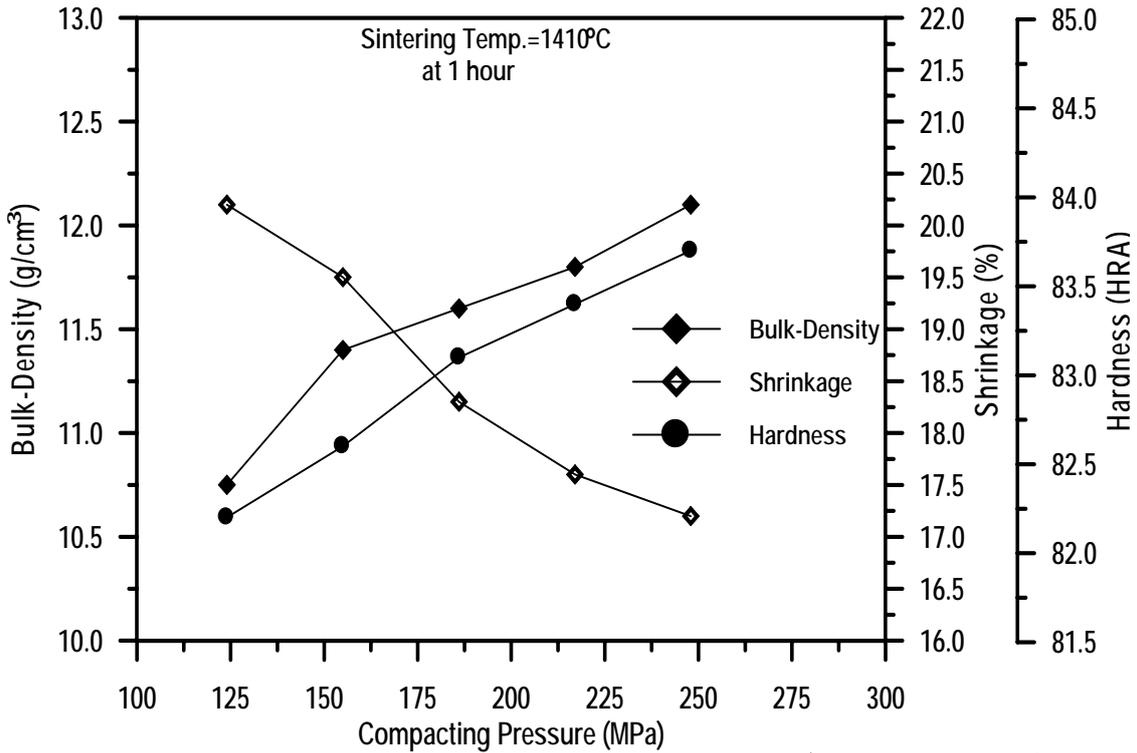


الشكل رقم (5-26): يوضح توزيع الحجم الحبيبي للمزيج الاساسي بعد تصغيره للمرحلة الاولى (P10 I).

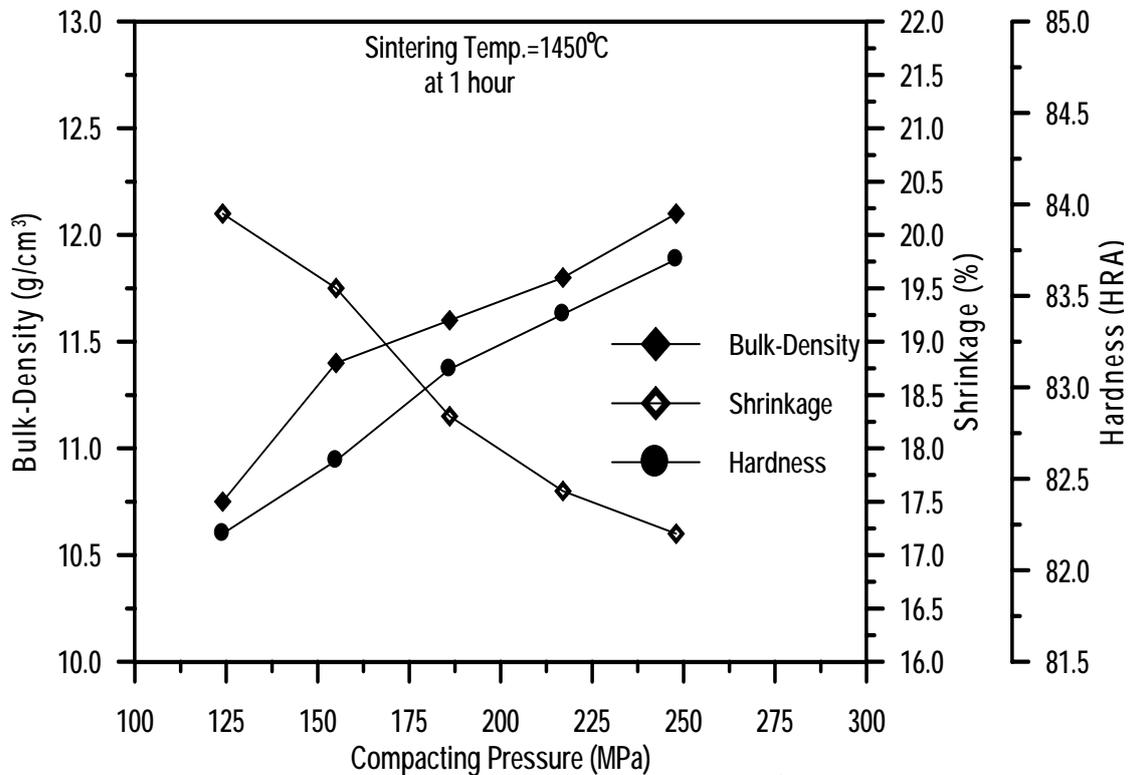
جدول رقم (5-6): يوضح نتائج فحص الحجم الحبيبي للمزيج الاساسي بعد تصغيره للمرحلة الثانية (P10 II).



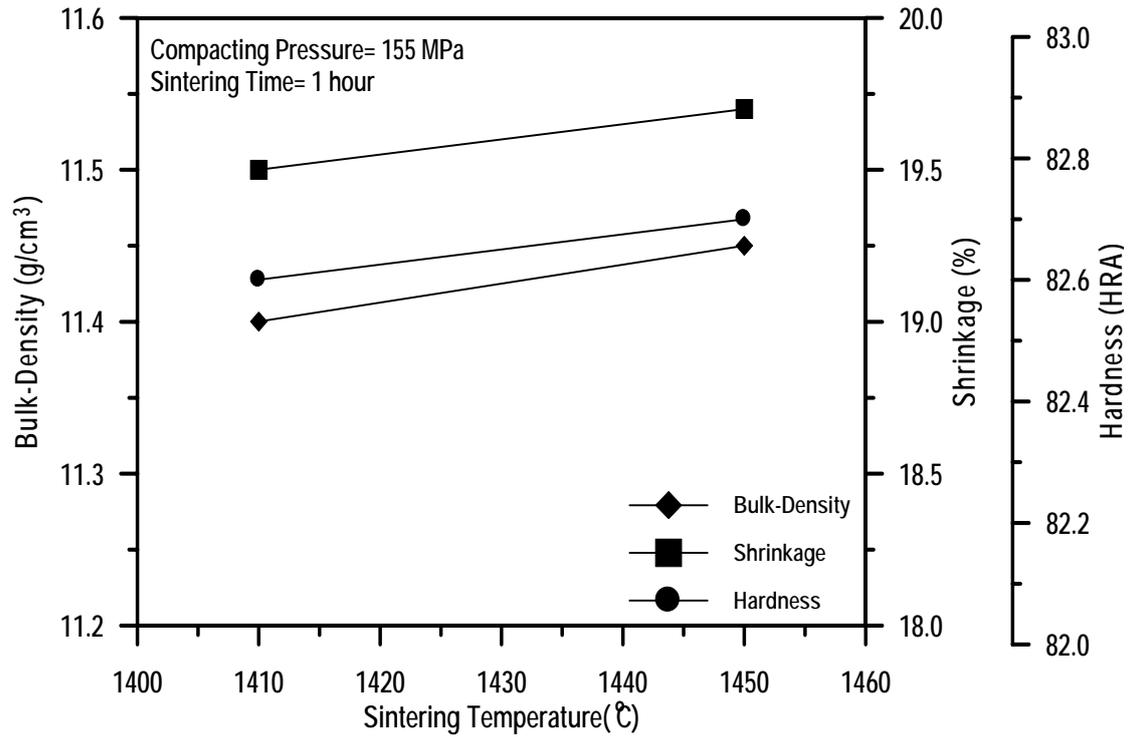
الشكل رقم (5-27): يوضح توزيع الحجم الحبيبي للمزيج الاساسي بعد تصغيره للمرحلة الثانية (P10 II).



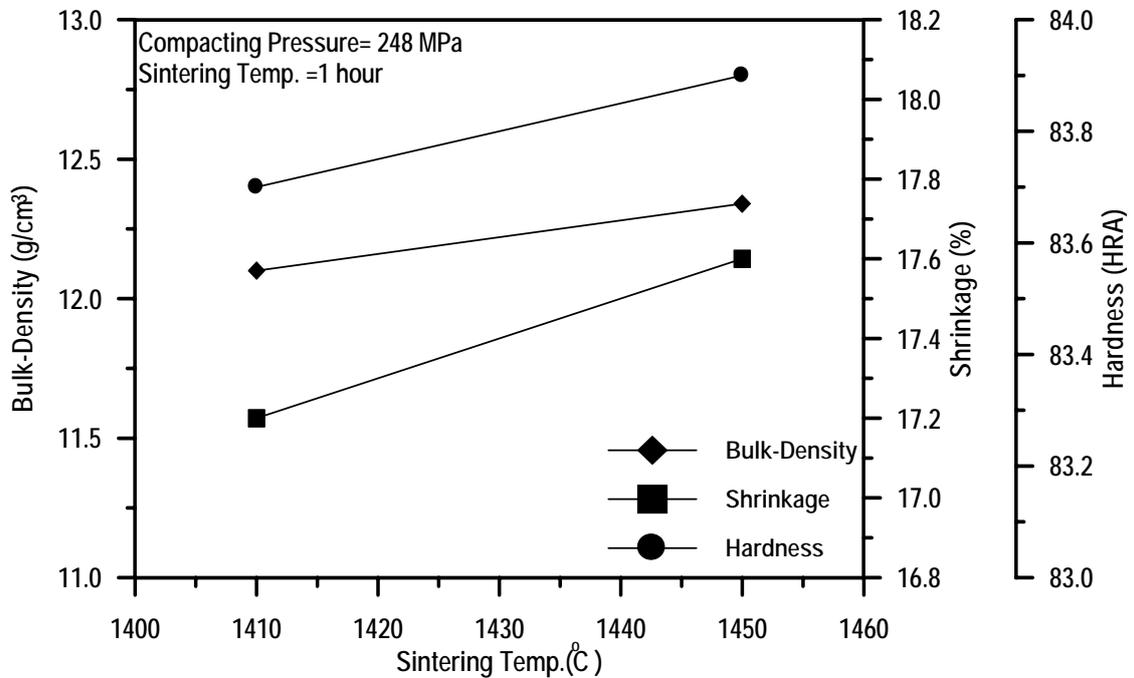
الشكل رقم (5-5): يوضح تأثير ضغط الكبس على الكثافة النهائية والتقلص والصلادة العيانية للنماذج الملبدة بدرجة حرارة (1410° C)



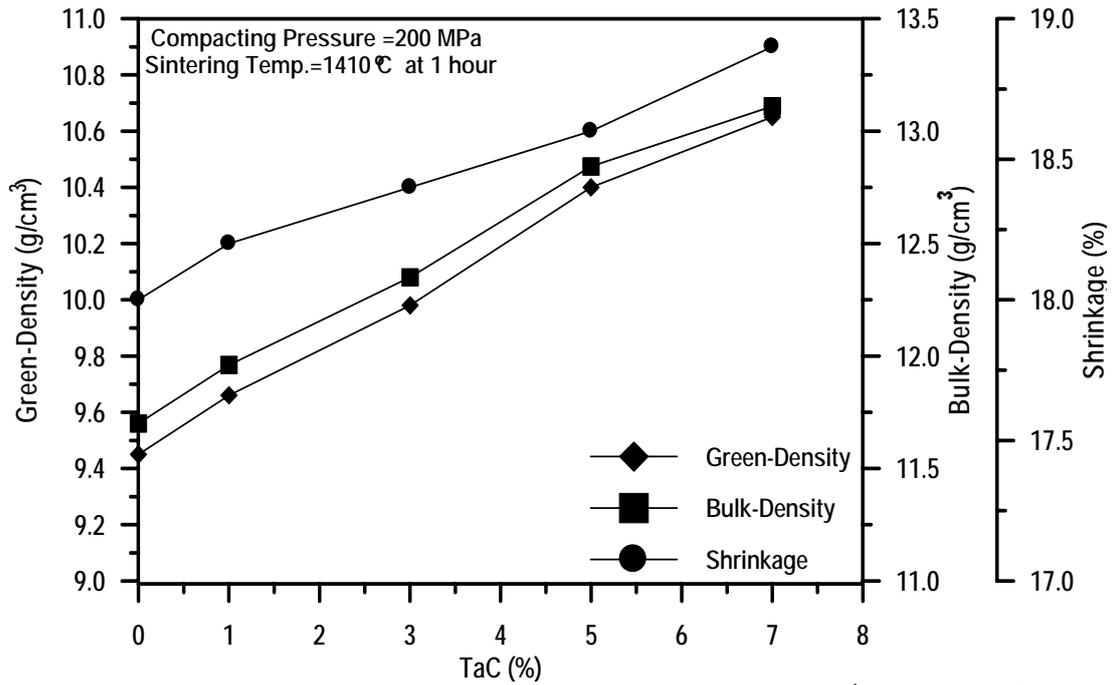
الشكل رقم (5-6): يوضح تأثير ضغط الكبس على الكثافة النهائية والتقلص والصلادة العيانية للنماذج الملبدة بدرجة حرارة (1450 °C)



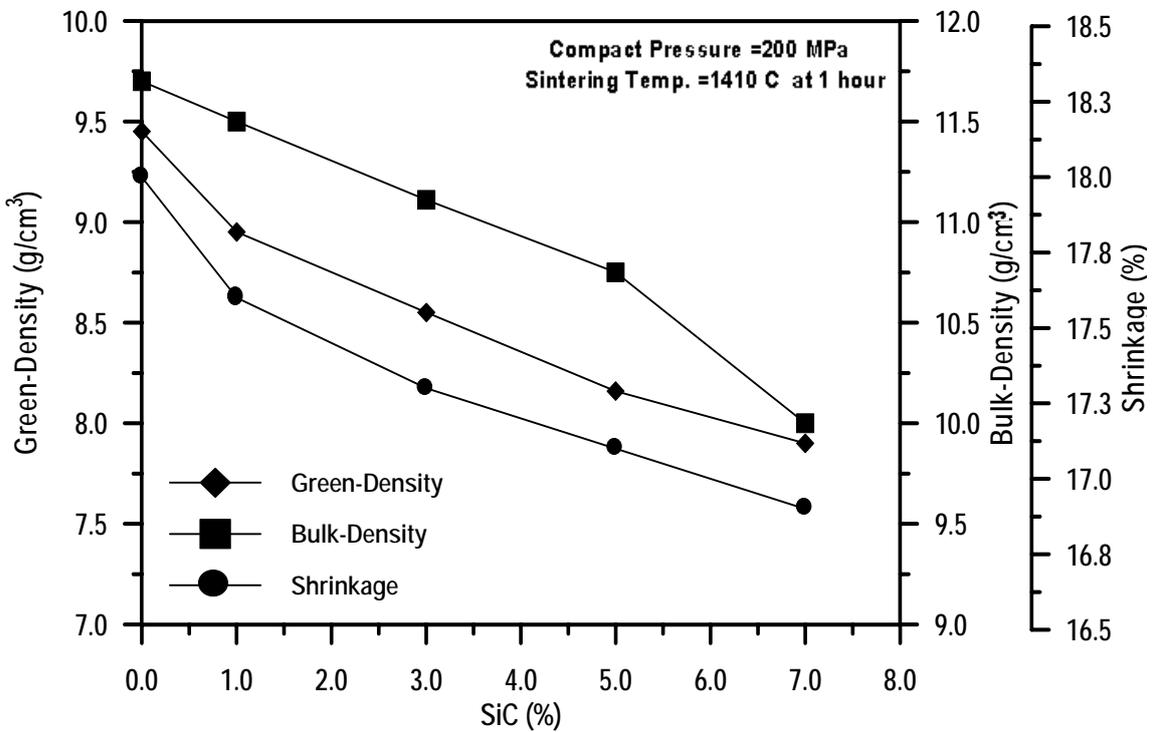
الشكل (5-8): تأثير درجة حرارة التلبيد على الكثافة النهائية والتقلص والصلادة العيانية للنماذج المشكلة بضغط (155 MPa).



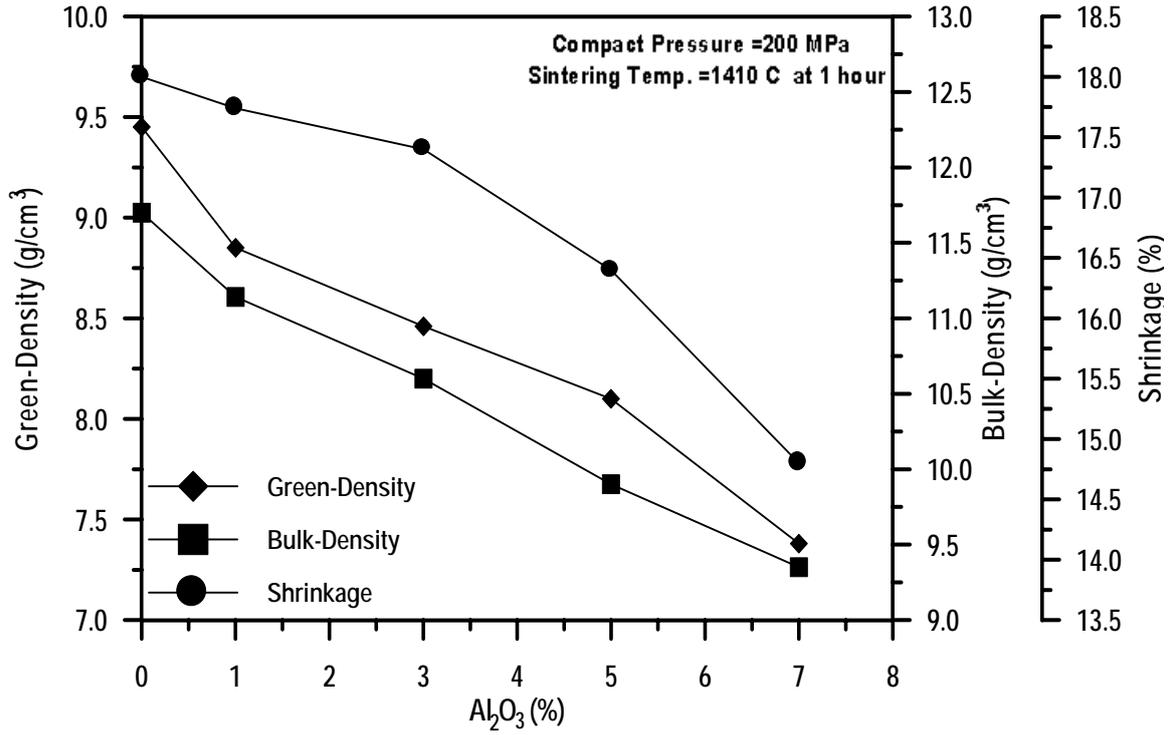
الشكل (5-9): تأثير درجة حرارة التلبيد على الكثافة النهائية والتقلص والصلادة العيانية للنماذج المشكلة بضغط (248 MPa).



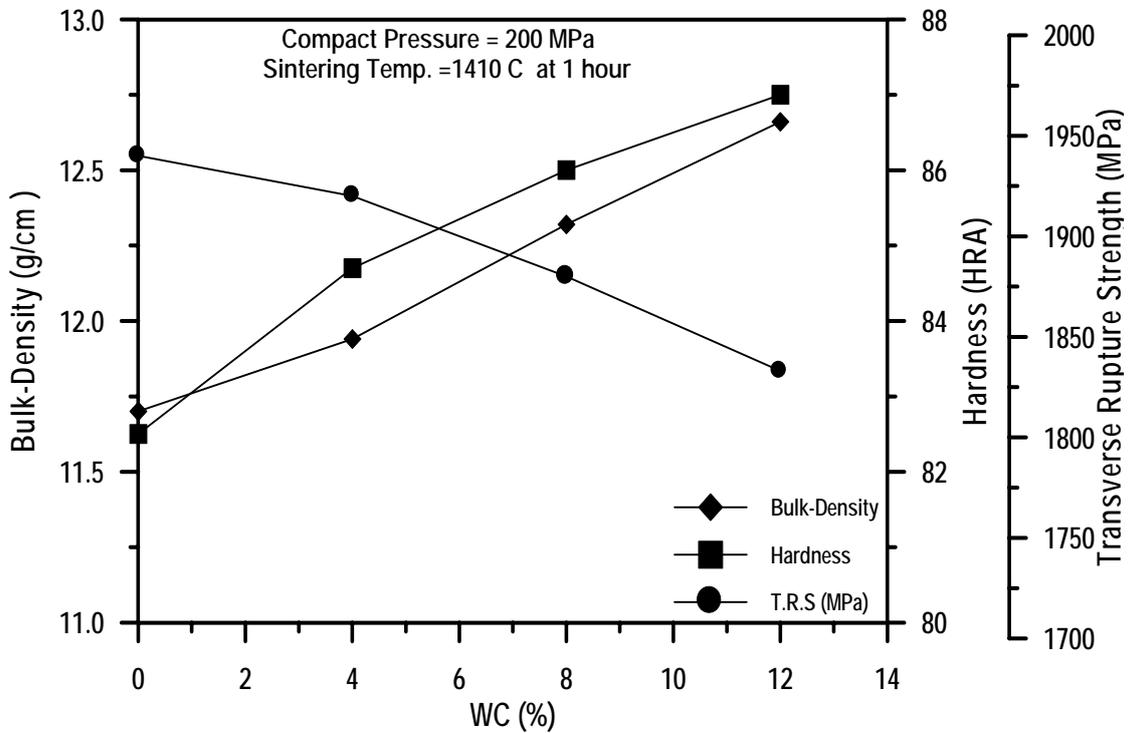
الشكل رقم (5-10): تأثير إضافة مسحوق (TaC) على الكثافة الخضراء والنهائية ومقدار التقلص



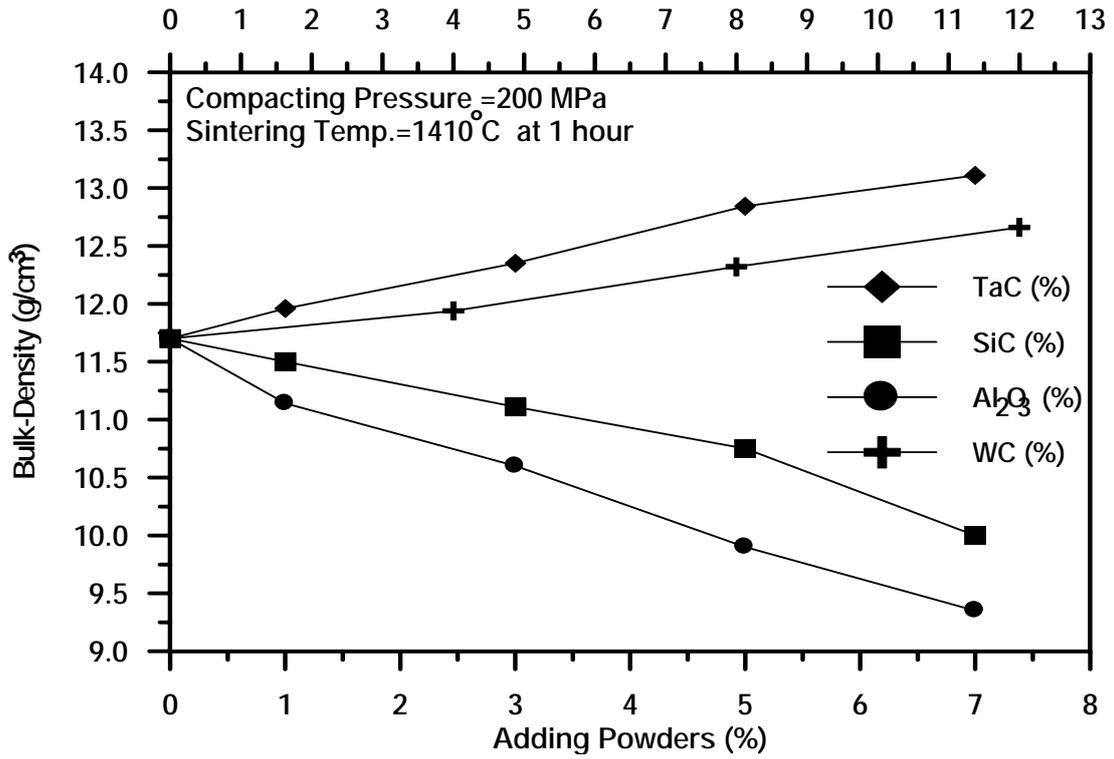
الشكل رقم (5-12): تأثير إضافة مسحوق (SiC) على الكثافة الخضراء والنهائية ومقدار التقلص.



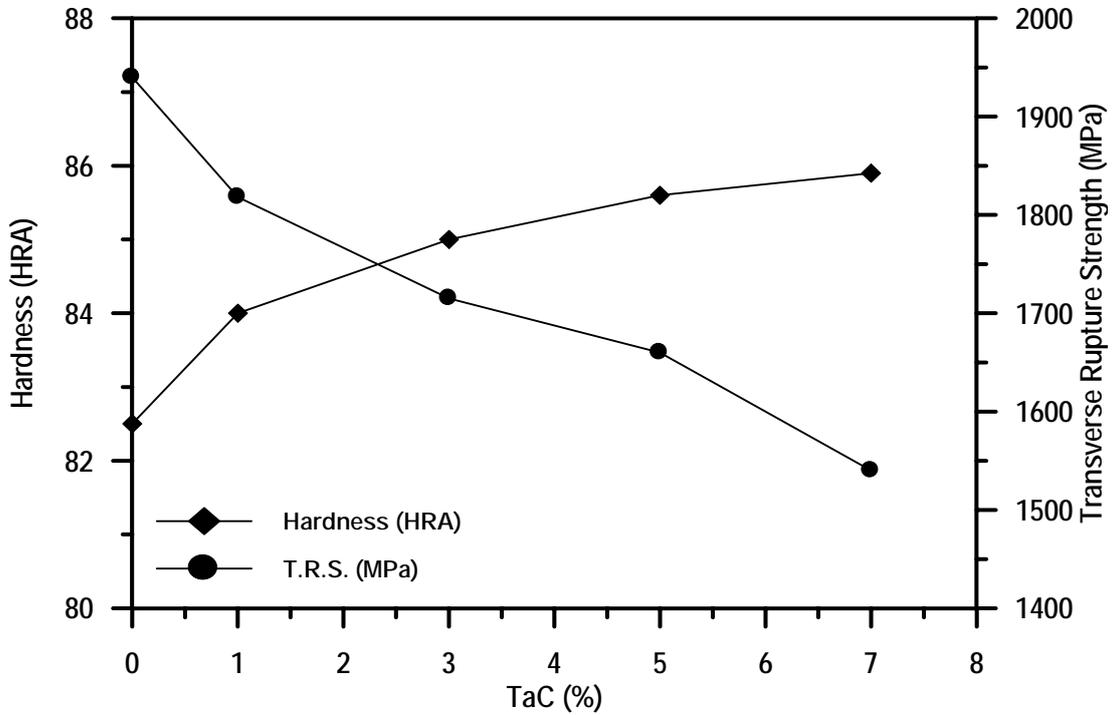
الشكل رقم (5-14): تأثير إضافة (Al₂O₃) على الكثافة الخضراء والنهائية ومقدار التقلص.



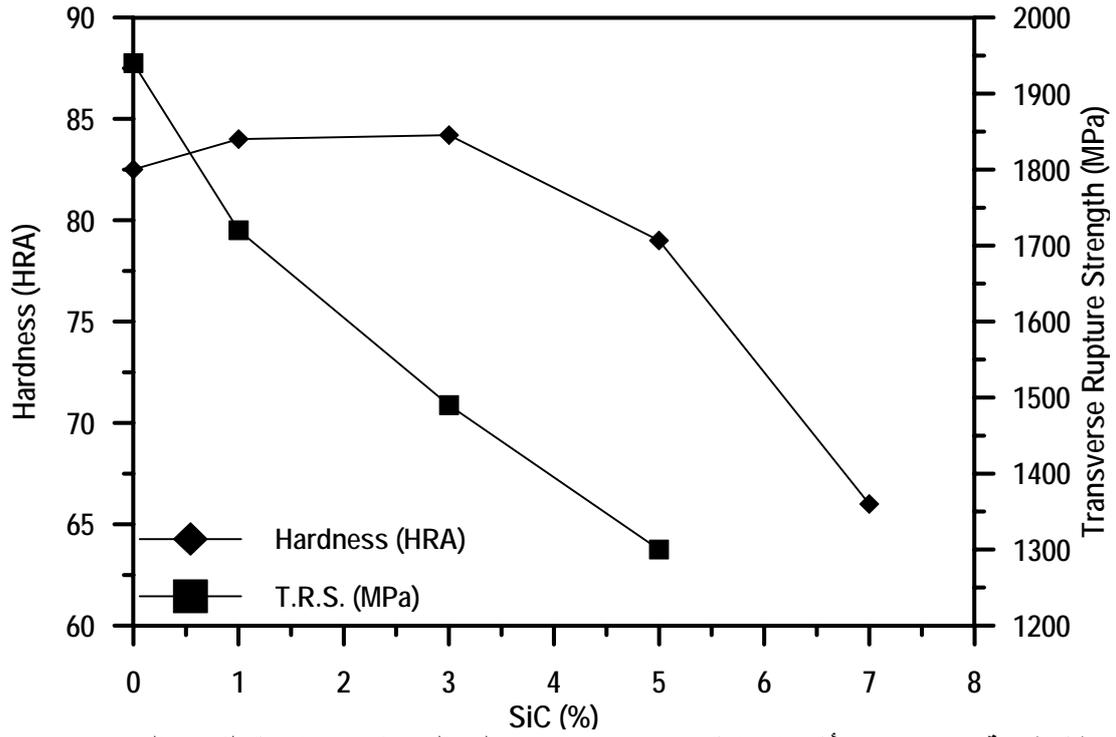
الشكل رقم (5-16): تأثير اضافة مسحوق (WC) على الكثافة النهائية والصلادة ومقاومة الكسر المستعرض.



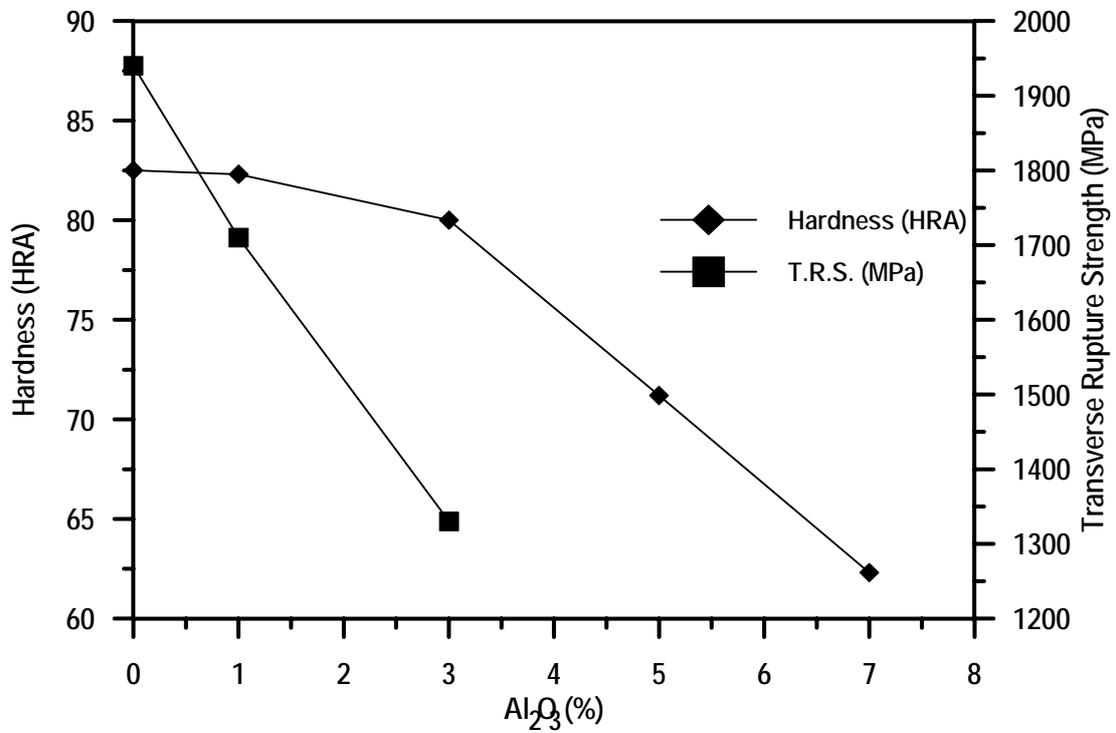
الشكل (5-18): مقارنة بين منحنيات الكثافة النهائية للنماذج المصنعة ونسب المساحيق الجديدة المضافة.



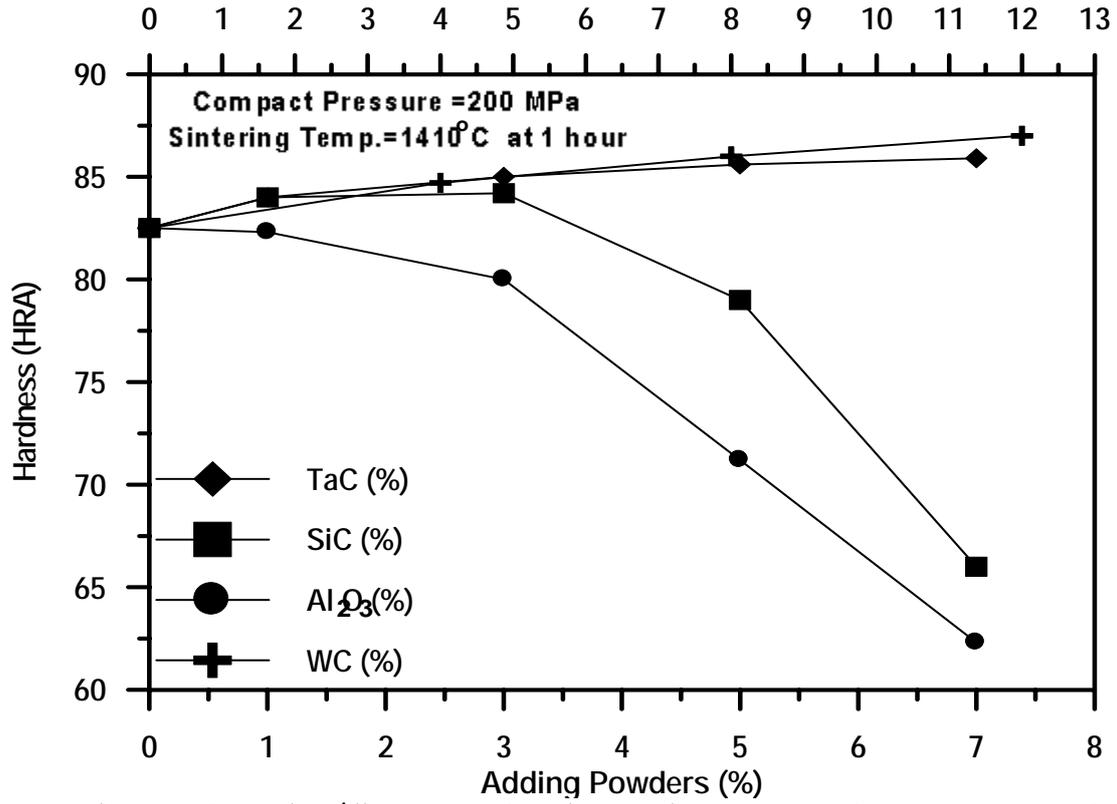
الشكل رقم (5-19): تأثير إضافة مسحوق (TaC) على الصلادة ومقاومة الكسر المستعرض.



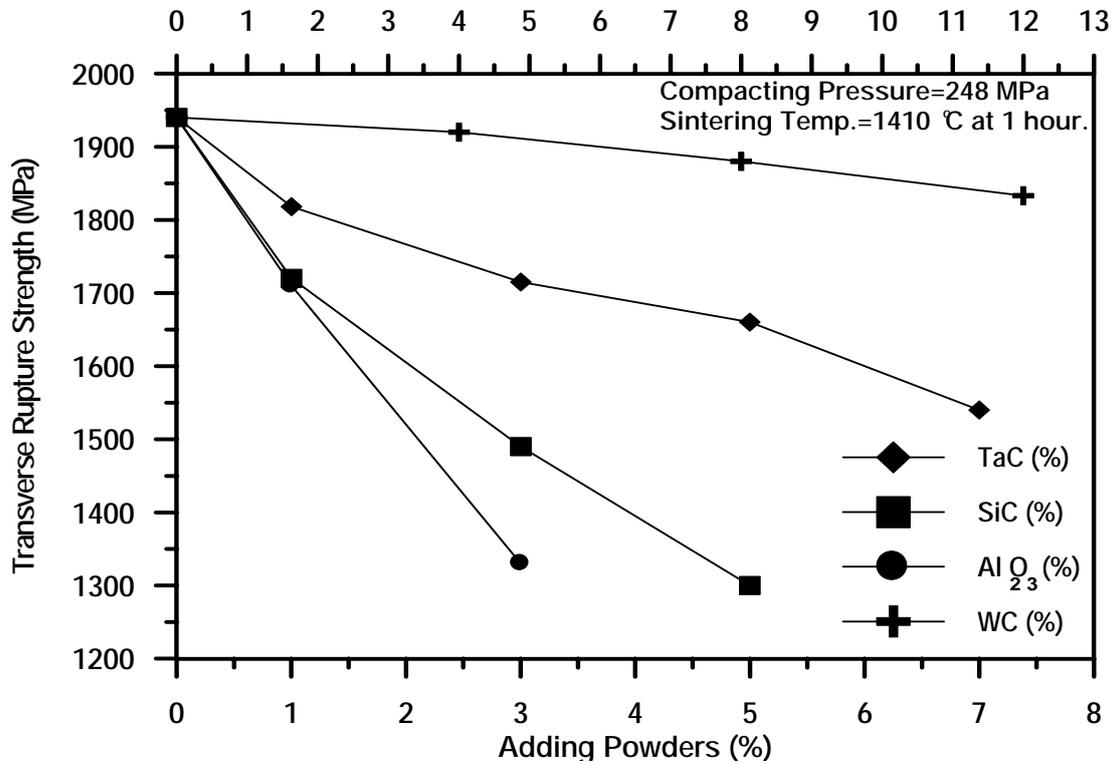
الشكل رقم (5-20): تأثير إضافة مسحوق (SiC) على الصلادة ومقاومة الكسر المستعرض.



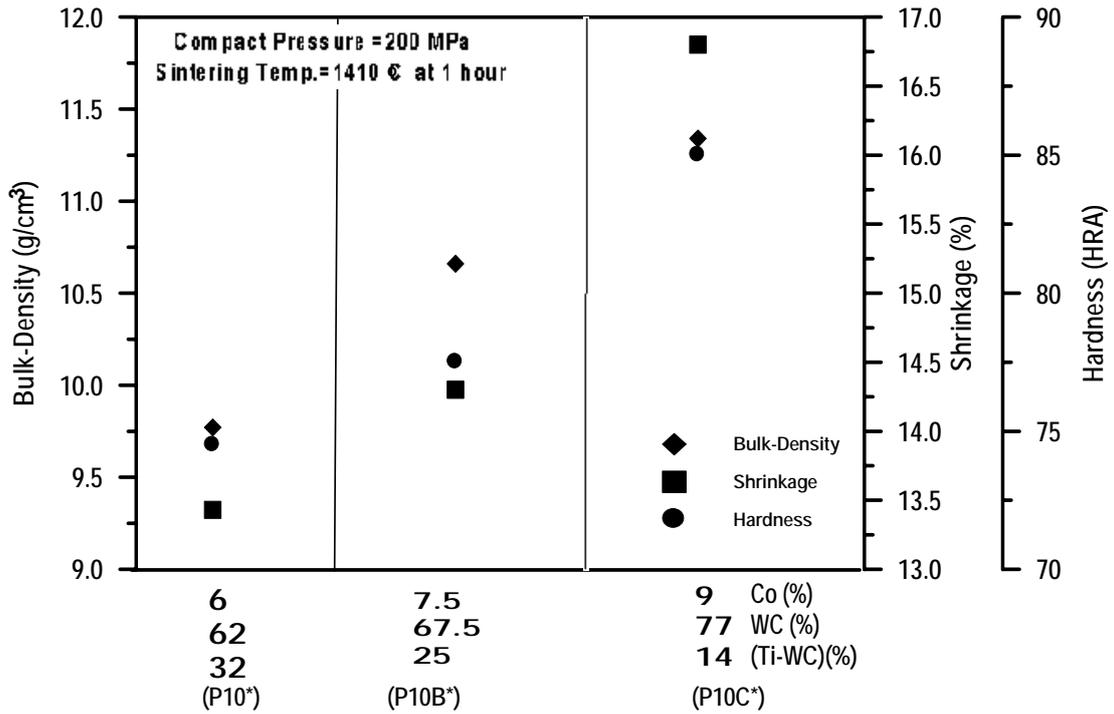
الشكل رقم (5-21): تأثير إضافة مسحوق (Al₂O₃) على الصلادة ومقاومة الكسر المستعرض.



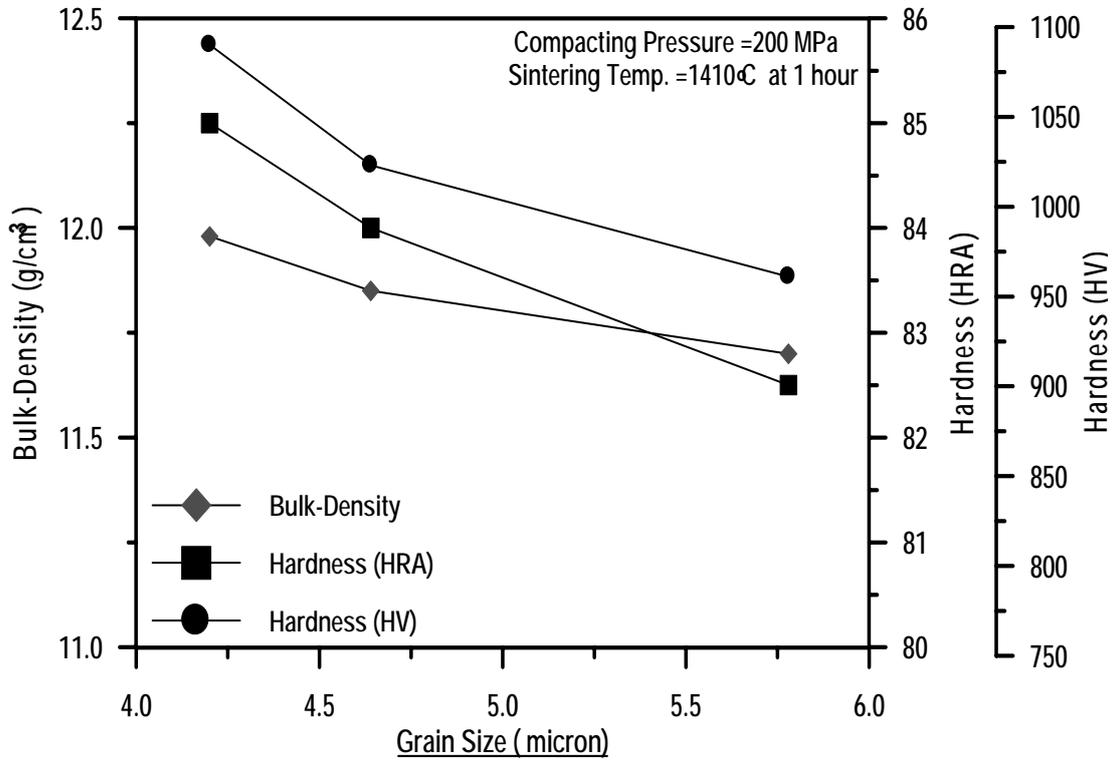
الشكل (5-22): مقارنة بين منحنيات الصلادة العيانية (HRA) للعدد المصنعة ونسب المساحيق الجديدة المضافة.



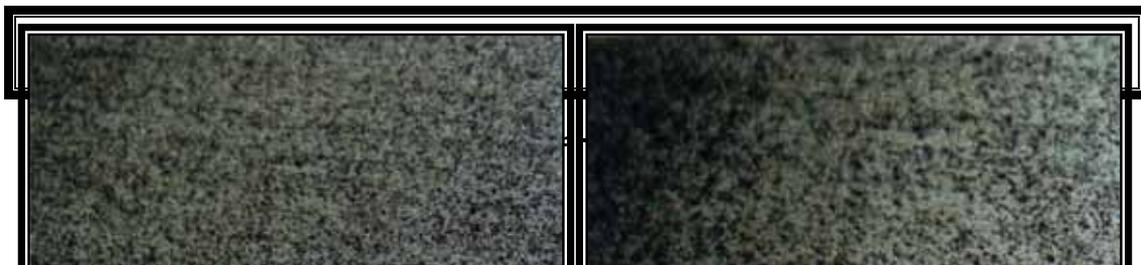
الشكل (5-23): مقارنة بين منحنيات مقاومة الكسر المستعرض (T.R.S.) للعدد المصنعة ونسب المساحيق الجديدة المضافة.

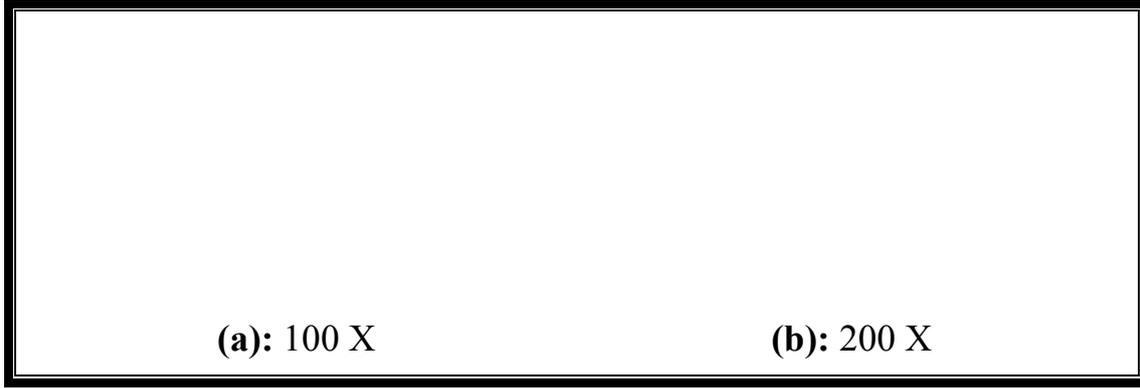


الشكل (5-24): العلاقة بين نسب مكونات الخلطات واكثافة النهائية والتقلص والصلادة.

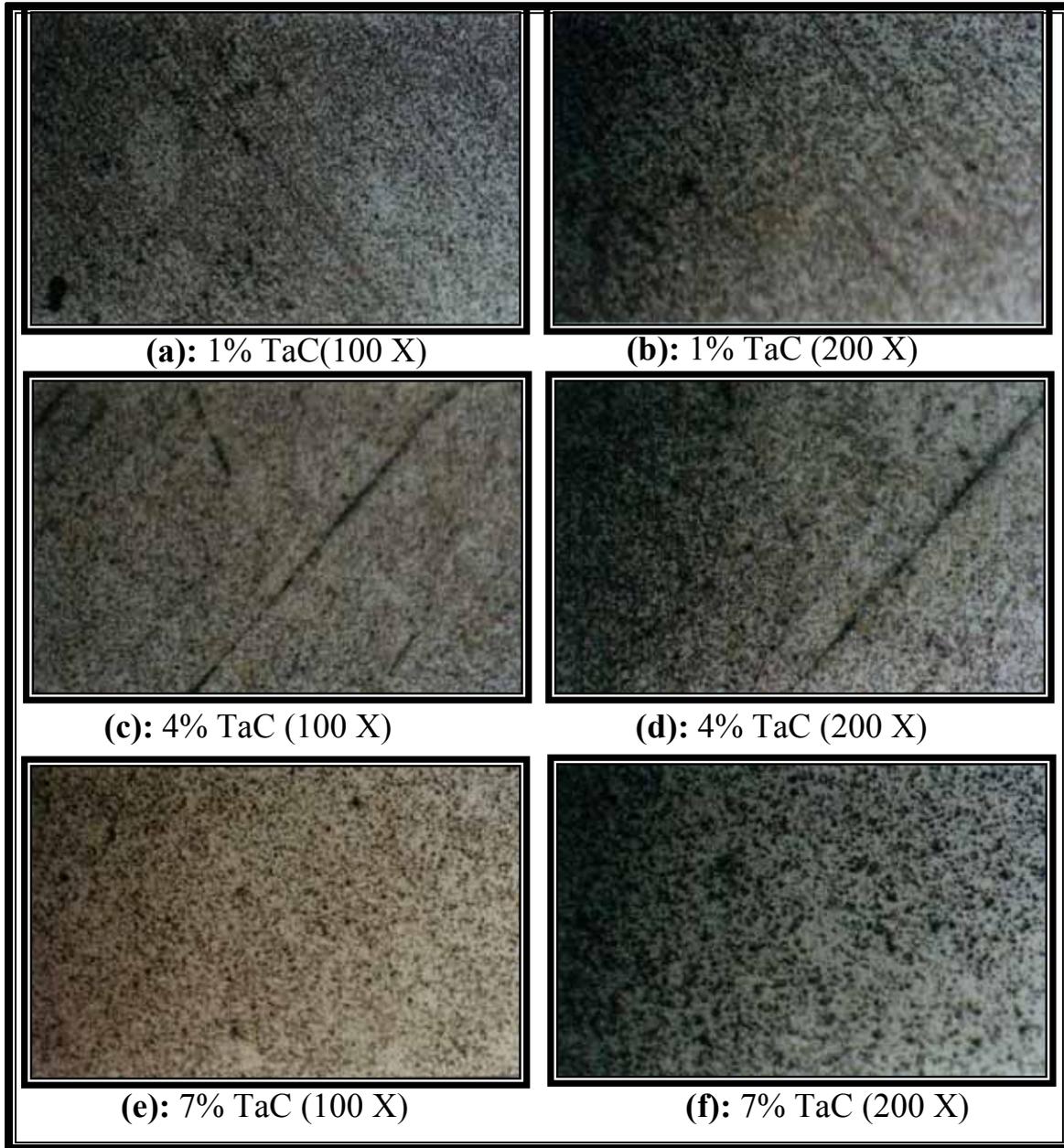


الشكل (5-28): تأثير الحجم الحبيبي على الكثافة النهائية والصلادة العيانية والميكروية.

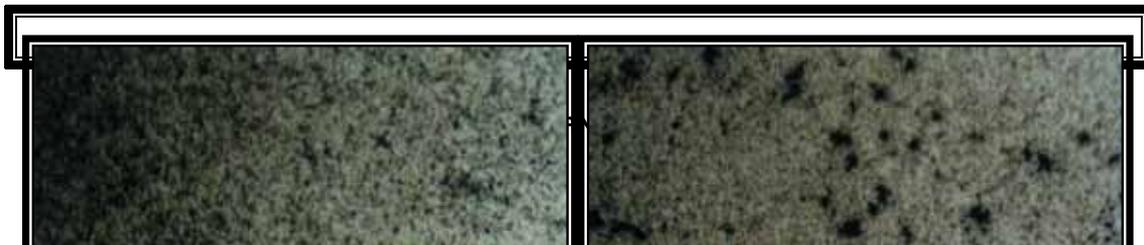


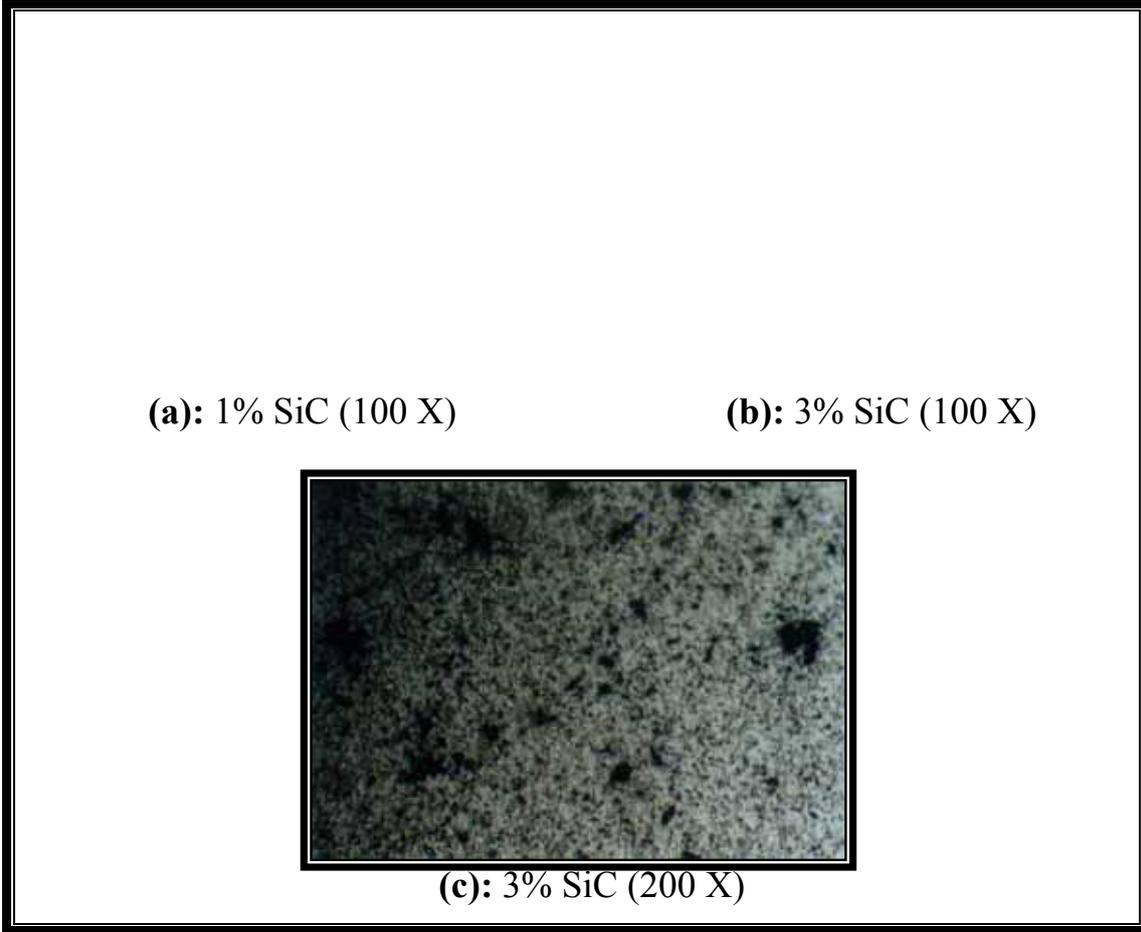


الشكل (5-7): الصور المجهرية الخاصة بالنماذج المصنعة من مزيج الخلطة الأساسية.

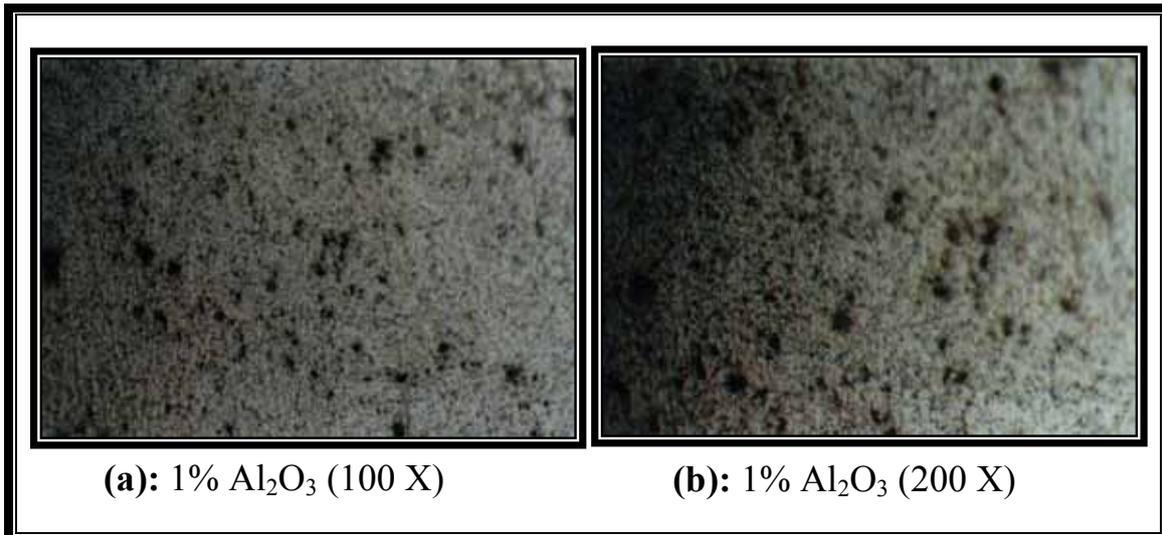


الشكل (5-11): الصور المجهرية الخاصة بالنماذج المصنعة من المزيج الأساسي المضاف إليه نسب مختلفة من مسحوق (TaC).

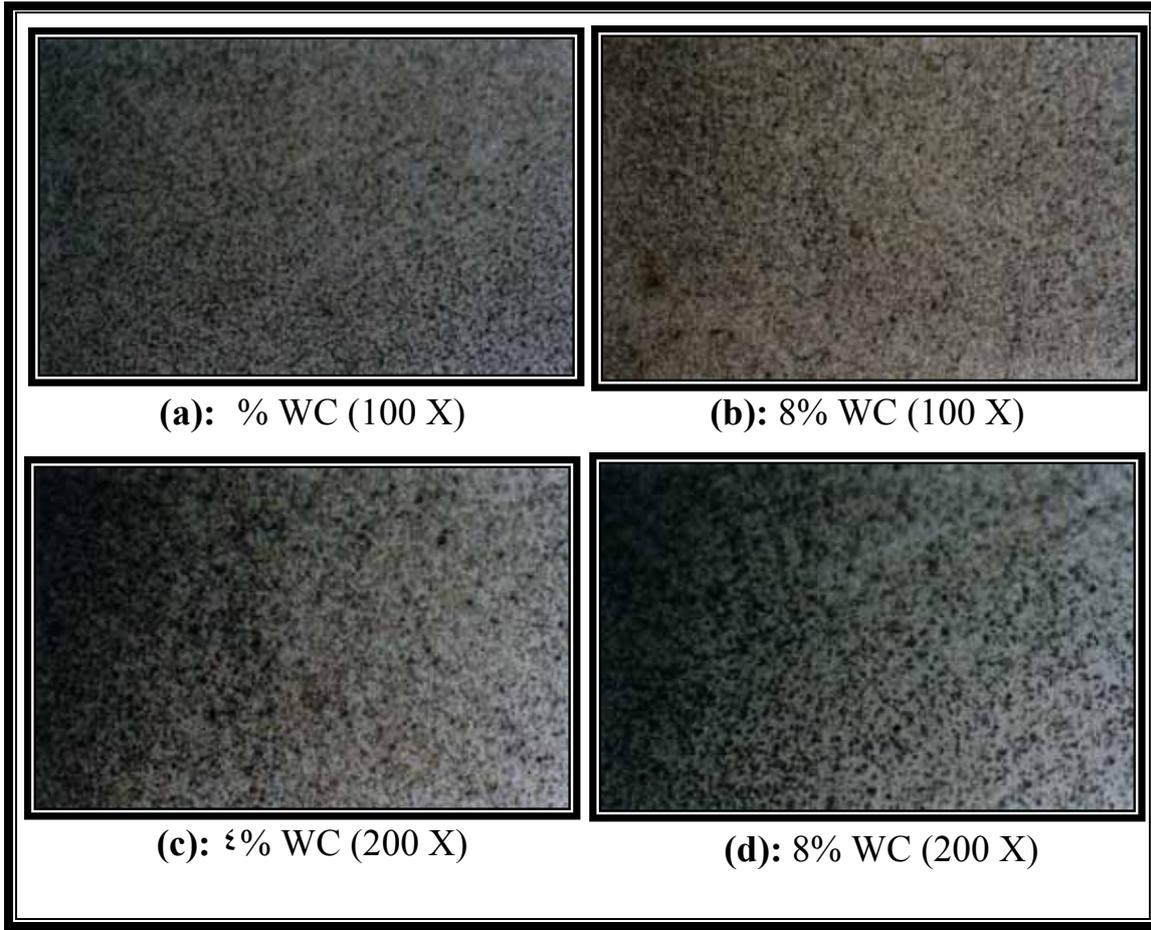




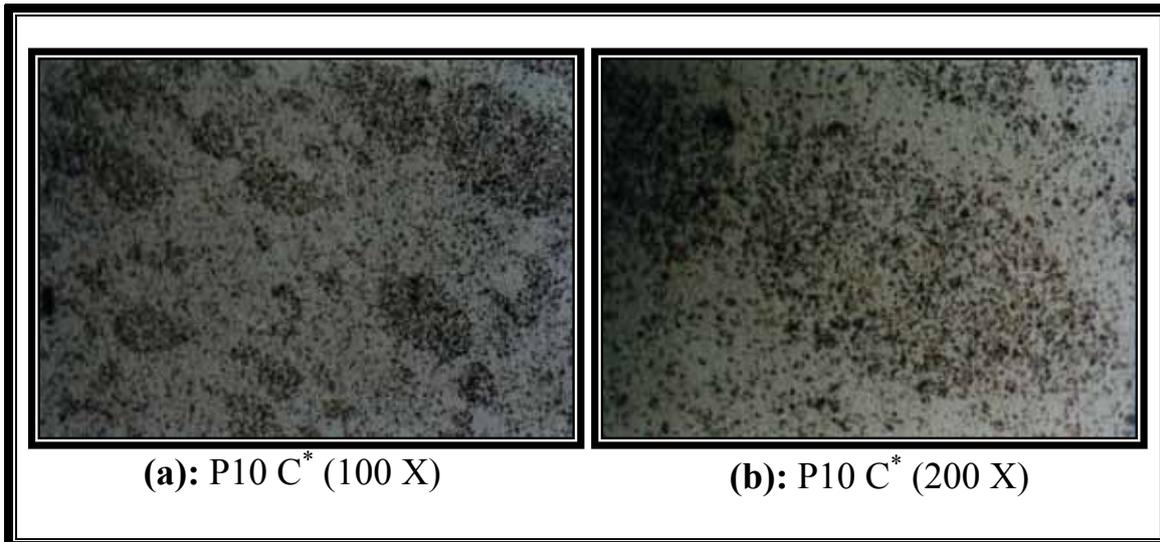
الشكل (5-13): الصور المجهرية الخاصة بالنماذج المصنعة من المزيج الأساسي المضاف اليه نسب مختلفة من مسحوق (SiC)



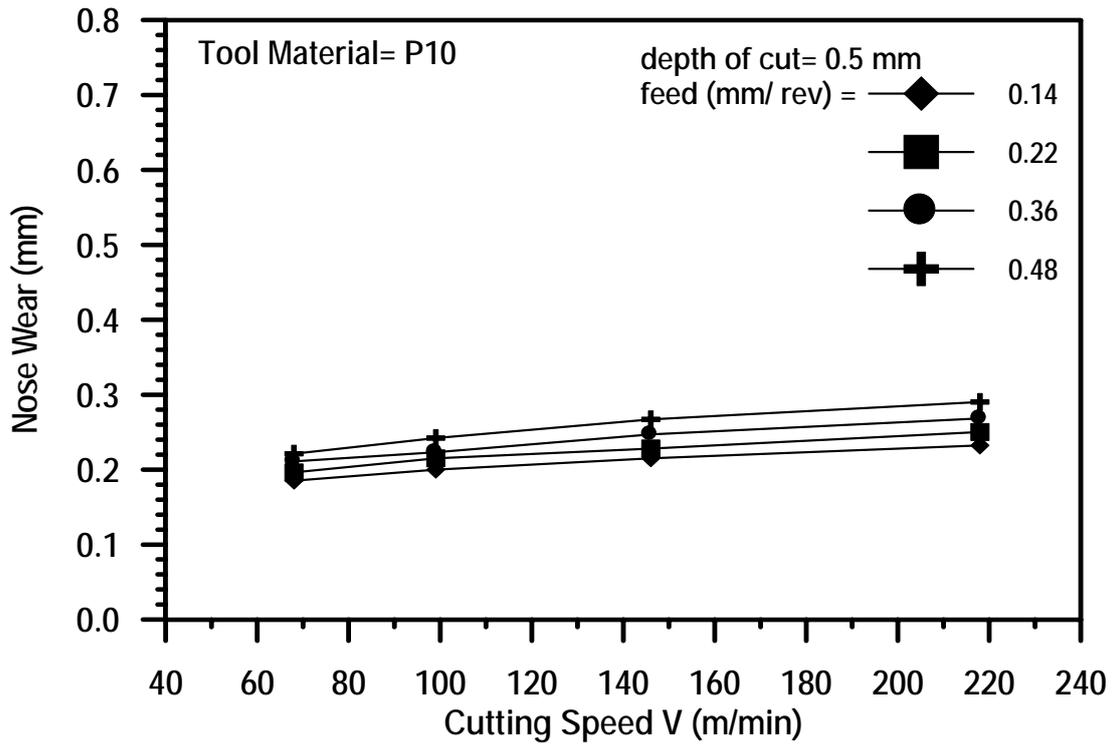
الشكل (5-15): الصور المجهرية الخاصة بالنماذج المصنعة من المزيج الأساسي المضاف اليه نسب مختلفة من مسحوق (Al₂O₃).



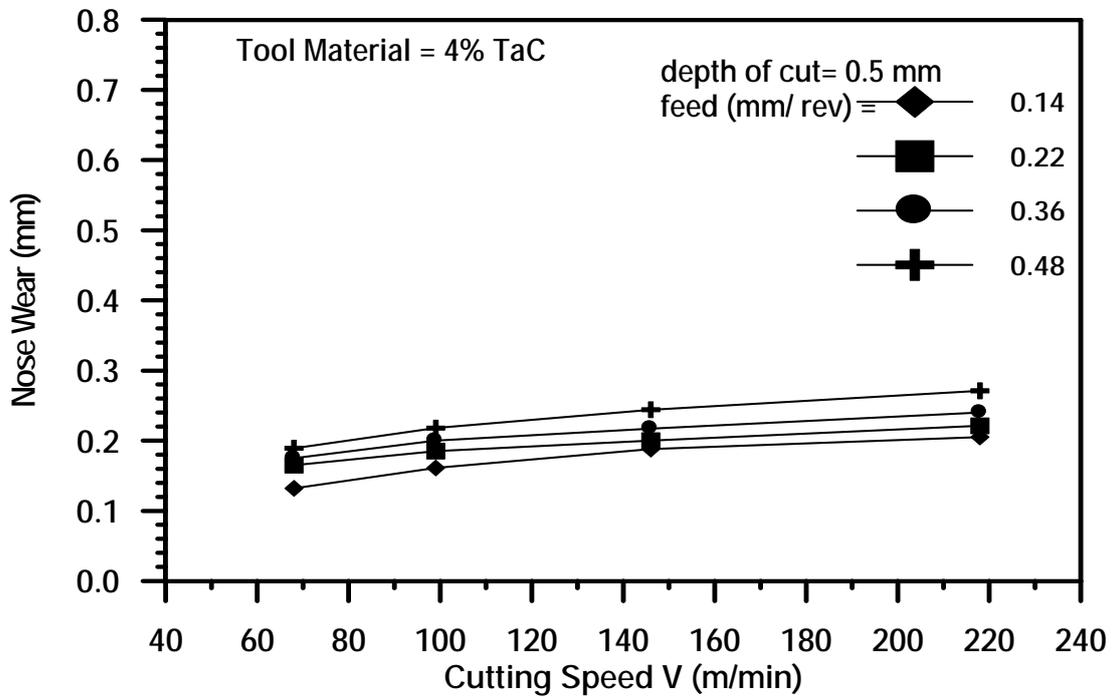
الشكل (5-17): الصور المجهرية الخاصة بالنماذج المصنعة من المزيج الأساسي المضاف اليه نسب مختلفة من مسحوق (WC).



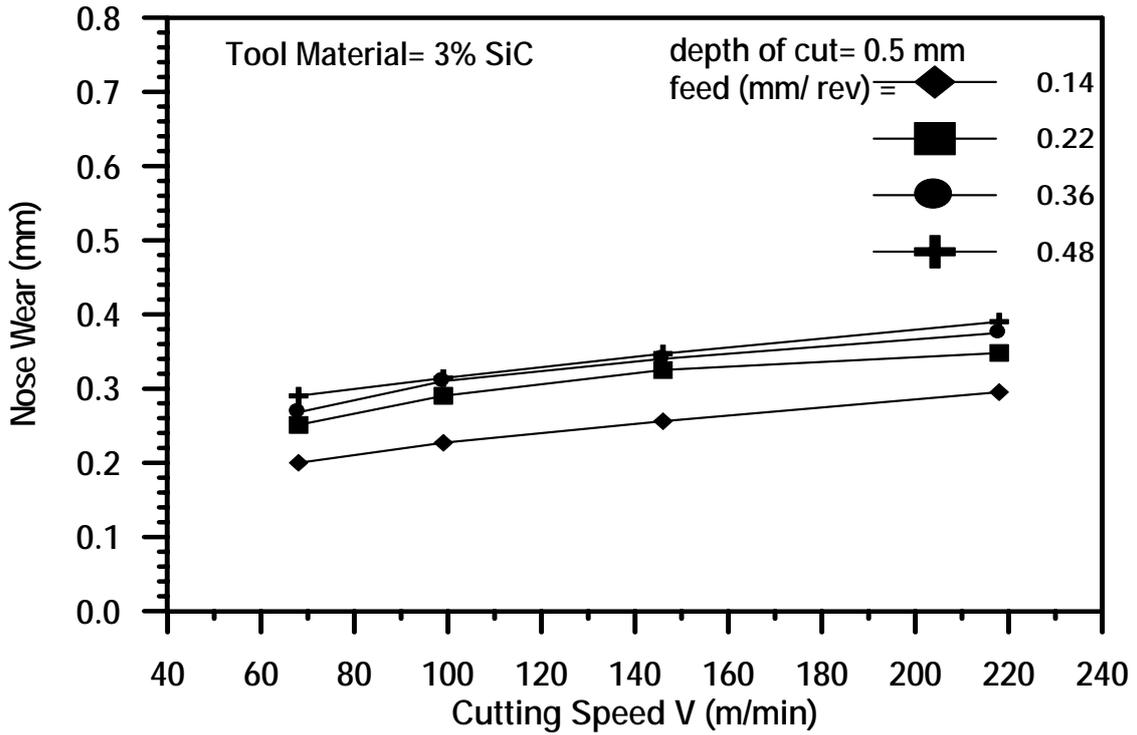
الشكل (5-25): الصور المجهرية الخاصة بالنماذج المصنعة من الخلطة (P10 C*) ذات نسب المكونات المختلفة.



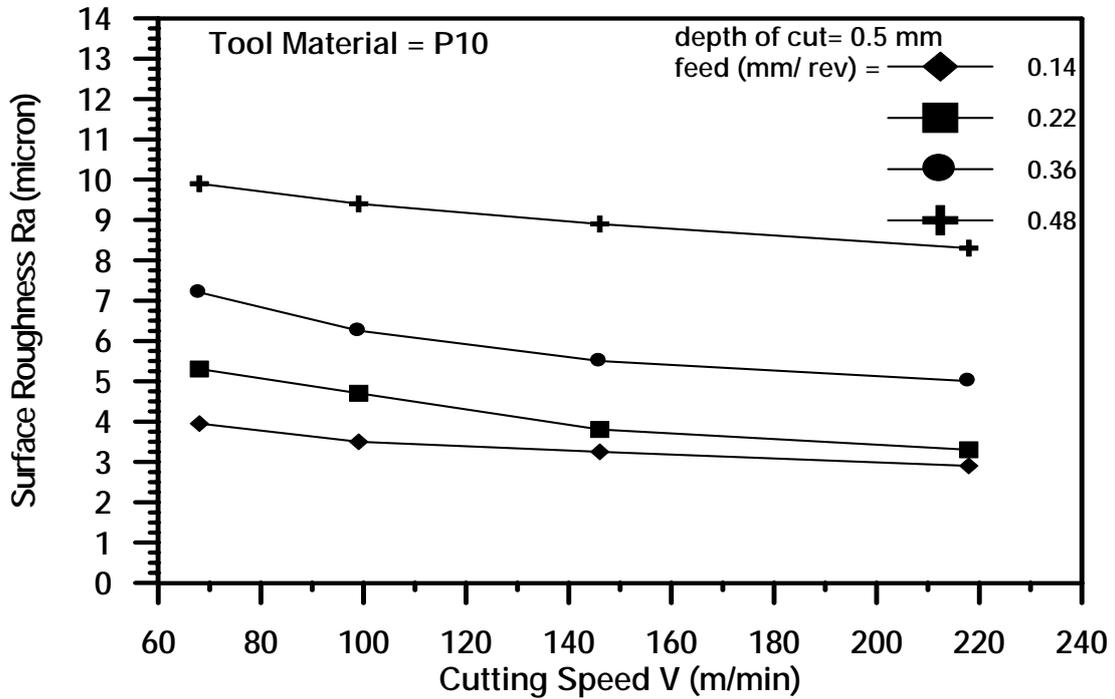
الشكل (5-29) : العلاقة بين سرعة القطع ومقدار البلى الناشئ على سطح العدد (P10).



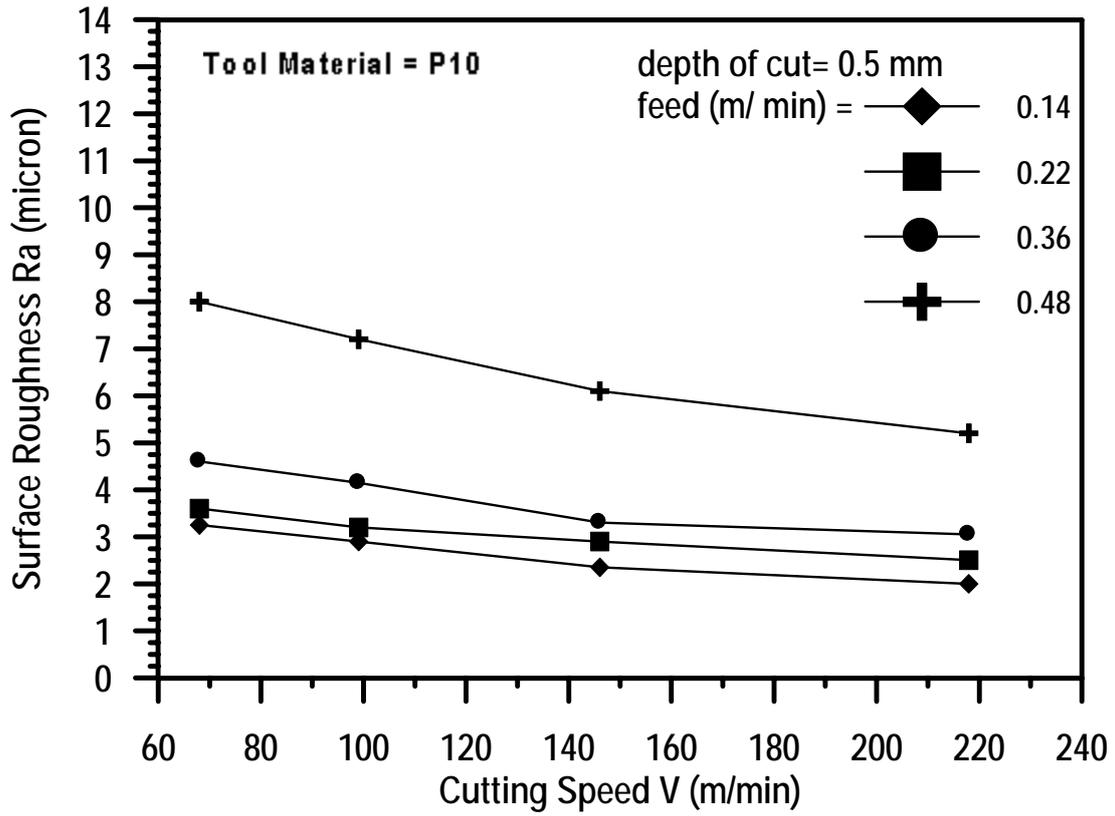
الشكل (5-30) : العلاقة بين سرعة القطع ومقدار البلى الناشئ على سطح العدد (4% TaC).



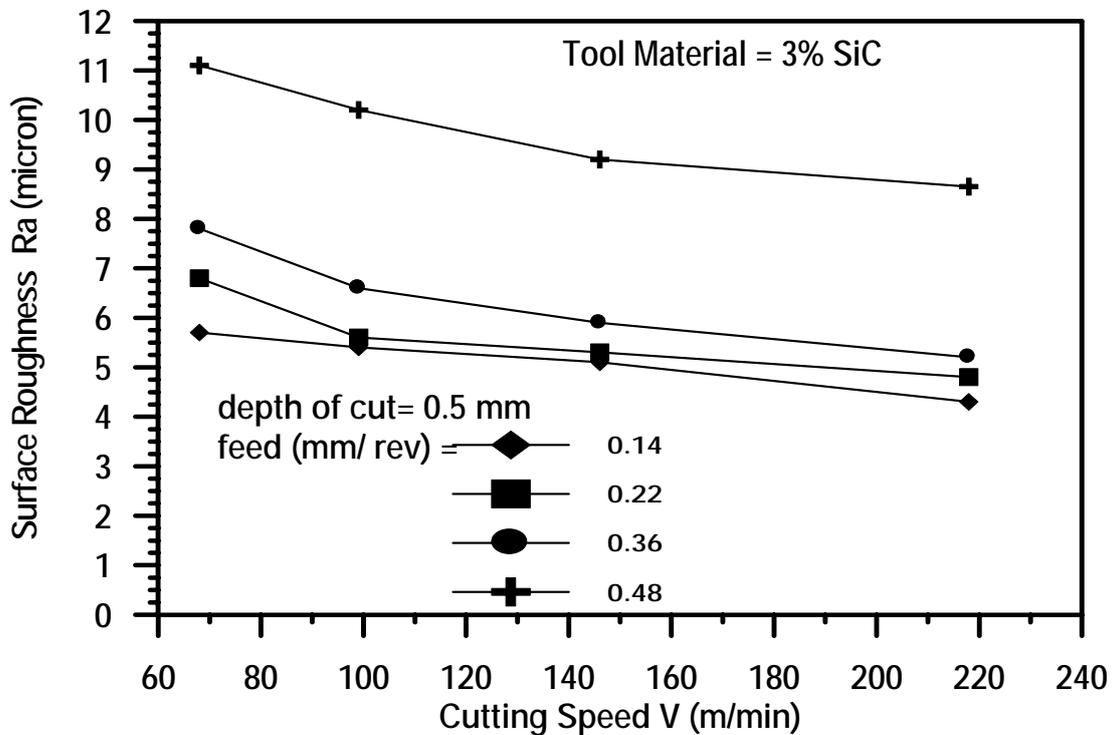
الشكل (5-31) : العلاقة بين سرعة القطع ومقدار البلى الناشئ على سطح العدد (3% SiC).



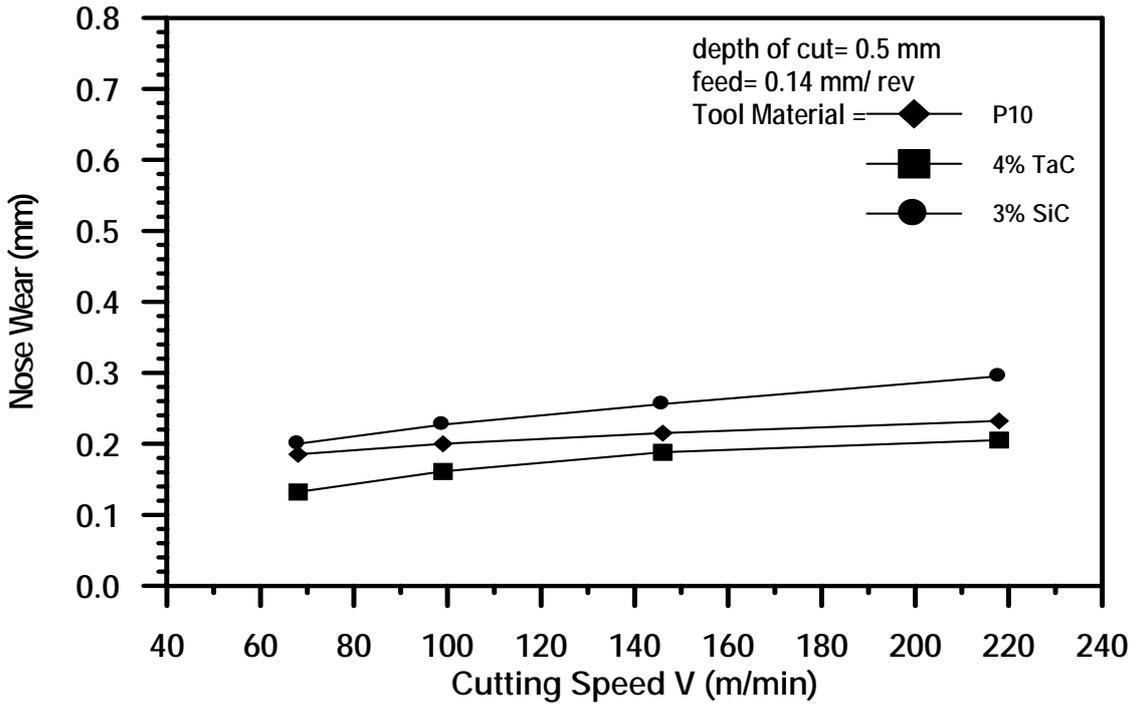
الشكل (5-32) : العلاقة بين سرعة القطع ومقدار الخشونة السطحية للمشغولات باعتماد العدد (P10).



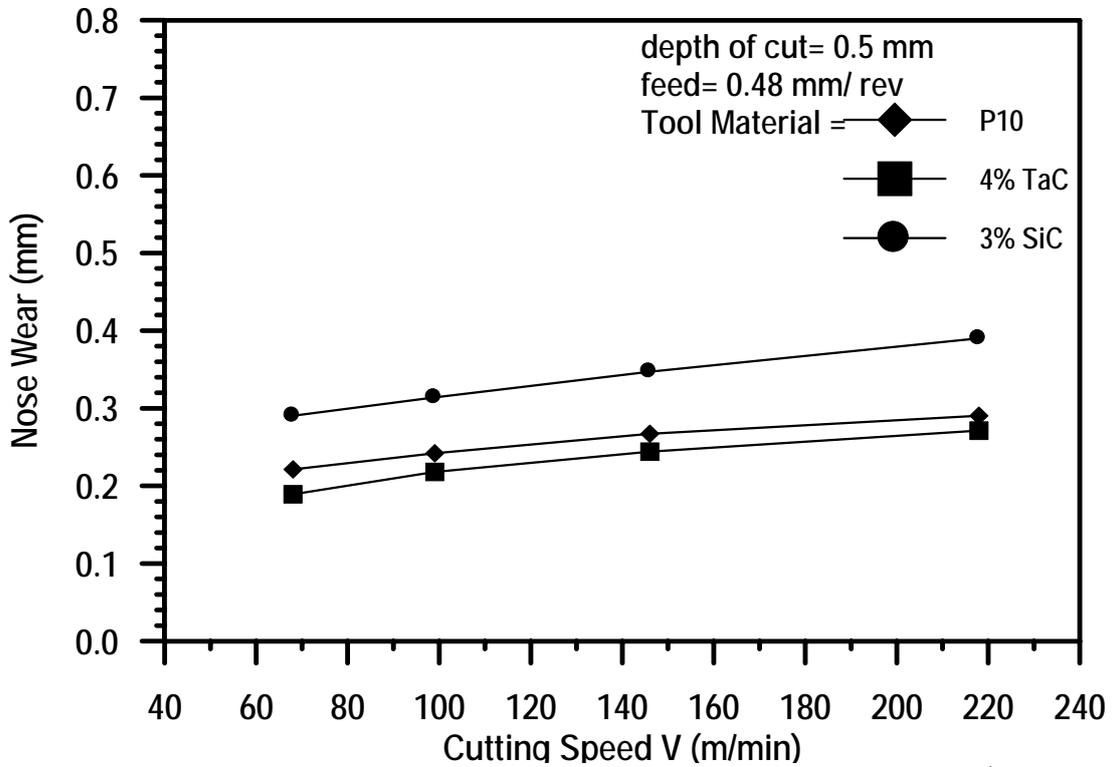
الشكل (5-33) : العلاقة بين سرعة القطع ومقدار الخشونة السطحية للمشغولات باعتماد العدد (4% TaC).



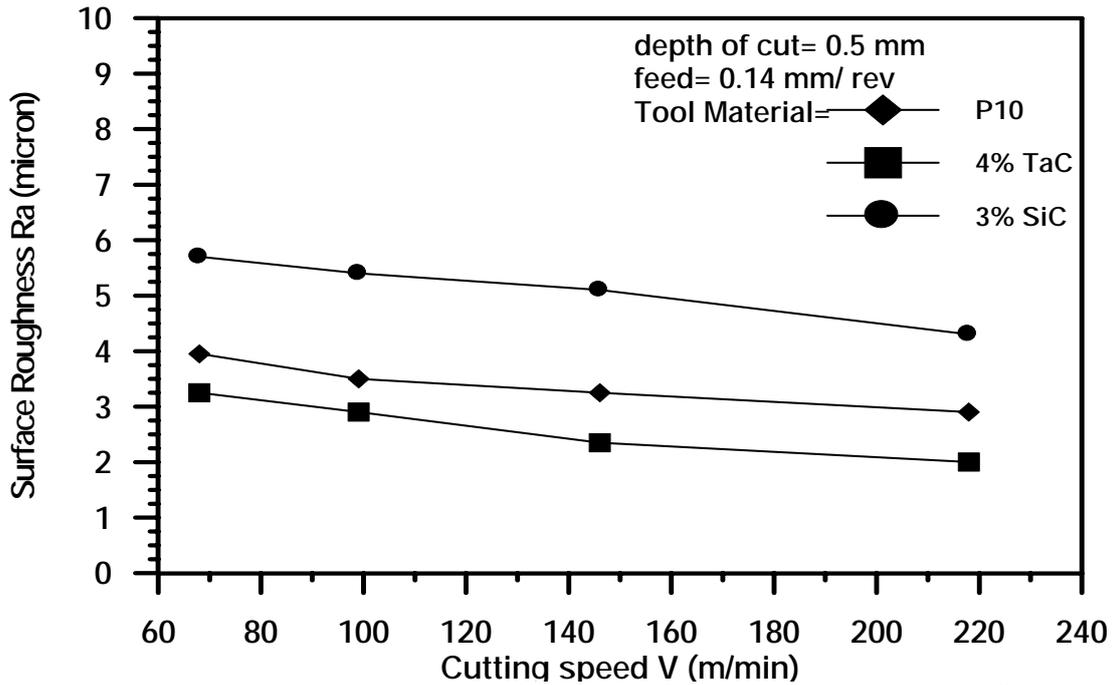
الشكل (5-34) : العلاقة بين سرعة القطع ومقدار الخشونة السطحية للمشغولات باعتماد العدد (3% SiC).



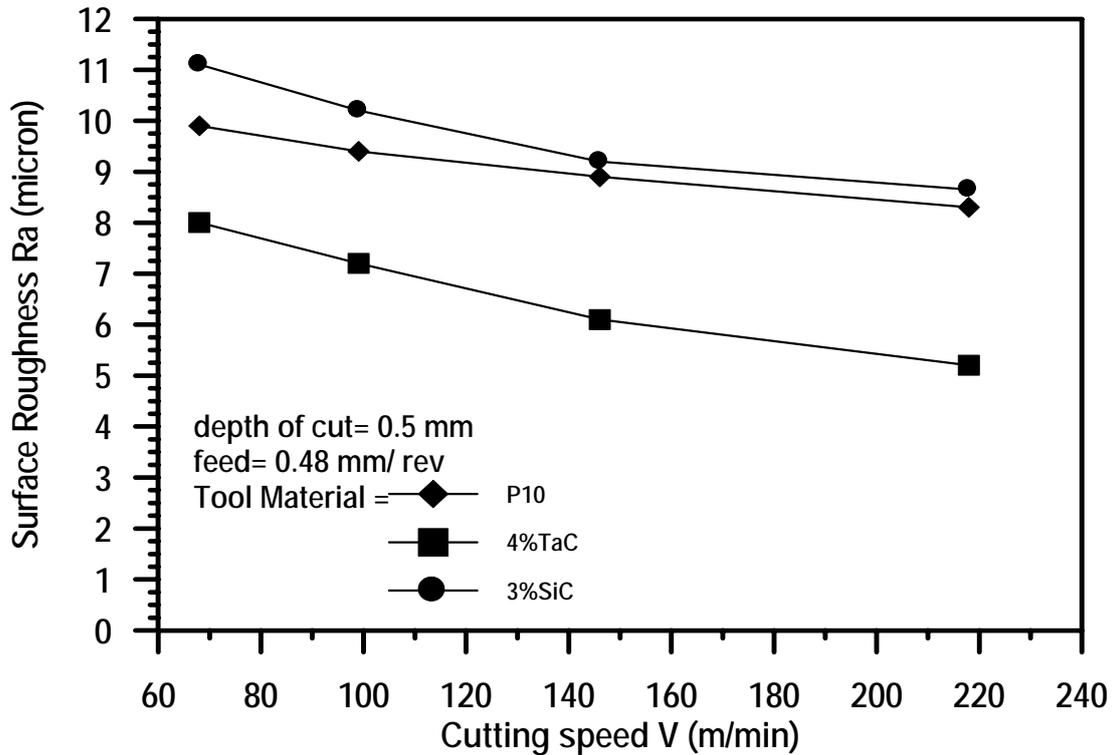
الشكل رقم (5-35): العلاقة بين سرعة القطع ومقدار البلى الناشيء على سطح العدد الثلاث (P10 , 3% SiC , 4% TaC) لمعدل تغذية (0.14 mm/rev).



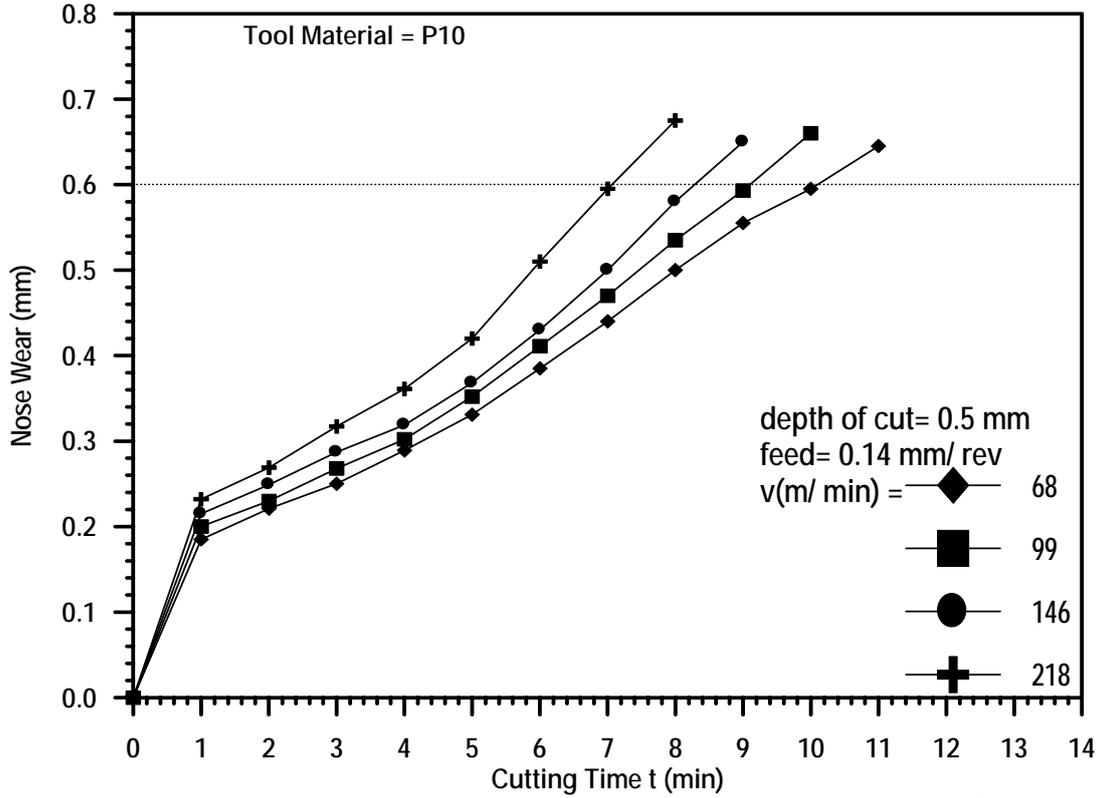
الشكل رقم (5-36): العلاقة بين سرعة القطع ومقدار البلى الناشيء على سطح العدد الثلاث (P10 , 3% SiC , 4% TaC) لمعدل تغذية (0.48 mm/rev).



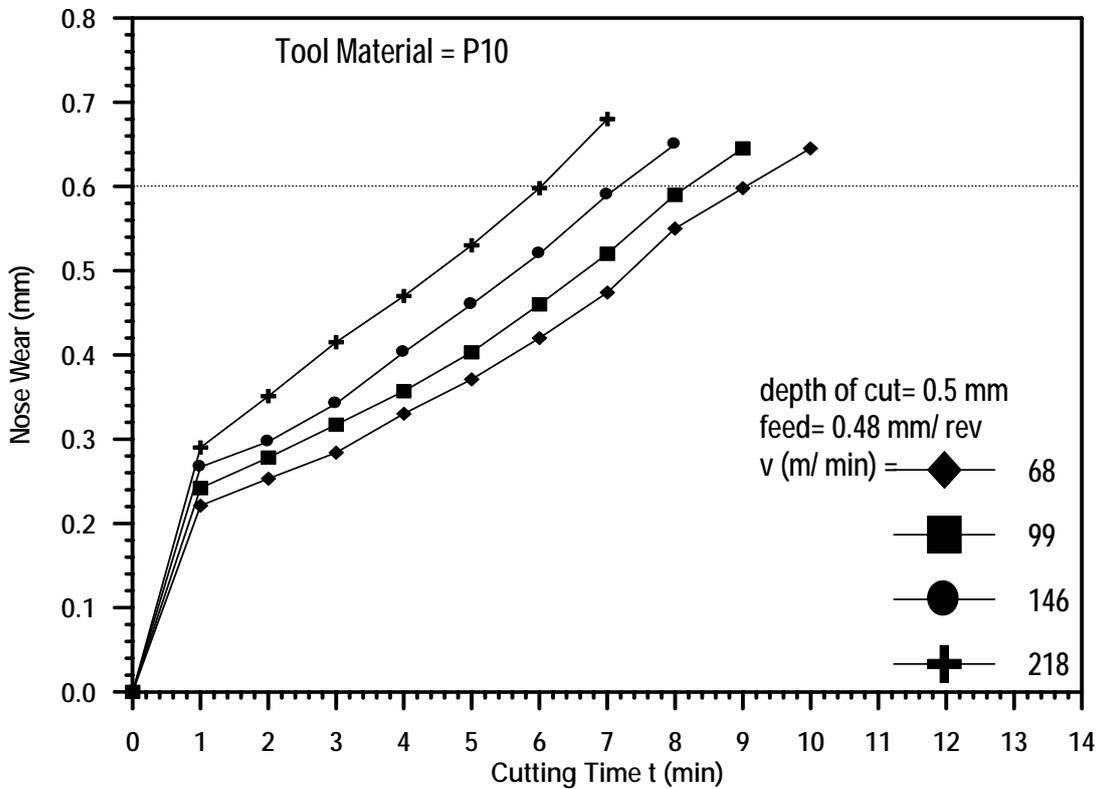
الشكل رقم (5-37): العلاقة بين سرعة القطع ومقدار الخشونة السطحية باعتماد العدد الثلاث (4% TaC , 3% SiC , P10) لمعدل تغذية (0.14 mm/rev.).



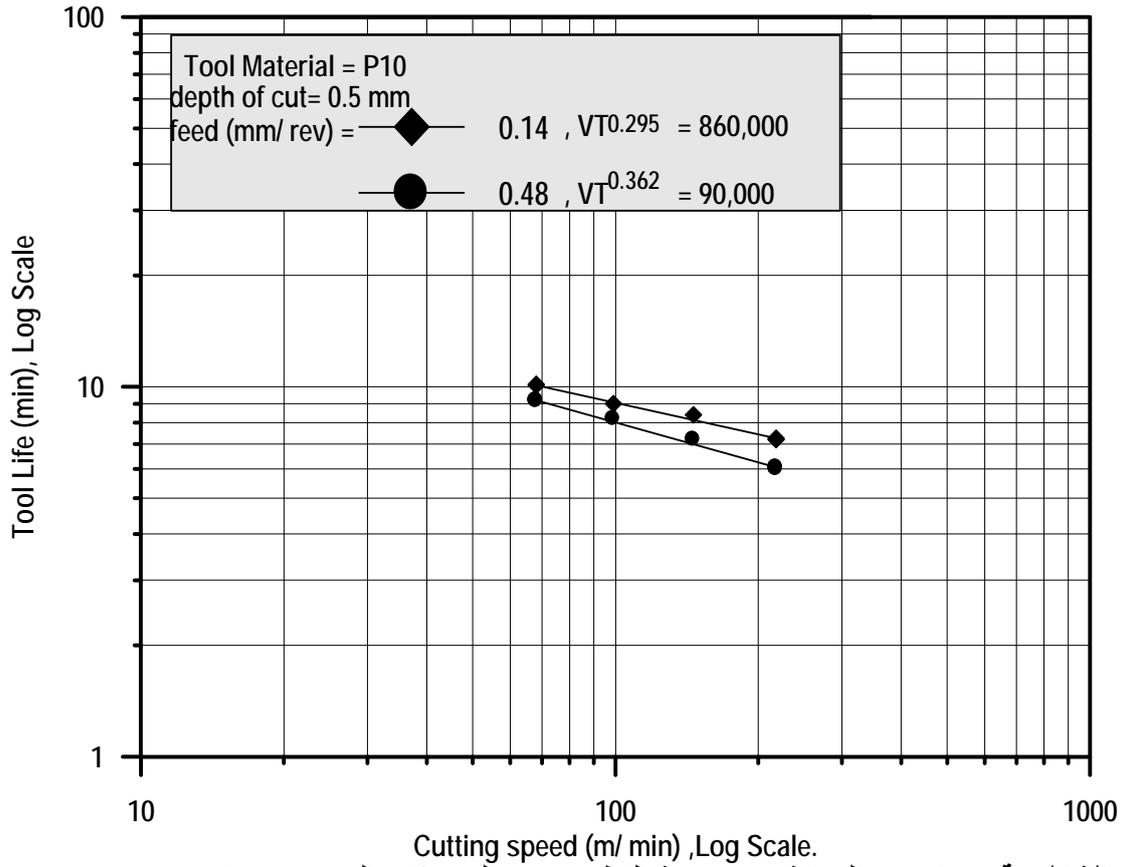
الشكل رقم (5-38): العلاقة بين سرعة القطع ومقدار الخشونة السطحية باعتماد العدد الثلاث (4% TaC , 3% SiC , P10) لمعدل تغذية (0.48 mm/rev.).



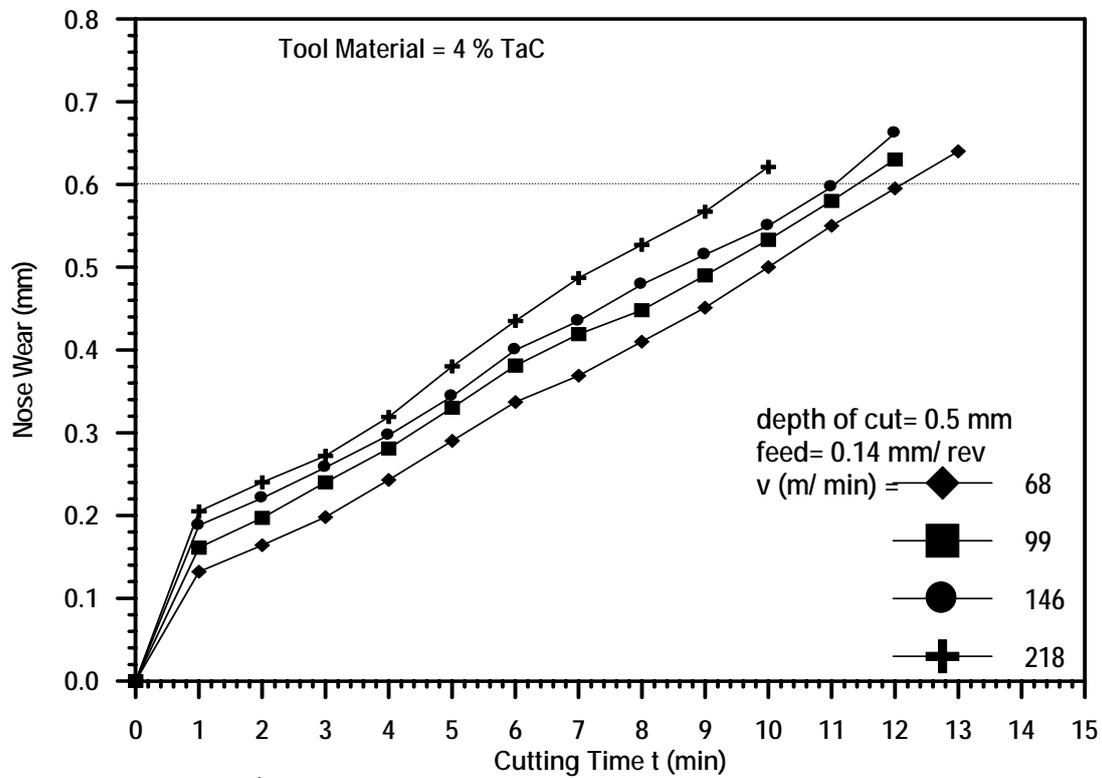
الشكل رقم (5-39): العلاقة بين زمن القطع ومقدار البلى الناشئ على رأس العدد (P10) لمعدل تغذية (0.14 mm/rev.).



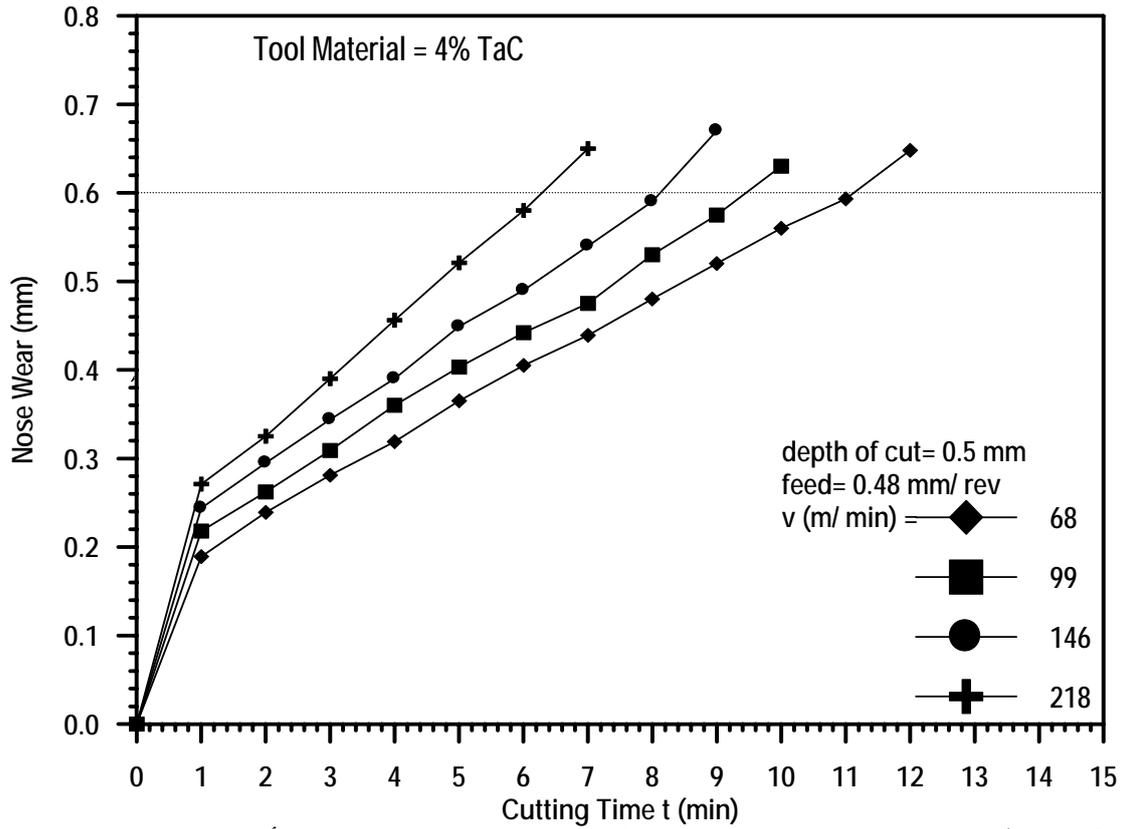
الشكل رقم (5-40): العلاقة بين زمن القطع ومقدار البلى الناشئ على رأس العدد (P10) لمعدل تغذية (0.48 mm/rev.).



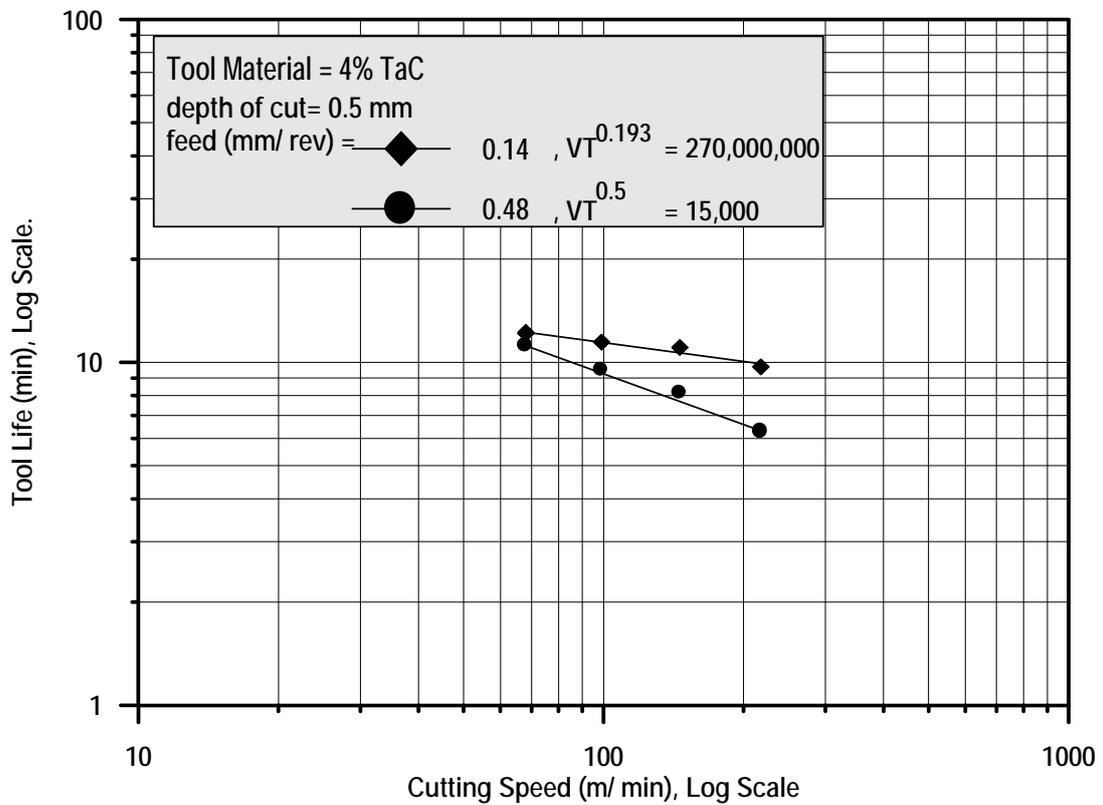
الشكل رقم (5-41): العلاقة بين سرعة القطع وعمر العدد ذات الرمز (P10)



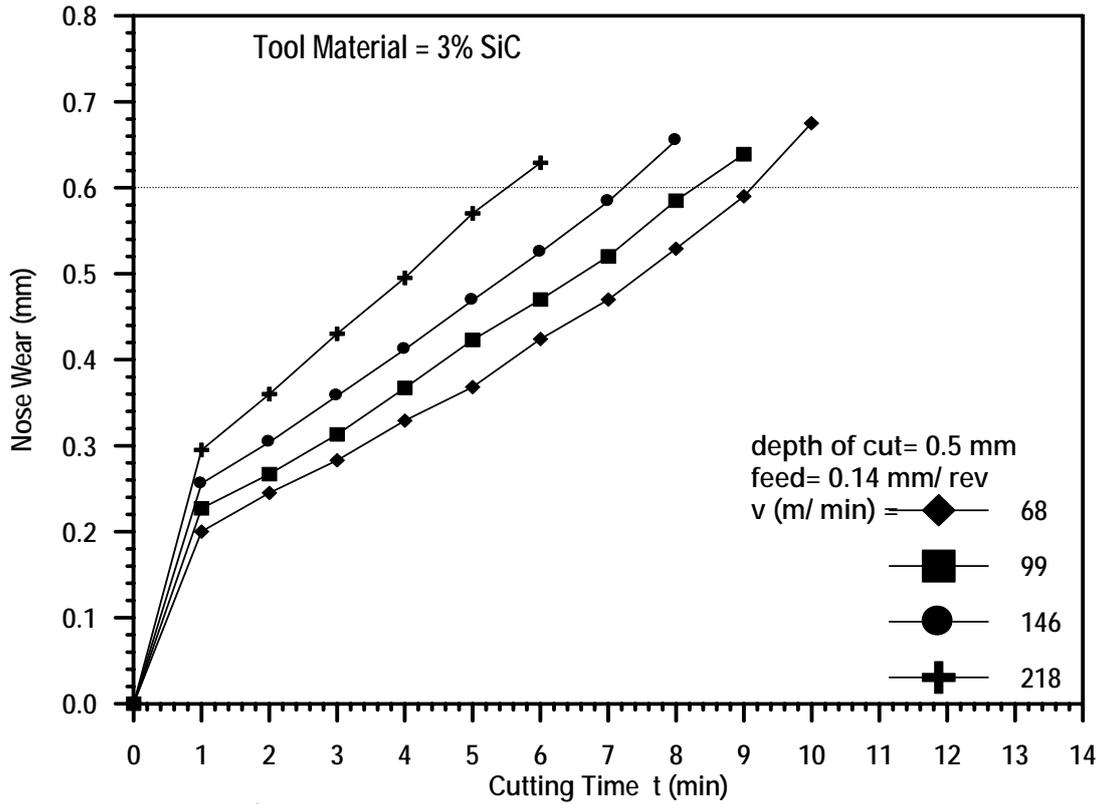
الشكل رقم (5-42): العلاقة بين زمن القطع ومقدار البلى الناشيء على رأس العدد ذات الرمز (4 % TaC) لمعدل تغذية (0.14 mm/rev).



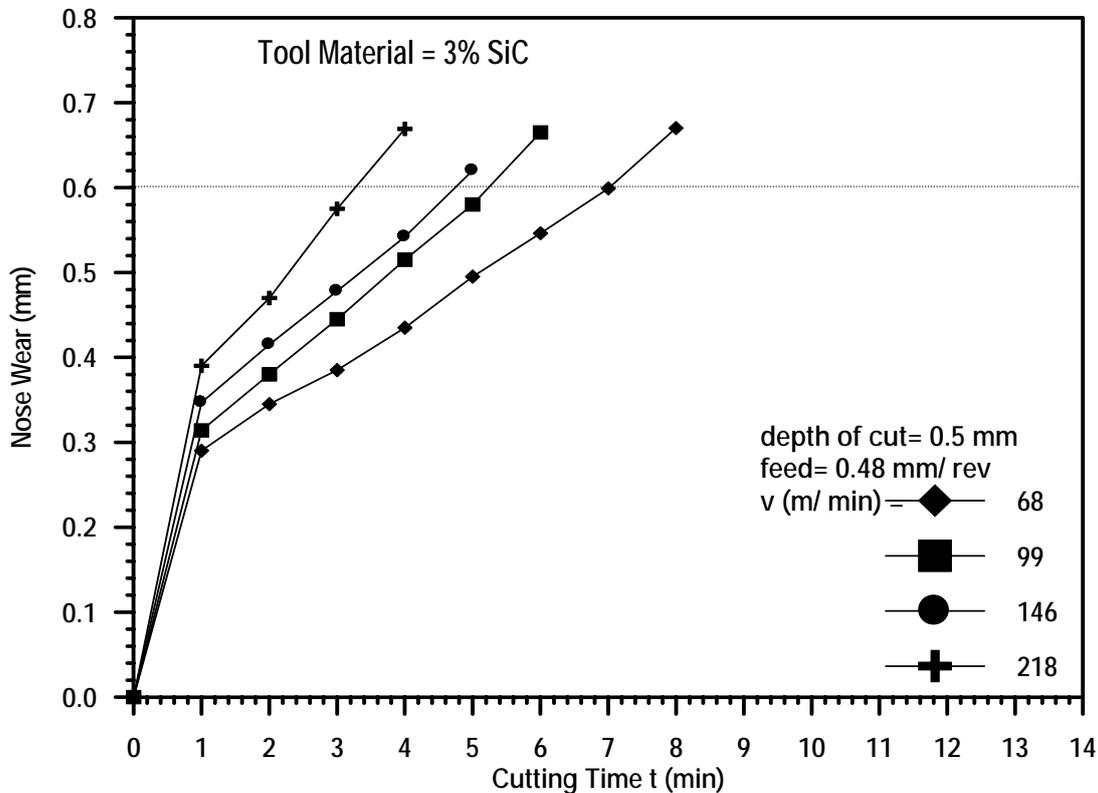
الشكل رقم (5-43): العلاقة بين زمن القطع ومقدار البلى الناشئ على رأس العدد ذات الرمز (4 % TaC) لمعدل تغذية (0.48 mm/rev).



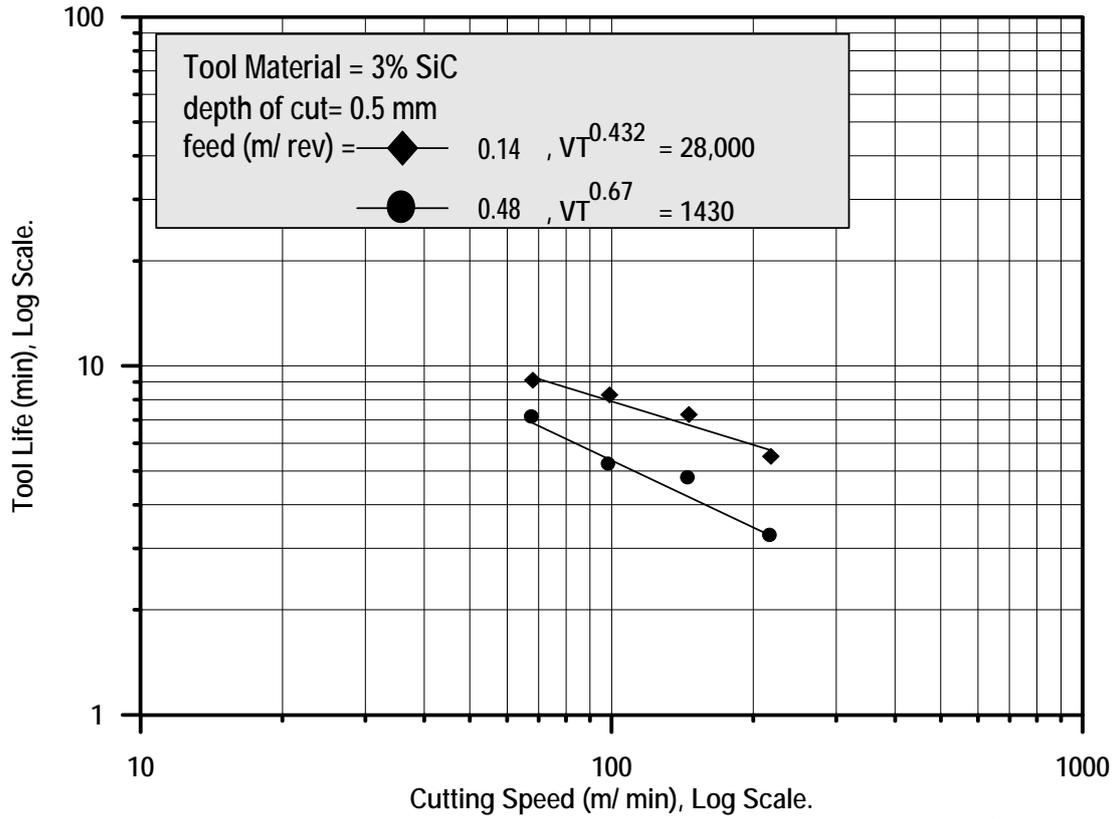
الشكل رقم (5-44): العلاقة بين سرعة القطع وعمر العدد ذات الرمز (4 % TaC).



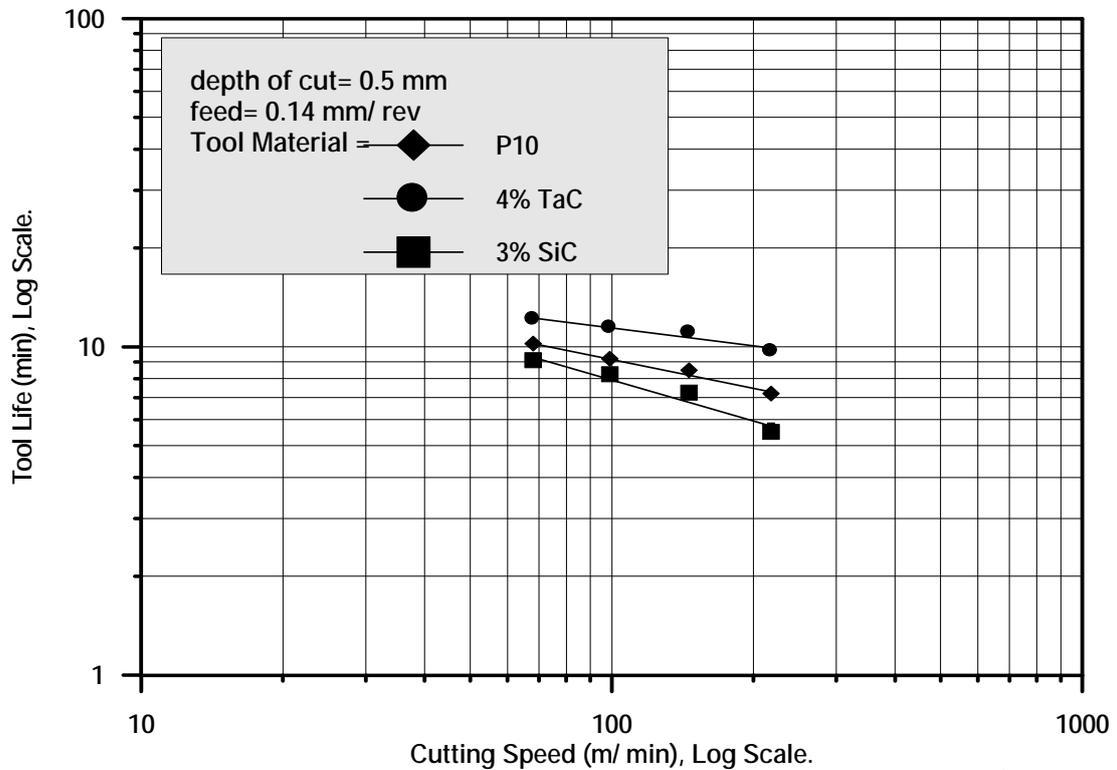
الشكل رقم (5-45): العلاقة بين زمن القطع ومقدار البلى الناشيء على رأس العدد ذات الرمز (3 % SiC) لمعدل تغذية (0.14 mm/rev.).



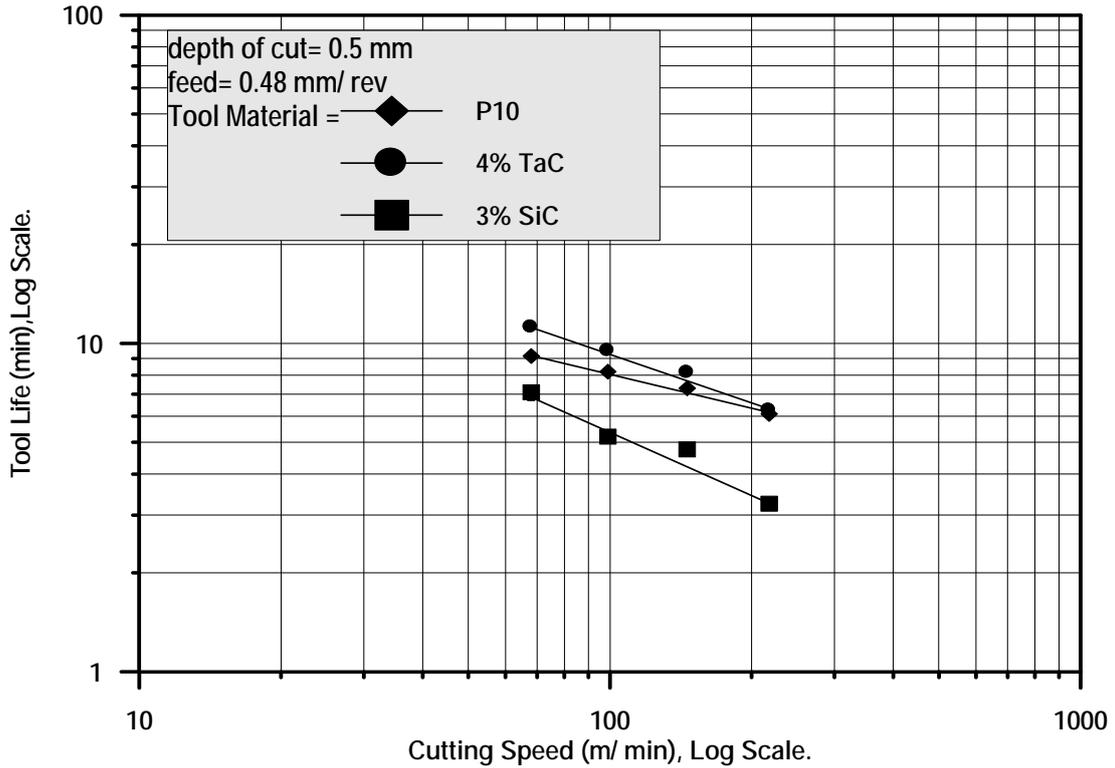
الشكل رقم (5-46): العلاقة بين زمن القطع ومقدار البلى الناشيء على رأس العدد ذات الرمز (3 % SiC) لمعدل تغذية (0.48 mm/rev.).



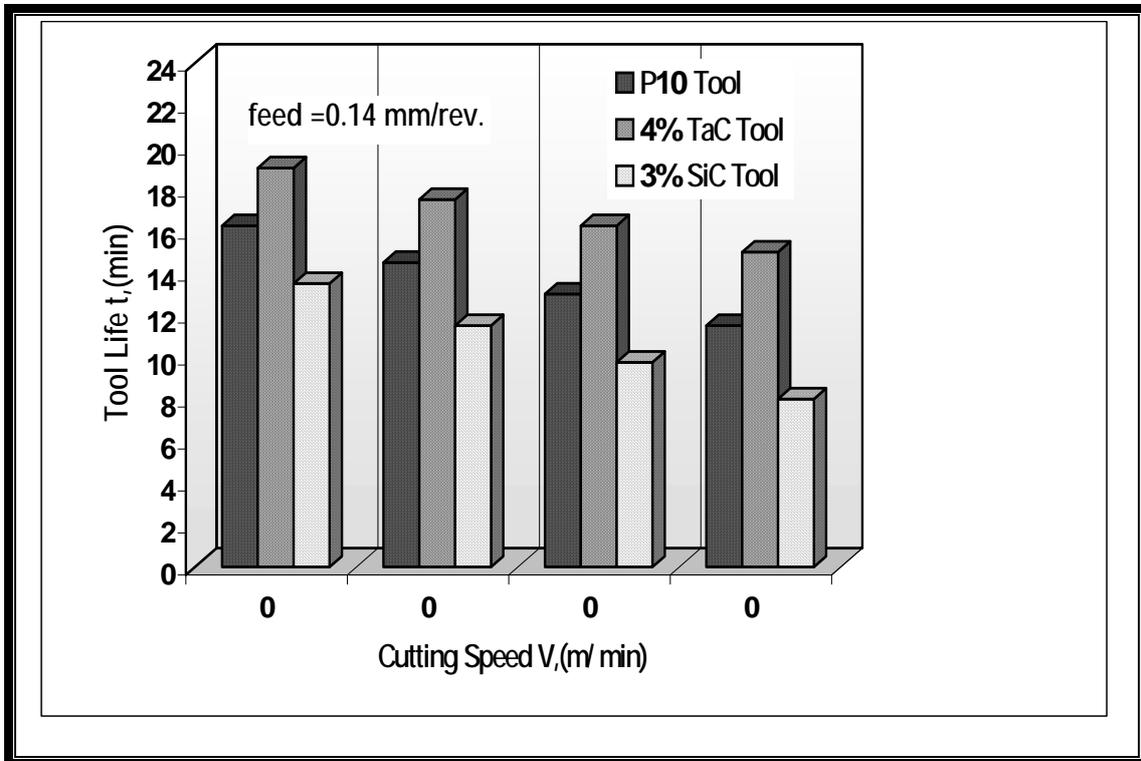
الشكل رقم (5-47): العلاقة بين سرعة القطع وعمر العدد ذات الرمز (3 % SiC)



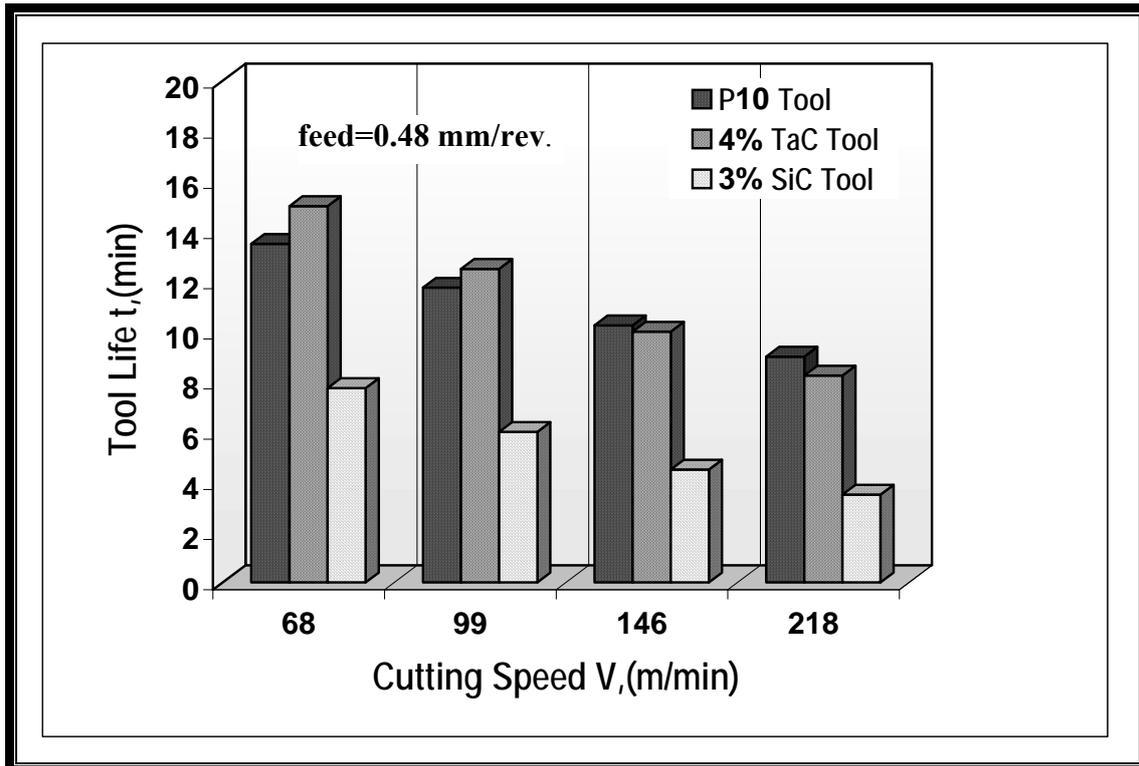
الشكل رقم (5-48): العلاقة بين سرعة القطع وعمر العدد (3 % SiC, 4 % TaC, P10) لمعدل التغذية (0.14 mm/rev.)



الشكل رقم (5-49): العلاقة بين سرعة القطع وعمر العدد (3 % SiC, 4 %TaC, P10) لمعدل التغذية (0.48 mm/rev.).



الشكل (5-50): العلاقة الاحصائية بين سرعة القطع وعمر العدد (3 % SiC, 4 %TaC, P10) لمعدل التغذية (0.14 mm/rev.).



الشكل (5-51): العلاقة الاحصائية بين سرعة القطع وعمر العدد (3 % SiC, 4 % TaC, P10) لمعدل التغذية (0.48 mm/rev.).

الفصل السادس

الإنتاجات والتوصيات

6.1- مقدمة

باستدراج ما ورد في الفصول السابقة ومعاينة التجارب المُجرأة لدراسة بعض المتغيرات المهمة المتعلقة بتصنيع العدد الكربيدية باعتماد تقنية المساحيق ، ومعاينة الفحوص الفيزيائية والمجهربة والاختبارات الميكانيكية المجرية للنماذج المصنعة لغرض تحديد ودراسة تأثير هذه المتغيرات على الخواص النهائية وتحديد مدى فائدة وعدم فائدة البحث الحالي، فإنه يستنتج نوعين من الإنتاجات وهما المستحصلة بعد دراسة المتغيرات المتعلقة بتقنية المساحيق ، والمستحصلة بعد تقييم أداء العدد وتقدير عمرها .

6.2 - الإنتاجات

1. أن إضافة مسحوق كاربيد التنتالوم يؤدي إلى زيادة قيم الكثافة والصلادة وزيادة طردية.
2. سجلت أعلى قيمة للصلادة عند اضافة نسبة (3%) من مسحوق كاربيد السليكون ثم تنخفض الصلادة مع زيادة نسب الإضافة.
3. تُعد اضافة مسحوق أو كسيد الألمنيوم ليست ذي فائدة في مثل هذه الظروف المتبعة من الضغط والحرارة .
4. تعمل إضافة مسحوق كاربيد التنتكستن على زيادة كثافة وصلادة العدد النهائية وزيادة طردية.
5. تتحسن صلادة العدد الكربيدية مع إنقاص الحجم الحبيبي للمزيج الداخل في تركيبها.
6. أداء القطع (Cutting Performance) للعدد ذات الرمز (4% TaC) افضل منها بالنسبة للعدد ذوات الرمز (P10) و(3% SiC)
7. العدد ذات الرمز (4% TaC) تكون مقاومتها للبلية اعلى وذات انجاز سطحي جيد نسبةً الى العدد ذوات الرمز (P10) و(3% SiC) لجميع ظروف التشغيل المعتمدة.
8. عمر الاداة يتراوح بين (11.5-16.25min) للعدد (P10) لسرع القطع (68-218 m/min) ومعدل التغذية (0.14 mm/rev) وعمق قطع (0.5 mm)، وبين (8-13.5 min) للعدد ذات الرمز (3% SiC) عند نفس الظروف ،وبين (15-19 min) للعدد ذات الرمز (4% TaC) وهي الاطول عمراً نسبةً للعدد اعلاه .

٩. عمر الاداة يتراوح بين (9-13.5min) للعدد (P10) لسرع القطع (68-218 m/min) ومعدل التغذية (0.48 mm/rev) وعمق قطع (0.5 mm)، وبين (3.5-7.75 min) للعدد ذات الرمز (3% SiC) عند نفس الظروف، وبين (8.25-15 min) للعدد ذات الرمز (4% TaC) وهي الاطول عمراً نسبةً للعدد اعلاه .

6.٣- التوصيات

١. محاولة استخدام مسحوق كاربيد السليكون بحجم دقائق اقل من المايكرون ومعرفة تأثيره على خواص النماذج الخضراء والنهائية .
٢. اعادة نفس التجارب والاختبارات بعد زيادة درجة حرارة التلييد الى (1500 C°) ولنفس زمن التلييد.
٣. محاولة استبدال مسحوق (SiC) او (Al₂O₃) مكان مسحوق (WC) ودراسة تأثير ذلك على الخواص النهائية .
٤. محاولة اجراء معاملة حرارية للعدد النهائية الناتجة بعد التلييد والمصنعة من المزيج الاساسي بعد اضافة المساحيق الجديدة اليه محاولة لتجانس الكثافات وزيادة الصلادة.
٥. دراسة الية البلى للعدد المعتمدة او على الاقل مراقبة كيفية انتقال جزيئات (SiC) من العدة الى سطح المشغولة.

المصادر

- 1- George, Jr. Schneider, "Cutting Tool Application", Nelson Publishing, Inc, OH, 2001.
- 2- "Metals Handbook", Vol.7, 3rd Printing, ASM International Metals Park, OH, USA , 1988.
- 3- Trent, E.M., "Metal Cutting", Second edition, Butterworths & Co. Pub. , Great Britain, 1984.
- 4- DR. Ranganath, B.J., "Metal Cutting and Tool Design", B.J. Ranganath Pub., India, 1993.
- 5- Kenneth, JA. Brookes , "World Directory & Handbook of Hard Metals", Fourth edition, Pub. by International Carbide Data, 1987.
- 6- Anil, K. Sinha , "Powder Metallurgy", 2nd edition, J.C. Kapur , india, (1987).
- 7- د.محمد التورنجي ، د.ضياء شنشل، "قطع المعادن"، وزارة التعليم العالي، العراق 1990.
- 8- د.قحطان الخزرجي، "ميتالورجيا المساحيق"، وزارة التعليم العالي، العراق، 1997 .
- 9- Sheppard, T. & Mcshane , H.B., "Strength of Cold-Pressed Compacts", Powder Metallurgy, No.3 1980 , Page (120-125).
- 10- In-Hyung, Moon and Jin-Sung, Choi , "Dependence of Green Strength on Contact Area between Powder Particles for Spherical Copper Powder Compacts", Powder Metallurgy, Vol.28, No.1, 1985, Page (21-26).
- 11- Y. Lia and et al , "Compacting Characteristics of Aluminium, Copper and Graphite Powder Mixtures", Powder Metallurgy International, Vol.22 , No.2, 1990.
- 12- Jaffery , .D and et al, "Co-WC Pseudo binary Eutectic Reaction", Powder Metallurgy, 1980, No.3.
- 13- باسم محمد النجار، " تصنيع المواد المترابطة السيراميكية بتقنية الترابط التفاعلي"، رسالة ماجستير ، هندسة الانتاج والمعادن ، الجامعة التكنولوجية ، العراق ١٩٩٦.

- 14- Low -Cost Synthesis and Consolidation of Titanium Carbide, Office of Industrial Technologies, U.S. Department of Energy, USA, (Internet Explorer), 2001.
- 15-Ronald G. Munro,” Materials Properties of Titanium Diboride”, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol.105, No.5, September-October 2000.
- 16- Standard Test Method for Transverse Rupture Strength of Cemented Carbide, B528, Annual Book of ASTM Standard, Vol.02.05, ASTM Philadelphia , 1989, P.P.(354-357).
- 17- “Metals Handbook”, Vol.9, 3rd Printing, ASM International, USA, 1988.
- 18-Standard Method of Metallographic Determination of Microstructure in Cemented Carbide, B657, Annual Book of ASTM Standard, Vol.02.05, ASTM Philadelphia , 1989, P.P.(555-559).
- 19-Standard Method for Apparent Porosity in Cemented Carbide, B276, Vol.02.05, 1989P.P.(109-113).
- 20- M. C. Shaw , "Metal Cutting Principles", 1st edition, (Oxford Univ. Press, Oxford), 1986.
- 21- Donaldson and L. Goold , " Tool Design", MC-Graw-Hill, New York , 1973.
- 22- Nidal, D. Al-Nimri , ”The Cutting Performance of Carbide Tools”, M.SC. Thesis , Baghdad University, 1994.
- 23- ISO- 3685 ” Tool Life Testing with Single Point Turning Tools”,1977 (International Standardization Organization).
- 24- B. G. Deepak and P. F. Woerner,” Coatings for Cutting Tools”, Journal of Metals, February,1986, page (68-70).
- 25- M. Alauddin and et al ,” Tool-Life testing in the End Milling of Inconel 718”, J. Materials Processing Technology 55 (1995) 321-330.

- 26-E. Lardner, "Alloy Systems and Processes in Cemented Carbide production", *Metals Technology*, May-June, 1976, page (237-245).
- 27- Kamanduri, R. and W.R. Reed jr., "Evaluation of Carbide Grade and a New Cutting Geometry for Machining Titanium Alloys", *Wear*, 92 (1983), P.P. (113-123).
- 28-Larsen, J. Basse , "Effect of Composition, Microstructure, and service Condition on the Wear of Cemented Carbide", *Journal of Metals*, November, 1983, page (35-42).
- 29- J. L. Chermant and et al , "Factors Influencing the Rupture Stress of Hard Metals", *Powder Metallurgy*, No.2, 1977, page (63-69).
- 30- E. M. Uygur , "Production of Cemented Carbide Grade by Induction Carburization and Sintering", *pmi*, Vol.16, No.5, 1984 .
- 31-Ch. Chatfield, "The influence of Carbide Grain Size on the Hot-Hardness of Poly Crystalline Tungsten Carbide and Wc- Co Cemented Carbide", *pmi*, Vol.17, No.3, 1985 .
- 32- A. Kulmburg and F. Zeman, "Influence of Carbon Content on WC-TiC- (Ta,Nb)C Cemented Carbide", *Powder Metallurgy*, No.4, 1981 .
- 33- A.J. Perry, "The Refractories HfC and HfN- A survey, III/ Cemented Carbides and Coatings", *pmi*, Vol.19, No.6, 1987.
- 34- M. Hellsing, "High Resolution Micro Analysis of Binder Phase in a Sintered WC- Co Cemented Carbide", *J. Materials Science & Technology*, Vol.4, No.9, Sep. 1988.
- 35- A.V. Shatov and et al , "The Shape of WC Crystals in Cemented Carbides", *Materials Science and Engineering*, A242 (1998), 7-14.
- 36- Adam, J. Schwartz and et al, "The Effects of Tungsten Addition on the Microstructure and Mechanical behavior of Tantalum Plate", *Materials Science & Engineering*, A244, (1998), 178-190 .
- 37- I. Konyashin and et al, "Cemented Carbide with Uniform Microstructure", *Zeitschrift fur Metallkunde*, 90 (6): 403-406, 1999 Jun.

38- I. Seung and et al, "Microstructure and Mechanical Properties of nano Crystalline WC- 10Co Cemented Carbide", Scripta Mater. 44 (2001) 1535-1539.

39- J. W. Lee and et al, "Influence of Process Variables on Sintering of WC- 25wt%Co", Powder Metallurgy, No.2, 1980, page (57-64).

40- J. Tengzelius and C.A. Blande , "High Temp. Sintering of PM Steels", pmi , Vol.16, No.3, 1984.

41-J.W. Kim and et al, "Effect of Sintering Temp. and Pressure on Sintered and Friction Properties of a Cu base Friction Material", pmi, Vol.20, No.3, 1988.

42- M.C. Shaw , "Fracture of Metal Cutting Tools" ,Annals of the CIRP, Vol.28, No.1,1979, page (19-21).

43- K.L. Chopra and et al, "Surface Metallurgy of Cemented Carbide Tools", Wear,87,(1983)1-8.

44- G.J. Tennenhouse and F.D. Runkle , "The Effects of Oxygen on the Wear of Tungsten-Carbide based Materials", Wear,118(1987) 365-375.

٤٥- خالد احمد عبد ، " تأثير نوع الخروج على عمر الأداة في عمليات الخراطة غير المستمرة" ، رسالة ماجستير ، قسم هندسة الإنتاج والمعادن ، الجامعة التكنولوجية ، بغداد ، أيلول ، ١٩٩٣ .

٤٦- د.محمد جواد التورنجي وجماعته ، " تحديد القيم المثلى لظروف القطع للوصول الى اقل التكاليف في تشغيل الصلب المسبوك " ، الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد ١٦ ، العدد ٨ ، ١٩٩٧ .

47- Patrick Byrne , "Turning, Milling and Grinding Processes", Arnold Publishing, 1996, P.P.10-13.

٤٨- د.محمد جواد التورنجي وبشتوان محمد كريم ، " تأثير التماس الاولي على عمر الأداة في عملية الخراطة غير المستمرة" ، الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد ١٦ ، العدد ٩ ، ١٩٩٧ .

49-K. Maekawa and H. Ohhata, "Simulation Analysis of Three-Dimensional Continuous Chip Formation Processes 2-Influence of Tool Geometry in Turning high Manganese Steel.", Int. J. Japan Society for Precision Engineering, 31(2):97-102, 1997, June.

٥٠- د.محمد جواد التورنجي ، "تكسر العدد الكاربيدية في عمليات القطع غير المستمرة " ،
الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد ١٨ ، العدد ٤ ، ١٩٩٩ .

51-H. G. Prengel and et al ,”State of the Art in Hard Coating for Carbide Cutting Tools”, Surface and Coating Technology, 102(1998), 183-190.

52- P. A. Dearnley and E. M. Trent,” Wear Mechanisms of Coated Carbide Tools”, Metals Technology, February, Vol.9, 1982, page (60-75).

53- Cho. Toshiaki and et al,”Relationship between Metal Cutting Performance and Material Properties of TiC-Coated Cemented Carbide Cutting Tools”, Surface and Coatings Technology , 29(1986) 239-246.

54- P. A. Dearnley ,”Machining Ferrous Materials with Carbides Coated by Chemical Vapour Deposition, I-Interfacial Conditions”, Surface and Coatings Technology , 29(1986) 157-177.

55- J. Audy and et al ,”The Efficiency of un Coated and Coated Tool Systems in the Machining of Low Carbon Steel assessed through Cutting Force Measurements “, Surface and Coatings Technology , 77(1-3) : 706-711,1995 Dec.

56-Sandvik Catalogue , Basic Data of Cemented Carbide Grade, 89/90 Sandvik Company, Sandvik, Sweden.

57-Zhuzhou Cemented Carbide Imp.& Exp. Company, Zhuzhou Hunan China / E-mail : zccc@mail.zz.hh.cn, Cutting Tool Brazed Tips.

58- Sandvik (Coromant) Catalogue. Coromant Turning Tools, 93/94, AB Sandvik, Sweden .

59-Standard Test Method for Apparent Density of Free-Flowing Metal Powders, B212, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 02.05, ASTM Philadelphia, USA, 1989.

60- Standard Test Method for Tap Density of Powders of Refractory Metals and Compounds by Tap-Pak Volumeter, B527-85, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 02.05, ASTM Philadelphia, 1989.

61- Standard Test Method for Measuring Dimensional Change of Metal Powder Specimens due to Sintering, B610-85, Annual Book of ASTM Standard, Vol.02.05. ASTM Philadelphia, 1989.

62- J. Whitehead and T.F. page,” Fabrication and Characterization of some Novel Reaction-Bonded Silicon Carbide Material.”, Journal of Material Science , Vol. 27, (1992), P.P. 839-852 .

63-M. Lafer and et al, “Influence of Alumina Inclusions on the Densification of Super Alloy Powder.”, pmi, Vol.25, No.1, 1993 (23-27) .

64-I. A. Choudhury and M. A. El-Baradie ,”Machining Nickel base Super alloys : Inconel 718”, Proc Instn Mech Engrs, Vol. 212, part B, 1998.

الملحق (A): التطورات التاريخية للكاربيدات المسمّنة^[3]

انتاج كاربيد التتستن- الكوبلت (WC- Co).	١٩٢٣ – ١٩٢٥
انتاج كاربيد التتستن- كاربيد التيتانيوم- الكوبلت (WC-TiC-Co).	١٩٢٩-١٩٣١
انتاج كاربيد التتستن- كاربيد التنتالوم(الفناديوم،النيوبيوم)- الكوبلت (WC-TaC(VC, NbC)- Co).	١٩٣٠-١٩٣١
انتاج كاربيد التتستن- كاربيد التيتانيوم-كاربيد التنتالوم(النيوبيوم)- الكوبلت (WC- TiC- TaC(NbC)- Co).	١٩٣٣
انتاج كاربيد التتستن- كاربيد الكروم- كوبلت (WC- Cr ₃ C ₂ - Co).	١٩٣٨
انتاج كاربيد التتستن- كاربيد التيتانيوم- كاربيد التنتالوم(النيوبيوم)- كاربيد الكروم- الكوبلت (WC- TiC- TaC(NbC)- Cr ₃ C ₂ - Co).	١٩٥٦
انتاج كاربيد التتستن- كاربيد التيتانيوم- كاربيد الهافنيوم- كوبلت (WC- TiC- HfC- Co)	١٩٥٩
انتاج كاربيد التتستن- كاربيد التيتانيوم- كاربيد التنتالوم(النيوبيوم)- الهافنيوم - كوبلت (WC- TiC-)	١٩٦٨-١٩٦٩
(TaC(NbC)- HfC- Co)	كاربيد
طلاء السبائك ذات اساس كاربيد التتستن بطبقات (Al ₂ O ₃ ,HfN ,HfC ,TiCN ,TiN,TiC)	١٩٦٥-١٩٧٨
انتاج (WC- Co) بحجوم حبيبية دون المايكرون (submicron)	١٩٦٧-١٩٧٠
انتاج الكاربيدات بتقنية المساحيق وباعتماد التشكيل بالضغط الحار الى جميع الاتجاهات (Hot-Isostatic Pressing)	١٩٦٥-١٩٧٥
تصليد سطح الكاربيدات باستخدام الطريقة الترموكيميائية (Thermo chemical)	١٩٦٩-١٩٧١
طلاء الكاربيدات بطبقة من الماس الاحادي الذرة (Poly Crystalline Diamond)	١٩٧٤-١٩٧٧
طلاء الكاربيدات بطبقات متعددة من كاربيدات ونتريدات وكاربونتريدات المعادن.	١٩٧٣-١٩٧٨
انتاج الكاربيدات المعقدة باضافة الروثنيوم (ruthenium- Ru).	١٩٧٦-١٩٧٩

(Aluminium Oxynitride- AlON)

الملحق (B): نتائج تغير نسب المساحيق الاساسية المكونة للخلطة الاساسية (P10) على خواص النماذج الجديدة.

رمز الخلطة	نسب المساحيق (%)			الخواص المفحوصة		
	Co	WC	TiWC	Bulk-Density (g/cm ³)	Shrinkage (g/cm ³)	Hardness (HRA)
P10*	٦	٦٢	٣٢	٩,٧٧	١٣,٤٣	٧٤,٥
P10 B*	٧,٥	٦٧,٥	٢٥	١٠,٦٦	١٤,٣	٧٧,٥
P10 C*	٩	٧٧	١٤	١١,٣٤	١٦,٨	٨٥

الملحق (C): نتائج تصغير الحجم الجيبي لمزيج الخلطة الاساسية (P10)

رمز الخلطة	Grain Size (μm)	Surface Area (cm ² /cm ³)	Bulk Density (g/cm ³)	Hardness (HRA)	Hardness (HV 100g)
P10	5.78	12448	11.7	82.5	961
P10 I	4.64	16542	11.85	84	1023
P10 II	4.2	17328	11.98	85	1090

الملحق (D)
نتائج تقييم أداء القطع للعدد الكاربيدية المصنعة في البحث

جدول رقم (1)
البرنامج العملي المعتمد في تقييم أداء العدة

D · O · C	Work piece material	Tool material	Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/ rev.)									
				0.14		0.22		0.36		0.48			
				N. W	S.R	N. W	S.R	N. W	S.R	N. W	S.R		
D E P T H O F C U T = 0. 5 m m	S T E E L C K I 45	P10	68										
			99										
			146										
			218										
		4% TaC	68										
			99										
			146										
			218										
	3% SiC	68											
		99											
		146											
		218											

(D) الملحق					
الجدول رقم (٢): نتائج فحص البلى (mm)(Nose wear)					
Tool material	Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)			
		٠,١٤	0.22	0.36	0.48
P10	68	0.185	0.196	0.211	0.221
	99	0.2	0.215	0.223	0.242
	146	0.215	0.228	0.247	0.267
	218	0.232	0.25	0.268	0.29
4% TaC	68	0.132	0.165	0.175	0.189
	99	0.161	0.185	0.2	0.218
	146	0.188	0.2	0.217	0.244
	218	0.205	0.221	0.24	0.271
3% SiC	68	0.202	0.251	0.268	0.29
	99	0.227	0.29	0.31	0.314
	146	0.256	0.325	0.34	0.347
	218	0.295	0.348	0.375	0.39

الملحق (D)					
الجدول رقم (3): نتائج فحص الخشونة السطحية (Surface Roughness-Ra(μm))					
Tool material	Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)			
		0.14	0.22	0.36	0.48
PI0	68	3.95	5.3	7.2	9.9
	99	3.5	4.7	6.25	9.4
	146	3.25	3.8	5.5	8.9
	218	2.9	3.3	5	8.3
4% TaC	68	3.25	3.6	4.6	8
	99	2.9	3.2	4.15	7.2
	146	2.35	2.9	3.3	6.1
	218	2	2.5	3.05	5.2
3% SiC	68	5.7	6.8	7.8	11.1
	99	5.4	5.6	6.6	10.2
	146	5.1	5.3	5.9	9.2
	218	4.3	4.8	5.2	8.65

الملحق (E): نتائج تقدير عمر العدد الكاربيدية المصنعة

جدول رقم (1): البرنامج العملي المتبع في تقدير عمر العدد الكاربيدية

Tool material	Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	
		0.14	0.48
PI0	68		
	99		
	146		
	218		
4% TaC	68		
	99		
	146		
	218		
3% SiC	68		
	99		
	146		
	218		

جدول رقم (٢): نتائج تقدير عمر العدد الكربيدية

Tool Material	Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	
		0.14	0.48
PI0	68	16.25	13.5
	99	14.5	11.75
	146	13	10.25
	218	11.5	9
4%TaC	68	19	15
	99	17.5	12.5
	146	16.25	10
	218	15	8.25
3%SiC	68	13.5	7.75
	99	11.5	6
	146	9.75	4.5
	218	8	3.5

Abstract

Cutting tools are playing the basic rules in machining operations to produce different industrial parts .Hence much works had been done to improve the properties of the tools , especially the carbide tools . These works are concerned with: variables related to the properties of the powders ,from which the tools are composed ,such as the grain size and their distribution ; the chemical composition of powders and their percentage ;variables of tools fabrication, such as mixing , compacting pressure , temperature and time of sintering.

This investigation is aimed to improve the carbide tips by: studying the effect of new powders addition to the composition of the carbide tips; studying the effect of refining the grain size of the powders used to produce the carbide tips; studying the variables related to the tools fabrication: compacting pressure and sintering temperature; also by studying the effect of changing the percentage of the components of the carbide tips.

In the present study , a basic mixture was prepared , this mixture contains (WC,Ti-WC,Co) with weight percentage (62%, 32%, 6%) respectively . this mixture was used to form the main samples with different compacting pressure , and its sintered with two different temperatures to study the effect of compacting pressure and sintering temperature on final properties of tools and to choose the best values for them to prepare the other samples . the effect of adding different weight percentage (1%, 3%, 5%, 7%) of new powders (TaC, SiC, Al₂O₃) , and adding different weight percentage(4%, 8%, 12%) of (WC) powder to the basic mixture was studied. Also the effect increasing (WC, Co) powders and decreasing (Ti-WC) powder in the basic mixture was studied.

All samples were evaluated by microstructure and physical tests, such as bulk-density, green-density, shrinkage test and optical microscopy test, mechanical tests, such as macro and micro hardness, transverse rupture strength and tool performance test. The results show that , the tools with an addition of (4% TaC) are the better and the longer life relative to other tools, and the tools with an addition of (3% SiC) are the worst and the shorter life relative to other tools for all cutting speeds and all feed rates.

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
And Scientific Research



Studying of the effect of physical and Mechanical Properties of Carbide Tools

A Thesis

Submitted to the College of Engineering
of the University of Babylon in Partial
Requirements of the Fulfillment
for the Degree of Master
of Science in Materials
Engineering

By

MUSHTAQ TALIB ALI

Supervised by

PROF. DR. KAHATAN AL-KHAZRAJI
ASST. PROF. DR. HAIDER AL-ATHARI

Rajab 1424

September 2003