



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة تكريت / كلية الهندسة
قسم الهندسة الميكانيكية

دراسة تأثير متغيرات ميتالورجيا المساحيق على الخواص الميكانيكية والميتالورجية لمتراكبات النحاس – كرافيت

رسالة تقدم بها الطالب

سيف صباح أرحيم مرزوك العلكاوي

الى

مجلس كلية الهندسة – جامعة تكريت

وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الهندسة الميكانيكية

تخصص هندسة انتاج ومعادن

بإشراف

أ.م.د. فاروق منصور مهدي **أ.م.د. رائد نجيب رزوقي**

آب 2013 م

شوال 1434 هـ

إقرار المشرف

نشهد أنّ إعداد هذه الرسالة الموسومة ” **دراسة تأثير متغيرات ميتالورجيا المساحيق على الخواص الميكانيكية والميتالورجية لمتراكبات النحاس - كرافيت** ” قد جرى تحت إشرافنا في قسم الهندسة الميكانيكية / كلية الهندسة / جامعة تكريت، وهي جزء من متطلبات نيل شهادة ماجستير في علوم الهندسة الميكانيكية .

التوقيع :

الاسم : أ.م.د. رائد نجيب رزوقي

التاريخ : 2013/ /

التوقيع :

الاسم : أ.م.د. فاروق منصور مهدي

التاريخ : 2013/ /

إقرار رئيس القسم

بناءً على التوصيات التي قدمها رئيس لجنة الدراسات العليا ، أُرشح هذه الرسالة للمناقشة .

التوقيع :

الاسم : م.د. حازم خليل خلف

التاريخ : 2013/ /

قرار لجنة المناقشة

نشهد نحن اعضاء لجنة المناقشة أننا قد اطلعنا على الرسالة الموسومة ((دراسة تأثير متغيرات ميتالورجيا المساحيق على الخواص الميكانيكية والميتالورجية لمتراكبات النحاس - كرافيت)) وناقشنا الطالب ((سيف صباح ارحيم)) في محتوياتها وفيما له علاقة بها وأوصينا بأنها جديرة بالقبول لنيل درجة ماجستير علوم في الهندسة الميكانيكية - تخصص أنتاج ومعادن.

أ.م.د. مصطفى احمد رجب
(رئيس اللجنة)
2013/ /

م.د. نجيب سلمان عبطان
(عضواً)
2013/ /

أ.م.د. عبد الرحمن نجم عبد
(عضواً)
2013/ /

أ.م.د. رائد نجيب رزوقي
(عضواً ومشرفاً)
2013/ /

أ.م.د. فاروق منصور مهدي
(عضواً ومشرفاً)
2013/ /

مصادقة عمادة كلية الهندسة

نصادق على ما جاء بقرار لجنة المناقشة المشكلة لمناقشة رسالة الطالب ((سيف صباح ارحيم)) الموسومة ((دراسة تأثير متغيرات ميتالورجيا المساحيق على الخواص الميكانيكية والميتالورجية لمتراكبات النحاس - كرافيت)).

أ.م.د. مازن برهان الدين عبد الرحمن
عميد كلية الهندسة
2013/ /

الخلاصة

تعد متراكبات النحاس - كرافيت من أهم المتراكبات المستخدمة في الكثير من التطبيقات الهندسية المهمة مثل الفرش والقواطع الكهربائية والمحامل (الركائز) الانزلاقية والمحامل ذاتية التزييت لما تتميز به من موصلية حرارية وكهربائية ممتازة علاوة على الخصائص الترابيولوجية الجيدة بفعل وجود الكرافيت الذي يعد كمزيت صلب (Solid Lubricant).

يهدف البحث الى تحضير متراكبات النحاس - كرافيت بتقانة ميتالورجيا المساحيق ودراسة تأثير محتوى الكرافيت وزمن الطحن على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمتراكبات. تم استخدام مسحوق النحاس بنقاوة (99.7%) وحجم جسيمات ($63 \mu\text{m} \geq$) ومسحوق الكرافيت بنقاوة (99.8%) وحجم جسيمات ($63 \mu\text{m} \geq$). أضيف الكرافيت بنسب حجمية هي (5,10,15,20,25) % ثم طحن المزيج في خلاط ميكانيكي باستخدام كرات فولاذية بقطر (10) ملم لمدة (1,3,5,7,9) ساعة. كبس المزيج على البارد من اتجاه واحد بضغط (700 MPa) لمدة (30) ثانية وأجري التلييد عند درجة حرارة (900°C) لمدة ساعة واحدة.

اظهرت نتائج البحث ان كل من الكثافة الحجمية والكثافة الظاهرية تقل بزيادة محتوى الكرافيت وزمن الطحن فمثلاً تنخفض الكثافة الحجمية بنسبة (32.88%) بزيادة محتوى الكرافيت من (0%) الى (25%) عند زمن طحن (1) ساعة. أما المسامية الحقيقية والظاهرية فقد ازدادت بزيادة كل من محتوى الكرافيت وزمن الطحن إذ ازدادت المسامية الحقيقية على سبيل المثال بنسبة (68.16%) بزيادة محتوى الكرافيت من (0%) الى (25%) عند زمن طحن (9) ساعة. تتناسب قابلية امتصاص الماء طردياً مع المسامية. وتقل التوصيلية الحرارية للمتراكب بزيادة كل من محتوى الكرافيت وزمن الطحن نتيجة لزيادة نسبة المسامية بزيادة هذين العاملين فمثلاً تنخفض التوصيلية الحرارية بنسبة (47.93%) بزيادة محتوى الكرافيت من (0%) الى (25%) عند زمن طحن (1) ساعة.

تبين من خلال نتائج الدراسة وجود علاقة طردية بين كل من صلادة برينل ومقاومة الانضغاط مع زيادة زمن الطحن فمثلاً تزداد صلادة برينل بنسبة (21.52%) عند زيادة زمن الطحن من (1) الى (9) ساعة عند محتوى كرافيت قدره (15%) بينما تزداد مقاومة الانضغاط بنسبة (19.2%) عند زيادة زمن الطحن من (1) الى (9) ساعة عند محتوى كرافيت قدره (15%). وجد أن الصلادة البرينيلية تزداد بزيادة محتوى الكرافيت حتى تصل الى أقصاها عند (15%) ثم تقل تدريجياً مع أية زيادة إضافية في محتوى الكرافيت. على الجانب الاخر وجد ان مقاومة الانضغاط تنخفض بحددة مع اية زيادة في نسبة الكرافيت فقد وجد على سبيل المثال ان

هذه المقاومة تقل بنسبة (74.74 %) عند زيادة نسبة الكرافيت من (0 %) الى (25 %) عند زمن طحن قدره ساعة واحدة .

ينخفض حجم البلى ومعامل الاحتكاك بزيادة محتوى الكرافيت ولجميع الحالات فمثلاً ينخفض حجم البلى بنسبة (80.58 %) بزيادة محتوى الكرافيت من (0 %) الى (25 %) عند زمن طحن (1) ساعة بينما ينخفض معامل الاحتكاك بنسبة (78 %) عند نفس تلك الظروف. وإن زيادة زمن الطحن تعمل على خفض حجم البلى وزيادة معامل الاحتكاك للمتراكب بكافة نسبه بينما يسلك النحاس النقي سلوكاً مغايراً إذ إن زيادة زمن الطحن تعمل على تقليل معامل الاحتكاك وزيادة حجم البلى فيه.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَأَنْ لَّيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَى ﴿٣٩﴾ وَأَنَّ

سَعِيهِدُ سَوْفَ يُرَى ﴿٤٠﴾ ثُمَّ يُجْزَاهُ الْجَزَاءَ

الْأَوْفَى ﴿٤١﴾ وَأَنَّ إِلَىٰ رَبِّكَ الْمُنْتَهَى ﴿٤٢﴾ ﴾

بِسْمِ اللَّهِ
الْعَظِيمِ

(النجم: الآيات 39 - 42)

الإهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ﴾

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إلهي لا يطيب الليل إلا بشركك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك .. ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك .. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك .. ولا تطيب الجنة إلا برويتك

الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين ..

سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى من كلفه الله بالهيبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من أحمل اسمه بكل افتخار .. أرجو من الله أن يمد في عمرك لتري ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوم أهندي بها اليوم وفي الغد وإلى .. الأبد ..

والذي العزيز

إلى ملاكي في الحياة .. إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني .. إلى بسمة الحياة وسر الوجود

إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبايب

أمي الحبيبة

.. إلى شمعة متقدة تنير ظلمة حياتي .. إلى من بوجودها أكتسب قوة لا حدود لها .. إلى من عرفت معها معنى الحياة

زوجتي

شكر وتقدير

الحمد لله الذي لا اله الا هو المتوحد بالجلال بكمال الجمال تعظيماً وتكبيراً
قيوم السموات والأرض مدبر الخلائق أجمعين الذي أنعم علينا بنعمة العلم والدين ،
والصلاة والسلام على من لا نبي من بعده خير الخلائق وعلى آله وصحبه ومن
اهتدى بهديه الى يوم الدين وبعد .

يسرني وقد أنهيت إعداد رسالتي هذه أن أقدم شكري وتقديري وامتناني إلى
أستاذي الفاضلين (**الأستاذ المساعد الدكتور فاروق منصور مهدي**) و
(**الأستاذ المساعد الدكتور رائد نجيب رزوقي**) لاقتراحهما موضوع البحث
وابداء توجيهاتهما السديدة طوال مدة البحث ، ولما قدماه لي من مساعدة ومتابعة من
أجل إنجاز هذه الرسالة فجزاهم الله عني خير الجزاء.

وأقدم بشكري وامتناني إلى عمادة كلية الهندسة وقسم الهندسة الميكانيكية
لإتاحتهم الفرصة لي لإكمال دراستي هذه والى السادة أعضاء لجنة الدراسات العليا
الذين كان لهم الفضل في تذليل المصاعب التي واجهتني، والى جميع تدريسيي القسم
ومنتسبيه وأخص منهم بالذكر المدرس المساعد سعد رمضان احمد والمدرس المساعد
محمد مهنا متعب والمدرس المساعد اسماعيل محسن علي.

ولا يفوتني أن أشكر جميع زملائي طلبة الدراسات العليا لمساعدتهم المعنوية
المتبادلة التي جعلت من مرحلة البحث مدة غنية بتبادل المصادر والمعلومات وأخص
منهم بالذكر زملائي بهذا الدرب هاشم شكر حمود وعبد القادر احمد عاز .

وختاماً أود أن أبين بأنني حاولت ما في وسعي من جهد وطاقه وثابرت
بإخلاص لكي أصل في ميداني هذا إلى مصاف الأبحاث العلمية الرصينة وما يرضي
ضميري وآمال أساتذتي متخذاً من فحوى الحديث الشريف (ان الله يحب إذا عمل
أحدكم عملاً أن يتقنه) عنواناً لمنهجي ونصباً شامخاً أمام بصري على أنني لا أدعي
بأنني قد بلغت في ذلك الغاية المنتهية والكمال ، فإن أخطأت فحسبي أنني حاولت
فالكمال لله وحده وما أنا إلا بشرٌ وجلٌ من لا يخطئ .

الباحث

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	ت
الفصل الاول : التمهيد والدراسات السابقة		
1	المقدمة	1.1
2	نبذة تاريخية	2.1
4	المواد الاولية المستخدمة في البحث الحالي	3.1
4	النحاس	1.3.1
4	تطبيقات النحاس	1.1.3.1
5	الكرافيت	2.3.1
7	تطبيقات الكرافيت	1.2.3.1
7	الهدف من الدراسة	4.1
7	آفاق الدراسة	5.1
7	الدراسات السابقة	6.1
الفصل الثاني : الجانب النظري		
24	المقدمة	1.2
24	المواد المترابكة	2.2
25	تصنيف المواد المترابكة	1.2.2
26	المترابكات ذات الاساس البوليمري	1.1.2.2
27	المترابكات ذات الاساس السيراميكي	2.1.2.2
28	المترابكات ذات الاساس المعدني	3.1.2.2
29	تقانة ميتالورجيا المساحيق	3.2
30	مميزات تقانة ميتالورجيا المساحيق	1.3.2
31	محددات تقانة ميتالورجيا المساحيق	2.3.2
31	تطبيقات تقانة ميتالورجيا المساحيق	3.3.2
31	المحامل ذاتية التزبييت	1.3.3.2
31	المرشحات المعدنية	2.3.3.2

قائمة المحتويات

32	اسلاك المصابيح الكهربائية ولقم اقلام القطع	3.3.3.2
32	تحضير المساحيق	4.3.2
32	المعالجات الميكانيكية	1.4.3.2
33	المعالجات الحرارية	2.4.3.2
34	تصنيف المساحيق	5.3.2
34	التصنيف اعتماداً على حجم الحبيبات	1.5.3.2
34	التصنيف اعتماداً على شكل الحبيبات	2.5.3.2
35	عملية المزج	6.3.2
36	عملية الكبس	7.3.2
38	طرائق كبس المساحيق	1.7.3.2
38	الكبس احادي الاتجاه	1.1.7.3.2
38	الكبس ثنائي الاتجاه	2.1.7.3.2
39	كبس الاشكال المعقدة	3.1.7.3.2
39	الكبس الايزوستاتيكي	4.1.7.3.2
40	الكبس بالبتق	5.1.7.3.2
40	الكبس الساخن	6.1.7.3.2
41	عملية التلييد	8.3.2
42	تصنيف عملية التلييد اعتماداً على نمو وتداخل الجسيمات	1.8.3.2
42	تكوين ونمو العنق	1.1.8.3.2
42	الانتشار	2.1.8.3.2
43	اختفاء الفراغات	3.1.8.3.2
43	تصنيف عملية التلييد نسبة للأطوار	2.8.3.2
44	التلييد في غياب الطور السائل	1.2.8.3.2
44	التلييد في وجود الطور السائل	2.2.8.3.2
45	متراكبات النحاس - كرافيت	4.2
46	الخصائص الميكانيكية والفيزيائية	5.2

قائمة المحتويات

46	الخصائص الميكانيكية	1.5.2
46	الصلادة	1.1.5.2
48	صلادة برينل	1.1.1.5.2
49	البلى	2.1.5.2
49	انواع البلى	1.2.1.5.2
50	البلى الالتصاقي والانزلاقي	1.1.2.1.5.2
51	طرائق قياس البلى	2.2.1.5.2
52	الاحتكاك	3.1.5.2
53	اختبار مقاومة الانضغاط القطرية	4.1.5.2
54	الخصائص الفيزيائية	2.5.2
54	الموصلية الحرارية	1.2.5.2
55	الكثافة	2.2.5.2
56	الكثافة النظرية	1.2.2.5.2
56	الكثافة الظاهرية	2.2.2.5.2
56	الكثافة الحجمية	3.2.2.5.2
57	المسامية	3.2.5.2
58	المسامية الظاهرية	1.3.2.5.2
58	المسامية الحقيقية	2.3.2.5.2
58	قابلية امتصاص الماء	4.2.5.2
59	التحليل بحيود الاشعة السينية	6.2
الفصل الثالث : الجانب العملي		
60	المقدمة	1.3
60	المواد الاولية (المساحيق)	2.3
60	تحضير وفحص النماذج	3.3
62	تحضير المواد الاولية	1.3.3
62	مزج وطحن المساحيق	2.3.3

قائمة المحتويات

63	كبس المساحيق	3.3.3
65	التليد	4.3.3
66	الفحوصات الميكانيكية	5.3.3
66	اختبار الصلادة	1.5.3.3
67	اختبار مقاومة الانضغاط القطرية	2.5.3.3
67	اختبار البلى	3.5.3.3
68	قياس البلى ومعامل الاحتكاك	1.3.5.3.3
69	الفحوصات الفيزيائية	6.3.3
69	الفحص المجهرى	1.6.3.3
70	الموصلية الحرارية	2.6.3.3
71	الكثافة الحجمية والظاهرية والمسامية الحقيقية والظاهرية وقابلية امتصاص الماء	3.6.3.3
71	التحليل بحيود الاشعة السينية	7.3.3
الفصل الرابع : النتائج والمناقشة		
72	المقدمة	1.4
72	تأثير زمن الطحن على شكل وحجم الجسيمات	2.4
75	الخصائص الفيزيائية	3.4
75	الكثافة الحجمية	1.3.4
75	تأثير زمن الطحن على الكثافة الحجمية	1.1.3.4
76	تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على الكثافة الحجمية	2.1.3.4
77	الكثافة الظاهرية	2.3.4
77	تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على الكثافة الظاهرية	1.2.3.4
78	المسامية الحقيقية	3.3.4
78	تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على المسامية الحقيقية	1.3.3.4
80	المسامية الظاهرية	4.3.4

قائمة المحتويات

80	تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على المسامية الظاهرية	1.4.3.4
81	امتصاصية الماء	5.3.4
81	تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على امتصاصية الماء	1.5.3.4
83	الموصلية الحرارية	6.3.4
83	تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على الموصلية الحرارية	1.6.3.4
86	الخصائص الميكانيكية	4.4
86	الصلادة	1.4.4
86	تأثير زمن الطحن على الصلادة	1.1.4.4
90	تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على الصلادة	2.1.4.4
91	مقاومة الانضغاط	2.4.4
91	تأثير زمن الطحن على مقاومة الانضغاط	1.2.4.4
92	تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على مقاومة الانضغاط	2.2.4.4
93	حجم البلى	3.4.4
93	تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على حجم البلى	1.3.4.4
96	معامل الاحتكاك	4.4.4
96	تأثير زمن الطحن على معامل الاحتكاك	1.4.4.4
97	تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على معامل الاحتكاك	2.4.4.4
الفصل الخامس : الاستنتاجات والتوصيات		
98	المقدمة	1.5
98	الاستنتاجات	2.5
98	التوصيات	3.5
100	المصادر	

قائمة الجداول

الصفحة	الموضوع	ت
الفصل الاول : التمهيد والدراسات السابقة		
5	أهم الخصائص الفيزيائية للكرافيت	1.1
6	احجام الجسيمات والخصائص لأصناف الكرافيت	2.1
الفصل الثاني : الجزء النظري		
26	تصنيف المواد المتراكبة وأهم انواع المادة الاساس ومواد التقوية	1.2
28	أهم المتراكبات ذات الاساس المعدني ومواد التقوية وتطبيقاتها	2.2
47	طرائق اختبار الصلادة المختلفة	3.2
الفصل الثالث : الجزء العملي		
60	المساحيق المستعملة في تصنيع نماذج الدراسة الحالية	1.3
62	النسب الحجمية الداخلة في تكوين كل مركب	2.3
62	معلومات عملية طحن المساحيق	3.3
67	خصائص جهاز الصلادة (Proceq Equotip (2))	4.3
69	ظروف اختبار البلى	5.3
71	معلومات انتاج الاشعة السينية	6.3

قائمة الأشكال

الصفحة	الموضوع	ت
الفصل الاول : التمهيد والدراسات السابقة		
1	اطوار التقوية المستخدمة في المواد المتراكبة	1.1
6	التركيب البلوري للكرافيت	2.1
الفصل الثاني : الجزء النظري		
24	مخطط لأنواع المتراكبات تبعاً لطبيعة مواد التقوية	1.2
33	طاحونة ذات كرات	2.2
33	الطاحونة الاسطوانية الافقية الدوارة	3.2
34	الاشكال الشائعة للمساحيق	4.2
36	الخلاط المخروطي المزوج والخلاط بشكل (V)	5.2
36	التغير بالشكل وتوزيع الحجم المسامية خلال عملية كبس المساحيق	6.2
37	المراحل الاربعة الاساسية لعملية الكبس	7.2
39	الكبس من طرف واحد والكبس من طرفين	8.2
44	مراحل عملية التلييد	9.2
45	المخطط الانسيابي لتقانات ميتالورجيا المساحيق	10.2
48	طريقة قياس صلادة برينل	11.2
50	آلية حدوث البلى الالتصاقى	12.2
54	طريقة تسليط الحمل على العينة	13.2
الفصل الثالث : الجزء العملي		
61	المخطط الانسيابي للجانب العملي	1.3
63	طاحونة محلية الصنع لطحن المساحيق	2.2
63	جهاز المطياف اللهبى	3.3
64	مخطط لأبعاد القالب	4.3
65	القالب المستخدم في عملية الكبس	5.3
65	ماكينة الاختبارات الجامعة	6.3

قائمة الأشكال

66	مخطط للحاوية الخزفية ومحتوياتها اثناء عملية التلييد	7.3
68	جهاز قياس البلى وقوة الاحتكاك	8.3
69	منظومة فحص البنية المجهرية والتصوير	9.3
70	جهاز قياس الموصلية الحرارية	10.3
70	حساب قيمة التدرج الحراري $(\Delta T / \Delta X)$	11.3
الفصل الرابع : النتائج والمناقشة		
73	صور مجهرية لمسحوقي النحاس والكرافيت	A.1.4
74	صور مجهرية لمسحوقي النحاس والكرافيت	B.1.4
75	العلاقة بين الكثافة الحجمية وزمن الطحن لنسب كرافيت مختلفة	2.4
76	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والكثافة الحجمية لأزمان طحن مختلفة	3.4
77	العلاقة بين زمن الطحن والكثافة الظاهرية لنسب كرافيت مختلفة	4.4
78	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والكثافة الظاهرية لأزمان طحن مختلفة	5.4
79	العلاقة بين زمن الطحن والمسامية الكلية لنسب كرافيت مختلفة	6.4
79	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والمسامية الكلية لأزمان طحن مختلفة	7.4
80	العلاقة بين زمن الطحن والمسامية الظاهرية لنسب كرافيت مختلفة	8.4
81	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والمسامية الظاهرية لأزمان طحن مختلفة	9.4
82	العلاقة بين زمن الطحن وامتصاصية الماء لنسب كرافيت مختلفة	10.4
82	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت وامتصاصية الماء لأزمان طحن مختلفة	11.4
84	العلاقة بين زمن الطحن والموصلية الحرارية لنسب كرافيت مختلفة	12.4
84	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والموصلية الحرارية لأزمان طحن مختلفة	13.4
85	حيود الاشعة السينية	14.4
87	العلاقة بين زمن الطحن والصلادة لنسب كرافيت مختلفة	15.4
89	البنية المجهرية لمتراكبات النحاس - كرافيت عند أزمان طحن مختلفة	16.4

قائمة الأشكال

91	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والصلادة لأزمان طحن مختلفة	17.4
92	العلاقة بين زمن الطحن ومقاومة الانضغاط لنسب كرافيت مختلفة	18.4
93	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت ومقاومة الانضغاط لأزمان طحن مختلفة	19.4
95	العلاقة بين زمن الطحن وحجم البلى لنسب كرافيت مختلفة	20.4
95	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت وحجم البلى لأزمان طحن مختلفة	21.4
96	العلاقة بين زمن الطحن ومعامل الاحتكاك لنسب كرافيت مختلفة	22.4
97	العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت ومعامل الاحتكاك لأزمان طحن مختلفة	23.4

الفصل الاول

التمهيد والدراسات السابقة

CHAPTER ONE

PREFACE AND LITERATURE

REVIEW

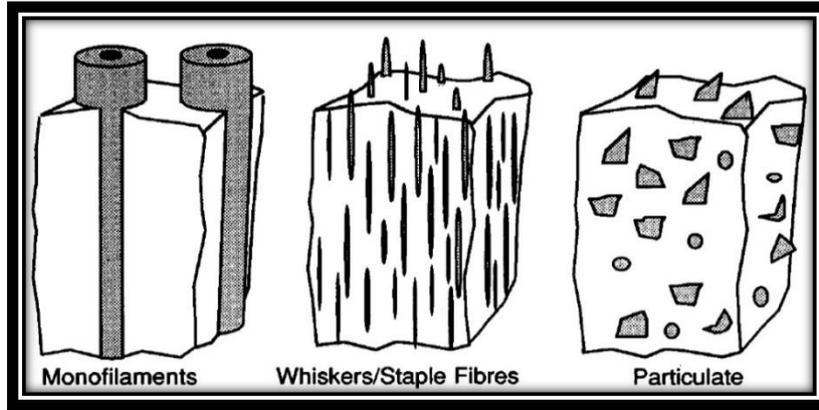


الفصل الأول

Preface and Literature Review التمهيد والدراسات السابقة

1.1 المقدمة Introduction

تعرف المواد المتراكبة بأنها عبارة عن خليط من مادتين أو أكثر تعطي مواصفات أفضل لا تتوفر في أي من المادتين على انفراد أي تمتلك خصائص وسطية تقريباً للمواد المتباعدة الداخلة في تركيبها لتتصرف المادة بعد ذلك ككتلة واحدة إذ تتكون من طورين هما طور التقوية أو التدعيم (Reinforcement Phase) وهو عبارة عن دقائق (Particles) أو ألياف (Fibers) أو شعيرات (Whiskers) أو صفائح (Plates) كما هو مبين بالشكل (1.1) ومحاطة بطور آخر يتمثل بالأرضية أو ما يسمى الطور الاساسي (Matrix Phase) [1].



الشكل (1.1) أطوار التقوية المستخدمة في المواد المتراكبة [1].

لاحظ اختصاصيو علم المواد والمهندسون وجود تباين في خواص المواد الهندسية (المعادن ، السيراميك ، والبوليمرات) من حيث المقاومة (Strength) والمتانة (Toughness) والصلادة (Hardness) والمطيلية (Ductility) وتحملها لدرجات الحرارة العالية. تلبي مواصفات كل مادة متطلبات تطبيق أو تطبيقات دون غيرها. فمثلاً تتصف المعادن بالمقاومة اتجاه الاحمال المؤثرة والمتانة وتحملها لدرجات الحرارة العالية نسبياً، في حين تتأثر بالظروف المناخية علاوة على كلفتها العالية. بينما تتصف البوليمرات بخفة وزنها وعدم التأكسد وقابلية التلوين والشفافية وسهولة التصنيع في حين لا تتحمل تلك المواد درجات الحرارة العالية والقوى الخارجية المسلطة عليها بسبب لدونتها العالية وضعف مقاومتها. أما المواد السيراميكية فتتصف بتحملها لدرجات الحرارة العالية وقابلية العزل الحراري وقوة الانضغاط ولكنها لا تتحمل الاحمال الصدمية لانها تتصف بالتشطي والتصدع [1,2].

بدأ الاهتمام في السنوات الماضية بإنتاج المواد المتراكبة من المواد الهندسية المختلفة لغرض تحسين المقاومة والجساءة ومقاومة البلى والتحمل لدرجات الحرارة العالية. علاوة على ذلك فأن

المواد المترابطة تحتوي مواداً وعناصر ترتبط بأواصر تساهمية مثل (Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiC , C) وهو ما يمكن انتاجها بتقانات مختلفة منها تكنولوجيا المساحيق وطرائق الترسيب الحراري والكيميائي والفيزيائي. تصنف المواد المترابطة حسب أساسها الى مواد مترابطة اساسها معدني ومواد مترابطة اساسها سيراميكي وأخرى اساسها بوليمري أما وسط التدعيم (طور التقوية) فيمكن أن يكون معدنياً أو سيراميكياً أو بوليمرياً [3,1] .

تتطلب العديد من التقانات الحديثة مجموعة مواد ذات خواص متميزة لا يمكن الحصول عليها عند استخدام سبائك تقليدية وقد استخدمت المواد السيراميكية والمواد البوليميرية كمواد هندسية في تطبيقات الفضاء والتطبيقات المستخدمة تحت الماء وبعض التطبيقات الخاصة بوسائط النقل فعلى سبيل المثال يبحث مهندسو الطائرات عن مواد تركيبية تمتلك مقاومة عالية وكثافة منخفضة ومقاومة للتصادم والخدش والتآكل، ومن النادر تآلف هذه الصفات معاً. لذا كانت المواد المترابطة الحل الأمثل للجمع بين هذه الصفات المتناقضة. نالت المواد المترابطة نصيباً وافراً من البحوث التطويرية للاستيفاء بمتطلبات التقدم التقني. ومن أهم المزايا التي تتصف بها المواد المترابطة هي مرونة التصميم إذ يستطيع المهندس أن يضيف مواد تقوية بهيئات وأشكال مختلفة وأن يصممها بحيث يضع الالياف على سبيل المثال في اتجاه الاحمال مما يؤدي الى الاستخدام الأمثل للمادة وبالتالي الى انخفاض أكبر في وزن التركيب النهائي، أما المآخذ الرئيسي على المواد المترابطة من الناحية الهندسية فهو ضعف قدرتها على تحمل الاحمال الصدمية الديناميكية إذ يتسبب ذلك غالباً في الانفصال الطبقي للمادة [4] .

ومع التطور العلمي والتقني برزت مواد لا يمكن الاستغناء عنها أو استبدالها بغيرها من أهمها الكرافيت الذي يعد واحداً من أهم المواد التي عرفت البشرية لما يمتلكه من خصائص ومميزات حرارية وميكانيكية وكيميائية ومعامل احتكاك ومعدل بلى منخفضان. لذلك أصبح الكرافيت مؤهلاً للعديد من الاستعمالات الواسعة منها انتاج الفرش التي تستعمل في المحركات الكهربائية. كما يستعمل أيضاً كوسط مهدئ للنيوترونات في المفاعلات النووية وكمادة للترتيب. وتعد تقانة ميتالوجيا المساحيق (Powder Metallurgy) من التقانات الأساسية لاستخدام الكرافيت في الصناعات الكهربائية والحرارية [5] .

2.1 نبذة تاريخية A Brief History

يمتد تاريخ المواد المترابطة الى الحضارات القديمة أي الى الآف السنين ، فقد تميزت حضارة وادي الرافدين بأنها أول من عرفت استعمال المواد المترابطة. فقد أتبع الآشوريون مبدأ تسليح طبقات البناء بألياف القصب في بناء الزقورات لتثبيت طبقات البناء الضخمة. أما المصريون القدماء فقد استخدموا سيقان النباتات اليابسة في صناعة الطابوق مع الطين لمنعه من التشقق في اثناء عملية التجفيف كما استخدمت هذه المواد في صناعة مخاريز (Awls) النحاس في كينو (تركيا حالياً)

التي يمتد تاريخها الى (7000) عام قبل الميلاد عن طريق التصفيح المتكرر والطرق مؤدية الى دخول كميات كبيرة من الشوائب غير المعدنية. وبرزت خلال العقود الماضية المواد المتراكبة بوصفها فئة من المواد الهندسية ذات الأهمية العالية في المجالات الصناعية المختلفة لما تمتلكه هذه المواد من صفات مميزة تؤهلها لتكون مادة أساسية في الكثير من الصناعات المتقدمة والتقانات المعقدة. ولذلك تم توجيه الدراسات والجهود البحثية نحو تحسين وفهم طبيعة هذه المواد وإمكانية تطويرها بالاعتماد على التحليل والمعالجة الهندسية [6,1] .

نشأت المواد المتراكبة البوليمرية (PMCs) (Polymers Matrix Composites) من خلال الجهود المبذولة في أوساط مجتمع الفضاء الجوي في أثناء الحرب العالمية الثانية لأنتاج مواد ذات مقاومة نوعية وقيم جساءة أعلى بكثير من المواد والسبائك المستخدمة في ذلك الحين والتي كانت قائمة على سبائك الالمنيوم التي تعرضت لأضرار التآكل والكلال. ومع نهاية الحرب تم استخدام الياف الزجاج بنجاح في محركات الصواريخ وتم ترسيخها في شتى التطبيقات الأخرى. ومن ثم كانت موضع الاستخدام الأوسع نطاقاً في خمسينيات القرن العشرين لدورها في تحسين مقاومة التآكل وبمعدلات عالية [7] .

أما المواد المتراكبة المعدنية (MMCs) (Metal Matrix Composites) فقد تركزت الجهود الرامية الى تحسينها خلال الخمسينيات وأوائل الستينيات من القرن العشرين. إذ كان الدافع الرئيسي هو رفع كفاءة المواد المعدنية مع الاحتفاظ بجميع مزاياها مثل مقاومة قص عالية علاوة على الاحتفاظ بخصائصها الجيدة عند درجات الحرارة العالية. إذ كان العمل في وقت مبكر على تلييد مسحوق الالمنيوم المقوى بالالياف وبعدها تم تطوير مقاومة اسلاك البورون الاحادية وكذلك كاربيد السيلكون واستمر استخدام الالياف كمواد تقوية خلال تلك الفترة. وهكذا استمرت البحوث الهندسية لتطويرها الى الوقت الحاضر. وأما فيما يخص المواد المتراكبة السيراميكية (Ceramic Matrix Composites) (CMCs) فقد أستمر تطويرها بسبب احتفاظها بخصائصها وهيكليتها (Structural) عند درجات الحرارة العالية [7] .

تعد تقانة ميتالورجيا المساحيق من أهم تقانات المواد المتراكبة إذ يعود تاريخ استخدامها الى الآف السنين قبل الميلاد وسمي بالفن المفقود وعرف خلال المراحل المبكرة بدون تلييد (Sintering) إلى ان عرف في أوروبا نهاية القرن الثامن عشر عندما سجلت طرائق مختلفة في أنتاج مسحوق البلاتين. وعرفت مساحيق المعادن مثل الذهب والنحاس والبرونز وبعض الاوكسيدات كمواد لزخرفة السيراميك وكأساس للدهانات والاحبار ومواد التجميل كما استخدم مسحوق الذهب في تزيين المخطوطات. ان انتاج المساحيق لم يكن معروفاً ولكن من الممكن الحصول عليها عن طريق التحبيب بعد إذابة المعدن إذ كان يفضل خاصية انخفاض درجة حرارة الانصهار ومقاومة التأكسد العالية كما هو الحال في مسحوق الذهب بسبب انخفاض الامكانيات المتاحة في ذلك

الوقت. إن استخدام المساحيق لأغراض الزينة والاصباغ أصبح شيء من الماضي إذ يتم استخدام هذه المساحيق في العلم الحديث لتدعيم المواد الصلبة وتقويتها عن طريق الضغط والتسخين الى درجات حرارية أقل من درجة حرارة انصهار المعدن الاساس [8] .

3.1 المواد الاولية المستخدمة في البحث الحالي

Raw Materials Used in The Present Research

1.3.1 النحاس Copper

تنتشر خامات فلز النحاس بصورة واسعة عبر القشرة الارضية وتنتج قارة أمريكا الشمالية حوالي (25%) من نحاس العالم. اكتشف النحاس في شمالي العراق عام (8700) قبل الميلاد. وتقدر نسبته في القشرة الأرضية بحوالي (0.01 %). وفي الوقت الحاضر يسترجع ما يقارب ثلث النحاس المستخدم من خردة النحاس الاصفر (البراص) والانواع الاخرى من النحاس العتيق. وتعد خامات النحاس الكبريتيدية من أهم صور خامات النحاس ومن أهمها (CuFS₂) ويحتوي هذا الخام على (34.5%) نحاس و (Cu₂S) الذي يحتوي على (79.8%) نحاس. كما أن النحاس في شكله النقي أو السبائكي يعد من المواد التي لا يمكن الاستغناء عنها بفضل خصائصه واستخداماته واسعة النطاق. إذ يدخل حوالي (40 %) من النحاس في قطاع الانشاءات وحوالي (38 %) في التطبيقات الكهربائية وحوالي (9 %) في قطاع النقل [9-11] .

النحاس فلز لامع ذو لون أحمر بحالته النقية. ويعد ثاني فلز بعد الفضة في التوصيلية الكهربائية وهي الخاصية التي جعلته من الفلزات شائعة الاستخدام في الصناعات الكهربائية والالكترونية والرمز الكيميائي للعنصر هو (Cu) والعدد الذري له (29) والوزن الذري له (63.54) وكثافته (8.96 gm/cm³) والبنية البلورية له هي (F.C.C) وينصهر بدرجة حرارة (1083 م°). يعد النحاس من المعادن شائعة الاستعمال في العديد من الصناعات الهندسية لمقاومته العالية للتآكل وقابليته للتشكيل كما يستعمل بكثرة في الصناعات الكهربائية مثل الموصلات (Conductors) بكافة انواعها لقابليته الجيدة للتوصيل الحراري والكهربائي ولخصائصه الميكانيكية العالية في درجات الحرارة المنخفضة والمرتفعة. ويستعمل أيضاً في الصناعات الكيماوية وفي الاعمال الانشائية والمنزلية بسبب التكلفة الاقتصادية المناسبة كما له القابلية على اعادة التدوير وغير منتج للشرر. كما ان لعنصر النحاس قابلية جيدة للتوافق سبائكيا مع عناصر الخارصين والقصدير والالمنيوم والحديد والنيكل والكوبالت والعديد من المعادن الاخرى [12-14] .

1.1.3.1 تطبيقات النحاس Applications of Copper

ندرج في أدناه أهم التطبيقات التي يعتبر فيها النحاس الركن الاساس [9,11,14] :-

- 1- صناعة خطوط التوزيع والكابلات وفي شبكات الأسلاك لنقل القدرة الكهربائية .
- 2- يدخل في صناعة عدد من السبائك المفيدة مثل سبيكة (Cu-Ni) المستعملة في تطبيقات مياه البحر بسبب مقاومتها العالية للتآكل ويدخل في صناعة سبيكة البراص والبرونز .
- 3- يستعمل بكثرة للأغراض المنزلية وفي خزانات الماء والأنابيب والصمامات .
- 4- يستعمل في صناعة المحامل (الركائز) الميكانيكية والفرش الكهربائية وأنابيب المبادلات الحرارية والمكثفات .
- 5- يعد من المعادن الرئيسية في صناعة العملات المعدنية والحلي الكاذبة والديكور .
- 6- يمثل الأساس في السحب العميق لغرض إنتاج أغلفة الاطلاقات النارية .
- 7- له أهمية كبيرة في صناعة أنابيب الزيت والوقود للمحركات .
- 8- أصبح من المواد الرئيسية في التكنولوجيا الحديثة لدخوله في صناعة رقائق السليكون وفي مركبات سلك الحديد المتقدمة .

2.3.1 الكرافيت Graphite

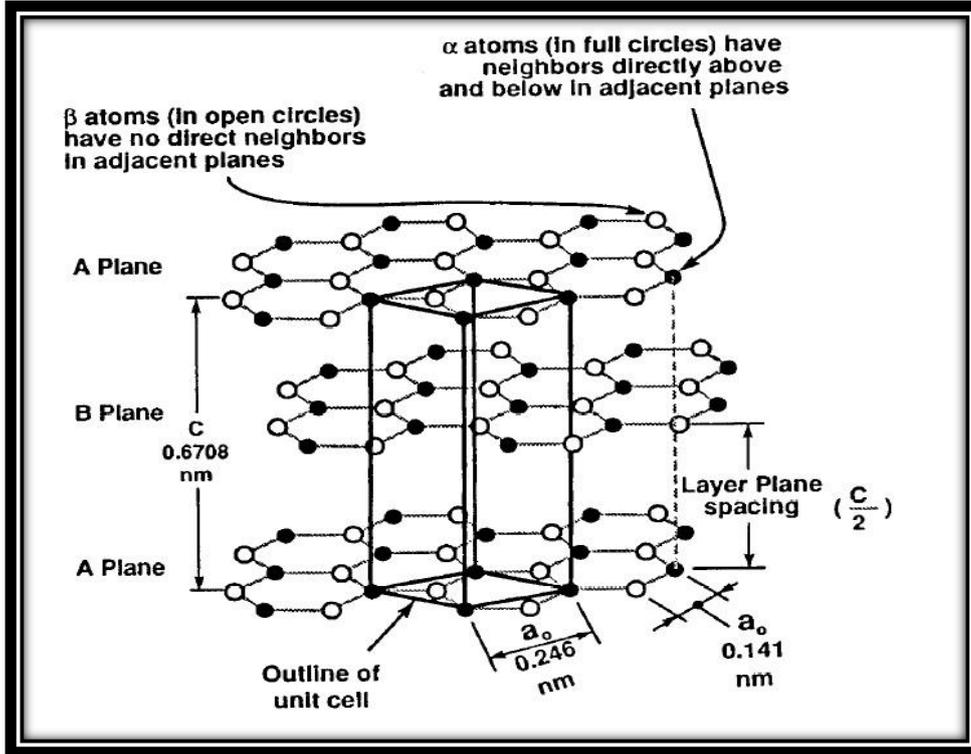
أصل كلمة كرافيت يونانية بمعنى (Graphein) والتي تعني (الكتابة) والواقع ان الكرافيت قد استخدم للكتابة والرسم منذ فجر التاريخ واقلام الكتابة الاولى صنعت من الكرافيت في انكلترا في القرن الخامس عشر، وفي القرن الثامن عشر اثبت فعلا بأن الكرافيت هو احد اشكال الكربون. وأن أول من قام بصناعة مصبوبات الكرافيت هو العالم أجيسون (E. G. Acheson) عام (1896 م) وقام باستخدامه في صناعة الاقطاب لافران القوس الكهربائي وأجهزة عرض الافلام ومن ثم تم ادخال التحسينات عليه واصبح يستخدم في العديد من التطبيقات الصناعية [15].

الكرافيت لافت للنظر للمجموعة الكبيرة والمتنوعة من المواد التي يمكن أنتاجها من شكله الأساسي مثل الالياف في غاية القوة ومواد التزييت والمساحيق وبعض الغازات وجميع هذه المواد المتنوعة تشترك في سمة واحدة أنها مبنية على ارتباط ذرات الكربون، ويبين الجدول (1.1) الخصائص الفيزيائية للكرافيت [15].

الجدول (1.1) أهم الخصائص الفيزيائية للكرافيت [15].

الصيغة البلورية	سداسي (H.C.P)
اللون	اسود
الكثافة	2.26 g/cm ³
الحجم الذري	5.315 cm ³ /mol
نقطة الانصهار	3820 K
نقطة الغليان	4560 K
حرارة الانصهار	46.84 kJ/mol
حرارة التبخر الى غاز وزني (تخميني)	716.9 kJ/mol

يتم تصنيع مصبوبات الكرافيت عن طريق كبس خليط من الكربون مع مواد رابطة عضوية وبذلك يتكون الكرافيت من طبقات متوازية من الكربون ومترابطة مع بعضها بوساطة قوى فاندرفال إذ ان هذه القوى ضعيفة جدا مما تسمح بانزلاق طبقات الكربون بسهولة على طول المستويات الاساسية للبلورة وعند وجود الكرافيت بين سطحين في حالة احتكاك يكون طبقة ضعيفة من الكرافيت تعمل على تقليل معامل الاحتكاك ويبين الشكل (2.1) البنية البلورية للكرافيت. يبين الجدول (2.1) علاقة التصنيف لحجم الجسيمات والخصائص [16,15].



الشكل (2.1) التركيب البلوري للكرافيت [15].

الجدول (2.1) احجام الجسيمات والخصائص لأصناف الكرافيت [15].

الخصائص	حجم الجسيمات	التصنيف
<ul style="list-style-type: none"> • كثافة قليلة . • تمدد حراري قليل . • مقاومة قليلة . • نفاذية عالية . 	أعلى من 1.25 سم	حبيبات متوسطة
<ul style="list-style-type: none"> • كثافة متوسطة . • تمدد حراري متوسط . • مقاومة متوسطة . • نفاذية متوسط . 	0.15 - 0.05 سم	حبيبات ناعمة
<ul style="list-style-type: none"> • كثافة عالية . • تمدد حراري عالي . • مقاومة عالية . • نفاذية قليلة . 	1 - 75 مايكرومتر	حبيبات دقيقة

1.2.3.1 تطبيقات الكرافيت Applications of Graphite

- يمكن ان تشمل أهم تطبيقات الكرافيت على ما يأتي [15] :
- 1- يستخدم في الفرش الكهربائية للمحركات.
 - 2- يدخل في صناعة مركبات خلايا الوقود.
 - 3- يستعمل في صناعة عناصر التسخين للأفران ذات درجات الحرارة العالية.
 - 4- أصبح من المواد المهمة في صناعة حلقات الغلق لمحركات التوربينات الغازية ومضخات المياه.
 - 5- له أهمية كبيرة في صناعة المحامل (الركائز) الميكانيكية.
 - 6- يعد من افضل المواد في تطبيقات الانشطار النووي.

4.1 الهدف من الدراسة The Aim of The Study

على الرغم من ان معدن النحاس يملك موصلية حرارية وكهربائية ممتازة تؤهله للاستخدام في العديد من تطبيقات الا انه يملك معدل بلى واحتكاك عالي نسبياً، لذا فان الدراسة الحالية تهدف إلى محاولة تحسين سلوك البلى وتقليل الاحتكاك وكذلك الخصائص الميكانيكية والفيزيائية عن طريق تحضير مادة متراكبة ذات أساس معدني وهو النحاس وتقويته بالكرافيت الذي يعمل كمزيت صلب وبنسب حجمية مختلفة وبتقانة ميتالورجيا المساحيق، لغرض استخدامها في العديد من التطبيقات مثل الفرش الكهربائية والمحامل الميكانيكية الانزلاقية وغيرها من التطبيقات التي تتطلب موصلية حرارية وكهربائية ممتازة علاوة على سلوك بلى منخفض.

5.1 آفاق الدراسة Scope of The Thesis

لقد تضمنت الرسالة خمسة فصول أستهل الفصل الأول بالمقدمة واشتمل على معلومات ومفاهيم عامة ونبذة تاريخية عن المواد المتراكبة والبحوث والدراسات السابقة علاوة على المواد المستخدمة في البحث الحالي وتطبيقاتها وكذلك الهدف من الدراسة. وتناول الفصل الثاني الجانب النظري واهم الخواص الميكانيكية والفيزيائية. أما الفصل الثالث فقد اهتم بالجانب العملي والأجهزة المستعملة في حين استعرض الفصل الرابع النتائج التي تم التوصل إليها ومناقشتها علاوة على الفصل الخامس الذي يشمل أهم الاستنتاجات والتوصيات للدراسات المستقبلية.

6.1 الدراسات السابقة Literature Review

سيتم استعراض أهم البحوث والرسائل والاطاريح الخاصة بمتراكبات النحاس - كرافيت المنتجة بوساطة تقانة ميتالورجيا المساحيق والتي لها بالتأكيد فائدة مهمة وكبيرة والتي بينت أحدث ما توصل اليه الباحثون في هذا المجال وأهم النتائج والاستنتاجات التي تم التوصل إليها ليتم الاستتارة بها في دراستنا هذه من خلال التفاصيل المدرجة في الجدول الاتي :

ت	اسم الباحث	أسم البحث	الهدف من البحث	الجانب العملي	الاستنتاجات	التوصيات والدراسات المستقبلية	التطبيقات	المصدر
1	S.F. Moustafa , S.A. El-Badry , A.M. Sanad , B. Kieback	الاحتكاك والبلى لمتراكبات النحاس - كرافيت المنتجة من النحاس المطلي وغير المطلي بمسحوق الكرافيت	دراسة تأثير متغيرات العملية على خصائص البلى لمتراكبات النحاس - كرافيت المنتجة من النحاس المطلي بالكرافيت و النحاس المخلوط بالكرافيت.	تم استخدام مسحوق النحاس كمعدن اساس والكرافيت كمادة تقوية بنسب (8-15-20) % وتم انتاجها بتقانة ميتالورجيا المساحيق إذ استخدم النحاس المطلي بالكرافيت والنحاس المخلوط مع الكرافيت . تم كبس نوعي المساحيق بضغط (600 MPa) وتليدهما في جو من الهيدروجين النقي بدرجة حرارة (900°C) تم بعد ذلك مقارنة النتائج مع نحاس محلل كهربائيا ومنتج بنفس الظروف المذكورة آنفاً وبعدها تم قياس الكثافة النسبية وقياس المقاومة الكهربائية ومن ثم تم قياس الصلادة بطريقة برينل والبلى ومعامل الاحتكاك.	1-تم ملاحظة وجود ثلاث انظمة للبلى خلال اختبار النحاس النقي المكبوس والنحاس المطلي وغير المطلي بالكرافيت وهي الانظمة الخفيفة والمتوسطة والشديدة . 2-بمترك النحاس الملبد المكبوس أعلى معدلات بلى ويتحمل حتى الاحمال المنخفضة الاعتيادية . 3-تكون معدلات البلى لكل من انظمة الانتقال الخفيفة والمتوسطة والشديدة ولكل من متراكبات النحاس المطلي وغير المطلي بالكرافيت عند نفس محتوى الكرافيت قريبة جدا من بعضها بينما تكون الاحمال المنتقلة لمتراكبات النحاس المطلي بالكرافيت أعلى كثيرا من متراكبات النحاس غير المطلي بالكرافيت عند نفس نظام الانتقال ومحتوى الكرافيت . 4-معامل الاحتكاك لمتراكبات النحاس المطلي بالكرافيت اقل من معامل الاحتكاك لمتراكبات النحاس غير المطلي عند نفس محتوى الكرافيت بينما يملك النحاس المكبوس معامل احتكاك عالي . 5-بصورة عامة يقل معامل الاحتكاك بزيادة نسبة الكرافيت لكلا النوعين من المساحيق المطلي وغير المطلي . 6-قد تكون الية البلى للنحاس النقي معقدة لكل من أنظمة الانتقال الخفيف والمتوسط والشديد بسبب الاكسدة وانفصال الشرائح وتحديد البلى على التوالي . أما متراكبات النحاس المطلي وغير المطلي فتتصرف بالية بلى واحدة وهي حدوث الاكسدة التي تؤدي الى انفصال الشرائح .	_____	1-الفرش الكهربائية 2-المحامل الانزلاقية الميكانيكية	[17]

[5]	<p>1- الفرش الكهربائية 2- المحامل الانزلاقية الميكانيكية</p>	<p>1- دراسة تأثير الحدود الحبيبية والحجم الحبيبي بعد التليد على مسارات التوصيلية الكهربائية ضمن دراسة مفصلة عن التركيب الدقيق لهذه الفرشاة وبيان مدى تأثير ذلك بأكمله على أداء هذه الفرشاة في المحركات الكهربائية 2- دراسة تأثير إضافة معادن أخرى كالحديد أو الرصاص أو الفضة مع النحاس على أداء هذه الفرشاة. 3- التوسع في دراسة الخصائص الكهربائية كثافة التيار أو انحدار الجهد للفرشاة . 4- دراسة تأثير الأبعاد الهندسية على أداء الفرشاة . 5- دراسة تأثير درجة الحرارة على أداء الفرشاة في أثناء التشغيل .</p>	<p>1- لقد لعب مسحوق النحاس دور العادة الرابطة في عملية تشكيل المسحوق الكرافيتي وزيادة الخواص الميكانيكية علاوة على دوره الرئيسي في التوصيلية الكهربائية. 2- تندمج دقائق مسحوق النحاس جزئياً فيما بينها لتكوين هيكل معدني يربط دقائق مسحوق الكرافيت ضمن المكبوسة لإضفاء المقاومة الميكانيكية للمتراكب والتي تعتمد بشكل رئيس على تماسك وترابط دقائق المعدن. 3- تؤثر النسب العالية لدقائق النحاس على السطح المحتك وعلى استقراره قيم معدلات البلى ومعامل الاحتكاك بسبب تكوين طبقة من أكاسيد النحاس والحديد. 4- أن لمسحوق الكرافيت دوراً مهماً في التزيت وتسهيل الحركة الانزلاقية علاوة على دوره في اختزال الأكاسيد المعدنية المتكونة جراء الاحتكاك.</p>	<p>تم تحضير مسحوق الكرافيت وتجهيفه بدرجة حرارة (200 °C) لمدة ساعتين ، ومن ثم الغرلة لكل من مسحوق الكرافيت المجفف والنحاس بغرابيل قياس (53µm) . ولأجل الحصول على خليط متجانس من الكرافيت – نحاس فقد تم استخدام خلاط كهربائي لمدة (4-5 hr) . تم ملء قالب الكيس بالشحنة المراد كبسها وتسلط ضغط قدره (3.5 Ton/cm²) . تم التليد في فرن كهربائي مع تغطية العينات بالفحم النباتي في حاوية خاصة لمنع تأكسد . سخن الفرن إلى درجة حرارة التليد (650 , 750 , 850 , 950 °C) تدريجياً وقيت الشحنة في الفرن لمدة (1.5 , 2.5 , 3.5 , 4.5 hr) ثم بردت داخل الفرن .</p>	<p>دراسة وتوصيف متراكبات النحاس – كرافيت ذات خواص ميكانيكية وكهربائية مناسبة للتطبيق الصناعي في مجال المحركات والمولدات الكهربائية ، وهذه الخواص تعطي صورة مباشرة عن أثر التركيب الدقيق على أداء هذه المتراكبات .</p>	<p>دراسة وتوصيف متراكبات النحاس – كرافيت .</p>	<p>عبدالله محمد علي محمد</p>	2
[18]	<p>1- الموصلات الكهربائية 2- أقطاب لحام الكهربائية</p>	<p>—————</p>	<p>1- معدل البلى لمتراكبات النحاس – كرافيت كاربيد السليكون أقل من متراكبات النحاس – كاربيد السليكون بسبب تكوين طبقة غنية</p>	<p>تم تصنيع النماذج المستخدمة في هذا البحث بتقانة ميتالورجيا المساحيق وهي عبارة عن متراكبات ذات اساس من النحاس المحلل</p>	<p>دراسة سلوك الاحتكاك والية البلى لمتراكبات</p>	<p>سلوك الاحتكاك والبلى</p>	<p>Yongzhong Zhan , Guoding</p>	3

			<p>من الكرافيت تعمل على تقليل الاحتكاك وبالتالي تقليل معدل البلى.</p> <p>2- تأثير الكرافيت على سلوك البلى يعتمد على الحمل المسلط.</p> <p>3- عند الاحمال المسلطة العالية يتكون حطام بلى كبير بين الاسطح مسببة زيادة معدل البلى.</p>	<p>كهربائياً بحجم جسيمات قدره (48 µm) ومقواة بجسيمات الكرافيت وكاربيد السليكون وبأحجام جسيمات قدرها (43 µm) و(14 µm) على التوالي.</p> <p>تم خلط كاربيد السليكون بنسبة حجمية قدرها (10%) والكرافيت بنسب حجمية قدرها (10,7,3,0)% مع جسيمات النحاس ومن ثم كبس الخليط على البارد بضغط قدره (150 MPa).</p> <p>بعدها لبدت النماذج بدرجة حرارة (820 °C) في جو من غاز الامونيا لمنع التأكسد ومن ثم كبست النماذج الملبدة مرة أخرى بضغط قدره (180 MPa) لمدة (15 min).</p>	<p>النحاس المقواة بجسيمات الكرافيت وكاربيد السليكون.</p>	<p>لمتراكبات النحاس المقواة بجسيمات الكرافيت وكاربيد السليكون</p>	<p>Zhang</p>	
[16]	<p>1- تستخدم في تطبيقات متراكبات الانزلاق والموصلية الكهربائية مثل الفرش الكهربائية.</p> <p>2- تستعمل في أنظمة الانطلاق الكهرومغناطيسية.</p>	—————	<p>1- يمكن استخدام متراكبات النحاس – كرافيت للوصل بين طبقتين من القضيب في النظام الانزلاقي الكهربائي ليعمل على تقليل تآكل القضيب بسبب وجود الكرافيت الذي يعمل على تزييته جيداً .</p> <p>2- يكون الكرافيت في معدن الفرش الكهربائية موزع بصورة منتظمة بين النحاس إذ تعمل الفرشاة على تقليل مقدار القشط في معدن القضيب وأن معدل بلى الفرشاة منتظم مع ارتفاع قليل في درجات الحرارة .</p> <p>3- للمتراكب القدرة على تحمل كثافة تيار عالي مع ارتفاع بسيط في درجات الحرارة .</p> <p>4- تستعمل متراكبات النحاس كرافيت في صناعة الفرش الكهربائية بمختلف الخصائص ولمختلف الظروف .</p>	<p>تم استخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق للإنتاج متراكبات نحاس – كرافيت ، وأجراء اختبار السكون واختبار الانطلاق عليها.</p>	<p>دراسة تأثير استخدام متراكبات نحاس – كرافيت على الاحتكاك الانزلاقي ومقاومة الاتصال بين القضيب والقلب الدوار في النظام الانطلاقي .</p>	<p>استخدام متراكب جديد من متراكبات نحاس – كرافيت مطبق على قضيب لنظام الانطلاق .</p>	<p>Qin Hong, Meiwu Li, Jianzhong Wei , Hui Song , Fei Xue , and Mingfang Sun</p>	4
[19]	<p>1- إنتاج المصافي .</p> <p>2- المحامل الميكانيكية ذاتية التزييت .</p>	—————	<p>1- أن كل من (محتوى النفثالين – درجة حرارة التلييد – زمن التلييد – ضغط الكبس) تأثير كبير على المسامية الكلية للمنتج النهائي الملبد وعلى بنيته .</p>	<p>تم خلط مسحوق النحاس مع نسب مختلفة من مسحوق النفثالين ومن ثم كبس الخليط بمدى ضغوط (75 – 300 MPa) .</p> <p>تم تسخين النحاس الاخضر المكبوس لمدة ثلاث ساعات بدرجة حرارة (350 °C)</p>	<p>دراسة تأثير العوامل التي تسيطر على تكوين مسامات النحاس بواسطة تقانة</p>	<p>العلاقة بين العوامل المسيطرة على تكوين النحاس</p>	<p>Y.M.Z. Ahmed , M.I. Riad , A.S. Sayed ,</p>	5

	<p>3- أقطاب البطاريات . 4- تطبيقات السيطرة على جريان المواع .</p>		<p>2- تعد نسبة النفتالين داخل المعدن كعامل مهم في تحديد نسبة المسامية .</p>	<p>لإكمال ازالة روابط النفتالين ، ومن ثم رفع درجة الحرارة الى درجة حرارة التلييد المطلوبة بمعدل (5 °C/min) مع استخدام اربع متغيرات للتأثير على المسامية :-</p> <table border="1" data-bbox="1099 347 1525 480"> <tr> <td>900</td> <td>800</td> <td>1000</td> <td>درجة حرارة التلييد (C°)</td> </tr> <tr> <td>37.5</td> <td>15</td> <td>60</td> <td>زمن التلييد (min)</td> </tr> <tr> <td>187.5</td> <td>75</td> <td>300</td> <td>ضغط الكيس (Mpa)</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>محتوى النفتالين (%)</td> </tr> </table>	900	800	1000	درجة حرارة التلييد (C°)	37.5	15	60	زمن التلييد (min)	187.5	75	300	ضغط الكيس (Mpa)	4	1	7	محتوى النفتالين (%)	<p>التلييد.</p>	<p>المسامي بواسطة تقانة التلييد باستخدام تصميم عملي.</p>	<p>M.K. Ahlam , M.E.H. Shalabi</p>	
900	800	1000	درجة حرارة التلييد (C°)																					
37.5	15	60	زمن التلييد (min)																					
187.5	75	300	ضغط الكيس (Mpa)																					
4	1	7	محتوى النفتالين (%)																					
<p>[20]</p>	<p>1- الفرش الكهربائية . 2- أنظمة الانطلاق الكهرومغناطيسية للقطارات السريعة .</p>	<p>—————</p>	<p>1- يزداد فقدان البلي مع زيادة الاجهاد والتيار الكهربائي. 2- أن فقدان البلي يساوي تقريبا الضعف عند وجود التيار الكهربائي عند مقارنتها مع حالة عدم وجود تيار كهربائي. 3- أن البلي الالتصقي وبلي القشط والبلي التآكلي الكهربائي هي انواع البلي المسيطرة خلال عمليات البلي الانزلاقي الكهربائي . 4- يمكن تحسين نظام النقل بفعل التزبييت الذاتي ومواد المواجهة الحاوية على الكرافيت.</p>	<p>تم انتاج العينات المستخدمة في هذه الدراسة بواسطة تقانة ميتالورجيا المساحيق إذ تم خلط المساحيق لمدة (12) ساعة ، تبع ذلك الكبس على البارد من جهة واحدة بضغط (300 MPa) والتلييد بدرجة حرارة (900 °C) لمدة (3) ساعات بجو من الهيدروجين النقي وتبريدها داخل الفرن الى ان تصل الى درجة حرارة الغرفة . تم بعد ذلك الكبس مرة ثانية بضغط (300 MPa .</p>	<p>دراسة سلوك البلي الانزلاقي لمتراكبات النحاس – كرافيت المستخدمة في نظام النقل للقطارات السريعة الكهرومغناطيسية .</p>	<p>سلوك البلي الانزلاقي لمعدن من متراكبات النحاس – كرافيت المستخدم في نظام النقل للقطارات السريعة الكهرومغناطيسية .</p>	<p>X.C. Ma, G.Q. He, D.H. He, C.S. Chen, Z.F. Hu</p>	<p>6</p>																
<p>[21]</p>	<p>1- الفرش الكهربائية . 2- محامل الانزلاقية الميكانيكية .</p>	<p>—————</p>	<p>1- يقل معامل الاحتكاك ومعدل البلي بزيادة نسبة الكرافيت حتى الوصول الى نسبة الكرافيت الحرجة . 2- بعد النسبة الحرجة يصبح معامل الاحتكاك غير معتمد على نسبة الكرافيت بينما معدل البلي يستمر بالنقصان. 3- يكون النقصان في معامل الاحتكاك عندما يصل الكرافيت الى التركيز الحرج محكوماً بتأثير خصائص الانزلاق لطور الكرافيت وتوزيعه داخل البنية المجهرية إذ يقود التوزيع المتجانس الى خفض معامل الاحتكاك للمتراكب.</p>	<p>تم تحضير متراكبات النحاس – كرافيت باستخدام الكيس الحار متوازن القوى (Isostatic). كان متوسط الحجم الحبيبي للنحاس (22µm) وللكرافيت (16µm) تراوحت نسبة الكرافيت من (0-50) % . تم كذلك تحضير متراكبات من كرافيت – النحاس مطلي بالكرافيت من أجل المقارنة . تم الخلط بواسطة خلاط ميكانيكي ومن ثم كبس على البارد لكلا النوعين ووضع المنتج في اسطوانة من الفولاذ مفرغة ومحكمة الغلق وتعرضها الى كبس حار متوازن الضغط بدرجة حرارة (950 °C) لمدة (1.5) ساعة وبضغط (150 MPa) .</p>	<p>دراسة تأثير التركيب على معامل الاحتكاك لمتراكبات النحاس – كرافيت لإيجاد محتوى الكرافيت الحرج الذي يبقي معامل الاحتكاك للمتراكب مستقل وثابت .</p>	<p>تأثير التركيب (composition) على معامل الاحتكاك لمتراكبات النحاس – كرافيت</p>	<p>Jaroslav Kov' a' cik , Stefan Emmer, Jozef Bielek , L'ubom' ir Kele' si</p>	<p>7</p>																

[22]	1-الفرش الكهربائية . 2-المحامل الانزلاقية الميكانيكية .	—————	معامل المرونة لجهة المكبس اقل منها عند الجهة المقابلة من النموذج. ومن جهة اخرى فإن صلادة جهة المكبس اعلى من صلادة الجهة المقابلة	تم استخدام مسحوق نحاس ناتج من التحلل الكهربائي ومسحوق الكرافيت الطبيعي وتم مزجهما جيدا مع كمية محددة من صمغ الفينول. وبعدھا كبس الخليط من اتجاه واحد بمقدار (294 MPa) في درجة حرارة الغرفة ومن ثم تليد العينة بدرجة حرارة (600 °C) جو من النيتروجين للتخلص من الاكسدة في أثناء التسخين. وللتحقق من الخواص والبنية المجهرية تم فحص الكثافة وصلادة فيكرز والمقاومة الكهربائية وعوامل الترابط بين جسيمات النحاس والكرافيت . استخدام ثلاث انواع من مسحوق النحاس مختلف الكثافات (- B:1.09 - A:1.83 C:0.83 g/cm ³) . تم استخدام ثلاث انواع من الكرافيت ولكن حسب حجم الجسيمات (- B:30 - A:50 C:20 μm)	1- دراسة تأثير سلوك الترابط بين جسيمات النحاس - كرافيت 2- دراسة العلاقة بين عوامل الاتصال والمقاومة الكهربائية.	سلوك التغلغل لمتراكبات النحاس - كرافيت : العلاقة بين عوامل التماس والمقاومة الكهربائية	T.Futami , M.Ohira , H.Muto , M.Sakaia,	8
[23]	المركبات و الاجزاء ذاتية التزبييت في مختلف التطبيقات	—————	يعتمد الاداء الترابيولوجي لمتراكبات نحاس - كرافيت بقوة على المعادن التي هي في حالة احتكاك معها كما ان هذه المتراكبات تؤمن احتكاك منخفض عند الانزلاق على سبيكة الالمنيوم (2024) وسبيكة التيتانيوم (Ti6Al4V) . تكون متراكبات النحاس - كرافيت ذاتية التزبييت بصورة جيدة عند الانزلاق على سبيكة المغنسيوم (AZ91D) عند السرعة المنخفضة بسبب تكوين طبقة منتقلة ومستمرة مزيئة. الخط الميكانيكي والاكسدة السريعة للمغنسيوم هي المسؤولة عن ارتفاع معامل الاحتكاك وتذبذبه.	تم استخدام عينة اسطوانية من متراكبات نحاس - كرافيت مصنوعة بوساطة ميتالورجيا المساحيق عن طريق الكبس الساخن بدرجة حرارة (850 °C) لمدة (30) دقيقة بفرن مفرغ من الهواء وبضغط (20 MPa) وملبدة وبمحتوى كرافيت (5 %) .	1- دراسة الاداء الترابيولوجي لمتراكبات النحاس - كرافيت على السباتك خفيفة الوزن والبحث في مجال التطبيقات الممكنة . 2- دراسة تأثير الحواجز (screens) على التركيب والاداء ل(tribo-	الاحتكاك الانزلاقي ومقاومة البلى لعينة متراكبة من النحاس - كرافيت على كل من سبيكة الالمنيوم (2024) وسبيكة المغنسيوم (AZ91D) وسبيكة التيتانيوم (Ti6Al4V) بمختلف	W. Ma , J. Lu , B. Wang	9

					<p>(interface باستخدام متراكبات النحاس - كرافيت كأنموذج لمتراكبات ذاتية التزبييت.</p>	السرعات.		
[24]	<p>1- الفرش الكهربائية . 2- المحامل الانزلاقية الميكانيكية .</p>	—————	<p>1- يمكن اعتماد افران بالموجات المايكروية في تلييد متراكبات النحاس - كرافيت . 2- تحسين اداء المتراكبات من خلال تقليل نسبة المسامية وتجانس توزيع درجة الحرارة ومعدل التسخين الاعلى مقارنة باستخدام الافران التقليدية .</p>	<p>تم أنتاج متراكبات النحاس - كرافيت بوساطة ميتالورجيا المساحيق إذ أستخدم مسحوق النحاس المحلل كهربائيا بمعدل حجم حبيبي (12µm) وخط ميكانيكا بوساطة خلاط بسرعة (20 r.p.m) لمدة ساعتين مع نسب مختلفة من مسحوق الكرافيت بمعدل حجم حبيبي (50µm) وكانت النسب (30,25,20,15,10,5,0) . سخن الخليط لدرجة حرارة (150 °C) لتبخير المواد المتطايرة وكبس الخليط المسخن مبدئيا بكابس هيدروليكي بضغط (630 MPa). أستخدم فرن موجات مايكروية صناعي (2.45 GHz) لتلييد العينات بدرجة حرارة من (700-900 °C) ولمدة (10-30) دقيقة وبعدها أجري اختبار الصلادة واختبار البلى .</p>	<p>دراسة التلييد بالميكرويف لمتراكبات النحاس - كرافيت.</p>	<p>تلييد متراكبات النحاس - كرافيت بالموجات المايكروية.</p>	<p>K. Rajkumar , S. Aravinda n</p>	10
[25]	<p>تستخدم كمواد صناعية بسبب المقاومة العالية للتآكل والخواص غير المغناطيسية وقابلية التشغيل والتشكيل العاليتين</p>	—————	<p>1- يمكن تلييد مسحوق النحاس الاصفر (Brass) بشعلة البلازما (SPS) مع الاحتفاظ بالضغط المستمر والتركيب نتيجة استخدام درجات حرارة منخفضة إذ تعد طريقة التلييد بشعلة البلازما من الطرائق الفاعلة في تلييد مسحوق النحاس الاصفر. إذ انها تعطي خصائص مماثلة للبراص المنتج بطرائق السباكة 2- تم توزيع جسيمات الكرافيت بشكل مستقل عن طريق بثق المعادن بوساطة ميتالورجيا</p>	<p>تم استخدام مسحوق سبيكة النحاس الاصفر (Brass) كمادة أولية بمعدل حجم جسيمات 40µm وبأشكال غير منتظمة وقد تم اتباع ثلاث طرائق لإنتاج المتراكب وهي :- أ- استخدام التلييد بشعلة البلازما (Spark Plasma) والكبس في درجة حرارة (873 K) الى (1073 K) لمدة (1.8 Ks) تحت ضغط (40 MPa) في جو مفرغ من الهواء .</p>	<p>أنتاج سبائك النحاس الاصفر الخالية من الرصاص والقابلة للتشغيل والمدعمة بجسيمات الكرافيت بوساطة عمليات ميتالورجيا المساحيق</p>	<p>مميزات وقابلية تشغيل سبائك النحاس الاصفر (Brass) Cu60- (Zn40 الخالية من الرصاص مع</p>	<p>Hisashi Imai , Yoshihar u Kosaka , Akimichi Kojima , Shufeng Li , Katsuyos</p>	11

			<p>المساحيق كما ان البثق المركز للمعدن يبرز استطالة اكبر من التلبيد التقليدي ومن الكبس الاخضر .</p> <p>لا تنتج الكسور السطحية للمعادن الناتجة من البثق بطريقة التلبيد بشعلة البلازما (SPS) من جسيمات الكرافيت أو الفجوات بين حدود الحبيبات الاولية .</p> <p>3- اثبتت سبائك النحاس - زنك ذات نسبة الكرافيت (1 %) قابلية تشغيل افضل من قابلية التشغيل التقليدية للنحاس الاصفر بسبب تأثير التزبيد الصلب لجسيمات الكرافيت المنتشرة.</p>	<p>ب- استخدام الكبس على البارد بضغط (600 MPa) بدرجة حرارة الغرفة والتلبيد التقليدي للعينة لمدة (1.8 Ks) في محيط من الاركون لتجنب الاكسدة .</p> <p>تم دراسة الكثافة والبنية المجهرية والخصائص الميكانيكية.</p> <p>استخدم الكرافيت كمادة مضافة الى مسحوق سبيكة النحاس الاصفر بالنسب (0-0.3-0-0.5-0.75 %) وبحجم جسيمات (5µm) . ومن ثم استخدام البثق بمعدل بثق مقداره 37 .</p>		جسيمات الكرافيت	hi Kondoh , Junko Umeda , Haruhiko Atsumi	
[26]	<p>1- الفرش الكهربائية .</p> <p>2- شرائح الاتصال الكهربائية .</p>	—————	<p>1- تزداد مقاومة الانحناء والصلادة الدقيقة لمتراكبات النحاس - كاربون بزيادة محتوى فحم الكوك حتى تصل الى اعظم قيمة (64.27 MPa) و (101 HV) عند (70/30 %) نسبة الكرافيت / فحم الكوك بعدها فان مقاومة الانحناء والصلادة الدقيقة سوف تقل.</p> <p>2- يزداد معامل الاحتكاك لمتراكبات النحاس - كاربون بزيادة محتوى فحم الكوك. ويقل معدل البلى للمترابكات مبدئياً بزيادة محتوى فحم الكوك حتى تصل الى اصغر قيمة ($2.21 \times 10^{-7} mm^3/N.m$) عندما تصل نسبة الكرافيت / فحم الكوك (70/30) بعدها ترتفع .</p> <p>3- أن الية البلى لمتراكبات النحاس - كاربون هي اساساً بلى ملتصق مصحوباً ببلى قاشط عندما تكون نسبة الكرافيت / فحم الكوك (70/30 %) ، والبلى الالتصاقى يكون طفيفاً بسبب وجود الكرافيت الذي يكون غشاء مزيت يمنع الاتصال المباشر بين الاسطح .</p>	<p>تم استخدام مسحوق النحاس المرسب كهربائياً وراتنج الفينول المعدل كمعدن أساس ومادة رابطة على التوالي وخليط من جسيمات الكرافيت ومسحوق فحم الكوك كمزيت صلب ومادة تقوية على التوالي وبنسبة حجمية قدرها (50 %) .</p> <p>استخدمت تقانة ميتالورجيا المساحيق لإنتاج العينات إذ تم خلط المركب ميكانيكياً وكبس على الساخن بدرجة حرارة (170 °C) وضغط (60 MPa) لمدة ساعة واحدة ومن ثم تم تلبيد العينة الخضراء لمدة ساعة واحدة وبدرجة حرارة (900 °C) بجو من النتروجين للتخلص من الاكسدة .</p> <p>لقد تم تحضير خمس انواع من العينات بنسب كرافيت / فحم الكوك تساوي (70/30-90/10-50/50-30/70-10/90 %) . وتم اجراء اختبارات الصلادة والبلى ومقاومة الانحناء.</p>	<p>دراسة تأثير نسبة الكرافيت / فحم الكوك على الخصائص الميكانيكية والترايبولوجية لمتراكبات النحاس - كاربون .</p>	تأثير نسبة الكرافيت / فحم الكوك على الخصائص الميكانيكية والترايبولوجية لمتراكبات النحاس - كاربون	Huijun Yang, Ruiying Luo, Suyi Han, Midan Li	12

13	K. Rajkumar , S. Aravinda n	الاداء الترابيولوجي لمتراكبات النحاس - كرافيت المعاملة حراريا بالموجات المايكروية	1- دراسة مرحلة ما بعد المعالجة الحرارية لمتراكبات النحاس - كرافيت بواسطة التسخين بالموجات المايكروية . 2- دراسة الاداء الترابيولوجي لمتراكبات النحاس - كرافيت المعالجة وغير المعالجة حرارياً .	أنتجت متراكبات النحاس - كرافيت بوساطة تقانة ميتالورجيا المساحيق . إذ استخدم مسحوق النحاس المحلل كهربائياً ومسحوق الكرافيت. مسحوق النحاس المستخدم بحجم جسيمات (12 µm) وبنقاوة (99.5 %) أما مسحوق الكرافيت فهو بحجم جسيمات (50 µm) وبنقاوة (99.8 %) . بعدها تم خلط المسحوقين باستخدام آلة طحن بالكرات لمدة ساعتين وبسرعة دوران (20 r.p.m) لضمان تجانس الخليط ولضمان عملية الخلط كانت نسبة الكرات للمسحوق تساوي (15:1) ومن ثم سخن الخليط لدرجة حرارة (150 °C) لضمان تبخر المواد المتطايرة . وكبس المسحوق بضغط (600 MPa) بعدها لبدت العينات بدرجة حرارة (900 °C) بجو من النيتروجين لمنع الاكسدة لمدة ساعتين ومن ثم بردت العينة داخل الفرن . بعدها أجريت المعاملة الحرارية للعينات باستخدام فرن مايكروويف وسخت لدرجة حرارة (600 °C) لمدة (10 - 20 - 30 min) .	1- أنتجت متراكبات النحاس - (5 %) كرافيت بوساطة تقانة ميتالورجيا المساحيق وعولجت حرارياً بنجاح باستخدام المعاملة الحرارية بالموجات المايكروية . 2- تم تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية مثل الكثافة والصلادة عند مقارنتها مع المتراكبات غير المعالجة حرارياً بسبب استجابة البنية المجهرية للتحسين بوساطة الموجات المايكروية . 3- معدل البلى في العينات المعاملة حرارياً اقل منه في العينات غير المعاملة بسبب تكوين طبقة كرافيت مستقرة عند اسطح الاتصال بالنحاس. 4- أن آلية البلى لمتراكبات النحاس - كرافيت غير المعالجة حرارياً تكون تشويه لدن مع تكسر البلى بصورة كبيرة ، أما في حالة المتراكبات المعالجة حرارياً بالموجات المايكروية فأن الية البلى تحدث بانفصال السطح الى صفائح وطبقات أي حدوث تقشير للطبقة السطحية لكل القوى والاحمال المسلطة .	تستخدم في تطبيقات موصلات الانزلاق الكهربائي	[27]
14	مهدي محمود مطر	تحضير متراكبات النحاس - كرافيت ودراسة خواصها الكهربائية والميكانيكية والحرارية	1- دراسة الخصائص الفيزيائية والحرارية والكهربائية لمتراكبات النحاس - كرافيت. 2- ايجاد الظروف العملية المثلى لتحضير متراكبات	تم تحضير متراكبات النحاس - كرافيت باستخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق. تم خلط مسحوق النحاس بنقاوة وحجم جسيمات (99.99%) و (≤ 63 µm) على التوالي مع مسحوق الكرافيت بنقاوة وحجم جسيمات (99.9%) و (< 30 µm) على التوالي وبنسب وزنية (5,10,20,30,40) % باستخدام خلاط ميكانيكي مع اضافة بولي فينول الكحول كمادة رابطة بمقدار (2%) . بعدها كبس الخليط على البارد بضغط (3 Ton/cm ²) لمدة (2 min) ومن ثم لبدت النماذج المكبوسة بدرجة حرارة (900 °C) لمدة (4) ساعة وبمعدل تسخين	1- استنتج الباحث بأن افضل نسبة للكرافيت هي (10%) لأنها تعطي افضل خصائص. 2- ان اضافة كل من (SiC) و(Kaolin) قامت بتحسين الخصائص الفيزيائية والصلادة ومعدل البلى والموصلية الحرارية والكهربائية إذ اعطى (SiC) بنسبة (2.5%) افضل خصائص واعطى (La ₂ O ₃) زيادة في الخصائص بينما اعطى (Kaolin) بنسبة (5%) تحسين للخصائص.	3- الفرش الكهربائية . 4- المحامل الانزلاقية الميكانيكية .	[28]

		الخصائص الميكانيكية. 3- دراسة تأثير الأكسدة الداخلية على الخصائص الفيزيائية للمتراكبات. 4- دراسة تأثير درجة الحرارة على مقاومة البلى للمتراكبات.		في انابيب من الكوارتز مفرغة من الهواء (4.5 °C/min) تم تحضير نماذج اخرى بنفس شروط التحضير اعلاه ولكن بنسبة كرافيت (10%) و (SiC) بنسبة (2.5%) و (La ₂ O ₃) بنسبة (1%) و (Kaolin) بنسبة (5%) لغرض المقارنة.	النحاس - كرافيت. 3- دراسة اضافة كل من (SiC - La ₂ O ₃ - Kaolin) على الخصائص الميكانيكية والكهربائية والحرارية للمتراكبات.			
[29]	1- محامل الانزلاق الكهربائي . 2- الفرش الكهربائية .	—————	1- يعتمد كل من معامل الاحتكاك ومعدل البلى لمتراكبات النحاس - كرافيت بقوة على سرعة الانزلاق ، وعندما تصل الى القيمة الحرجة (0.5 m/s) يحدث انتقال في نظام البلى والاحتكاك . 2- يعتمد الاداء الترابولوجي لمتراكبات نحاس - كرافيت على تكوين طبقة تزييت سطحية . 3- تكون آلية البلى معتدلة عندما تكون سرعة الانزلاق أقل من القيمة الحرجة وشديدة عندما تتجاوز السرعة القيمة الحرجة .	استخدم مسحوق النحاس والكرافيت بهذا البحث بأحجام جسيمات (> 74) و (> 42) على التوالي . تم خلط كرافيت بنسبة (5 %) باستخدام خلاط ميكانيكي. ثم كبس الخليط على الحار بدرجة حرارة (820 °C) لمدة (30) دقيقة في فرن مفرغ من الهواء لتجنب الأكسدة بضغط (20 MPa).	دراسة سلوك البلى والاحتكاك بتغير السرعة .	تأثير سرعة الانزلاق على المعالجة السطحية والسلوك الترابولوجي لمتراكبات النحاس - كرافيت .	Wenlin Ma , Jinjun Lu	15
[30]	1- المحامل الميكانيكية للاحتفاظ بالزيت . 2- الموصلات الكهربائية . 3- العديد من الاجزاء الميكانيكية .	—————	أثبتت النتائج المستحصلة الى انخفاض الكثافة النسبية بزيادة زمن الطحن وان الشروط المناسبة لإنتاج متراكبات النحاس - كرافيت ذات تكثيف مناسب هي :- 1- أن ضغط الكبس الأنسب هو (700 MPa) لمدة (30) ثانية عند الكبس على البارد . 2- التليد الأنسب هو بالضغط الساخن بمقدار (48 MPa) بدرجة حرارة (600) درجة مئوية لمدة ساعة واحدة والبتق الساخن بدرجة حرارة (750) درجة مئوية .	تم استخدام مسحوق النحاس الشجيري المحضر بطريقة التحليل الكهربائي ومسحوق الكرافيت الرقائقي وبمعدل حجم جسيمات (50 μm) و (38 μm) على التوالي وبنقاوة (99.9%) لكل منهما . تم خلط وطحن نسبة (97%) نحاس مع (3%) كرافيت لمدة (0-2-3-5-10) ساعة بوساطة طاحونة ميكانيكية باستخدام الكرات الفولاذية بنسب وزنية (10:1). ومن ثم كبس الخليط على البارد واجراء عملية التليد بالضغط الساخن في جو مفرغ بمقدار (10 ⁻⁴ Pa) .	1- دراسة قابلية التكثيف لمتراكبات النحاس - كرافيت . 2- تحديد الشروط المثلى لعمليات ميتالورجيا المساحيق من خلط وكبس وتليد.	تكثيف مسحوق متراكبات النحاس - كرافيت	Yongping Jin , Ming Hu	16

				تم التلييد بدرجات حرارية مختلفة (550-650-750-850-900) درجة مئوية . استخدام قالب بثق مسخن الى (300 °C) ونسبة البثق (λ) بمقدار (6.25) و (16) على التوالي .				
[31]	1- محامل الانزلاق الكهربائي . 2- الفرش الكهربائية .	—————	1- ان زيادة ضغط الكبس يسبب زيادة الكثافة النسبية للجسم الاخضر والملبد علاوة على زيادة الخصائص الميكانيكية. 2- زيادة درجة حرارة التلييد تؤدي الى زيادة مقاومة البلى وكذلك زيادة الخصائص الميكانيكية. 3- تقلص العينات يزداد بزيادة درجة حرارة التلييد ولكن عند نسبة الكرافيت (10%) تبدء النماذج بالتمدد ويرجع السبب الى تكون غاز (CO) داخل المتراكب بسبب زيادة محتوى الكرافيت ودرجة حرارة التلييد. 4- تزداد مقاومة البلى بزيادة نسبة الكرافيت حتى نسبة (5%) ثم تقل المقاومة بعد ذلك. 5- تقل مقاومة الانضغاط والصلادة والانفعال الحقيقي لمتراكبات النحاس – كرافيت بزيادة محتوى الكرافيت. 6- يقل معدل البلى عند اضافة الزنك والرصاص الى متراكبات النحاس – كرافيت ولكن الصلادة والانفعال الحقيقي ومقاومة الانضغاط تزداد.	تم تحضير متراكبات النحاس – كرافيت باستخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق. تم خلط مسحوق النحاس مع مسحوق الكرافيت بأحجام جسيمات (< 50 μm) و (< 6 μm) على التوالي وبنسب وزنية (2.5-5-7.5-10)% ومن ثم كبس الخليط على الباراد بضغوط مختلفة (150-250-350) (MPa) وبعدها تم تلييد النماذج بدرجات حرارة تلييد مختلفة (900-1000) درجة مئوية. تم تحضير متراكبات نحاس – (2.5-5)% كرافيت مع اضافة مسحوق الزنك بنسب (0.5-1.5-1)% وبحجم جسيمات (< 60μm) وكذلك اضافة مسحوق الرصاص بنسب (0.5-1.5-1) % وبنفس شروط التحضير اعلاه للمقارنة .	1- دراسة تأثير تغير ضغط الكبس ودرجة حرارة التلييد على متراكبات النحاس – كرافيت . 2- دراسة تأثير اضافة الرصاص والزنك على متراكبات النحاس – كرافيت.	دراسة تأثير متغيرات العملية وبعض الإضافات على الخصائص الميكانيكية ومقاومة البلى لمتراكبات ذات اساس من النحاس	Montasser Dewidara, G.T. Abdel-Jaber, Mahmoud Bakrey, and Hussien Badry	17
[32]	1- الفرش الكهربائية . 2- المحامل الانزلاقية الميكانيكية .	—————	1- يملك اختبار العمر للمتراكبات موثوقية عالية تحت شروط استخدام اعتيادية تتطلب وقت طويل . أما اختبار العمر المعجل (ALT) فهو طريقة مفيدة جدا لتقدير خصائص العمر وجوانب الموثوقية للمتراكبات في فترة أقصر من الوقت . 2- يمكن التنبؤ بالعمر لمتراكبات النحاس –	تم استخدام عينة من متراكبات النحاس – كرافيت بنسبة كرافيت (10%) . الحجم الحبيبي لجسيمات النحاس (12μm) ولجسيمات الكرافيت (50μm) وتم خلطهما جيدا ومن ثم كبس الخليط على الباراد . تم تلييد العينة الخضراء باستخدام فرن مايكرويف بدرجة حرارة (850 °C) ولمدة (1- أيجاد الاداء الترابيولوجي لمتراكبات النحاس – كرافيت . 2- دراسة اختبار البلى المعجل	اختبار البلى المعجل لإيجاد مميزات عمر متراكبات النحاس – كرافيت	K. Rajkumar , K. Kundu, S. Aravinda n , M.S.	18

	Kulkarni	الترايبولوجية.	لإيجاد تأثير ذلك على عمر متراكبات النحاس - كرافيت.	45 دقيقة باستثناء زمن التبريد . تم استخدام اختبار البلى للعينة على قرص من الفولاذ ومن ثم اختبار العمر المعجل (Accelerated Life Testing (ALT) .	<p>كرافيت الملبدة بفرن المايكرويف لتطبيقات موصلات الانزلاق الكهربائي تحت شروط ضغط معجلة والمشكلة مسبقا خلال منهجية اختبار البلى المعجل .</p> <p>3- تم اجراء تحليل الاعتمادية استنادا الى وقت وتاريخ الفشل الكامل. وان بيانات مرات الفشل كانت مزودة ايضا بتوزيع ويبل (Weibull) .</p> <p>أكدت القيم العالية لمعامل الارتباط العلاقة بين الضغط والعمر باستخدام نموذج (-IPL Weibull) لأثبتات منهجية اختبار العمر المعجل (ALT) للتنبؤ بالعمر .</p> <p>4- أن عرض احتمالية ويبل (Weibull) تتفق مع افتراض وجود عوامل شكل شائعة لكل الضغوط المعجلة من شروط الاستخدام التي استنتجت .</p> <p>5- تصل موثوقية تحديد عمر الاستخدام لمتراكبات النحاس -كرافيت الى (99%) لأكثر من (6149) ساعة .</p> <p>أن معدل عمر المتراكبات في شروط الاستخدام الاعتيادية هي (13043) ساعة واهي أعلى بكثير من قيمتها للمعادن التقليدية.</p>
19	K. Rajkumar , S. Aravinda n	الاداء الترايبولوجي لمتراكبات النحاس - كاربيد التيتانيوم - كرافيت الملبدة بالموجات المايكروية (المايكرويف)	دراسة الاداء الترايبولوجي لمتراكبات النحاس - كاربيد التيتانيوم - كرافيت الملبدة بالموجات المايكروية (المايكرويف)	تم استخدام مسحوق النحاس المرسب كهربائيا بحجم جسيمات (12µm) وبنقاوة (99.5%) . أما نقاوة كاربيد التيتانيوم وحجوم الجسيمات فكانت (99.2%) و (11µm) على التوالي ولمسحوق الكرافيت فكانت (99.8%) و (50µm) على التوالي أيضاً . استخدم كاربيد التيتانيوم بنسب (5,10,15%) والكرافيت بنسب (5-10%) ومن ثم تم خلطها مع مسحوق النحاس في خلاط كهربائي بسرعة (20 r.p.m) لمدة (90 min) .	<p>1- يكون التليد في افران الموجات المايكروية فعلاً لمتراكبات النحاس المستخدمة.</p> <p>2- تزداد صلادة المتراكبات بزيادة محتوى كاربيد التيتانيوم وتقل بزيادة محتوى الكرافيت.</p> <p>3- يزداد معدل البلى ومعامل الاحتكاك للمتراكبات بزيادة الحمل العمودي. أن معدل البلى ومعامل الاحتكاك لمواد التقوية أقل من المعدن الاساس.</p> <p>4- يقل معدل البلى للمتراكبات بزيادة محتوى</p>
[33]	1- المنزلقات الكهربائية . 2- المحامل الميكانيكية . 3- الفرش الكهربائية . 4- المعادن المضادة	—————			

	<p>للاحتكاك .</p>		<p>كاربيد التيتانيوم والكرافيت بسبب التأثير التعاوني لكلا المادتين . كما ان زيادة محتوى كاربيد التيتانيوم بالنسبة للحجم الكسري للكرافيت يقود الى ارتفاع معامل الاحتكاك . وأن معامل الاحتكاك للمتراكبات يقل بزيادة محتوى الكرافيت. 5- عند زيادة محتوى الكرافيت تكون طبقة سطحية تؤثر على الخصائص الترابيولوجية. 6- ان زيادة سرعة الانزلاق من (1.25) الى (2.51 m/s) تؤدي الى زيادة معدل البلى ومعامل الاحتكاك للمتراكبات. الية البلى للمتراكب الهجين ولكسر حجمي معين من الكرافيت بوجود (5%-TiC) هي بلى تأكسدي مقرون بالتشوه لدن.</p>	<p>سخن الخليط الى درجة حرارة (150 °C) لتبخير المواد المتطايرة الموجودة في الخليط . كبس الخليط بوساطة مكبس هيدروليكي. لبدت العينة الخضراء بوساطة فرن يعمل بالموجات المايكروية . بعدها اجريت اختبارات الصلادة والبلى وحسبت الكثافة والمسامية للعينات.</p>		<p>(المايكرويف)</p>		
<p>[34]</p>	<p>1- تستخدم في التطبيقات الالكترونية. 2- المبادلات الحرارية.</p>	<p>—————</p>	<p>1- يتأثر مستوى المسامية للمسحوق كيميائية السطح وبنيته. 2- تختلف البنية والشكل وتوزيع الخصائص للمسحوق الشجري والمسحوق الكروي . 3- ينتج المسحوق الشجري بوساطة التحليل الكهربائي الطبيعي والخالي من الاكسدة السطحية ونستطيع العمل به دون التأثير على تلويث السطح. 4- تتغير مستويات المسامية بصورة منتظمة ويقاس التغير في الموصلية الحرارية للمسحوق الشجري . 5- تقل الموصلية الحرارية عندما تزداد الحجم الكسرية للمسامية . 6- يمكن تخمين التغير في الموصلية الحرارية (K) بدلالة المسامية استناداً الى طبيعة المسامات . 7- يمكننا حساب التغير في خصائص المركب كدالة للمسامية ، ومن ثم يمكن للنموذج</p>	<p>استخدم في هذا البحث نوعين من مساحيق النحاس الاول عبارة عن مسحوق نحاس شجري بحجم حبيبي (26µm) والنوع الثاني مسحوق نحاس كروي بحجم حبيبي (15µm) ومتماثلة في الموصلية الحرارية والكثافة. تم التلييد عند درجة حرارة (650 °C) في قالب كرافيتي وباستخدام ضغوط حارة مختلفة (30,20,15,10,0) بار خلال التلييد وزمن يتغير من (20,15,10,5,0 دقيقة) واستخدم نوعين مختلفين من محيط التلييد الاول التلييد بالفراغ والثاني التلييد في جو ممزوج بكل من الاركون والهيدروجين .</p>	<p>دراسة تأثير خفض المسامية على الموصلية الحرارية لمعدن النحاس بصورة لا خطية . ومقارنة النتائج العملية مع نموذج قائم واقتراح التعديلات الممكنة .</p>	<p>تأثير المسامية على الموصلية الحرارية للنحاس المنتج بوساطة تقانة ميتالورجيا المساحيق</p>	<p>C. Vincent , J.F.Silvain , J.M.Heintz , N.Chandra</p>	<p>20</p>

					<p>المعدل لنظرية المتوسطة الفعالة (Effective Medium Theory) (EMT) أن يطابق البيانات العملية.</p>												
<p>21</p>	<p>XU Wei , HU Rui , LI Jin-shan , ZHANG Yong-zhen , FU Heng-zhi</p>	<p>علاقة السلوك الترابيولوجي لمتراكبات انابيب الكربون النانوية (CNT) – نحاس و متراكبات كرافيت – نحاس من حيث الموصلية الحرارية والكهربائية ومعدل البلى والصلادة ومعامل الاحتكاك</p>	<p>المقارنة بين متراكبات انابيب الكربون النانوية (CNT) – نحاس و متراكبات كرافيت – نحاس من حيث الموصلية الحرارية والكهربائية ومعدل البلى والصلادة ومعامل الاحتكاك</p>	<p>تم في هذا البحث استخدام نوعين من متراكبات نحاس – كربون هما:- 1- متراكبات نحاس – انابيب الكرافيت النانوية. تم خلط المزيج بحامض النتريك وحامض الكبريتيك. ثم بعد ذلك خلط المزيج لمدة 5 ساعات. تبع ذلك الكبس البارد بضغط (200 MPa) والتلييد واخيراً الكبس بضغط (600 MPa) للحصول على النموذج النهائي. 2- متراكبات نحاس – كرافيت بنفس شروط تحضير العينة الاولى.</p>	<p>1- أن صلادة برينل والموصلية الحرارية لمتراكبات نحاس – CNT تكون دائماً اكبر من متراكبات نحاس - كرافيت عندما يكون محتوى مادة التقوية اقل من 15% . أما عندما يكون محتوى مادة التقوية اكبر من 15% فإن صلادة برينل والموصلية الحرارية لمتراكبات نحاس – CNT تكون أقل من متراكبات كرافيت – نحاس. 2- يقل معامل الاحتكاك ومعدل البلى للمتراكبات بزيادة محتوى مادة التقوية ، ويزداد بزيادة كثافة التيار الكهربائي . 3- أن الية البلى السائدة لمتراكبات نحاس – كرافيت هي تآكل القوس الكهربائي والبلى المتلاصق . بينما في متراكبات نحاس – CNT هي البلى المتلاصق. 4- أن اضافة انابيب الكربون النانوية الى متراكبات النحاس تحسن من مقاومة الاحتكاك وخصائص البلى بوجود التيار الكهربائي .</p>	<p>تستخدم في تطبيقات الاداء العالي التي تحتاج الى موصلية حرارية وكهربائية عالية. خصائص التزييت الذاتي مثل (الفرش الكهربائية والمحامل الميكانيكية وشرائط الاتصال) .</p>	<p>[35]</p>										
<p>22</p>	<p>Chandana Priyadars hini Samal</p>	<p>دراسة البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية لمتراكبات النحاس – كرافيت المحضرة بوساطة تقانة ميتالورجيا المساحيق .</p>	<p>1- تحضير متراكبات النحاس – كرافيت بوساطة تقانة ميتالورجيا المساحيق. 2- تحسين الخصائص الميكانيكية للمتراكبات</p>	<p>تم تحضير متراكبات النحاس – كرافيت باستخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق. تم دراسة زمن الطحن لمتراكبات النحاس – كرافيت واستخدم الكرافيت بنسب (1%) و (5%) والجدول الاتي يبين مختلف العوامل والظروف لعملية الطحن : <table border="1" data-bbox="1108 1173 1518 1316"> <tr> <td>زمن الطحن (h)</td> <td>2-1-0.5</td> </tr> <tr> <td>المادة المرطبة للطحن</td> <td>C₆H₅-CH₃</td> </tr> <tr> <td>سرعة الطحن (r.p.m)</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>قطر كرات الطحن (mm)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>نسبة وزن الكرات للمسحوق</td> <td>5:1</td> </tr> </table> </p> <p>2- التصوير بالمجهر الالكتروني المساح (SEM) بين وجود روابط ملائمة بين المعدن الاساس (النحاس) ومادة التقوية (الكرافيت) على طول الاسطح الفاصلة .</p>	زمن الطحن (h)	2-1-0.5	المادة المرطبة للطحن	C ₆ H ₅ -CH ₃	سرعة الطحن (r.p.m)	300	قطر كرات الطحن (mm)	15	نسبة وزن الكرات للمسحوق	5:1	<p>1- دراسة حيود الأشعة السينية (XRD) إذ بينت وجود كل من أطوار النحاس والكرافيت مع أكسيد النحاس في عينات التلييد التقليدي بينما كانت عينات التلييد بشعلة البلازما خالية من المتضمنات الاوكسيدية بسبب استخدام شروط الافراغ (محيط مفرغ) . 2- التصوير بالمجهر الالكتروني المساح (SEM) بين وجود روابط ملائمة بين المعدن الاساس (النحاس) ومادة التقوية (الكرافيت) على طول الاسطح الفاصلة .</p>	<p>1- يمكن اضافة فحم الكوك لتحسين الروابط البينية للنحاس والكرافيت . 2- نستطيع ايضاً دراسة تأثير الحمل المسلط ومعامل الاحتكاك ومعدل البلى وحجم البلى والية البلى . 3- قياس الموصلية الكهربائية لمتراكبات</p>	<p>[36]</p>
زمن الطحن (h)	2-1-0.5																
المادة المرطبة للطحن	C ₆ H ₅ -CH ₃																
سرعة الطحن (r.p.m)	300																
قطر كرات الطحن (mm)	15																
نسبة وزن الكرات للمسحوق	5:1																

			<p>باستخدام مختلف تقانات التلييد مثل التلييد التقليدي والتلييد بشعلة البلازما (SPS). 3- تحقيق الامثلية لضغط الكبس ولمختلف ظروف التلييد مثل درجة الحرارة والزمن. 4- دراسة بعض الخصائص الفيزيائية للمترابك. 5- تأثير عملية الطحن على الروابط الداخلية للمترابك . 6- تحليل الفشل للمترابك المنتج بوساطة الضغط والانحناء 7- تحسين مقاومة البلي للمترابك المنتج.</p>	<p>تم التلييد بطريقتين هما التلييد التقليدي والتلييد بشعلة البلازما لدراسة البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية للمنتج. تم في الطريقة الاولى اضافة الكرافيت بنسب (1,3,5,10) % . تبع ذلك عمليات الكبس البارد والتلييد حسب الظروف المبينة في الجدول التالي :-</p> <table border="1" data-bbox="1122 483 1509 643"> <tr> <td>درجة حرارة التلييد (C)</td> <td>950-900-750</td> </tr> <tr> <td>ضغط الكبس (MPa)</td> <td>700-600-800</td> </tr> <tr> <td>زمن الثبات (h)</td> <td>1-1.5-0.5</td> </tr> <tr> <td>معدل التسخين (C/min)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>المحيط</td> <td>الاركون</td> </tr> <tr> <td>زمن ثبات الكبس (min)</td> <td>2</td> </tr> </table> <p>أما الطريقة الثانية فتم فيها كبس الخليط على البارد بضغط (700 MPa) لمدة (5) دقائق بنسبتي كرافيت (1%) و (5%) وتلييدها بشعلة البلازما (SPS) بجو مفرغ من الهواء وبمعدل تسخين (80 C/min) .</p>	درجة حرارة التلييد (C)	950-900-750	ضغط الكبس (MPa)	700-600-800	زمن الثبات (h)	1-1.5-0.5	معدل التسخين (C/min)	5	المحيط	الاركون	زمن ثبات الكبس (min)	2	<p>3- ان الشروط المثلى لكل من (درجة حرارة التلييد - ضغط الكبس على البارد - زمن التلييد) للتلييد التقليدي كانت (C 900 - 700 Mpa - 1h) على التوالي . 4- أنتجت عملية الطحن الاساسية لخليط المسحوق خليط ذو توزيع متجانس لجسيمات مادة التقوية بين جسيمات المعدن الاساس. 5- اكبر مقاومة تمزق عرضية واصغر معامل مرونة وجدت في مركب النحاس - (5 %) كرافيت . 6- اثبت اختبار البلي ان زيادة طبقة الكرافيت السطحية تسبب نقصان عمق البلي. 7- مقاومة الضغط العظمى المكتسبة من المركب ذو النسبة (1%) و (3%) كرافيت وكذلك الزيادة الاكبر في هذه النسبة تقود الى فشل المعدن بسبب زيادة هشاشيته. 8- أبدت العينات المحضرة بوساطة التلييد بشعلة البلازما بصورة عامة خصائص عالية مقارنة مع العينات المحضرة بوساطة التلييد التقليدي .</p>	<p>4- استخدام تقنيات تلييد أخرى مثل التلييد بالميكرويف وتقنية الكبس الحار لتكوين المترابكات. ومقارنتها مع النتائج المستحصلة في هذا البحث .</p>		
درجة حرارة التلييد (C)	950-900-750																			
ضغط الكبس (MPa)	700-600-800																			
زمن الثبات (h)	1-1.5-0.5																			
معدل التسخين (C/min)	5																			
المحيط	الاركون																			
زمن ثبات الكبس (min)	2																			
23	Sibabrata Mohanty ,	وصف تركيب	1- تحسين الخصائص	تم تحضير مترابكات النحاس - كرافيت باستخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق.	1- بينت دراسة حيود الاشعة السينية (XRD) وجود كل من أطوار النحاس والكرافيت مع	1- تحسين الروابط البينية بين النحاس	1- الفرش الكهربائية .	[37]												

<p>2- المحامل الانزلاقية الميكانيكية.</p>	<p>والكرافيت بواسطة استخدام فحم الكوك. 2- دراسة تأثير الحمل المسلط ومعامل الاحتكاك ومعدل البلى وحجم البلى والية البلى ... الخ من خلال دراسة عمق البلى . 3- دراسة تأثير أضافة الكرافيت على خصائص الموصلية الكهربائية للمترابك. 4- استخدام تقانات تلييد أخرى مثل التلييد بالمابكرويف وتقانة الكيس الحار لإنتاج المترابكات. 5- استخدام الامثلية في دراسة ظروف التلييد المختلفة مثل درجة الحرارة التلييد والزمن وضغط الكيس ومعدل التسخين.</p>	<p>أوكسيد النحاس في عينات التلييد التقليدي بينما عينات التلييد بشعلة البلازما خالية من المتضمنات الأوكسيدية بسبب استخدام شروط الافراغ (محيط مفرغ). 2- التصوير بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) بين وجود روابط ملائمة بين المعدن الأساس (النحاس) ومادة التقوية (الكرافيت) على طول الأسطح الفاصلة. 3- تقل صلادة مترابكات النحاس - كرافيت بزيادة كمية الكرافيت بسبب الطبيعة الطرية والليونة للكرافيت . 4- تشير دراسة البلى لعينات مترابكات النحاس - كرافيت الى انخفاض عمق البلى بزيادة محتوى الكرافيت. 5- اعطت العينات المحضرة بواسطة التلييد بشعلة البلازما بصورة عامة خصائص عالية مقارنة مع العينات المحضرة بواسطة التلييد التقليدي.</p>	<p>تم التلييد بطريقتين هما التلييد التقليدي والتلييد بشعلة البلازما لدراسة البنية البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية للمنتج. تم في الطريقة الاولى استخدام مسحوق النحاس والكرافيت بنسب كرافيت (10,5,3,1,0) % على التوالي وخطهما جيدا باستخدام خلاط ميكانيكي لمدة (30) دقيقة لضمان التوزيع المتجانس لجسيمات الكرافيت في كل انحاء المعدن الأساس . ثم كبس الخليط على البارد من جهة واحدة بضغط (700 MPa) لمدة (2) دقيقة في قالب ذو قطر (25) ملم. بعدها تم التلييد التقليدي باستخدام فرن انبوبي الشكل في جو من الاركون بنسبة (99.99%) بدرجة حرارة (900 °C) و (950 °C) لتكثيف العينات . ومعدل التسخين (5 C/min) والزمن الكلي لثبات درجة الحرارة ساعة واحدة. أما الطريقة الثانية فتم فيها كبس الخليط على البارد بضغط (700 MPa) لمدة (5) دقائق بنسبتي كرافيت (1%) و (5%) وتلييدها بشعلة البلازما (SPS) بجو مفرغ من الهواء وبمعدل تسخين (80 C/min)</p>	<p>الميكانيكية للمترابك باستخدام التلييد التقليدي والتلييد بشعلة البلازما (SPS) . 2- دراسة الاسطح البينية للنحاس - كرافيت . 3- دراسة خصائص البلى للمترابكات.</p>	<p>مترابكات النحاس - كرافيت بواسطة تقانة ميتالورجيا المساحيق</p>	<p>Abhijeet Mohanty</p>		
<p>[38]</p>	<p>1- الفرش الكهربائية . 2- المحامل الانزلاقية الميكانيكية</p>	<p>1- بينت خصائص الاخدود ان الية البلى المسيطرة تنتقل من الحرث الى القطع المايكروي مع زيادة الحمل العمودي. 2- بزيادة نسبة الكرافيت يقل الالتصاق بين سطح اداة الخدش والمترابك. 3- بزيادة نسبة الكرافيت تنشأ شقوق ويحدث نزع لجسيمات الكرافيت. 4- يأخذ معامل الاحتكاك قيماً مستقرة بزيادة</p>	<p>تم خلط مسحوق النحاس وبحجم جسيمات يقل عن (25 µm) ومسحوق الكرافيت بحجم جسيمات يقل عن (1.5 µm) باستخدام طاحونة كرات فولاذية سرعتها (250 r.p.m) لمدة (24) ساعة. تم كبس الخليط على الساخن بدرجة حرارة (975 °C) وضغط (25 MPa) لمدة (40) دقيقة بمحيط من النتروجين لتجنب الاكسدة. وكانت نسب الكرافيت</p>	<p>إنشاء نموذج لحساب كل من معامل الاحتكاك للالتصاق واجزاء الحرث بصورة منفصلة وذلك لمعرفة مستوى المساهمة في</p>	<p>سلوك الخدش المجهري لمترابكات نحاس - كرافيت</p>	<p>Jin-Kun Xiao, LeiZhang, Ke-ChaoZhou, Xin-PingWan g</p>	<p>24</p>	

			الكرافيت فوق نسبة (6%) .	(0,3,6,9,12,15,20,25,30) %	أجمالي معامل الاحتكاك .			
[39]	1- تستخدم بصورة واسعة في موصلات الانزلاق الكهربائي للمولدات والمحركات المحامل الميكانيكية. 2-	—————	أظهرت متراكبات النحاس – نانو كرافيت خصائص فيزيائية وميكانيكية عالية عند مقارنتها مع متراكبات النحاس – كرافيت غير نانوي بنفس النسب الحجمية . تعمل الخصائص الكامنة والغريبة والسعة الامتصاصية العالية للموجات المايكروية (المايكرويف) على تحسين الخصائص لمتراكبات النحاس - نانو كرافيت. أظهرت متراكبات النحاس – نانو كرافيت قدرة تحمل اعلى للأحمال وانخفاض معامل الاحتكاك مقارنة مع متراكبات النحاس – كرافيت بسبب تكون طبقة سميكة ومتصلة من الكرافيت على سطح الاتصال.	تم استخدام مسحوق النحاس المرسب كهربائيا بنقاوة (99.98 %) وبمعدل حجم جسيمات (12µm) ذات الشكل الشجري كمعدن اساس . بينما استخدمت جسيمات الكرافيت النانوية بنقاوة (99.9%) وبمساحة سطحية (BET) (40-60 m ² /g) وكثافة (2.25 g/cm ³) وبمعدل حجم جسيمات (35 nm) ذات الشكل الكروي كمادة معززة للمعدن الاساس . استخدم الكرافيت بنقاوة (99.8 %) وبمعدل حجم جسيمات (50 µm) ذو الشكل الرقائقي. لإنتاج متراكبات النحاس – كرافيت للمقارنة مع متراكبات النحاس – نانو كرافيت . تم استخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق في انتاج متراكبات النحاس – نانو كرافيت إذ تم مزج النحاس مع الكرافيت النانوي بوساطة خلاط كهربائي لمدة ساعتين لضمان التوزيع المتجانس للكرافيت النانوي بين جسيمات النحاس ومن ثم كيس الخليط باتجاه واحد بضغط (450 MPa) واستخدمت عدة نسب من الكرافيت النانوي هي (5,10,15,20) % . تم التلييد بالموجات المايكروية (المايكرويف) بقدرة (640 W) وبمعدل تسخين (12 °C/min) الى درجة حرارة (750 °C) ومن ثم تركه ليبرد داخل الفرن . تم انتاج عينة من متراكبات النحاس – 15% كرافيت غير نانوي وتحت نفس الظروف للمقارنة معها . وتم اجراء اختبارات البلى والصلادة للعينات .	دراسة تأثير حجم جسيمات الكرافيت على الخصائص الترابيولوجية ومقارنة النتائج المستحصلة مع متراكبات النحاس – كرافيت بأحجام جسيمات أكبر والملبدة بالموجات المايكروية (مايكرويف)	السلوك الترابيولوجي لمتراكبات النحاس – نانو كرافيت الملبدة بالموجات المايكروية (مايكرويف)	K. Rajkumar , S. Aravinda n	25

الفصل الثاني
الجزء النظري

CHAPTER TWO
THEORETICAL PART



الفصل الثاني

Theoretical Part الجزء النظري

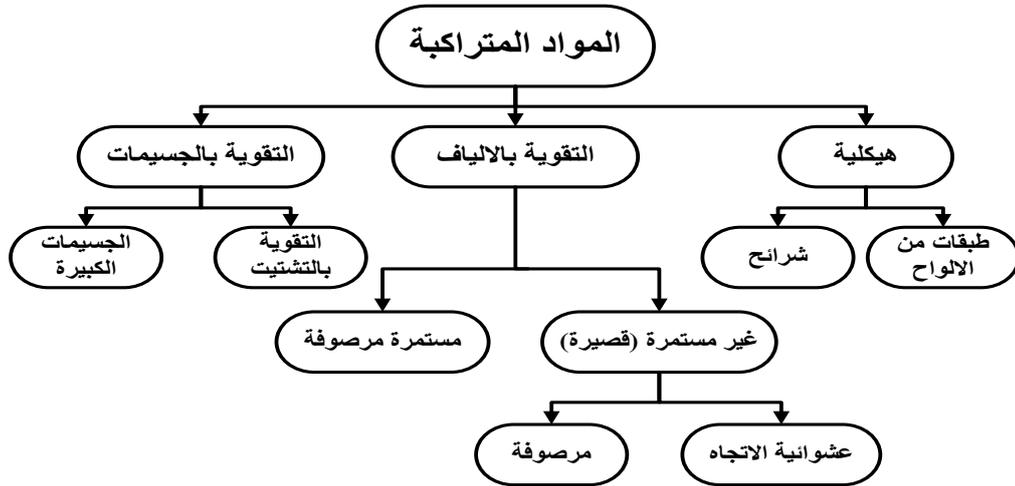
1.2 المقدمة Introduction

يعرض هذا الفصل المفاهيم الأساسية لخصائص المواد المتراكبة بشكل عام ومن ثم يتناول المتراكبات السيراميكية والمعدنية والبوليميرية ونظراً لأهمية تكنولوجيا المساحيق في تحضير المتراكبات المذكورة انفاً، تم التطرق إليها بشيء من التفصيل .

2.2 المواد المتراكبة Composite Materials

تتكون المواد المتراكبة من مادتين اساسيتين أو اكثر، مختلفة في الخواص الفيزيائية أو الكيميائية يتم مزجها مع بعضها ليكونا المتراكبات التي تتكون من طور التقوية (Reinforcement) وهو عبارة عن جسيمات صغيرة جدا او ألياف، وطور الاساس أو ما يسمى بالارضية (Matrix) الذي يحيط بمواد التقوية [4].

تكتسب المتراكبات قوتها وصلادتها من طور التقوية، بينما يعمل الطور الاساس على الربط بين جسيمات مادة التقوية ونقل الحمل اليها وتوزيعه فيما بينها علاوة على حمايتها من الاجواء المحيطة. وتعتمد خواص المواد المتراكبة على المكونات ونسبها في المركب وعلى شكلها الهندسي وطريقة توزيعها وحجمها واتجاهيتها ويبين الشكل (1.2) مخطط لأنواع المتراكبات حسب مواد التقوية الداخلة في تكوينها [4,7,40].



الشكل (1.2) مخطط لأنواع المتراكبات تبعاً لطبيعة مواد التقوية [4].

تتميز العديد من المواد المتراكبة بخفة وزنها الى جانب مقاومتها وصلادتها العالية ومقاومتها العالية للتآكل ولا تتطلب صيانة كثيرة للمركبة أو المنشأة التي تتكون منها بعكس تلك التي تتكون من المعادن، وهو أمر يفضله الجميع كونه يوفر أموالاً طائلة لمستخدمي المنشأة أو المركبة المكونة أو

المصنوعة من المواد المتراكبة وعلى سبيل المثال فإن صفيحة مكونة من المواد المتراكبة كالإلياف الكربونية لديها صلادة أعلى من صلادة صفيحة مماثلة من الفولاذ الكربوني بست مرات تقريبا، بينما هي أخف منها بست مرات في المقابل [42,41,4].

تختلف طرائق تصنيع المواد المتراكبة وتشكيلها عن تلك التي للمعادن فهي في الأساس تتكون من عناصر مختلفة وبالتالي فهي تتطلب تقانة عالية في طرائق تصنيعها وتشكيلها ولهذا فإن طرائق تصنيع المواد المتراكبة عالية الكلفة وتتطلب مهارة خاصة لأتمامها وتعد تقانة ميتالورجيا المساحيق موضوع بحثنا هذا إحدى طرائق تصنيع المواد المتراكبة [40,4].

لقد باتت المواد المتراكبة تغطي على معظم المكونات للأدوات والمركبات الحديثة بل تعدت ذلك إلى الدخول في مجال مكونات البناء والإنشاءات العمرانية كقواعد الجسور والبنىات الشاهقة وغيرها. وبسبب مقاومتها العالية للتآكل والتعرية (Erosion) وصلادتها العالية ومقاومتها للحرارة والحريق فإنها أصبحت ضرورة ملحة في الحياة العصرية ومن يدري فقد تبني بيوتنا المستقبلية جميعها من المواد المتراكبة التي ستكون أكثر مقاومة للزلازل وقل احتمالاً لتعرضها لأضرار الكوارث الطبيعية [41,4].

ويمكن تعريف طوري المواد المتراكبة كما يأتي [41,4] :-

❖ طور الأساس (Matrix Phase) :

أن هدف استخدام الطور الأساس هو توزيع الاجهادات المسلطة وإيصال الاجهاد الميكانيكي إلى مواد التقوية ويضمن حمايتها من العوامل الخارجية ويعرف بالطور الأساسي الذي يتميز بكونه طوراً مستمراً (Continuous Phase) .

❖ طور التقوية أو التدعيم (Reinforcement Phase) :

هو الهيكل الذي يتحمل القوى الميكانيكية المسلطة ويمكن أن يتمثل في عدة أشكال هي جسيمات صغيرة أو ألياف قصيرة أو ألياف طويلة مستمرة وذلك حسب الاستخدام ويمنح المتراكب المقاومة والجساءة .

1.2.2 تصنيف المواد المتراكبة Classification of Composites

يمكن تصنيف المواد المتراكبة تبعاً للمادة الأساس إلى ثلاثة أصناف وهي [42] :-

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Polymer Matrix Composites (PMCs) | 1- مواد متراكبة ذات أساس بوليمري |
| Ceramic Matrix Composites (MMCs) | 2- مواد متراكبة ذات أساس سيراميكي |
| Metal Matrix Composites (CMCs) | 3- مواد متراكبة ذات أساس معدني |

ويبين الجدول (1.2) تصنيف المواد المتراكبة وأهم أنواع المادة الأساس ومواد التقوية لكل منها .

الجدول (1.2) تصنيف المواد المتراكبة وأهم أنواع المادة الأساس ومواد التقوية [42].

Class	Matrix type	Reinforcement type
Polymer matrix composites (PMCs) (fiber reinforced polymers resin based composites)	Thermoplastics (e.g., PPS, PES)	Filler (e.g. , metal or ceramic powders, particulate, beads)
		Fibers (e.g. , carbon monofilaments/cut wires)
		Laminates (e.g. , glass sheets , aluminum foil)
	Thermosets (e.g., epoxy, PI, PA)	Filler (e.g. , metal or ceramic powders, particulate, beads)
		Fibers (e.g. , glass fibers, carbon monofilaments/cut wires)
		Laminates (e.g. , glass sheets , aluminum foil , honeycomb)
	Elastomers (e.g., rubber)	Filler (e.g. , graphite powders , particulate , beads)
		Fibers (e.g., carbon monofilaments/cut wires)
		Laminates (e.g. , glass sheets)
Metal matrix composites (MMCs)	Metals (e.g., Al, Mg, Ti, Cu)	Particulates, flakes (e.g. , ceramics , hard metal , diamond-like carbon)
		Fibers (e.g. , SiC or B ₄ C monofilaments , whiskers)
		Others (e.g. , expanded metal , mesh , honeycomb)
	Alloys	Particulates, flakes (e.g. , ceramics , hard metal , diamond-like carbon)
		Fibers (e.g. , SiC or B ₄ C monofilaments , whiskers)
		Others (e.g. , expanded metal , mesh , honeycomb)
Ceramic matrix composites (CMCs)	Ceramic	Particulates or flakes
		Carbon monofilaments and whiskers
		Metal fibers, cut wires, and whiskers
		Others (e.g. , expanded metal , mesh , honeycomb)
	Glass or Glass-ceramic	Particulate
Carbon-carbon	Monofilaments , whiskers , fabric honeycomb	

1.1.2.2 المتراكبات ذات الأساس البوليمري Polymer Matrix Composites (PMCs)

تعد من أكثر المواد المتراكبة شيوعاً وانتشاراً لما تتميز به من سهولة التصنيع وإمكانية إنتاج الأشكال المعقدة وهي ذات جدوى اقتصادية إذ تكون فيها المادة الأساس (Matrix) من البوليمر الذي يمكن تعريفه بأنه عبارة عن مركبات كيميائية لها وزن جزيئي عالٍ وسلاسل طويلة مؤلفة من وحدات بنائية متكررة تدعى (مونومير) (Monomer) . ويتكون البوليمر من نوعين بناءً على الخواص التي يتميز بها وهي [42,13] :-

- 1- البوليمرات اللدنة حرارياً (Thermoplastics) : وهي البوليمرات التي تصبح لينة عند تسخينها وتتصلد عند تبريدها ويحصل التلين دوماً عند التسخين. والتصليد عند التبريد وتكون بنيتها عبارة عن جزيئات منفردة طويلة السلسلة ويتم التشويه اللدن عن طريق الانزلاق بين الجزيئات المرتبطة مع بعضها بقوى فاندر فال الضعيفة.
- 2- البوليمرات الصلدة حرارياً (Thermosets) : وهي البوليمرات التي تنتج من عملية البلمرة (Polymerization) للمونيمرات الطرية أو اللزجة. تتم عملية التصليد عن طريق التسخين أو

عن طريق تطبيق حزمة الكترونية أو الاثنتين معاً. وخلال ذلك تأخذ شكلها ومقاومتها النهائية التي تبقى بعد التبريد ولا تتأثر بالتسخين اللاحق.

أما اطوار التدعيم او النقية فتتألف من ألياف زجاجية أو كاربونية أو بوليمرية أو جسيمات أو صفائح ، تتصف هذه المتراكبات بخصائص ميكانيكية متميزة ضمن درجات حرارية محدودة نسبياً بسبب مقاومتها المنخفضة لارتفاع درجات الحرارة [42] .

2.1.2.2 المتراكبات ذات الاساس السيراميكي

Ceramic Matrix Composites (CMCs)

احتلت المواد المتراكبة السيراميكية مكاناً متميزاً في حقل المواد الهندسية إذ يستخدم فيها السيراميك كمادة اساس (Matrix) مدعم بأحد انواع التدعيم مثل الالياف والجسيمات والصفائح. تعد المواد المتراكبة السيراميكية على رأس المواد المستخدمة في الاجزاء الهيكلية العاملة في البيئات القاسية والشديدة، مثل الصواريخ والمحركات النفاثة والتوربينات الغازية في محطات القدرة والاعلقة الحرارية للمركبات الفضائية وفرن المعاملات الحرارية وذلك لما تمتلكه من مقاومة عالية للحرارة والتآكل [42,4] .

أن من أكثر المواد السيراميكية شيوعاً واستخداماً هي (SiC , Si_3N_4 , SiO_2 , Al_2O_3) والتي تمتاز بارتفاع درجات حرارة انصهارها والتي تبلغ بحدود (1700 – 2500 م°) لذلك يتم اللجوء الى تقانة ميتالورجيا المساحيق لانتاج المنتجات بسبب صعوبة صهرها وسبكها إذ تخلط المساحيق وتكبس وتلبد في درجات حرارة اقل من درجات حرارة انصهار المواد المكونة لها . ويمكن تصنيف المواد المتراكبة السيراميكية الى نوعين [42] :-

❖ المواد المتراكبة السيراميكية الزجاجية

Glass–Ceramic-Matrix Composites (GMCs)

تستخدم هذه المتراكبات السيراميك كمادة اساس ومدعمة بجسيمات أو الياف أو شعيرات الزجاج إذ تمتاز بمقاومتها للدرجات الحرارية العالية والاحمال المؤثرة والتآكل.

Carbon–Carbon Composites (CCCs)

❖ المواد المتراكبة الكاربونية

تتكون هذه المتراكبات من الكاربون كمادة اساس ومدعم بألياف أو شعيرات من الكرافيت وغالباً ما تكون اقوى واكثر صلابة (Stiffer) واخف وزناً من الفولاذ والمعادن الهيكلية الاخرى. تمتاز هذه المتراكبات بالخصائص الحرارية الممتازة لمتلاكها معامل تمدد حراري منخفض وموصلية حرارية عالية علاوة على خصائصها الميكانيكية الجيدة.

3.1.2.2 المتراكبات ذات الاساس المعدني Metal Matrix Composites (MMCs)

تعرف بالمواد الهندسية المتقدمة لما تمتلكه من خصائص وصفات متميزة إذ يستخدم فيها المعدن كاساس ومدعم بأحد أطوار التقوية مثل الجسيمات والالياف والشعيرات وغيرها من مواد التقوية. يؤثر ويتحكم في خصائص المواد المتراكبة بشكل عام كل من نوع المعدن او السبيكة الاساس ونوع مادة التقوية علاوة على حجمها وشكلها وموقعها وطريقة الانشاء. وعند مقارنة المواد المتراكبة المعدنية مع السبيكة او المعدن الاساس بدون التقوية فأنها تظهر المميزات الاتية [43,42] :-

- 1- نسبة عالية من المقاومة الى الكثافة ومن الجساءة الى الكثافة كذلك .
- 2- مقاومة جيدة للبلل والكلال .
- 3- تحسن ملحوظ في مقاومة درجات الحرارة العالية.
- 4- مقاومة شد عالية .
- 5- معدل زحف منخفض .
- 6- معامل تمدد حراري منخفض .

وان الخصائص المذكورة آنفاً قد جعلت المتراكبات مفيدة جداً في العديد من التطبيقات المهمة مثل بعض اجزاء الطائرات والمركبات الفضائية وكذلك في صناعة السيارات وغيرها، كما ان اداء المتراكبات المعدنية افضل من العديد من المتراكبات الاخرى وخاصة المواد المتراكبة البوليمرية بسبب تحملها لدرجات الحرارة العالية وجسائتها ومقاومتها العالية وموصليتها الحرارية والكهربائية الجيدة، لكن لديها بعض المحددات بسبب ارتفاع تكاليف المعادن والسبائك وكذلك طرائق تحضيرها وتزكيبها المعقدة. ويبين الجدول (2.2) أهم المواد المتراكبة المعدنية المستخدمة في الصناعة ومواد التقوية والتطبيقات الخاصة بها [43,42] .

الجدول (2.2) أهم المتراكبات ذات الاساس المعدني ومواد التقوية وتطبيقاتها [42].

Metal matrix	Reinforcement	Applications
Aluminum	Particulates of SiC and B ₄ C	Brake rotors, pistons, and other automotive components
	Monofilaments of C, B, SiC or Al ₂ O ₃	Golf clubs, bicycles
	Discontinuous fibers of Al ₂ O ₃ , SiO ₂	Machinery components
	Whiskers of SiC	Golf clubs, bicycles
Magnesium	Particulates of SiC, B ₄ C	
	Monofilaments of C or Al ₂ O ₃	
	Whiskers of SiC	
Titanium	Particulates of TiC	Thermal shields
	Monofilaments of SiC or coated Al ₂ O ₃	High-temperature, corrosion-resistant components or skin material for the space craft
Copper	Particulates of SiC, B ₄ C, TiC	Heat sinks and electronic packaging
	Monofilaments of C or SiC	
	Wires of Nb ₃ Ti and Nb ₃ Sn	Superconductors
Super alloys	Tungsten wires	Jet turbine engines that operate at temperatures above 900°C

3.2 تقانة ميتالورجيا المساحيق Technique of Powder Metallurgy

ان عملية الحصول على مختلف المواد والمنتجات الجاهزة المصنوعة من مساحيق المعادن عن طريق التشكيل بالكبس والتلبيد المتتاليين دون المرور بمرحلة صهر المعدن وصبه تسمى ميتالورجيا المساحيق [44] .

تكمن أهمية ميتالورجيا المساحيق في امكانية انتاج بنية مجهرية متنوعة والحصول على مواد لها جمع من الخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية ذات تقانة معينة لايمكن الحصول عليها من المعادن والسبائك المصبوبة والمشكلة على الساخن علاوة على إمكانية إعداد منتجات من جميع المعادن تقريبا وكذلك صنع سبائك لايمكن الحصول عليها بطرائق الميتالورجيا التقليدية مطلقا . كما يمكن الحصول على ما يسمى بأشباه السبائك من معدنين او عدة معادن غير قابلة للاندماج مع بعضها (لاتكون فيما بينها محاليل سائلة او صلبة) ، ففي الصناعات الكهربائية على سبيل المثال تستعمل قاطعات التلامس (Contact – Breaker) التي تصنع من أشباه السبائك المتكونة من التتكتستن الصلب المقاوم للصدأ ومن الفضة اللينة ذات الموصلية الكهربائية العالية ، وهذان المعدنان لا يذوبان مع بعضهما بأي نسبة من النسب [44] .

استعملت تقانة ميتالورجيا المساحيق في الاساس لتشكيل المعادن والسبائك التي لايمكن تشكيلها بعمليات التشكيل الميكانيكي أو عمليات التشغيل مثل معادن التتكتستن والموليبدنيوم وسبائكهما وخاصة كاربيد التتكتستن وكاربيد الموليبدنيوم ذو الصلادة الفائقة ودرجات الانصهار المرتفعة ثم اتسع استعمالها الى ان اصبح يشمل عددا كبيرا من المعادن والسبائك واسعة الانتشار مثل الصلب والالمنيوم والنحاس وسبائكهما إذ حلت مشاكل الانتاج الصناعي للقطع المعدة من المعادن المقاومة للانصهار التي تزيد درجة حرارة انصهارها عن (2000 °C) ، تصنع في الوقت الحاضر عدد القطع السريع على اساس كاربيدات مقاومة للانصهار تتميز بصلادتها العالية [44] .

أن لنقاوة ودقة التركيب الكيماوي للسبائك والمواد المستعملة في ميتالورجيا المساحيق أهمية كبيرة إذ يمكن الحصول على تركيب من مواد معينة على درجة عالية من النقاوة وذلك لان عملية اعداد المنتجات لايتخللها احتراق في المركبات او اشابة المواد . وأن استخدام طرائق ميتالورجيا المساحيق في صناعة مختلف المنتجات يوفر في المعدن كثيراً وبالتالي يخفض من تكاليف المنتجات الجاهزة الى درجة كبيرة ، وتعد هذه الطريقة من عمليات التصنيع الواسعة الانتشار في وقتنا الحاضر وذات جدوى اقتصادية تجعلها من أكثر حقول علم المواد أهمية [44].

وتتلخص تقانة ميتالورجيا المساحيق بالخطوات الاتية [9,8] :-

- 1- تحضير المساحيق المعدنية إما بالطرائق الميكانيكية (الطحن ، التفريز ، البرادة) او بالطرائق الكيماوية (المساحيق الناتجة من بعض التفاعلات الكيماوية) وهناك طرائق اخرى اكثر تعقيدا منها منظومة التذرية بالماء (Water Atomization System) . ولغرض الحصول على خواص معينة للمنتجات تحدد لها الجهة المستفيدة يصار الى خلط او مزج مساحيق من معادن مختلفة.
- 2- كبس المساحيق بوساطة مكابس في قوالب تعطي المسحوق الشكل او الهيئة المطلوبة . تمتاز القوالب بالمتانة والمقاومة العالية وخلال كبس المسحوق تقل الفراغات الموجودة بين الجسيمات ويحدث بعض التماسك بينها.
- 3- تلييد (Sintering) المنتجات المكبوسة على البارد وذلك بتسخينها الى درجات حرارة مرتفعة نسبياً الا انها تكون دائماً اقل من درجة حرارة انصهار معدن المسحوق او درجة حرارة انصهار المعادن المشتركة في تركيب المسحوق . ويؤدي التلييد الى التحام الجسيمات مسبباً ارتفاع كثافة المنتج ومقاومته، ولا بد من الاختيار المناسب لدرجة الحرارة والوقت اللازم لإنتاج المنتجات ذات الجودة العالية .

1.3.2 مميزات تقانة ميتالورجيا المساحيق

Advantages of Powder Metallurgy Technology

- تمتاز عملية تشكيل مساحيق المعادن عن غيرها من عمليات التشكيل بما يأتي [46,45] :-
- 1- يمكن من خلال هذه التقانة الحصول على المنتج بشكله النهائي أو شبه النهائي مباشرة دون الحاجة الى عمليات اضافية للتشكيل او التشغيل.
 - 2- امكانية انتاج منتجات لايمكن تشكيلها او تكون صعبة التشكيل بالطرائق التقليدية للتشكيل والتشغيل .
 - 3- امكانية كبيرة لتغيير التركيب الكيماوي للمنتجات عن طريق التحكم في نسب مزج المساحيق وبالتالي توفر الامكانية للحصول على خواص متباينة .
 - 4- السيطرة على الحجم الحبيبي للمنتج كما ان البنية المجهرية منتظمة ومتجانسة نسبياً.
 - 5- تجنب ضياع المعدن بشكل كبير إذ يتحول حوالي (97 %) من المسحوق الى المنتج المطلوب مباشرة بالمقارنة مع العمليات الاخرى مثل السباكة التي تسبب ضياع كبير في المعدن.
 - 6- امكانية انتاج اجزاء معدنية ذات مسامية محددة والتي تفسح المجال لإنتاج أجزاء معدنية مسامية مثل المرشحات والمحامل الميكانيكية المزيتة والتروس .
 - 7- تعد هذه التقانة ذات انتاجية عالية واقتصادية .

8- انخفاض كبير في عيوب المنتجات مثل الجيوب الغازية والانعزال الملازمة لعمليات السباكة التقليدية وبالتالي تحسن الخواص بشكل عام .

2.3.2 محددات تقانة ميتالورجيا المساحيق

Disadvantages of Powder Metallurgy Technology

تكمّن محددات استخدام تقانة ميتالورجيا المساحيق فيما يأتي [46,45] :-

- 1- صعوبة انتاج المنتجات ذات الاشكال او الهيئات المعقدة.
- 2- تكون معظم المنتجات ذات مقاومة ومتانة اقل من منتجات عمليات التشكيل الاخرى .
- 3- ارتفاع تكاليف مساحيق المعادن لنقاوتها العالية علاوة على ارتفاع تكاليف المكابس وتصنيع القوالب .
- 4- صعوبة التخزين علاوة على التعامل مع بعض المساحيق بحذر في اثناء النقل والانتاج لما قد تسببه من أمراض خطيرة للعاملين.
- 5- صعوبة تجانس الكثافات للمنتج وخاصة للاجزاء المعقدة .

3.3.2 تطبيقات تقانة ميتالورجيا المساحيق

Applications of Powder Metallurgy Technology

1.3.3.2 المحامل ذاتية التزيت Self Lubricant Bearings

تستعمل في الاجزاء من المعدات والاجهزة التي يصعب تزييتها خارجيا . وتصنع هذه المحامل بكبس وتلييد مساحيق النحاس والقصدير مع اضافات معينة من مسحوق الكرافيت ثم تشبع المنتجات بالزيت إذ ينفذ الى المسامات الموجودة فيها . وتكون كميات الزيت الممتصة كافية لاستعمال هذه المحامل لفترات زمنية طويلة دون الحاجة الى تزييت خارجي . ويكثر استعمال هذه المحامل في السيارات والمعدات الكهربائية الاخرى [9] .

2.3.3.2 المرشحات المعدنية Metal Filters

تصنع المرشحات المستعملة في منظومات الوقود السائل مثل البنزين والنفط والزيوت والتي يكثر استخدامها عادة في مكائن الاحتراق الداخلي من بعض المواد الخزفية او السيراميك . الا ان المرشحات المصنعة من المساحيق المعدنية تمتاز عليها بارتفاع متانتها ومقاومتها للصدمات علاوة على مقاومتها الجيدة لدرجات الحرارة . وتصنع هذه المرشحات عادة من مزيج من مساحيق النيكل والبرونز [9].

3.3.3.2 اسلاك المصابيح الكهربائية ولقم عدد القطع

Wires For Light Bulbs And Cutting Tool

تصنع من مسحوق معدن التتكتستن الذي يكبس ويلبد الى هيئة قضيب ثم يتم سحبه الى السلك المستعمل في المصابيح الكهربائية. اما لقم اقلام القطع (اقلام الكربيد) فتصنع من مزيج من مساحيق معدن التتكتستن والكاربون. ويجري تسخين المزيج قبل الكبس ومن ثم يلبد في درجات حرارية عالية قد تصل الى (1500 °C) فينتج كربيد التتكتستن الذي يمتاز بصلادته الفائقة، ومن هنا جاء استعماله في عدد قطع المعادن ورؤوس المثاقب [9] .

4.3.2 تحضير المساحيق Preparation of Powders

تعد عملية تحضير المساحيق من أهم العمليات لأنتاج المتراكبات ذات التركيب المعقد وأن لطريقة التحضير الاثر الكبير في صفاتها فهي تؤثر في شكل الجسيمات وحجمها وتوزيعها والاطوار البلورية ، تتلخص هذه العملية بأختيار المواد الاولية وتصنيفها وخطها للحصول على التجانس الكيميائي المطلوب وكذلك تنظيف المساحيق المعدنية من الشوائب غير المرغوب فيها بطرائق كيميائية وهيدروميكانيكية ومغناطيسية، تمر المساحيق في بعض الحالات بمعالجات ميكانيكية وحرارية اولية للتوصل الى التغير الملائم في خواصها وكما يلي [44] :-

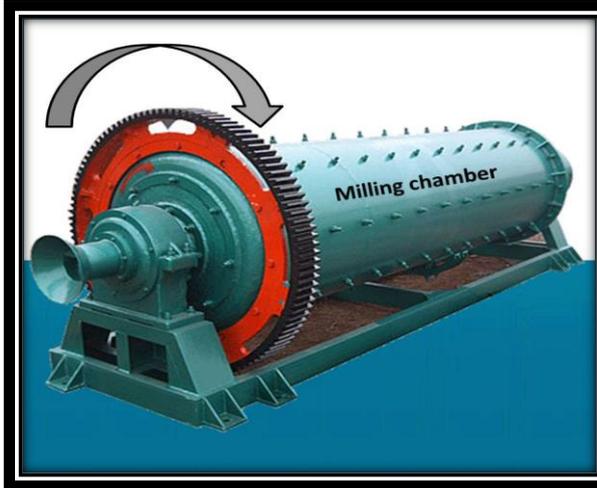
1.4.3.2 المعالجات الميكانيكية Mechanical Treatments

توجد عدة معالجات ميكانيكية وفيزيائية لتحضير المساحيق ومنها التشغيل (Machining) والتكسير (Crushing) والطحن (Milling) والقذف (Shooting) والتزرية (Atomization) ومن أهم هذه المعالجات هو اجراء عمليات طحن اضافية للمساحيق لزيادة التشتت وتنعيم حجم الجسيمات . ويمكن ضبط ابعاد الدقائق بالقيم المطلوبة وكذلك زيادة الكثافة الظاهرية للمسحوق عند اختيار نظام الطحن الصحيح [8] .

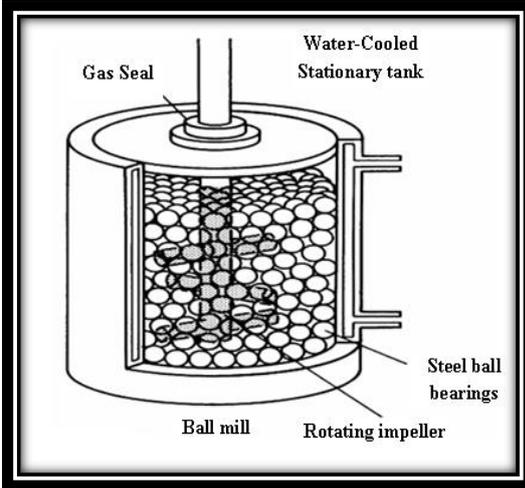
تعد تقانة الطحن الاقدم والاكثر استعمالاً في تحضير المساحيق لانها بسيطة ويمكن تطبيقها لانواع عديدة من المواد ولها دور اساسي في الحصول على توزيع حجم حبيبي مناسب للمنتج . وهناك عدة وسائل طحن منها على سبيل المثال الطحن بالقضبان (Rod Mill) والطحن بالكرات (Ball Mill) وكذلك الطحن بالمطرقة وغيرها . وان عملية الطحن بالكرات هي الاكثر استعمالاً لسهولة العمل بها وفعاليتها الجيدة للطحن بسبب الكثافة العالية للكرات مما تولد صدمة قوية وبالتالي تؤدي الى تقليل زمن الطحن ويبين الشكل (2.2) مقطع للطاحونة ذات الكرات. والطاحونة عبارة عن حاويات اسطوانية الشكل تدور حول محور افقي أو عمودي بوساطة قضيبين اسطوانيين يدوران عن

طريق محرك كهربائي. تصنع الحاوية من مواد معدنية أو سيراميكية مبطنة بالكوارتز أو السيراميك ذي المحتوى العالي من الالومينا . يمكن ان يكون الخلط جافاً أو مبللاً ويستعمل الكحول الابيض أو البنزين أو المياه المقطرة أو الكليسرين أو ما شابه ذلك كوسط سائل يوضع مع المساحيق في الخلاطات إذ يحقق الخلط المبلل الحصول على مخاليط أدق وأكثر تجانساً في توزيعها ، ويبين الشكل (3.2) الطاحونة الاسطوانية الافقية الدوارة . أما أهم العوامل المؤثرة على عملية الطحن فهي [48,44,8] :-

- سرعة الطحن .
- نوع الكرات وحجمها .
- نوع بطانة الطاحونة .
- تركيب الجسيمات وحجمها وصلادة المادة المراد طحنها .



الشكل (3.2) الطاحونة الاسطوانية الافقية الدوارة [48].



الشكل (2.2) طاحونة ذات كرات [48].

2.4.3.2 المعالجات الحرارية Heat Treatments

يتم تليدين المساحيق المعدنية من اجل التخلص من اثار التصليد الانفعالي المصاحب لعمليات التشكيل على البارد وكذلك لتحسين تجانس الخواص الفيزيائية والكيميائية للمساحيق أو للأضافات السببكية. تحتاج عملية التجانس الى درجات حرارية عالية نسبياً ويتم ذلك في درجات حرارية أعلى بعض الشيء من درجات الحرارة اللازمة لإعادة تبلور معدن المسحوق. عادة يؤدي التليدين عند درجات الحرارة العالية الى زيادة حجم الجسيمات وتليدها مما يستلزم اجراء عملية تقنيت المسحوق بعد التليدين الاول ومن ثم اعادة التليدين عند درجات حرارة منخفضة للتخلص من التصليد الناتج عن التقنيت. ولتجنب اكسدة المساحيق تجري عملية التليدين في جو واقٍ أو جو مختزل [44].

5.3.2 تصنيف المساحيق Classification of Powders

1.5.3.2 التصنيف اعتماداً على حجم الجسيمات

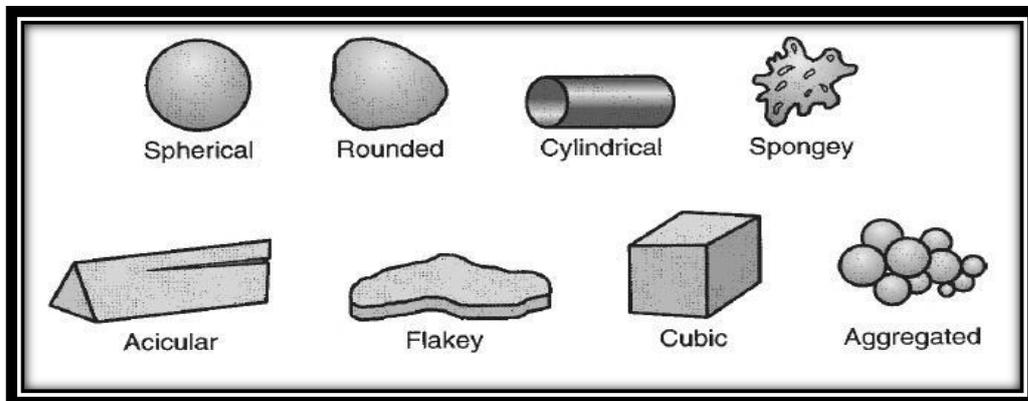
Classification Depending on The Particle Size

تجرى هذه العملية بعد عملية الطحن وان الغاية منها هي معرفة مقاس وتوزيع حجم الجسيمات (Partical Size Distribution) للمواد الأولية، إذ تصنف الدقائق تبعاً لمقاسات معينة باستخدام المناخل القياسية، وعلى ضوء هذه العملية تحدد خواص المنتجات من خلال الحجم الذي يؤثر على مساحة التلامس بين الحبيبات والتي تعد عاملاً مهماً في التفاعلات الكيميائية في اثناء عملية التليد. ان وجود التدرج بحجوم الدقائق يعمل على ملئ الفراغات الموجودة بينها وبالتالي زيادة كثافة المنتج وتقليل المسامية له عند الكبس. تعد عملية التصنيف بالمناخل بصورة عامة هي الأيسر والاقبل كلفة من بين الطرائق الاخرى. أما عند الحاجة الى تحديد دقيق لحجوم واشكال الجسيمات فيتم استخدام المجهر الضوئي والمجهر الالكتروني الماسح (SEM) [47,44,8] .

2.5.3.2 التصنيف اعتماداً على شكل الجسيمات

Classification Depending on The Shape of Particles

يمكن تصنيف المسحوق نسبة للشكل إذ تختلف اشكال جسيمات المسحوق تبعاً لطبيعة المعدن الكيميائية ولطريقة الحصول على المسحوق ، فالمساحيق المرسبة كهربائياً تكون جسيماتها شجيرية الشكل والمساحيق المطحونة في الطواحين الدوامية تكون جسيماتها مفلطحة اي على شكل قشور أما المساحيق المطحونة في الطواحين ذات الكرات فتكون جسيماتها عديدة الاضلاع ويبين الشكل (4.2) الانواع الشائعة لاشكال الجسيمات. ويؤثر شكل الجسيمات تأثيراً كبيراً على الخواص مثل الوزن النوعي والقابلية على التكايس والكثافة والمتانة والتجانس [45,44].



الشكل (4.2) الاشكال الشائعة للمساحيق [45].

المساحيق ذات الشكل الشجيري تعطي أقل الأوزان النوعية وأعلى متانة بعد الكبس وعلى العكس نجد أن المساحيق ذات الجسيمات الكروية تعطي أقل قابلية للكبس مع أكبر وزن نوعي للمسحوق لذلك تحتاج إلى ضغوط أعلى للحصول على مكبوسات كافية المتانة أما الجسيمات المسطحة الشكل فهي ذات قابلية ضعيفة للكبس ويحتوي على الأغلب نواتج كبسها على الكثير من الشقوق وتتكسر مكبوساتها على شكل طبقات [47,44].

6.3.2 عملية المزج Mixing Process

المزج يعني عملية خلط المساحيق مع بعضها قبل عملية الكبس بواسطة خلاطات ميكانيكية أو يدوية بهدف تجانس التركيب الكيميائي والكثافة الظاهرية للمنتج والحصول على توزيع منتظم للحجوم لتحسين الخصائص وتعتمد عملية المزج على عدة عوامل منها [49] :-

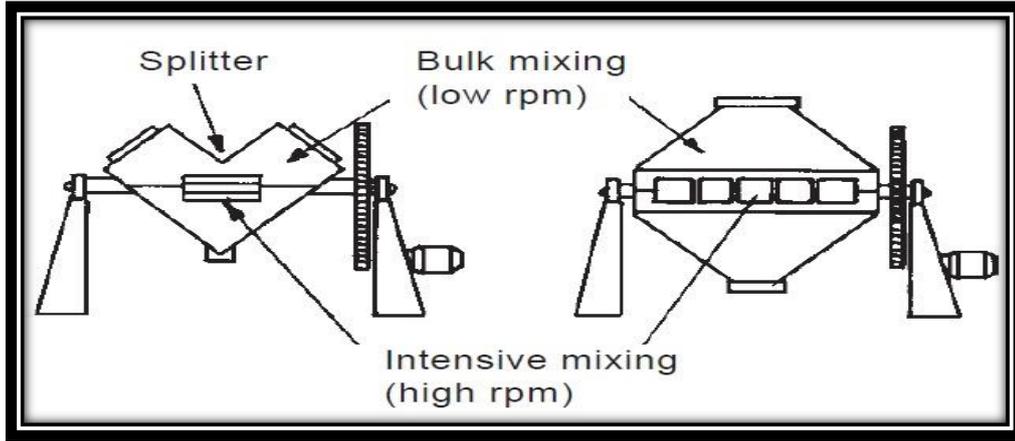
- 1- نوع وحجم وشكل الخلاط علاوة على مساحة سطحه الداخلي .
- 2- حجم المسحوق داخل الخلاط قبل وبعد الخلط وكذلك نسبة حجم الخلاط إلى المسحوق.
- 3- خصائص ومميزات المسحوق .
- 4- السرعة الدورانية للخلاط .
- 5- زمن ودرجة حرارة الخلط علاوة على جو (وسط) الخلط .
- 6- نوع الخلط أن كان جاف أو رطب.

تكون كفاءة الخلط أفضل عندما يتراوح حجم المسحوق من (50-60) % من حجم الخلاط ، كما أن زمن الخلط الأمثل من (5-30) دقيقة . وهناك عدة أنواع من الخلاطات منها [49] :-

أ- **الخلاط المخروطي المزودج** : يتكون هذا النوع من الخلاطات من عدة اسطوانات عمودية مع نهايات مخروطية الشكل وتدور حول محور أفقي إذ يعمل الدوران والشكل المخروطي على تشتيت وتوزيع جسيمات المسحوق مما يؤدي إلى توزيعها بصورة منتظمة ، كما أن هذا النوع لا يغير من شكل وحجم الجسيمات.

ب- **الخلاط شكل (V)** : يتكون من اسطوانتين متماثلتين وملحومتين على شكل حرف (V) وتدوران حول محور أفقي مما يسمح للجسيمات بالانتشار والخلط بصورة جيدة .

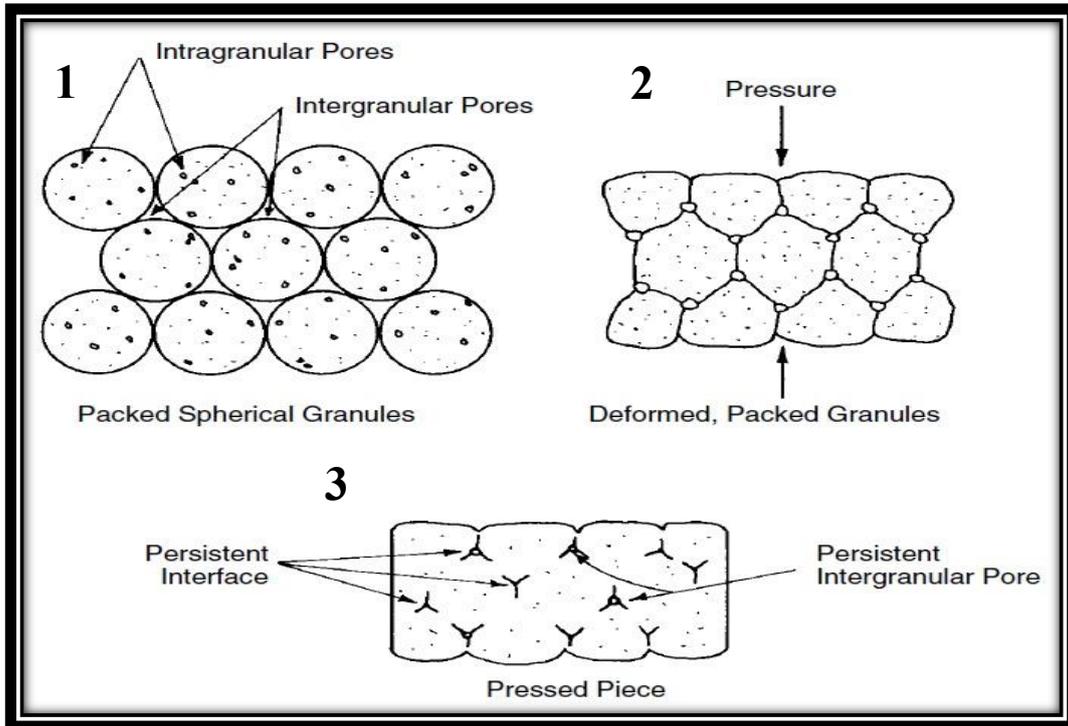
ويبين الشكل (5.2) كل من الخلاط المخروطي المزودج والخلط بشكل (V) .



الشكل (5.2) الخلاط المخروطي المزدوج والخلاط بشكل (V) [49].

7.3.2 عملية الكبس Pressing Process

عملية كبس المساحيق هي العملية التي نحصل بواسطتها على جسم متين نسبياً (اجزاء نصف مصنعة) له شكل وابعاد مطابقة لشكل وابعاد المنتج الجاهز (مع حساب التفاوت المفروض للانكماش والمعايرة اثناء عملية التلييد) من مسحوق ليس له شكل معين ويبين الشكل (6.2) التغير بالشكل وكذلك التغير بتوزيع الحجوم المسامية خلال عملية كبس المساحيق [50,44].



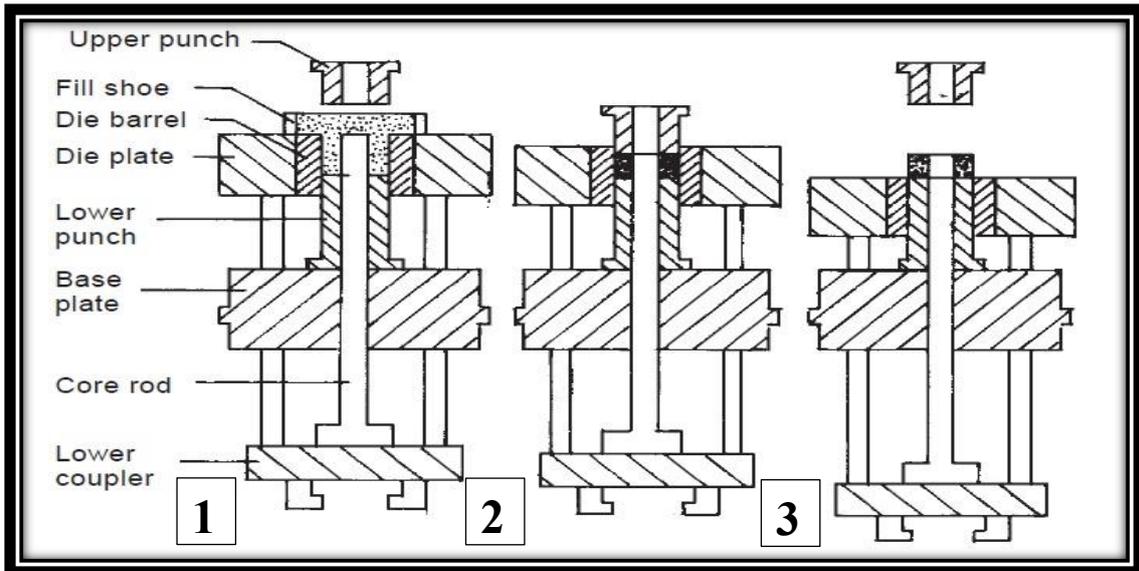
الشكل (6.2) التغير بالشكل وتوزيع الحجوم المسامية خلال عملية كبس المساحيق [50].

تعد عملية كبس المساحيق مرحلة اساسية وحاكمة لانها تؤثر على كثافة الجزء الناتج وانتظامية التركيب الداخلي وانعكاسها على الخواص النهائية بعد عملية التلييد ، كما تمنح هذه العملية المنتج

الشكل والتركيب والمقاومة اللازمة للمناولة قبل عملية التلييد وهو ما يعرف بالمقاومة الخضراء (Green Strength) ، إن أغلب المنتجات يتم كبسها باستخدام قوالب معدنية مغلقة مصنوعة من الفولاذ السبائكي (Alloy Steel) لكي تتحمل الضغوط العالية المسلطة وتتميز بأبعاد وسماحات دقيقة. تتضمن عملية الكبس، بصورة عامة، ثلاث مراحل أساسية وهي [50,49,44] :-

- 1- ملئ جوف القالب بالكمية المطلوبة من المسحوق .
- 2- الكبس بضغط معين لفترة زمنية محدودة للحصول على الابعاد المناسبة للمنتج وللتخلص من احتمال الارجاع المرن.
- 3- انسحاب المكبس العلوي من القالب عن المنتج، وأخراج المنتج من القالب ، وهي مرحلة خطيرة بسبب الاحتكاك بين جدار القالب والمنتج الذي قد يؤدي الى الفشل ما لم تكن المقاومة الخضراء للمنتج أعلى من مقاومة الانحناء الناتجة عن قوة الدفع . ويبين الشكل (7.2) المراحل الثلاثة الاساسية لعملية الكبس .

عند أخراج المكبوسات من قالب الكبس تتعرض لتمدد مرن من جميع الجهات ويكون هذا التمدد مرتبطاً بقوة المرونة الداخلية إذ تكون قيمة هذا التمدد بالنسبة للارتفاع أكثر وضوحاً مما هو عليه بالنسبة للقطر أو السمك فإذا كان التمدد المرن بالنسبة للقطر يتراوح عادة بين (0.15-0.3 %) فإنه يصل بالنسبة للارتفاع الى (0.5 %) أو أكثر ، كما أن التمدد المرن بعد تأثير عملية الكبس يكون أكثر وضوحاً في حالة المساحيق المعدنية الصلدة منه في حالة المساحيق المعدنية اللدنة إذ تقل الاجهادات الداخلية بعض الشيء وتقل أسطح التلامس بين الجسيمات المكبوسة [44] .



الشكل (7.2) المراحل الاربعة الاساسية لعملية الكبس [49].

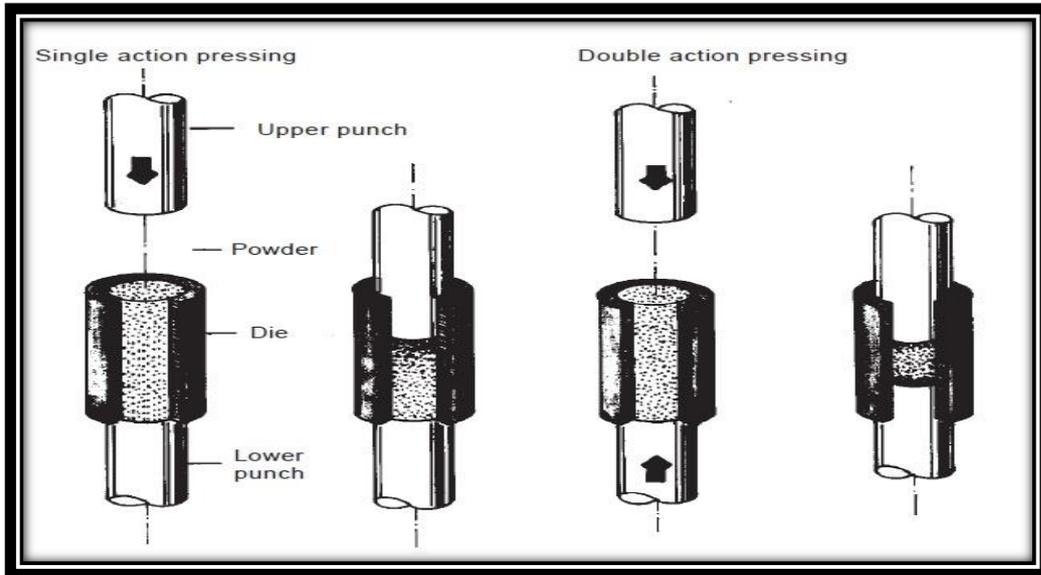
1.7.3.2 طرائق كبس المساحيق Powder Pressing Methods

1.1.7.3.2 الكبس احادي الاتجاه Uniaxial Pressing

يستعمل عند اعداد منتجات ذات شكل بسيط. وعندما لا تزيد النسبة بين الطول (ارتفاع) والقطر (سمك أو عرض المنتج) عن 2 كما في صناعة قطع التلامس الكهربائي وغيرها من الاجزاء البسيطة ومن أهم محددات استخدام هذا النوع من الكبس هو عدم تجانس كثافة المكبوسات طولياً بحيث تقل الكثافة من الاعلى الى الاسفل وعند تحليل الكثافة افقياً فإن كثافة الطبقات العليا تزداد من المركز الى المحيط وبالعكس بالنسبة للطبقات الدنيا إذ تزداد الكثافة من المحيط الى المركز، ومن أهم الاسباب المؤدية الى عدم تجانس المكبوسات هو الاحتكاك بين المسحوق وسطح القالب اثناء عملية الكبس. يظهر عدم تجانس المكبوسات بدرجة كبيرة على امتداد الطول عند الكبس من طرف واحد في المكبوسات غير متساوية المحاور وعندما يتحتم استعمال هذا النوع من الكبس وتكون النسبة بين طول وسمك القطعة كبير يصمم قالب الكبس بحيث يكون اصغر ابعاد القطعة المراد كبسها في اتجاه حركة المكبس. تسكب شحنة المسحوق في قالب الكبس ومن ثم يسلط الضغط بواسطة المكبس الهيدروليكي للحصول على المنتج الجاهز أو قطع نصف مشغلة . وبعدها يرفع الضغط ويوضع القالب على حلقة خاصة ويضغط مرة ثانية على المكبس الذي يُخرج القطع المكبوسة من قالب الكبس [44] .

2.1.7.3.2 الكبس ثنائي الاتجاه Biaxial Pressing

يستخدم للحصول على مكبوسات تكون النسبة بين طولها وعرضها (أو قطرها) اكبر من (2) أو عندما يكون للقطعة شكل يتعذر معه الحصول على كثافة متجانسة بطول القطعة عن طريق الكبس من طرف واحد إذ يسكب المسحوق في قالب الكبس المجمع الذي تكون قاعدته عبارة عن المكبس السفلي وبعد ذلك يثبت المكبس العلوي ثم يضغط كل من المكبسين معاً وبهذا يتم كبس المسحوق من طرفي قالب الكبس. وبذلك نحصل على مكبوسات متجانسة الكثافة نسبياً على امتداد طولها. ويتميز المنتج بعد التلييد بتجانس المتانة [44] . ويبين الشكل (8.2) كل من الكبس احادي الاتجاه والكبس ثنائي الاتجاه.



الشكل (8.2) الكبس من طرف واحد والكبس من طرفين [49].

2.1.7.3.2 كبس الاشكال المعقدة Pressing Complex Shapes

يتم كبس القطع ذات الاشكال المعقدة والقطع التي تكون أبعادها غير متساوية في اتجاه محور الكبس، بعد اعداد قوالب الكبس مع مراعاة امكانية الكبس المتجانس للمساحيق في المقاطع المختلفة عن طريق استعمال عدة كباسات تتحرك ذاتياً والتي تحقق الضغط بقيم مختلفة على مختلف أجزاء المسحوق. وفي بعض الحالات وللحصول على منتجات ذات اشكال معقدة تكبس القطع نصف المصنعة كبساً أولاً ثم يعاد كبسها بعد التلييد الاول حتى تأخذ شكلها النهائي [44].

ان استعمال تقانة ميتالورجيا المساحيق للحصول على منتجات معقدة الشكل وكبيرة الابعاد يكون محدوداً بسبب صعوبة التصميم وارتفاع ثمن قالب الكبس وضرورة استعمال مكابس ذات قدرة عالية وبغية حل المشاكل المتعلقة باعداد القطع ذات الاشكال المعقدة بهذه الطريقة يجب مراعاة ماياتي [44] :-

- 1- لا يستحسن كبس المنتجات التي لها اسنان لولبية داخلية أو خارجية.
- 2- تجنب كبس منتجات يزيد ارتفاعها (طولها) كثيراً عن مقطعها العرضي.
- 3- الابتعاد عن الزوايا والحواف الحادة عند كبس القطع ذات الاشكال المعقدة والاطراف الرفيعة.
- 4- لا يفضل وجود تغيرات فجائية في الاشكال وانصاف أقطار ($0.25 >$) ملم.

4.1.7.3.2 الكبس الايزوستاتيكي Isostatic Pressing

يستعمل للحصول على قطع نصف مصنعة بسيطة الشكل وغير دقيقة الابعاد. وتسمى هذه الطريقة كذلك بالكبس من جميع الجوانب وهي تتلخص في كبس غلاف مملوء بالمسحوق من جميع

جوانبه بوساطة سائل ونتيجة لمثل هذا الكبس نحصل على مكبوسات متجانسة تتميز بانتظام الكثافة في كل جسم المنتج. ويمتاز هذا النوع من الكبس بتحقيق كثافات عالية ومتجانسة للمكبوسات مع عدم ظهور الشروخ الطبقية أو الشقوق والعيوب الاخرى التي تلازم الطرائق العادية للكبس ، تؤثر الكثافة المتجانسة للمكبوسات تأثيراً مفيداً على خواص المنتج في اثناء عملية التلييد اللاحقة منها [44]:-

- 1- انتظام الانكماش في حجم القطعة .
- 2- إمكانية الحصول على كثافات عالية بتطبيق ضغوط منخفضة نسبياً .
- 3- لا يستلزم استعمال قوالب كبس مرتفعة الثمن.
- 4- إمكانية كبس قطع يصل وزنها الى مئات الكيلوغرامات والتي يستحيل كبسها بطرائق الكبس العادية.

ولصعوبة الحصول على ابعاد دقيقة في مكبوسات هذه العملية فان الامر يتطلب معالجات ميكانيكية على المنتج لضبط تلك الابعاد [44].

5.1.7.3.2 الكبس بالبثق Extrusion Pressing

تتلخص العملية بأمرار شحنة المسحوق المعدني المعدة للكبس تحت قوة ضغط كبيرة خلال مخروط وفوهة قالب الكبس إذ يتم تكثيف المسحوق نتيجة للاحتكاك مع اسطح المخروط وفوهة قالب الكبس. تتميز عملية الكبس بالبثق عن طرائق الكبس العادية بإمكانية الحصول على منتجات ذات كثافة متجانسة وبنسبة كبيرة بين الطول والابعاد العرضية [44].

6.1.7.3.2 الكبس الساخن Hot Pressing

تعد هذه الطريقة من الطرائق الفاعلة في عملية كبس المساحيق لانها تؤدي الى خفض الطاقة المستخدمة للكبس وتساعد في الحصول على منتجات منخفضة المسامية ذات كثافة عالية وخواص متجانسة ويمكن اعتبارها عملية كبس وتلييد في آن واحد [44].

نتيجة لتأثير قوى الضغط الخارجي عند الكبس والحرارة العالية فإن المعدن لا يساعد على زيادة أسطح التلامس بين الدقائق فحسب بل ينساب ايضاً في المسام وكثيراً ما يحدث انصهار المعدن عند اسطح التلامس بسبب الاحتكاك بين الدقائق نتيجة لارتفاع درجات الحرارة الموضوعية. وكل هذا يعطي الفرصة للاسراع في اتمام كل العمليات بما في ذلك عمليات الانتشار (Diffusion) المساعدة على التلييد ويؤدي هذا النوع من الكبس الى الحصول على منتجات ذات خواص أجود من

حيث المتانة والاستطالة والصلادة وكذلك الموصلية الحرارية ودقة الأبعاد بالمقارنة مع خواص المنتج عند فصل عمليات الكبس والتلييد وينتشر استعمال هذه الطريقة عند الحاجة للحصول على السبائك الصلدة [50,44] .

تتلخص هذه العملية بتسخين قالب الكبس الى درجة حرارة تزيد عن (75 %) من درجة حرارة انصهار المعدن الاساس ويتم الكبس بزمن ضغط يتراوح بين (10^3-10^4) ثانية إذ ان درجة حرارة الكبس والمدة التي تستغرقها المعالجة تحدد بنية المنتجات المصنوعة بهذه الطريقة [44] .

8.3.2 عملية التلييد Sintering Process

تتميز الاجزاء والمنتجات المكبوسة على البارد بخواص ميكانيكية غاية في الضعف وتمتلك مايعرف بالمقاومة الخضراء التي تكون ضعيفة وتمنح المنتج القابلية على التناول فقط وفي بعض الحالات يمكن ان يتحول المنتج الى مسحوق مرة ثانية تحت تأثير قوى منخفضة جداً، لذلك يحتاج المنتج الى رفع المتانة الميكانيكية واعطائه الخواص الفيزيائية والكيميائية اللازمة وبذا تحتاج المنتجات الى عملية التلييد [49,44].

التلييد أو ما يعرف بالتكثيف (Densification) هو عبارة عن معالجة حرارية لا ارجاعية للمنتجات المكبوسة على البارد عن طريق رفع درجة حرارة المنتج الى درجة حرارة تبلغ (0.7-0.9) من درجة حرارة انصهار المعدن وذلك لتحسين الروابط بين الجسيمات وتقليل المسامية والحصول على جسم كثيف وصلد. تعتمد عملية التلييد بصورة عامة على درجة الحرارة وزمن التلييد وكذلك على حجم الجسيمات وتوزيعها في المكبوسات علاوة على نوع المركبات المؤلفة للمنتج من حيث الاضافات واخيراً جو الفرن أو وسط التلييد الذي يمكن ان يكون جواً مفرغاً أو غازاً خاملاً أو وسطاً من الفحم أو الرمل لمنع التأكسد [47,44] .

تعتمد عملية التلييد اساساً على حدوث عدة ظواهر فيزيائية وكيميائية مثل الانتشار والالتصاق (التماسك أو التعشيق بين الجسيمات) وكذلك اعادة التبلور لمعدن المساحيق ونتيجة لهذه العمليات تتم عدة تحولات عند التلييد وهي [49,45,44] :-

- 1- تغير كمي لأسطح الدقائق مع زيادة اسطح تلامسها إذ يتحول التلامس بين الجسيمات الى ترابط معدني .
- 2- التخلص من الاجهادات المتبقية (Residual Stresses) والمكونة اثناء عملية الكبس نتيجة لخاصية المرونة في دقائق المساحيق .
- 3- اتحاد دقائق المسحوق وتغير النسبة بين حجم المسامات وحجم دقائق المعدن المرصوفة .

4- تغير الخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية للمكبوسات المصنوعة من المساحيق .

1.8.3.2 تصنيف عملية التلييد اعتماداً على نمو وتداخل الجسيمات

Classification of Sintering Process Depending on The Particle Growth and Overlapping

1.1.8.3.2 تكوين ونمو العنق Formation And Growth of Necks

عادة ما تحدث اضطرابات سطحية في الجسيمات المتبلورة (Crystalline particles) في المراحل الاولى لعملية التلييد لتشكيل وتكوين ما يعرف بالعنق بين الحبيبات المتجاورة إذ تنشأ من مناطق التحام جزئية بين الحبيبات المتلامسة ويمكن ملاحظة هذه المرحلة عندما تكون درجة الحرارة المطلقة تساوي (0.23) بالنسبة لنقطة الانصهار، ولا يحدث نمو حبيبي في هذه المرحلة وتكون المسامات مفتوحة وموجودة بنسب كبيرة. وفي نهاية هذه المرحلة يبدأ التقلص النسبي في حجم المسامات وتصبح أكثر كروية. ويحدث تغير قليل في الكتلة الحجمية الظاهرية ومن ثم تتسع الأعناق أي يحدث التحام داخلي لشبكة الحبيبات والمسامات [47].

2.1.8.3.2 الانتشار Diffusion

أن التركيز الاتزاني للفراغات الذرية او الايونية عند سطوح الحبيبات والاعناق يتغير مع الطاقة الكيميائية الكامنة لها إذ يحدث الانتشار نتيجة للانحدار في هذه الطاقة وبذلك فأن الذرات تنتقل من المناطق ذات التركيز العالي الى المناطق ذات التركيز الواطئ وبالتالي يحدث انتشار من الداخل (Volumetric Diffusion) الى السطح (Surface Diffusion) ومن ثم الى حدود الحبيبات البلورية (Grain Boundary Diffusion) إذ أن الانتشار السطحي يحدث عادة في درجات الحرارة المنخفضة أي عندما تكون درجة الحرارة المطلقة تساوي (0.33-0.45) بالنسبة لنقطة الانصهار ولذلك فأن فرصة اندماج الجسيمات تكون قليلة [47].

اما في درجات الحرارة العالية اي عندما تساوي درجة الحرارة المطلقة (0.8 - 0.42) من درجة الانصهار فأن الانتشار الحجمي يصبح فاعلاً ويزداد معدل نمو الاعناق بسبب الزيادة في معدل انتقال الكتلة . ومن ثم تحدث عملية انتشار الحالة الصلبة (Solid State Diffusion) إذ يحدث تفاعل المساحة السطحية للحبيبات متبوعة بعملية انتقال المادة بين الحبيبات المتجاورة التي تعتمد على الطاقة السطحية وطاقة الحدود البلورية (ξ_s) و (ξ_b) على التوالي إذ عندما تقترب النسبة بين (ξ_b/ξ_s) من واحد فأن التكتيف الكامل يصبح صعباً وبالتالي فأن عملية التلييد تصبح غير مجدية بسبب عرقلة عملية الانتشار بين الحبيبات لتساوي طاقتي كل من الحدود البلورية والسطحية .

فمثلاً النسبة بين (ξ_b/ξ_s) لكاربيد السيلكون تساوي (0.97 %) بسبب طبيعة الروابط بين الجسيمات ولذلك فإن من الصعب جداً تلييد جسيمات كاربيد السيلكون لوحدها ، وبهذا يكون الهدف من عملية التلييد هو تقليل النسبة بين (ξ_b/ξ_s) لتحقيق التكتيف الجيد ، وفي هذه المرحلة تبدأ المسامات بالحركة والانتشار حتى تصل إلى السطح مما يسمح باقتراب قيمة كثافة المادة من الكثافة النظرية وفي نهاية هذه المرحلة تصبح المسامات متقطعة ومعزولة ومغلقة عند زوايا الحبيبات وبالتالي تكون المادة قد تقلصت إلى أقصى مايمكن [51,47].

كما يمكن تلخيص الآليات التي تحدث خلال مرحلة الانتشار بست اليات وهي [37] :-

- 1- الانتشار السطحي - انتشار الذرات على طول سطح الجسيمة.
- 2- انتقال البخار (Vapour Transport) - تبخر الذرات وتكتفها على سطح آخر.
- 3- الانتشار الشبكي من السطح - انتشار الذرات من الاسطح خلال الشبكة الذرية.
- 4- الانتشار الشبكي من الحدود الحبيبية - انتشار الذرات من الحدود الحبيبية خلال الشبكة الذرية.
- 5- انتشار الحدود الحبيبية - انتشار الذرات على طول الحدود الحبيبية .
- 6- التشوه اللدن - تؤدي حركة الانخلاعات إلى انسياب المادة.

كما يجب التمييز بين الآليات التي تسبب التكتيف والآليات التي لا تسبب التكتيف إذ أن الآليات من (1) إلى (3) لا تسبب تكتيف لأنها تعمل على نقل الذرات من السطح ويعاد ترتيبها على سطح آخر أو جزء آخر من نفس السطح. وهذه الآليات ببساطة تعمل على إعادة ترتيب المادة داخل المسامات ولا تسبب تقلص المسامات ، أما الآليات من (4) إلى (6) فإنها تعد اليات تكتيف بسبب نقل الذرات إلى سطح المسام وبالتالي القضاء على المسامية وزيادة الكثافة للمادة [37].

3.1.8.3.2 اختفاء الفراغات Disappearance of The Vacancies

تبدأ هذه المرحلة عندما تصل نسبة كثافة النموذج إلى (90 %) من الكثافة النظرية وتزداد في هذه المرحلة نسبة المسامات المغلقة على حساب المسامات المفتوحة إذ تبدأ الأخيرة بالانعزال وتصبح أكثر كروية وتقع بين الحبيبات وبذا تتوقف عن الحركة دلالة على إن التلييد قد وصل إلى نهايته [47] .

2.8.3.2 تصنيف عملية التلييد نسبة للأطوار

Classification of The Sintering Process For Phases

1.2.8.3.2 التلييد في غياب الطور السائل

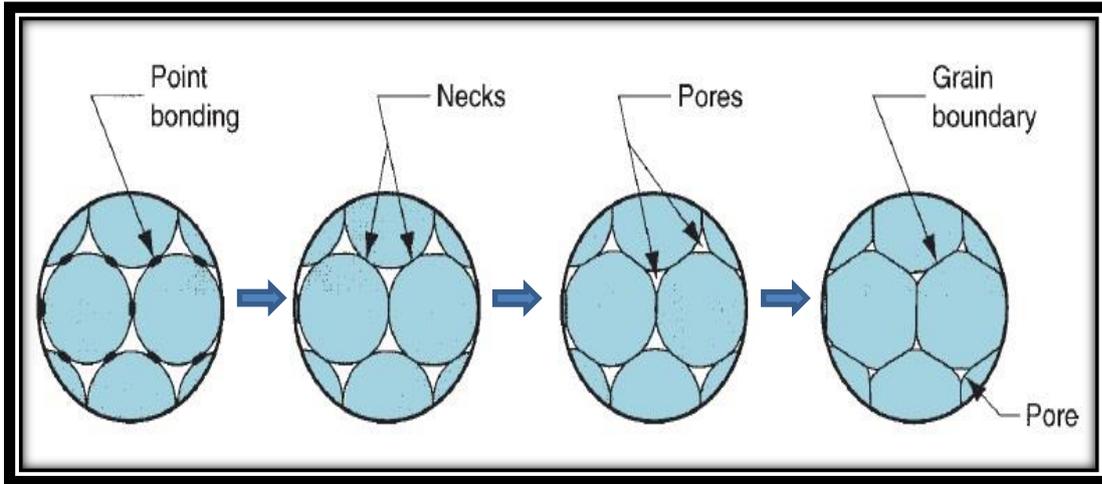
Sintering in The Absence of The Liquid Phase

يحدث في درجات حرارية اقل من درجة حرارة انصهار اي مركب من مركبات شحنة المسحوق أو اقل من درجة انصهار اي مادة من المواد التي يمكن ان تتكون اثناء عملية التلييد (اتحاد كيميائي ، يوتكتك ... الخ) ، فإن عملية التلييد تتم في غياب الطور السائل [44,45] .

2.2.8.3.2 التلييد في وجود الطور السائل

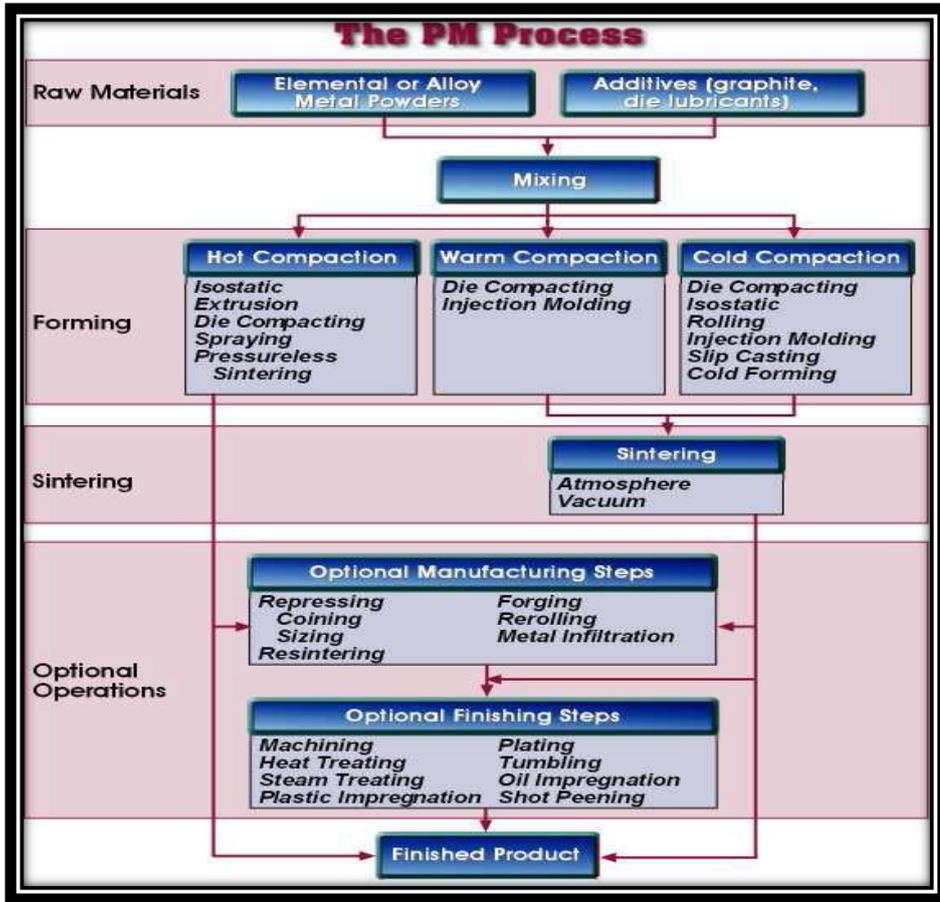
Sintering in The Presence of Liquid Phase

يحدث في درجات حرارية اعلى من درجة حرارة انصهار احد مركبات شحنة المسحوق أو اعلى من درجة حرارة انصهار بعض المكونات السهلة الانصهار الناتجة عن عملية التسخين. وان تركيب القطع الملبدة سواء بوجود الطور السائل أو بغيابه قد يكون على هيئة محاليل جامدة متجانسة أو على هيئة مخلوط غير متجانس للمكونات التي تحويها شحنة المسحوق [44] . ويبين الشكل (9.2) مراحل عملية التلييد [45] .



الشكل (9.2) مراحل عملية التلييد [45] .

يمكن تصنيف تقانات ميتالورجيا المساحيق من خلال الشكل (10.2) الذي يبين المخطط الانسيابي لجميع هذه التقانات وبشكل مختصر [52] .



الشكل (10.2) المخطط الانسيابي لتقانات ميتالورجيا المساحيق [52].

4.2 متراكبات النحاس - كرافيت Copper - Graphite Composites

تعد متراكبات النحاس - كرافيت من أهم أنواع المتراكبات المعدنية لدخولها في العديد من التطبيقات العملية إذ يمتلك النحاس خصائص متميزة أهمها الموصلية الحرارية والكهربائية الممتازة بينما يدخل الكرافيت كمزيت صلب علاوة على امتلاكه معامل تمدد حراري منخفض . وتمتلك هذه المتراكبات مقاومة عالية للصدمة الحرارية (Thermal Shock) ومقاومة عالية للتآكل لذا تستخدم متراكبات النحاس - كرافيت بصورة واسعة في صناعة الفرش الكهربائية (Brushes) والمحامل الميكانيكية الانزلاقية (Bearing) [21,17] .

تستخدم المتراكبات ذات النسب المنخفضة من الكرافيت في صناعة حلقات الانزلاق (Slip Rings) والمحولات والمبادلات (Relays) ومقابس الموصلات الكهربائية (Connectors Electrical Plugs) وفي اجهزة التيار الكهربائي المستمر منخفض الفولتية التي تتطلب مرور كثافة تيار كهربائي عال ، بينما تستخدم المتراكبات ذات نسب الكرافيت العالية نسبياً لخفض معدل البلى عندما يتطلب كثافة تيار منخفض وشروط تبريد جيدة كون هذه التطبيقات تستلزم وجود عاملين

مهمين لا يمكن عزلهما ، الاول مرور تيار كهربائي عالٍ والثاني معدل بلى منخفض نتيجة الاحتكاك المستمر اثناء فترة العمل [36] .

لقد اثبتت التجارب العلمية بأن اضافة المزيث الصلب لا يحسن خصائص الاحتكاك فقط بل يعمل على تحسين خصائص البلى وتقليل الاحتكاك معاً . ويتم صناعة نماذج متراكبات النحاس - كرافيت عادة بتقانة ميتالورجيا المساحيق وذلك لعدة اسباب مهمة وهي [36,30,25] :-

- 1- ان قابلية الترطيب بين النحاس والكرافيت ضعيفة .
- 2- الفارق الكبير في الكثافة ودرجات حرارة الانصهار بين النحاس والكرافيت .
- 3- صعوبة تحقيق التجانس بتوزيع جسيمات الكرافيت داخل النحاس .

5.2 الخصائص الميكانيكية والفيزيائية

Mechanical and Physical Properties

يعتمد التوظيف الناجح للمعادن في التطبيقات الهندسية المختلفة على قدرة هذه المعادن لتلبية متطلبات التصميم والخدمة والتصميم وفق الابعاد المناسبة، وتتحدد القدرة على الوفاء بهذه المتطلبات بالخواص الميكانيكية والفيزيائية للمعادن [53] .

1.5.2 الخصائص الميكانيكية Mechanical Properties

تعتمد العلاقة بين القوى أو الاجهادات المؤثرة على المعدن والمقاومة التي يبديها المعدن للتشوه أو الانفصال والكسر على الخواص الميكانيكية للمادة. وتستخدم انواع مختلفة من الاختبارات لايجاد تلك الخواص ومنها الصلادة ومقاومة الكلال والمتانة وسلوك البلى. وتعتمد تلك الخصائص بشكل كبير على كل من البنية المجهرية للمعدن مثل حجم الحبيبات وتوزيع الاطوار ومحتوى الطور الثاني والتركييب البلوري مثل ترتيب الذرات في الشبكة البلورية وتركيب العناصر مثل محتوى عناصر السبك ومحتوى الشوائب [53] .

1.1.5.2 الصلادة Hardness

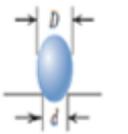
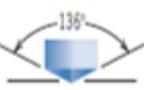
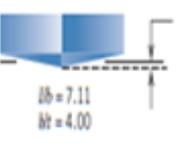
الصلادة بشكل عام هي مقاومة مادة ما للخدش أو للاختراق من قبل مادة أخرى، كما يمكن تعريفها بأنها الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها متماسكاً تحت تأثير الاحمال. وغالباً ما يستخدم الماس أو الفولاذ المقسى كأداة غرز بسبب صلادتهما العالية. وتعتمد خاصية الصلادة على تركيب المادة ونوع السطح الذي نتعامل معه أو درجة نعومته وعلى قوة الترابط بين الذرات والجزيئات في المادة اذ كلما كان الربط أقوى والذرات مترابطة ازدادت قيمة الصلادة ، كما أن

الأجسام المملوءة بالمسامات تمتلك مقاومة اختراق أقل بالمقارنة مع الأجسام الخالية من المسامات. وهناك أكثر من طريقة لاختبار الصلادة كما مبين بالجدول (3.2) إذ تعتمد على أداة الغرز التي يجري بها الفحص ومنها [54,53,4] :-

- 1- اختبار صلادة برينل (Brinell) .
- 2- اختبار صلادة فيكرز (Vickers) .
- 3- اختبار صلادة شورسكليرسكوب (لا يحدث غرز بل يحدث ارتداد) (Sklearscope) .
- 4- اختبار صلادة روكويل (Rockwell) .
- 5- اختبار صلادة نوب (Knoop) .
- 6- اختبار ارتداد الكرة (Rebound Ball) .

وسنتطرق الى اختبار الصلادة الوارد ذكرها أنفاً في الفقرة (1) بشيء من التفصيل كونها الطريقة المستخدمة في بحثنا هذا .

الجدول (3.2) طرائق اختبار الصلادة المختلفة [4] .

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number
		Side View	Top View		
Brinell	10- mm Sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HB = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HB = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond Cone $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in Diameter Steel Spheres		  	60 kg 100 kg 150 kg 15 kg 30 kg 45 kg	Rock well Superficial Rockwell

1.1.1.5.2 صلادة برينل Brinell Hardness

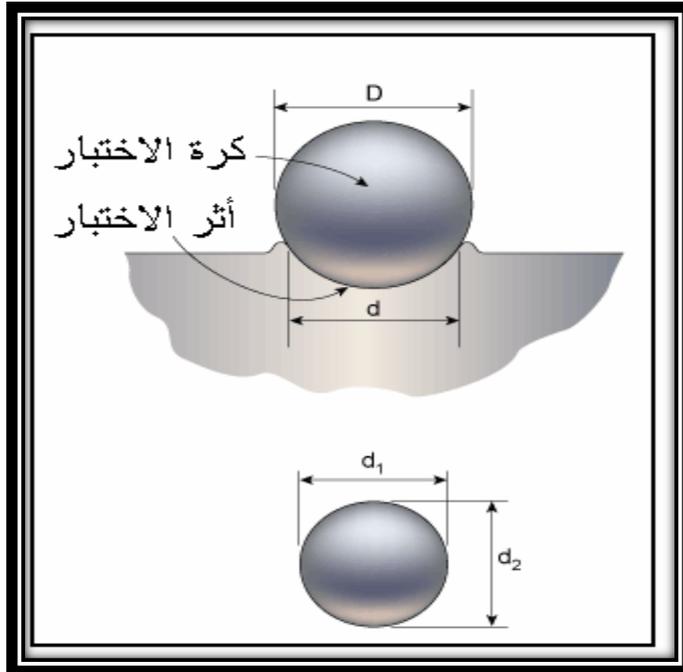
أداة توليد الاثر في هذا الاختبار (Indenter) عبارة عن كرة من الصلب المقسى (Hardness Steel Bar) كبيرة الحجم نسبياً ويجب ان يكون سطح الكرات امس وخالياً من العيوب. وتتخلص طريقة الاختبار في ضغط كرة من الصلب المقسى ذات قطر وحمل معين ثم يقاس الاثر الناتج من هذا الضغط على سطح قطعة الاختبار. وتعد هذه الطريقة غير ملائمة للمواد عالية الصلادة وذلك لاحتمال تشوه أداة توليد الاثر ، كما انها غير ملائمة ايضاً للعينات الرقيقة لان الاثر المتولد قد يكون اعمق من سمك العينة. وتستخرج صلادة برينل لمادة ما بتقسيم الحمل المسلط على مساحة الاثر المتروك على سطح مابعد رفع الحمل بواسطة كرة الصلب المقسى كما مبين بالشكل (11.2) وحسب العلاقة الاتية [54,53,4] :-

$$B.H. = \frac{2 P}{\pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (2 - 1)$$

إذ أن : **D** : قطر كرة برينل (mm) .

d : قطر الاثر (mm) .

P : حمل الاختبار (Kg) .



الشكل (11.2) طريقة قياس صلادة برينل [53] .

2.1.5.2 البلى Wear

ان ظاهرة البلى عبارة عن ازالة جزء من المعدن بين سطحين بينهما حركة نسبية. ويمكن تعريفه ايضاً على أنه انهيار السطوح للاجزاء المحتكة مع بعضها البعض ويُعرّف أيضاً بأنه فقدان الحاصل في المادة من سطح المعدن عندما يكون محملاً وتحت تأثير حركة نسبية. ويحدث البلى بسبب ميكانيكيات مختلفة اعتماداً على نوع المعدن أو السبيكة والظروف التشغيلية والشكل الهندسي للاشكال المتحركة [56,55].

تعد مشكلة الاحتكاك والبلى من المشاكل المهمة والكبيرة التي تعاني منها جميع أجزاء المكائن ذات الحركات الانزلاقية أو التدرجية أو الترددية أو بين سطحين متماسين وذلك بسبب تأثيرها السلبي على دقة أداء وعمل تلك المكائن إذ يمكن أن تقلل من قدرتها العملية أو كفاءتها الانتاجية علاوة على الخسائر الجسيمة المترتبة على إصلاح وإعادة بناء الاجزاء التالفة كما ان له تأثير سلبي على دقة وسماحات الاجزاء المنزلقة وكفاءتها. ونظراً للمشاكل التي تسببها هذه الظواهر فقد أهتم الباحثون بدراسة الاحتكاك والبلى ومعرفة اسبابها والعوامل المؤثرة عليهما مثل الحمل المسلط والصلادة والزمن والتركييب البلوري وغير ذلك. وقد عملوا على تقليل هذه الظواهر باستخدام وسائل ذات تقانات حديثة ومتعددة منها تحسين الصلادة السطحية والنعومة السطحية والتزيت علاوة على استغلال خاصية التحولات الطورية لبعض المواد عند سطوحها المحتكة اثناء الخدمة. وبالرغم من كل تلك المشاكل فإن ظاهرة البلى تستغل للقيام بالعديد من العمليات التشغيلية المفيدة مثل أنتاج السطوح الصقيلة بالاعتماد على ظاهرة البلى الاحتكاكي (Abrasive Wear) وإعادة حد عدد القطع في الآلات والمكائن لاستمرار استخدامها في عمليات القطع ، كما يستفاد منها في تنظيف القطع المعدنية وتنعيمها وغيرها من العمليات الاخرى المفيدة [57,56].

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على معدل البلى في المواد والمعادن هي الخواص الميكانيكية للمعادن المحتكة والبنية المجهرية والتركييب الكيميائي وظروف وطبيعة الاحتكاك مثل الضغط المسلط وسرعة الانزلاق ودرجة الحرارة والانهاء السطحي والتزيت علاوة على الاكسدة والتآكل [58].

1.2.1.5.2 انواع البلى Types of Wear

يقسم البلى الى عدة انواع تبعاً لنوع وطريقة الاحتكاك [58]: -

1- البلى الالتصاقي والانزلاقي Sliding and Adhesive Wear

2- البلى الاحتكاكي أو الفشطي Abrasive Wear

3- بلى التقرح (السحق) Fretting Wear

4- البلى الكلاسي Fatigue Wear

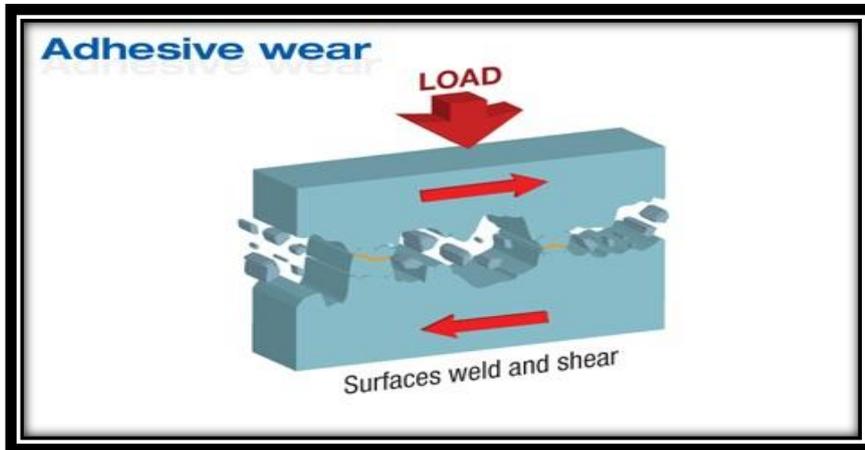
5- البلى التآكلي Corrosive Wear

6- بلى التعرية Erosive Wear

وسنتطرق الى البلى الالتصاقي والانزلاقي الوارد ذكره أنفاً في الفقرة (1) بشيء من التفصيل كونه قيد الدراسة في بحثنا هذا .

1.1.2.1.5.2 البلى الالتصاقي والانزلاقي Sliding And Adhesive Wear

يحدث البلى الالتصاقي للمعادن والسبائك في حالة انزلاق السطوح على بعضها البعض وتحت تأثير حمل مسلط. ويحدث عادة من خلال بناء وهدم نقاط الالتصاق بين السطوح المعدنية الانزلاقية المحتكة بحيث يكون الضغط ما بين النتوءات المتلامسة على درجة من الكفاية لأحداث تشكيل لدن موقعي (Local Plastic Deformation) والتلاصق. يحدث التلاصق بين عدد من النتوءات بسبب قوى التجاذب بين ذرات سطحي المعدنين والتي تزيد من مساحة تلامسها اثناء الحركة وبهذا يحدث تمزق في النقاط الضعيفة من النقاط الملحومة ونتيجة لهذا التمزق ينتقل المعدن من سطح الى آخر كما مبين بالشكل (12.2). ويرافق هذه العملية حدوث ظواهر كالاكسدة (Oxidation) والانتشار ما بين السطوح الانزلاقية. ويتم تقليل هذا النوع من البلى باستخدام التزييت السائل أو الصلب لتقليل الالتصاق ما بين السطوح المتلامسة أو المحتكة [60,59,57].



الشكل (12.2) آلية حدوث البلى الالتصاقي [58].

يقسم البلى الالتصاقي عادة الى ثلاث انواع وهي [61,58,17]:-

1- البلى الشديد (Severe Wear) : يحدث هذا النوع من البلى عندما يكون السطح جافاً أي غير مزيت أو مزيت قليلاً وينتج عنه حطام بلى تتراوح حجمه (200-20 μm) ويعرف كذلك بالبلى المعدني (Metallic Wear) وغالبا ما تكون دقائق البلى كبيرة الحجم نسبياً .

2- **البلى المعتدل (المتوسط) (Mild Wear)** : يعرف هذا النوع من البلى بالبلى الاوكسيدي (Oxidative Wear) إذ يحدث عندما يكون التزبييت بين السطوح جيداً والضغط المسلط ما بين السطحين المتلامسين قليل نسبياً وينتج عنه حطام بلى معظمه من الاكاسيد وبحجم يتراوح بين (20-2 µm).

3- **البلى الخفيف (Low Wear)** : يعرف هذا النوع من البلى ببلى الصقل (Burnishing Wear) إذ يحدث عندما يكون أحد السطحين المنزلقين ذو بنية سداسية مكتظة (Hexagonal Closed Packed) مع عدم ملاحظة حجوم كبيرة لدقائق حطام البلى .

2.2.1.5.2 طرائق قياس البلى Methods of Wear Measurement

تعتمد آلية قياس البلى بصورة عامة على فحص المواد المنزلقة واجراء قياس البلى قبل وبعد الاختبار المجرى عليها. وأن اي فقدان حاصل للمادة خلال الفحص يعزى الى البلى الحاصل منها. وتستخدم عدة طرائق مختلفة لقياس البلى منها [58] :-

1- طريقة فقدان الوزن لقياس البلى Mass Loss Measures of Wear

في هذه الطريقة يتم ايجاد كمية المادة المفقودة خلال فترة حدوث البلى. تمثل هذه الكمية مقدار البلى. وتعد هذه الطريقة من الطرائق السهلة للاستدلال على كمية البلى الكلية خلال فترة الاختبار.

2- الطريقة الخطية لقياس البلى Linear Measures of Wear

يعتمد مبدأ عمل هذه الطريقة على قياس مقدار التغير الحاصل بالأبعاد خلال فترة تعرض المادة للبلى إذ تسمح هذه الطريقة بوضع معيار لفترة خدمة الجزء وتقدير الفترة اللازمة لاستبداله وتعتبر من الطرائق الشائعة لقياس البلى في الاجزاء الميكانيكية مثل البطانات المعدنية الاسطوانية (Bushings) والمحامل الميكانيكية ذات الكرات (Ball-Bearing Retainers) والقضبان (Shafts) علاوة على الاجزاء الانزلاقية الاخرى (Sliding Parts).

3- طريقة المساحة لقياس البلى Area Measures of Wear

يتم قياس البلى عن طريق حساب مساحة المادة المفقودة لكلا السطحين إذ يمكن في الكثير من الحالات قياس مساحة البلى المفقود كما في اسنان التروس (Gear Teeth) والركائز الميكانيكية (Bearing Retainers) ووسائد الانزلاق (Sliding Pads). اما اذا كان السطح منحنى (curvature) فيمكن قياس كمية البلى عن طريق حساب مساحة المنطقة البالية.

4- الطريقة الحجمية لقياس البلى Volume Measures of Wear

يعتمد مبدأ عمل هذه الطريقة على حساب حجم المنطقة البالية. تعد هذه الطريقة واحدة من افضل طرائق مقارنة البلى في المواد المختلفة بالكثافة. أما المأخذ على هذه الطريقة فهو صعوبة قياس حجوم المناطق غير منتظمة الشكل (Irregular Shape) وغير المتناظرة (Unsymmetric) وخصوصاً عندما يتطلب دقة عالية في القياس كما ان فترة القياس تستغرق وقتاً طويلاً.

3.1.5.2 الاحتكاك Friction

يعرف الاحتكاك بأنه القوة المقاومة التي تحدث بين سطحين متلاصقين بينهما حركة نسبية باتجاهين مختلفين ويكون بينهما قوة ضاغطة تعمل على تلاحمها معاً وتنتج عنه كمية من الحرارة ويحدث الاحتكاك بين المواد الصلبة والسائلة والغازية. يعتمد الاحتكاك بين اي جسمين على طبيعة السطح والقوى العاملة في اتجاه اتصال هذين الجسمين ويمكن القول بان الاسطح الناعمة اقل احتكاكاً من الاسطح الخشنة ولكن مساحة اسطح الاتصال لا تؤثر على الاحتكاك وتعمل هذه القوة في اتجاه موازي للأسطح المتصلة ببعضها ومضادة لاتجاه الحركة. ويمكن تقسيم الاحتكاك الى نوعين [61,58] :-

1- الاحتكاك الساكن (Static Friction) : يعرف هذا النوع باحتكاك البداية وهو الاحتكاك الذي يقاوم بداية الحركة.

2- الاحتكاك الحركي (Kinetic Friction) : يعرف هذا النوع باحتكاك الانزلاق وهو الاحتكاك الذي يقاوم استمرار الحركة وهو يتطلب قوة اقل لاستمرار انزلاق الجسم. ودائماً ما يكون الاحتكاك الساكن اكبر من الاحتكاك الحركي.

تعد قوة الاحتكاك قوة مبددة ومعيقة لحركة الاجسام ويعد الشغل المبذول ضد الاحتكاك شغلاً ضائعاً لذا تتم المحاولة في التصاميم الميكانيكية على تقليل قوة الاحتكاك الى اقل قدر ممكن بغية تحقيق اداء افضل للآلات والماكينات. وتطبق قوة الاحتكاك في الاتجاه العكسي لحركة الجسم إذ تنشأ هذه القوة بين الاجسام نتيجة وجود نتوءات بين الاسطح وعندما تكون الاسطح ملساء تقل تلك القوة. في اثناء الحركة تصطدم النتوءات الموجودة على اسطح الاجسام المحتكة مع بعضها البعض، وحينئذ تكون القوة مطلوبة لنقل النتوءات بجانب بعضها الاخر. تعتمد منطقة الاتصال الفعلي على القوة

العمودية بين الجسم المنزلق وتتناسب هذه القوة الاحتكاكية مع اجمالي القوة العمودية وتعادل هذه القوة في الغالب وزن الجسم المنزلق تماماً [61,60,58].

يمكن تحليل القوى في منطقة التماس بين السطحين المحتكين الى مركبتين احدهما عمودية على منطقة التماس والاخرى مماسية، فالقوة المقاومة التي تكون موازية لاتجاه الحركة تدعى بقوة الاحتكاك (Friction Force) وتتناسب مع رد الفعل العمودي على السطح وثابت التناسب بينهما والذي يعرف بمعامل الاحتكاك (Coefficient of Friction) وهو يختلف باختلاف طبيعة سطح التلامس إذ يمكن تعريف معامل الاحتكاك بأنه النسبة ما بين قوة الاحتكاك والحمل العمودي المسلط ويعبر عنه بالعلاقة الآتية [61,58]:

$$\mu = \frac{F}{N} \dots \dots \dots (2 - 2)$$

إذ ان : μ : معامل الاحتكاك

F : قوة الاحتكاك (N).

N : الحمل العمودي المسلط (N).

4.1.5.2 اختبار مقاومة الانضغاط القطرية

Diametrical Compressive Strength Test

تعرف الانضغاطية بانها أقصى اجهاد يمكن ان تتحملة المادة تحت تأثير ضغط عمودي إذ تعد من الخواص الميكانيكية المهمة لانها تعبر عن قدرة المواد على مقاومة الاحمال المسلطة عليها. وتعد مقاومة الانضغاط عاملاً تصميمياً مهماً عند صناعة هذه المواد ويتطلب وصف استجابتها لاحمال اجراء اختبارات سلوك الانضغاط. لتوفير معلومات دقيقة عن خصائص المنتج وعملية التصميم المطلوبة [62,53].

يعد اختبار الانضغاطية اختباراً معاكساً لاختبار الشد ، اذ ان الحمل المسلط احادي المحور هو حمل انضغاطي لا شدي ويستفاد من هذا الاختبار لتقييم المواد الهشة التي تكون قيمة اجهاد الشد فيها اقل بكثير من قيمة اجهاد الانضغاط ($\sigma_{Comp.} > \sigma_{Tens.}$) مثل الاجزاء المعدنية المصنعة بطريقة ميتالورجيا المساحيق والعديد من المواد اللامعدنية مثل السيراميك والخشب والطابوق. ويتم حساب مقاومة الانضغاط وذلك بتسليط اجهاد عمودي على مقطع العينة التي تكون بصورة قرص وكما هو موضح في الشكل (13.2). وتحسب مقاومة الانضغاط حسب العلاقة الآتية [63]:-

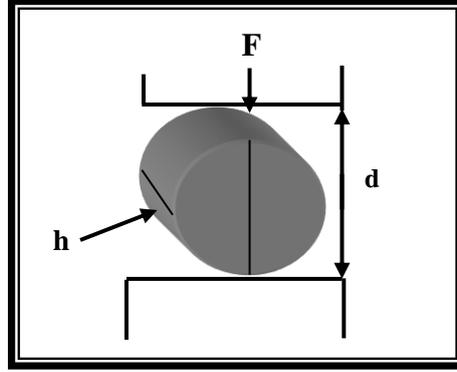
$$\sigma_D = \frac{2F}{\pi dh} \dots \dots \dots (2 - 3)$$

إذ أن : σ_D : مقاومة الكسر الانضغاطية (MPa) .

. F : القوة المسلطة (N) .

. d : قطر العينة (mm) .

. h : سمك العينة (mm) .



الشكل (13.2) طريقة تسليط الحمل على العينة [63] .

2.5.2 الخصائص الفيزيائية Physical Properties

هي الخصائص التي تقاس عادة بأساليب لا تتطلب تطبيق قوى أو احمال خارجية ميكانيكية على المعدن ومنها الموصلية الحرارية والكثافة والمسامية وقابلية امتصاص الماء والخصائص المغناطيسية والانتشارية الحرارية والخصائص الكهربائية والحرارة النوعية ومعامل التمدد الحراري [53].

1.2.5.2 الموصلية الحرارية Thermal Conductivity

عند وجود فرق حراري بين سطحين سوف تنتقل الحرارة من السطح ذو درجة الحرارة الأعلى إلى السطح ذو درجة الحرارة الاوطأ وتُعرف هذه الظاهرة بالموصلية الحرارية . وعلى هذا الأساس يمكن تعريف الموصلية الحرارية على إنها معدل إنسياب الحرارة عبر وحدة المساحة خلال وحدة الزمن عند وجود إنحدار حراري بين سطحين مقداره درجة مئوية واحدة إذ تختلف آلية التوصيل الحراري باختلاف حالات المادة (صلبة ، سائلة ، غازية) ففي المواد الصلبة يتم الانتقال بالتوصيل إذ تنتقل الطاقة من موقع إلى آخر مصحوباً بتغير درجة الحرارة والذي من خلاله تصنف المادة على إنها عازلة أم موصلة للحرارة [65,64] .

تعتمد الموصلية الحرارية في المواد المعدنية على إنتقال الإلكترونات الحرة الموجودة في البنية أما في المواد العازلة فلا وجود للإلكترونات الحرة لذلك تنتقل الحرارة بآلية مختلفة إذ تتم بموجات مرنة (Elastic waves) ناتجة عن تذبذب الجزيئات التي تنقل هذه الذبذبة إلى الجزيئات التي تجاورها نتيجة ارتباطها

معاً بالأواصر وبذلك تنتقل الذبذبة من الطرف الساخن الى الطرف البارد بهيئة موجات مرنة تسمى الفوتونات ، أما في المواد المترابطة فيعتمد التوصيل الحراري على اتجاه الألياف إذ تبدي المواد المترابطة موصلية قوية بالإتجاه الطولي للألياف (In-Plane) وموصلية أضعف بإتجاه السمك (Through the Thickness) . وتستخدم معادلة فوريير (Fourier Law) في حساب معامل التوصيل الحراري (K) بالصيغة الآتية [66,65,64] :-

$$- K = \frac{Q}{A \times \frac{\Delta T}{\Delta X}} \dots \dots \dots (2 - 4)$$

- إذ أن : K : معامل الموصلية الحرارية (W / m . K) .
- Q : كمية الحرارة المارة خلال وحدة الزمن (W) .
- A : مساحة مقطع انسياب الحرارة (m²) .
- $\Delta T / \Delta X$: الانحدار الحراري بالنسبة للمسافة (K/m) .

2.2.5.2 الكثافة Density

تعد الكثافة من أهم خواص منتجات تقانات ميتالورجيا المساحيق إذ تتطلب العديد من التطبيقات حساب وقياس كثافة الجسم بدقة عالية وذلك للتعرف على حجم المسامات الموجودة داخل الجسم وحجم الفراغات والفجوات فهي علاوة على كونها تحدد الخواص الميكانيكية والكيميائية فانها تدخل في تحديد خواص العزل الحراري والكهربائي للمواد . أما أهم العوامل المؤثرة على كثافة الجسم فهي [69,68,67] :-

- 1- التركيب الكيميائي والمعدني للمادة فعند وجود مواد ذات درجة انصهار واطئة ضمن تركيب المواد الأولية فان هذه المواد سوف تنصهر عند التلييد مؤدية إلى ملئ المسامات وبالتالي تؤدي الى زيادة الكثافة .
- 2- ضغط كبس التشكيل إذ إن ارتفاع الضغط المسلط يؤدي إلى تقارب الجسيمات المكونة للنموذج المكبوس مع بعضها البعض بفعل قوة ضغط الكبس الذي يؤدي إلى زيادة كمية الجسيمات المرصوفة في وحدة حجم النموذج وعنده ترتفع الكثافة .
- 3- درجة حرارة التلييد إذ يؤدي ارتفاعها إلى زيادة الكثافة بسبب زيادة تكوين الاعناق والانتشار مؤدية الى تراص واتحاد الجسيمات بشكل جيد وبذلك يقل عدد المسامات مما يزيد الكثافة. وفي بعض الاحيان يمكن لكثافة بعض المواد ان تنقص لو اجري التلييد عند درجات الحرارة المرتفعة جداً

وذلك لعدة أسباب منها تأثير تحرر الغازات التي يصاحبها فقدان كمية كبيرة من وزن النموذج إضافة إلى التمدد الحاصل في إبعادها.

وهناك ثلاثة مفاهيم للكثافة معتمدة على طبيعة ونوع المسامات وهي [70,69,68] :-

1.2.2.5.2 Theoretical Density الكثافة النظرية

يمكن تعريف الكثافة النظرية بأنها النسبة بين الكتلة إلى الحجم الحقيقي للمادة الفعلية من دون مسامات أو فراغات ويمكن حساب كثافة الجسم النظرية من خلال المعادلة الآتية [70,69] :-

$$T.D. = \sum_{i=1}^n (\rho_i \cdot X_i) \dots \dots \dots (2-5)$$

إذ أن : ρ_i : الكثافة النظرية للعناصر المكونة للجسم الواحد (g/cm^3).

X_i : نسبة كل عنصر في الجسم .

2.2.2.5.2 Apparent Density الكثافة الظاهرية

تمثل النسبة بين الكتلة والحجم الظاهري الذي يتضمن المادة الفعلية والمسامات المغلقة فقط . وتحسب الكثافة الظاهرية حسب نظرية أرخميدس باستعمال العلاقة الآتية [70,68] :-

$$A.D. = \frac{W_d}{W_d - W_i} \times \rho_w \dots \dots \dots (2-6)$$

إذ ان :-

ρ_w : كثافة الماء (g/cm^3).

W_d : وزن الجسم وهو جاف (g).

W_i : وزن الجسم المعلق بالماء (g).

3.2.2.5.2 Bulk Density الكثافة الحجمية

تعرف بأنها نسبة كتلة المادة إلى حجمها الكلي والذي يتضمن المادة الفعلية والمسامات المفتوحة والمغلقة . وتحسب الكثافة الحجمية حسب نظرية أرخميدس باستعمال العلاقة الآتية [70,68] :-

$$B. D. = \frac{W_d}{W_s - W_i} \times \rho_w \dots \dots \dots (2 - 7)$$

إذ ان :-

W_s : وزن الجسم وهو مشبع بالماء (g) .

3.2.5.2 المسامية Porosity

يعبر عن المسامية بأنها نسبة حجم الفراغات الموجودة في الجسم الى الحجم الكلي. وتظهر المسامات كحجوم مفتوحة داخل المواد المنتجة بتقانة ميتالورجيا المساحيق بعد عملية التلييد. تعد المسامات المتبقية امراً ملازماً لمنتجات ميتالورجيا المساحيق ولها آثار غير مرغوب فيها على الخواص الميكانيكية إذ تصبح مركزاً لتركيز الاجهادات مما تسبب فشل المنتج عند تعرضه للأحمال الميكانيكية. يمكن في الوقت الحاضر السيطرة على حجم المسامات وتقديرها بما يخدم المنتج وطبيعة العمل ، إذ يمكن ان تكون المسامية مطلوبة في بعض المنتجات مثل المرشحات والمحامل الميكانيكية ذاتية التزييت وفي تصنيع الاجزاء الماصة للاهتزازات وكواتم الصوت وغيرها من المواد المسامية. ويمكن تقسيم المسامات الى عدة انواع وهي [71,69,67] :-

1- **المسامات المغلقة (Closed Porous)** : وهي المسامات المعزولة والمحاطة بالمادة

من كل الجهات داخل الجسم .

2- **المسامات المفتوحة غير النافذة (Open Porous Impermeable)** : وهي

المسامات المفتوحة على السطح الخارجي للجسم .

3- **المسامات المفتوحة المتصلة (Open Porous)** : وهي عبارة عن مجموعة من

المسامات مترابطة مع بعضها البعض ومفتوحة على السطح الخارجي للجسم .

هناك عدة عوامل تؤثر على نسبة المسامية في الجسم وهي [71,69,68,67] :-

1- حجم الحبيبات وتوزيعها الحجمي وقوه الترابط بينها فزيادة نسبة الحبيبات الناعمة إلى الحبيبات

الخشنة تقلل المسامية وذلك لأنها تحتل الفراغات بين الحبيبات الخشنة ومن ثم تقل الفراغات

كما ان زيادة درجة الاندماج أو الارتباط بين الحبيبات تقلل من المسامية .

2- ضغط الكبس إذ يؤدي الضغط العالي الى رص الحبيبات وخفض المسامية .

3- درجة حرارة التلييد وزمن التلييد إذ يمتلك المعدن قبل التلييد نسبة مسامية عالية. أما بعد التلييد

فيتم اختزال قسم كبير من المسامات المفتوحة ويتحول الباقي الى مسامات مغلقة.

وكذلك يمكن تقسيم المسامية بصورة عامة الى نوعين [70,69,68] :-

1.3.2.5.2 المسامية الظاهرية Apparent Porosity

تمثل نسبة المسامات المفتوحة الى الحجم الكلي للجسم . ويمكن حساب المسامية الظاهرية حسب نظرية ارخميدس من العلاقة الآتية [72,70,68]:-

$$A. P. = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} \times 100 \% \dots \dots \dots (2 - 8)$$

2.3.2.5.2 المسامية الحقيقية True Porosity

تمثل حجم المسامات المغلقة والمفتوحة الى الحجم الكلي للجسم . ويمكن حساب المسامية الحقيقية من العلاقة الآتية [72,70,68]:-

$$T. P. = \frac{T. D. - B. D.}{T. D.} \times 100 \% \dots \dots \dots (2 - 9)$$

إذ ان :-

T.P. : نسبة المسامية الكلية للجسم الملبد .

B.D. : كثافة الجسم الملبد العملية (الكثافة الحجمية) (g/cm^3) .

T.D. : كثافة الجسم الملبد النظرية (g/cm^3) .

4.2.5.2 قابلية امتصاصية الماء Portability Water Absorption

إن نسبة امتصاصية الماء هي إحدى الخواص التي يتحدد من خلالها نوع المنتج فإذا كانت امتصاصية الماء أقل من (1%) فهو منتج مزجج (Vitreous) أما إذا كانت أعلى من نسبة (1%) فهو منتج مسامي (Porous) وتعتمد الامتصاصية على مقدار المسامية إذ تتناسب معها تناسباً طردياً وذلك لان كمية الماء الذي تمتصه المادة يكون من قبل المسامات المفتوحة لذلك فأن امتصاصية الماء تتأثر بالعوامل نفسها التي تتأثر بها المسامية مثل الحجم الحبيبي للمواد الاولية وظروف التشكيل والتلييد . ويمكن تعريف امتصاصية الماء بأنها نسبة حجم المسامات المفتوحة إلى كتلة الانموذج ، ويتم حساب نسبة امتصاص الماء بإتباع نظرية ارخميدس باستخدام العلاقة الآتية [74,73,70]:-

$$W. A. = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \% \dots \dots \dots (2 - 10)$$

6.2 التحليل بحيود الأشعة السينية X-Ray-Diffraction Test

تعرف الأشعة السينية بأنها عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية أحادية الطول الموجي (Monochromatic) تشبه بالظبط طبيعة الضوء ولكن بطول موجي قصير جداً يتراوح بين (0.5-0.25) أنغستروم إذ يتم إنتاجها في أنبوب الأشعة السينية عن طريق تصادم الإلكترونات بمعدن الهدف. استطاع العالم الإنكليزي براك (W. L. Bragg) إيجاد علاقة رياضية مهمة لتعيين المسافة بين المستويات البلورية باستخدام حيود الأشعة السينية، إذ اعتمد على حقيقة أن الذرات في داخل البلورة تصطف في مجاميع متميزة من المستويات، وعند سقوط حزمة من الأشعة السينية على هذه المستويات فإنها تستطار في جميع الاتجاهات داخل البلورة ، ومنها يتم معرفة نوع المادة والأطوار المكونة داخل المادة عن طريق تطبيق المعادلة الآتية [75] .

$$2d \sin \phi = n\lambda \dots \dots \dots (2 - 11)$$

إذ ان:

d : المسافة بين المستويات الذرية.

ϕ : زاوية الحيود (زاوية براك) (نصف الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس) .

λ : الطول الموجي .

n : عدد صحيح يمثل مرتبة ذروة الحيود .

الفصل الثالث
الجزء العملي

CHAPTER THREE
EXPERIMENTAL PART



الفصل الثالث

الجزء العملي

Experimental Part

1.3 المقدمة Introduction

يتناول هذا الفصل الاسلوب العملي الذي اتبع لتصنيع نماذج من المادة المترابطة نحاس - كرافيت وكذلك المواد والاجهزة المستخدمة في التصنيع وفي فحص الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لهذه النماذج علاوة على فحص التركيب البلوري والبنية المجهرية باستخدام حيود الاشعة السينية والمجهر الضوئي .

2.3 المواد الاولية (المساحيق) (Raw Materials (The Powders)

يبين الجدول (1.3) نقاوة المساحيق المستخدمة ومنشأها علاوة على الحجم الحبيبي لها وقد تم استخدام مناخل قياسية للتحقق من الحجم الحبيبي للجسيمات. يمثل مسحوق النحاس المادة الاساس للمادة المترابطة ويمثل مسحوق الكرافيت مادة التقوية.

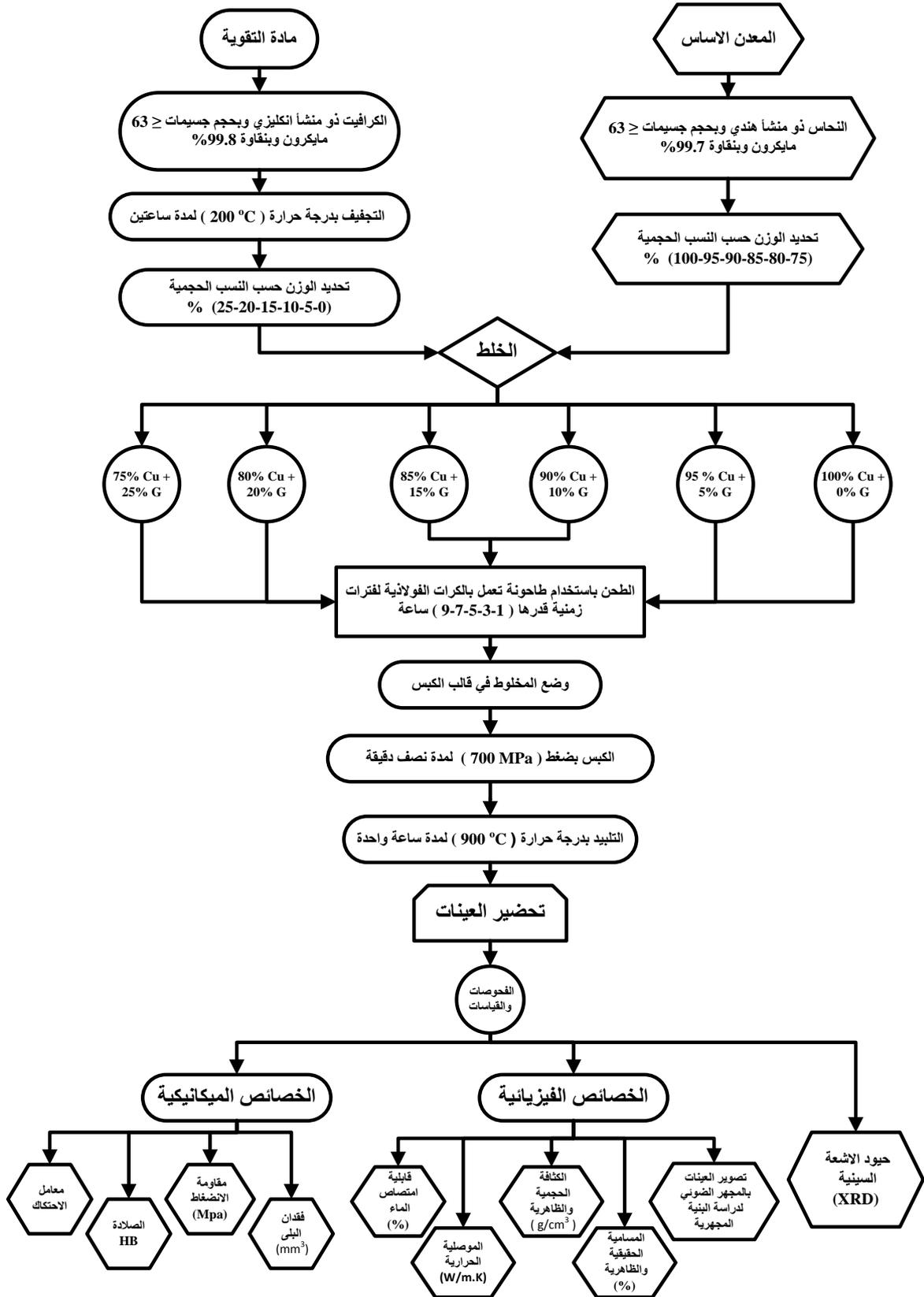
الجدول (1.3) المساحيق المستعملة في تصنيع نماذج الدراسة الحالية

ت	نوع المسحوق	النقاوة (%)	حجم الجسيمات (μm)	المنشأ	كثافة الرص (g/cm^3)
1	النحاس (Cu)	99.7	$63 \geq$	هندي	8.96
2	الكرافيت (Gr)	99.8	$63 \geq$	انكليزي	2.26

3.3 تحضير وفحص النماذج

Sample Preparation And Examination

يبين المخطط الانسيابي (Flow diagram) (1.3) تسلسل الخطوات والمراحل التي تم اتباعها في تحضير نماذج مترابطة النحاس - كرافيت علاوة على الفحوصات والاختبارات التي اجريت عليها.



المخطط (1.3) المخطط الانسيابي للجانب العملي

1.3.3 تحضير المواد الأولية Preparation Raw Materials

تم تجفيف مسحوق الكرافيت بدرجة حرارة (200 °C) لمدة ساعتين وذلك للتخلص من الرطوبة والمواد الطيارة الاخرى. وبعدها تم تهيئة أوزان خلطة كل مكون باتباع النسب الحجمية المذكورة في الجدول (2.3) . وقد تم اعتماد النسب الحجمية بسبب الاختلاف الكبير في الكثافة بين مسحوقي النحاس والكرافيت. تم الوزن باستخدام ميزان كهربائي حساس نوع (Sartorius) ياباني المنشأ ذو دقة (0.0001) غرام ومعايير من قبل الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية .

الجدول (2.3) النسب الحجمية الداخلة في تكوين كل مركب

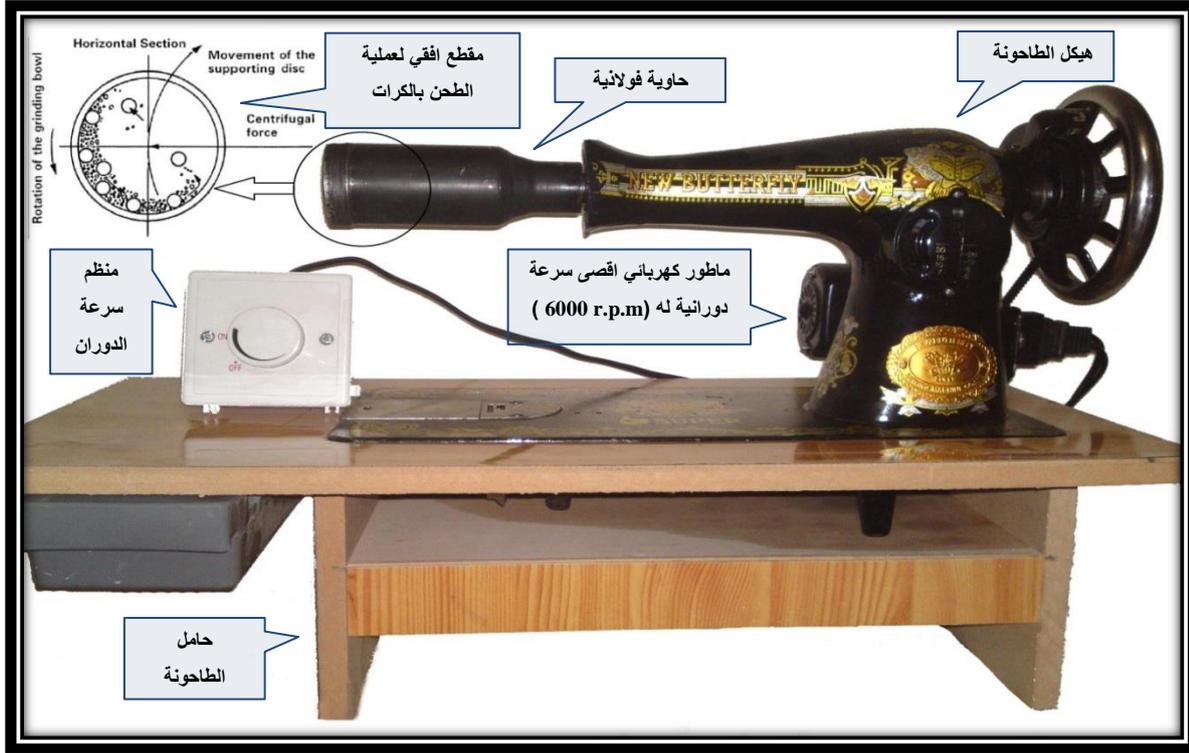
						المركب	
Cu+Gr	Cu+Gr	Cu+Gr	Cu+Gr	Cu+Gr	Pure Copper	Cu	التكوين الكيميائي (%)
75	80	85	90	95	100		
25	20	15	10	5	0	Gr	

2.3.3 مزج وطحن المساحيق Mixing and Milling of Powders

أخذت كمية بمقدار (3.5) غرام من خليط مكون من (95 %) نحاس و (5 %) كرافيت، ووضعت في الحاوية الفولاذية للطاحونة المبينة في الشكل (2.3) والتي صممت وصنعت محلياً خصيصاً لطحن ومزج المساحيق ثم طحنت لمدة ساعتين باستخدام كرات فولاذية قطرها (10) ملم ونسبتها (5:1) الى وزن الخلط [36]. تم بعد ذلك فحص الشحنة المطحونة باستخدام جهاز المطياف اللهبى (Atomic Absorption Flame Emission Spectrophotometer) نوع (Shimadzu) المبين بالشكل (3.3) للتأكد من عدم دخول أي ملوثات (contaminants) الى الشحنة من الحاوية أو من كرات الطحن وكانت النتيجة بأن المسحوق لم يتلوث بأي نسبة جراء ذلك ومن ثم تم طحن ومزج مساحيق المتراكبات وحسب النسب الحجمية المذكورة في الجدول (2.3) أما الجدول (3.3) فيبين معالم عملية طحن المساحيق .

الجدول (3.3) معالم عملية طحن المساحيق

طاحونة محلية الصنع	نوع الطاحونة
(1-3-5-7-9) ساعة	زمن الطحن
500 r.p.m	سرعة الطحن
10 mm	قطر الكرات الفولاذية
5:1	النسبة الوزنية للكرات الفولاذية نسبة للمسحوق



الشكل (2.3) طاحونة محلية الصنع لطحن المساحيق

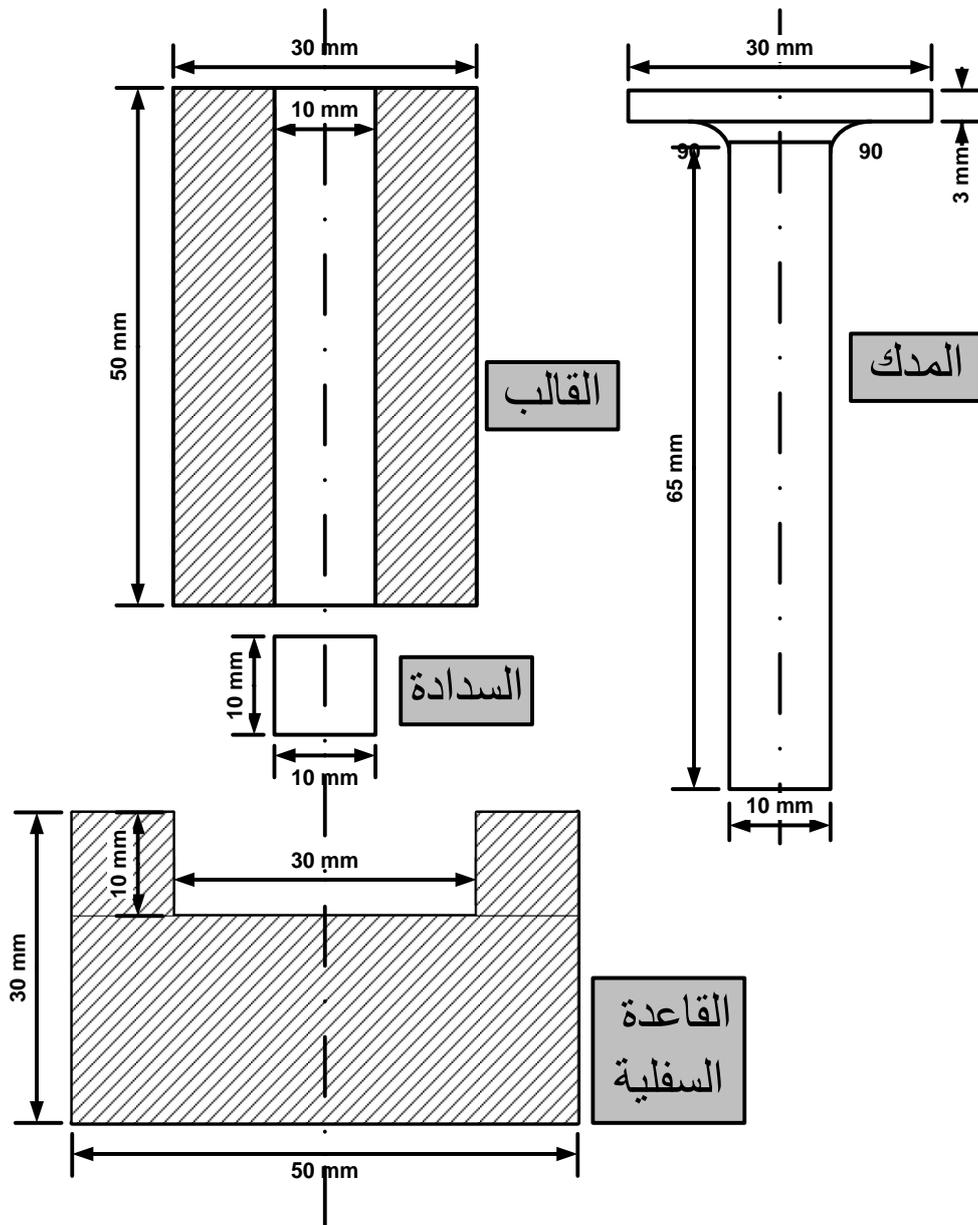


الشكل (3.3) جهاز المطياف اللهب

3.3.3 كبس النماذج Compacting The Samples

بعد الانتهاء من عملية الطحن والمزج والحصول على مسحوق متجانس، تم تشكيل العينات من خلال تقانة الكبس باتجاه واحد (Uniaxial) في قالب فولاذي مصلد تبلغ صلابته

(60 HRC) وبالأبعاد المبينة في الشكل (4.3). أما الشكل (5.3) فيبين صورة فوتوغرافية لقالب الكبس والمدك والقاعدة السفلية والسدادة. تم وضع المزيج المخلوط داخل قالب الكبس والذي وضع بعناية وحذر شديدين في المكبس لمنع أية حركة لأجزاء القالب. وبعد ذلك تم تسليط ضغط (700 MPa) لمدة (30) ثانية لتفادي احتمال الارجاع المرن [36,30]. استخدم لهذا الغرض ماكينة الاختبارات الجامعة (Universal Testing Machine) نوع (HOYTOM) صينية المنشأ ذات سعة كبس (170 KN) والمبينة بالشكل (6.3) والمعايرة من قبل الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية للحصول على نماذج من عينات اسطوانية قطرها (10) ملم وارتفاعها (5) ملم.



الشكل (4.3) شكل تخطيطي لأجزاء منظومة الكبس.



الشكل (5.3) أجزاء القالب المستخدم في عملية الكبس.

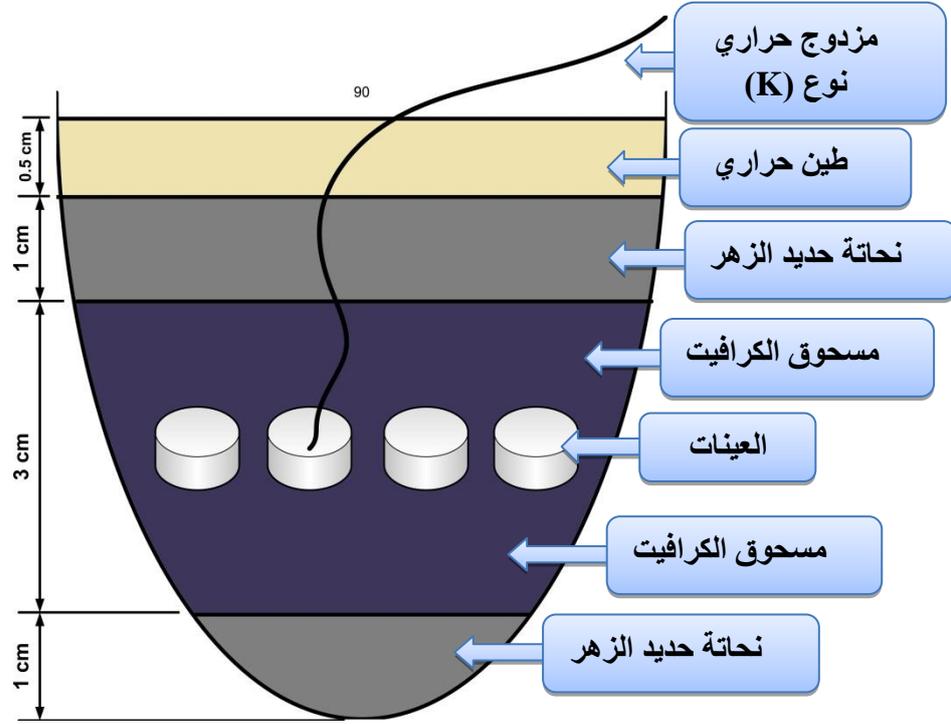


الشكل (6.3) ماكينة الاختبارات الجامعة

4.3.3 التلييد Sintering

بعد إجراء عملية الكبس تكون النماذج غير جاهزة لأجراء الفحوصات وتمتلك مقاومة ضعيفة هي المقاومة الخضراء مما يتطلب العناية عند النقل والمناولة حتى تجرى عملية التلييد. أجريت عملية التلييد باستخدام فرن نوع (Nabertherm) الماني المنشأ تصل أقصى درجة حرارة له (1200°C). ولمنع تأكسد النماذج اثناء عملية التلييد تم تغطيتها بمسحوق الكرافيت ونحاة حديد الزهر في حاوية خزفية خاصة. وضعت طبقة من نحاة حديد الزهر في قاع الحاوية وبسمك

(1) سم ثم طبقة كرافيتية سمكها (1.5) سم. رصفت العينات فوق الطبقة الكرافيتية مع تثبيت مزدوج حراري نوع (K) قرب العينات لمراقبة درجة الحرارة والسيطرة عليها. تم بعد ذلك تغطية العينات بطبقة اخرى من مسحوق الكرافيت بسمك (1.5) سم ثم طبقة اخرى من نحاعة حديد الزهر سمكها (1) سم. وأخيراً تم غلق الحاوية بطبقة من الطين الحراري (Fire Clay) وكما مبين في الشكل (7.3). وبعد جفاف الطين الحراري وضعت الحاوية داخل الفرن.



الشكل (7.3) مخطط للحاوية الخزفية ومحتوياتها اثناء عملية التليد.

تم رفع درجة حرارة الفرن الى درجة حرارة التليد البالغة (900°C) تدريجياً وبمعدل ($4^{\circ}\text{C}/\text{min}$) والابقاء على الشحنة عند تلك الدرجة لمدة ساعة واحدة. تبع ذلك التبريد البطيء داخل الفرن الى درجة حرارة الغرفة [36].

5.3.3 الفحوصات الميكانيكية Mechanical Tests

1.5.3.3 اختبار الصلادة Hardness Test

لغرض قياس صلادة النماذج المصنعة تم اعتماد طريقة الارتداد باستخدام جهاز الصلادة المبرمج سويدي المنشأ نوع (Proceq Equotip 2) . ولقياس صلادة أي نموذج تم أخذ خمس قراءات في مناطق مختلفة بحيث تشمل كامل السطح الذي تم تهيئته لهذا الغرض. وتظهر قراءة معدل قيم الصلادة بشكل مباشر على شاشة الجهاز. يمتلك الجهاز إمكانية تحويل قيم الصلادة من

طريقة الى اخرى بشكل مباشر. وقد تم برمجة الجهاز ليعطي رقم الصلادة البرينيلية التي تم اعتمادها في هذا البحث. ويبين الجدول (4.3) أهم خصائص الجهاز المستخدم .

الجدول (4.3) خصائص جهاز الصلادة (Proceq Equotip 2)

NO	Title	Values
1	Maximum Hardness	940 HV
2	Impact Energy	11 Nm
3	Mass of Impact Body	5.5 g
4	Diameter Test Tip	3 mm
5	Diameter Impact Device	20 mm
6	Length Impact Device	150 mm
7	Accuracy	+ 4L (+ 0.5%) or when converting to HB , HV or HRC + 3% to + 15% or when converting to shore hardness + 1.5% to 4.5%

2.5.3.3 اختبار مقاومة الانضغاط القطرية

Diametrical Compressive strength test

تم اجراء اختبار مقاومة الانضغاط باستخدام ماكينة الاختبارات الجامعة والمبينة في الشكل (6.3) إذ تم وضع العينة على منصة الفحص. تم بعد ذلك تسليط الحمل على قطر العينة لحين حدوث الفشل وقراءة الحمل الاقصى من الشاشة الرقمية الخاصة بالجهاز علماً ان للجهاز امكانية تخزين القيمة القصوى للحمل قبل الفشل. ويتم حساب مقاومة الانضغاط من خلال العلاقة (2-3).

3.5.3.3 اختبار البلى Wear Testing

تم اجراء اختبار البلى وقياس قوة الاحتكاك باستخدام جهاز (Pin - on - Disc) نوع (Wear and Friction Monitor ED - 201) ذو منشأ هندي والمبين في الشكل (8.3) والموجود في (المعهد التقني / الدور) إذ يعمل الجهاز على قياس كل من ارتفاع البلى بوحدات (μm) بوساطة متحسس مربوط بشكل عمودي على ذراع ماسك العينة يتحسس بارتفاع البلى الحاصل في النموذج اثناء فترة الاختبار وينقل القراءة مباشرة الى مقياس رقمي دقيق، كما يعمل على قياس قوة الاحتكاك بين العينة والقرص بوساطة متحسس مربوط بشكل افقي على الذراع يتحسس قوة الاحتكاك الناتجة بين القرص والنموذج بوحدات (N) وينقل القراءة مباشرة الى مقياس رقمي آخر دقيق كما يحتوي الجهاز على مؤقت لقياس مدة الاختبار بصورة دقيقة وايقافه عند انتهاء المدة المحددة كما يحتوي على حامل للأثقال المستخدمة اثناء فترة الاختبار.

1.3.5.3.3 قياس البلى ومعامل الاحتكاك

Measurement of Wear and Coefficient of Friction

تم تنظيف القرص الفولاذي للجهاز قبل البدء بعملية الاختبار ومن ثم معايرته باستخدام عينات قياسية لمعرفة مدى دقته. تم قياس السرعة الدورانية للقرص باستخدام جهاز قياس السرعة (Digital Tachometer) نوع (HQRP) ليزري ذو منشأ صيني ثم اجريت الاختبارات حسب المتغيرات المبينة في الجدول (5.3). تم حساب معامل الاحتكاك من خلال العلاقة (2-2) وكذلك حساب حجم البلى للنماذج.



الشكل (8.3) جهاز قياس البلى وقوة الاحتكاك

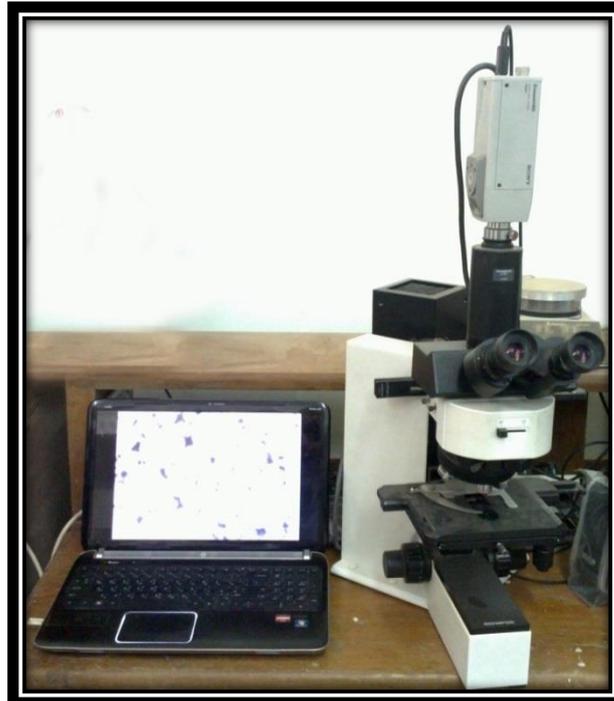
الجدول (5.3) ظروف اختبار البلى

470 r.p.m	السرعة الدورانية للقرص
30 min	زمن الاختبار
20 N	الحمل العمودي المسلط
60 mm	قطر قرص الاختبار
62 HRC	صلادة القرص

6.3.3 الفحوصات الفيزيائية Physical Tests

1.6.3.3 الفحص المجهرى Microscopy Inspection

لغرض اجراء الفحص المجهرى فقد تم تنعيم العينات باستخدام ورق من كاربيد السليكون (SiC) متدرج الأحجام (2500,2000,1200,1000,600) وبوجود تيار مائي مستمر ثم صقلت بقماش الصقل ومعجون الماس بمرحلتين، إن عمليتي التنعيم والصقل تمت باستعمال جهاز التنعيم والصقل نوع (Controlab) فرنسي المنشأ . وبعد كل مرحلة من مراحل التنعيم والصقل تغسل النماذج بالماء ثم الكحول علاوة على التجفيف باستعمال جهاز التجفيف نوع (Buehler) فرنسي المنشأ . تم إجراء عملية الفحص وتصوير البنية المجهرية بعد إجراء عملية التنعيم والصقل للنماذج واستخدام الكاشف ($FeCl_3$ (10 g) + HCl (30 ml) + H_2O (120 ml)) وبقوة التكبير المبينة على الصور. والمجهر الضوئي المستخدم نوع (OLYMPUS) ياباني المنشأ متصل بكاميرا نوع (SONY) وحاسوب نوع (P4) كما مبين بالشكل (9.3) .



الشكل
(9.3)
منظومة
فحص
البنية
المجهرية
والتصوير

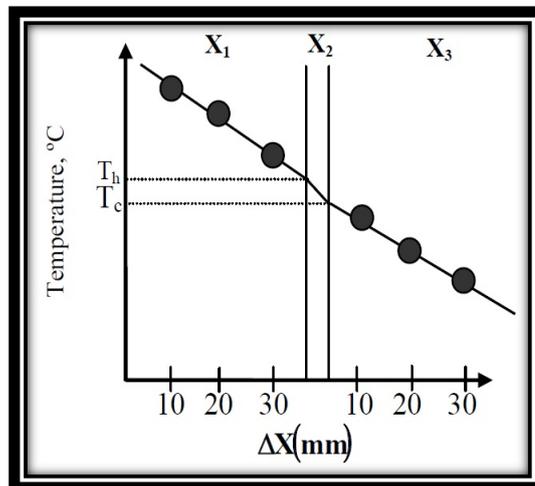
2.6.3.3 الموصلية الحرارية Thermal Conductivity

تم استخدام جهاز قياس الموصلية الحرارية بالتوصيل (Heat Conduction Unit) والمصنع من قبل شركة (P. A. Hilton Ltd England) انكليزي المنشأ ، والمبين بالشكل (10.3) لغرض قياس الموصلية الحرارية للنماذج .



الشكل (10.3) جهاز قياس الموصلية الحرارية

تم وضع الانموذج داخل الجهاز بين قطعتين من البراص الاولى مسخنة بوساطة ملف حراري والثانية مبردة بوساطة امرار تيار مائي مستمر إذ يعتمد مبدأ عمل الجهاز على تسليط قدرة كهربائية تعمل على تسخين النموذج الموجود داخل الجهاز، وتقوم المزدوجات الحرارية الموزعة على جانبي النموذج بقياس التغير في درجات الحرارة على جانبيه ويبعد كل مزدوج عن الاخر بمسافة (10 mm). ويمكن رسم المنحني المبين بالشكل (11.3) من خلال قيم درجات الحرارة التي يسجلها جهاز قياس الموصلية الحرارية والذي يبين كيفية حساب قيمة التدرج الحراري ($\Delta T/\Delta X$) الذي يطبق في معادلة فورير (2-4) إذ يمثل (X_3, X_1) المسافة بين المزدوجات الحرارية على جانبي الانموذج أما (X_2) فتمثل سمك النموذج [65].



الشكل

(11.3)

حساب قيمة

التدرج

الحراري

($\Delta T/\Delta X$)

[65].

3.6.3.3 الكثافة الحجمية والظاهرية والمسامية الحقيقية والظاهرية وامتصاصية الماء Bulk & Apparent Density , True & Apparent Porosity and Water Absorption

تم إجراء الفحوصات الفيزيائية الممثلة بالكثافة الحجمية والظاهرية، المسامية الحقيقية والظاهرية علاوة على امتصاصية الماء باتباع قاعدة أرخميدس وفق المعيار العالمي (ASTM C373 - 88) باستعمال الميزان الكهربائي الحساس ذو دقة (0.0001 g) وفق الخطوات الآتية :-

❖ تجفف النماذج لمدة ساعة باستخدام فرن كهربائي عند درجة حرارة (150 °C) وتترك لتبرد داخل الفرن، ثم يوزن النموذج بعد إخراجها من الفرن ويسمى هذا الوزن بالوزن الجاف (W_d).

❖ توضع النماذج في الماء المقطر المغلي لمدة (5) ساعات. تنقل النماذج بعد ذلك الى اناء يحتوي على ماء مقطر بدرجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة. وبعد اخراج النماذج يتم ازالة الماء السطحي العالق فقط. يتم وزن النماذج بعد ذلك وهذا الوزن يمثل الوزن المشبع (W_s)

❖ يوزن النموذج وهو معلق ومغمور في الماء المقطر بوساطة ميزان تعليق حساس وهذا الوزن هو الوزن المعلق (W_i).

وبعد ذلك يتم حساب المسامية الحقيقية (T.P.) والظاهرية (A.P.)، الكثافة الحجمية (B.D.) والظاهرية (A.D.) ونسبة امتصاصية الماء (W.A.)، باستعمال العلاقات (2-6) الى (2-10).

7.3.3 التحليل بحيود الأشعة السينية X-Ray-Diffraction Test

تم استخدام جهاز حيود الأشعة السينية المنتج من شركة (SHIMADZU) ياباني المنشأ والهدف المستخدم في أنبوية الأشعة هو $(Cu) K\alpha$ وحسب المعلمات المبينة في الجدول (6.3).

الجدول (6.3) معلمات انتاج الاشعة.

Voltage	40 Kv
Current	30 mA
Scan Speed	5 deg/min
Scan Range	20° - 80°
Wave Length	1.54060 Å

يتم الحصول على قيم المسافات البينية للمستويات الذرية (d) لكل عينة بشكل مباشر عن طريق الحاسوب المرتبط بالجهاز. ويمكن الحصول على الأطوار المتكونة من خلال إجراء مقارنة لقيم المسافات البينية بين المستويات المحادة (d) وشدة الأشعة المحادة مع جداول قياسية مرجعية (ASTM). إلا أنه في حالتنا تم الحصول على الأطوار باستخدام برنامج التحليل (Match! 2).

الفصل الرابع
النتائج والمناقشة

CHAPTER FOUR
RESULTS & DISCUSSIONS



الفصل الرابع

Results and Discussion النتائج والمناقشة

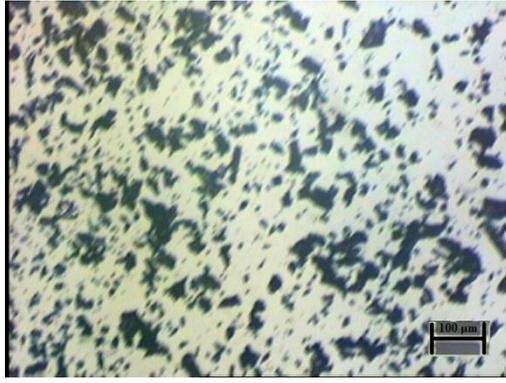
1.4 المقدمة Introduction

يَعرض هذا الفصل النتائج التي تم التوصل إليها بعد إجراء الفحوصات التي تعطي صورة عن خواص المتراكبات المنتجة علاوة على مناقشة تلك النتائج والعوامل المختلفة التي تؤثر عليها وذلك لتحديد أفضل المواصفات لكل متراكب من المتراكبات قيد الدراسة في ظل تلك الظروف .

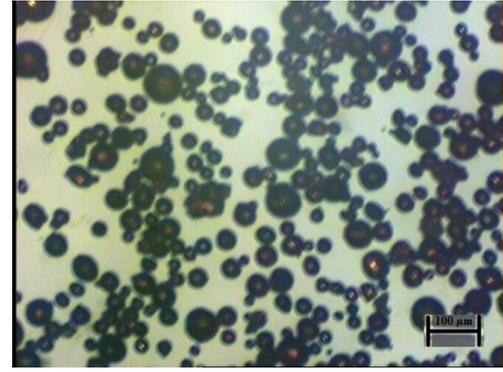
2.4 تأثير زمن الطحن على شكل وحجم الجسيمات

Effect of Milling Time on Shape and Size of Particles

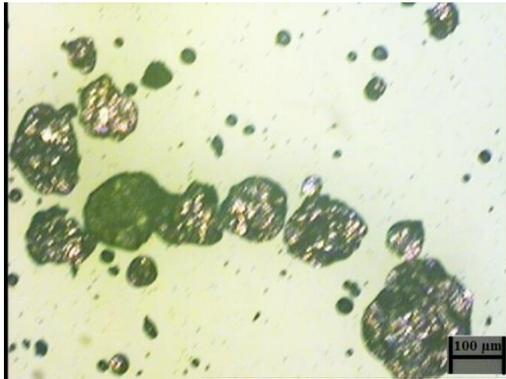
يلاحظ من خلال الصور المجهرية لمسحوقي النحاس والكرافيت قبل الطحن وبعده لفترات زمنية مختلفة والمبينة في الشكل (1.4) (A , B) أن عملية الطحن تعمل على تغيير كل من شكل الجسيمات وحجومها إذ يلاحظ أن الجسيمات تمتلك أشكالاً كروية قبل الطحن ومع استمرار عملية الطحن تحافظ قسم من الجسيمات على كرويتها إلا ان اعدادها تتناقص بزيادة مدة الطحن بينما يحدث تكسير وتنعيم للقسم الثاني منها والتي تتزايد نسبتها باستمرار الطحن في حين يحدث تكثف للقسم الثالث. وتعزى عملية التنعيم الى حدوث تشكيل على البارد للجسيمات وبزيادة زمن الطحن تزداد نسبة التشكيل وتزداد معها الكثافة الانخلاعية والاصداد الانفعالي وتقل معه مطيلية المعدن حتى يصبح المعدن هشاً في النهاية ويصل الى الحد الذي لا يمكن استيعاب اي تشكيل لدن اضافي. وعند هذا الحد تستهلك الطاقة المجهزة من عملية الطحن في توليد اسطح جديدة للجسيمات (حدوث تكسر لها) وبعبارة اخرى بدء عملية التنعيم التي تستمر باستمرار عملية الطحن اللاحقة. وقد توصل كل من [36] و [76] الى نتيجة مماثلة لكل من المتراكبين النحاس - كرافيت و (Cu-NbC) على التوالي. أما تكثف الجسيمات فيعزى الى حدوث تسطح لها نتيجة الصدمات المتتالية للكرات الفولاذية وحدثت عمليات اللحام البارد بتأثير قوى الصدم مما يؤدي الى تزايد حجوم تلك الجسيمات. أن ما تجدر الإشارة اليه ان عملية التنعيم والتكثف تظهر في وقت مبكر عند الطحن لمدة ساعة واحدة وتستمر العمليتان أي التنعيم بالتكسر والتكثف بالالتحام مع زيادة زمن الطحن حتى تتحقق حالة التوازن بين التنعيم والتكثف عند مدة طحن مقدارها (5) ساعات والازمان التي تليها قيد الدراسة لنحصل على مسحوق مكون من جسيمات ناعمة وأخرى خشنة وقد توصل [77] الى نتيجة مماثلة للمتراكب (Cu-SiC).



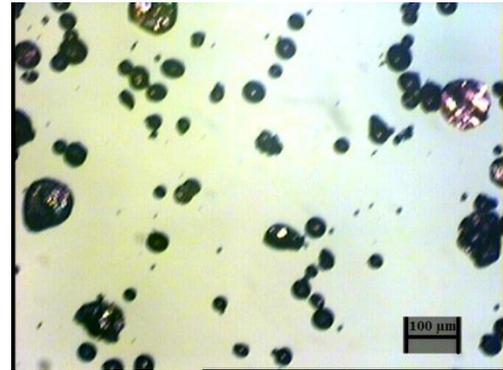
(ب)



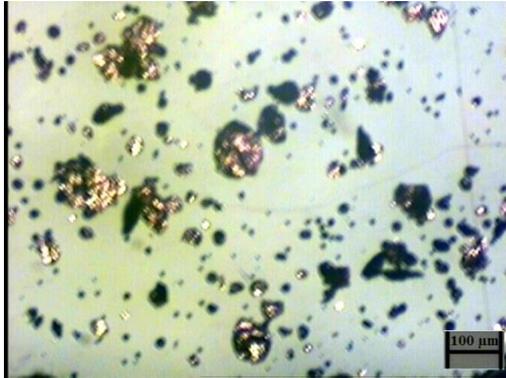
(أ)



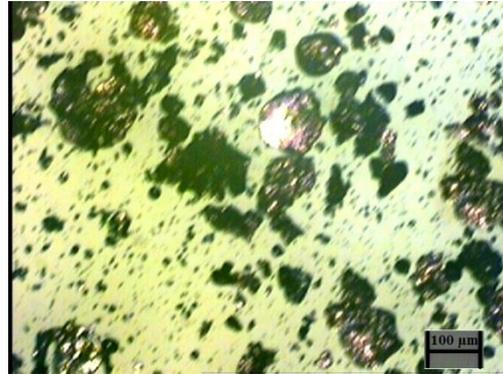
(د)



(ج)



(و)



(هـ)

الشكل (1.4) (A)

صور مجهرية لمسحوق النحاس والكرافيت

أ- مسحوق النحاس قبل الطحن.

ب- مسحوق الكرافيت قبل الطحن.

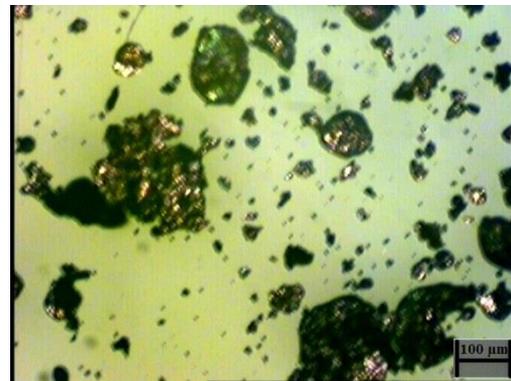
ج- مسحوق النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (1) ساعة.

د- مسحوق النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (3) ساعة.

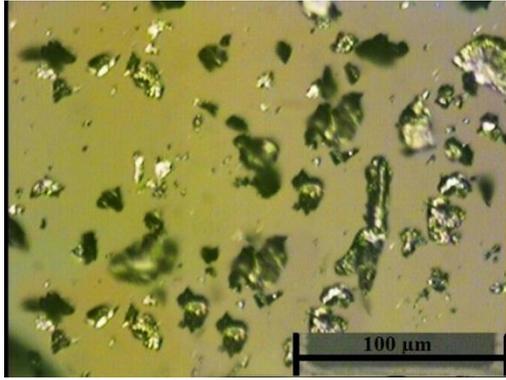
هـ- مسحوق النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (5) ساعة.

و- مسحوق النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (7) ساعة.

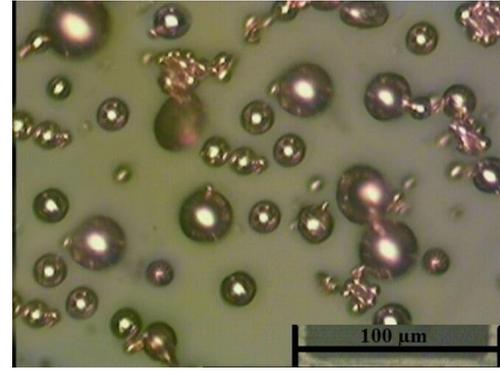
ز- مسحوق النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (9) ساعة.



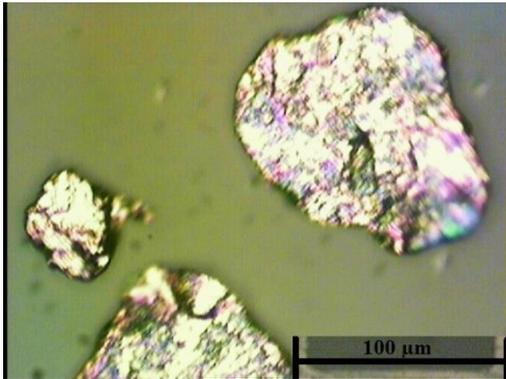
(ز)



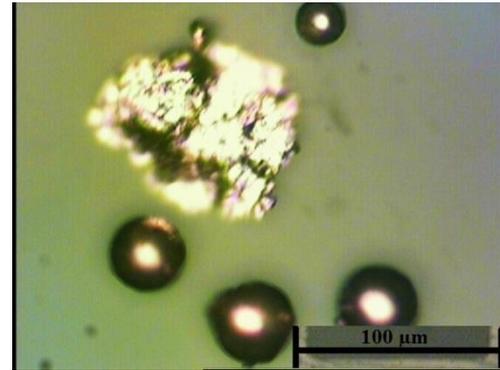
(ب)



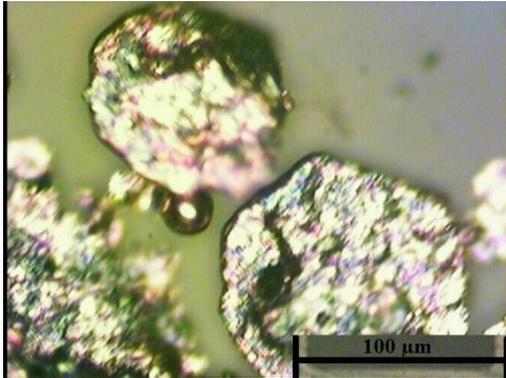
(ا)



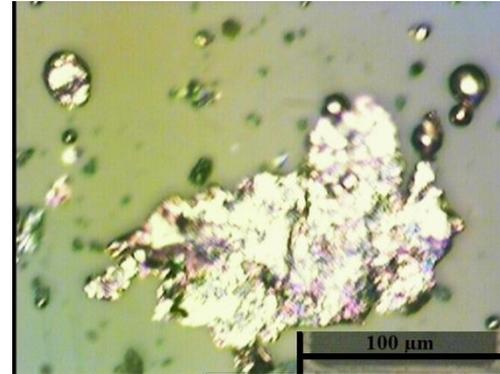
(د)



(ج)



(و)

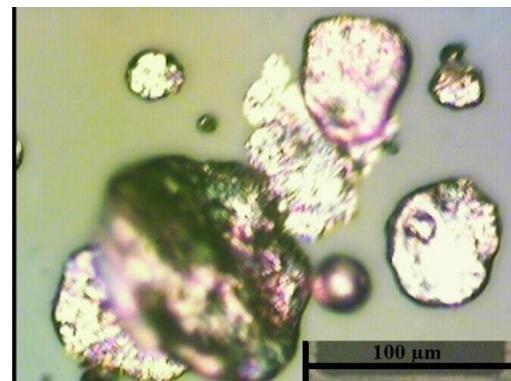


(هـ)

الشكل (1.4) (B)

صور مجهرية لمسحوقي النحاس والكرافيت

- أ- مسحوق النحاس قبل الطحن.
 ب- مسحوق الكرافيت قبل الطحن.
 ج- مسحوقي النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (1) ساعة.
 د- مسحوقي النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (3) ساعة.
 هـ- مسحوقي النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (5) ساعة.
 و- مسحوقي النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (7) ساعة.
 ز- مسحوقي النحاس والكرافيت بعد زمن طحن (9) ساعة.



(ز)

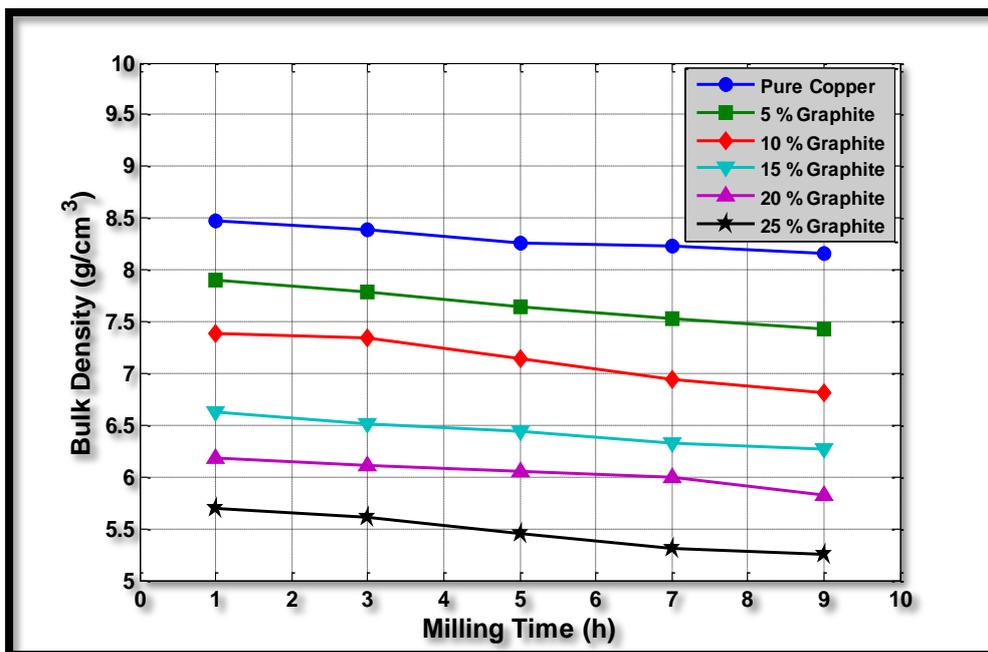
3.4 الخصائص الفيزيائية Physical Properties

1.3.4 الكثافة الحجمية Bulk Density

1.1.3.4 تأثير زمن الطحن على الكثافة الحجمية

Effect of Milling Time on The Bulk Density

يبين الشكل (2.4) العلاقة بين زمن الطحن والكثافة الحجمية لنسب مختلفة من الكرافيت في متراكب النحاس - كرافيت ويلاحظ من خلال الشكل ان زيادة زمن الطحن قد أدت الى انخفاض الكثافة الحجمية ولجميع نسب الكرافيت في المتراكبات إذ تنخفض من (8.476 g/cm^3) عند زمن طحن (1) ساعة الى (8.163 g/cm^3) عند زمن طحن (9) ساعة بالنسبة للنحاس النقي بينما تنخفض من (5.689 g/cm^3) عند زمن طحن (1) ساعة الى (5.25 g/cm^3) عند زمن طحن (9) ساعة بالنسبة لمحتوى الكرافيت (25%). ويمكن أن يعزى ذلك الى زيادة نسبة التشكيل على البارد بزيادة زمن الطحن وما يصحبه من زيادة في الصلادة واجهاد الانسياب (Flow Stress) وانخفاض في المطيلية التي تعد معياراً للتشكيل اللدن ويؤدي ذلك في محصلته الى زيادة مقاومة المسحوق للكبس والتشكيل اللدن مع زيادة زمن الطحن. وعليه تنخفض كثافة المتراكب المكبوس وقد توصل كل من [30] و [77] الى نتيجة مماثلة لكل من المتراكبين النحاس - كرافيت و (Cu-SiC) على التوالي. ويلعب تنعيم جسيمات النحاس هو الاخر دوراً مهماً في انخفاض الكثافة الحجمية بزيادة زمن الطحن وتكون تكتلاتٍ منها اثناء الطحن إذ ان انخفاض حجم الجسيمات يؤدي الى ازدياد عدد المسامات ونسبتها ومن ثم يقلل الكثافة.



الشكل

(2.4)

العلاقة

بين

الكثافة

الحجمية

وزمن

الطحن

لنسب

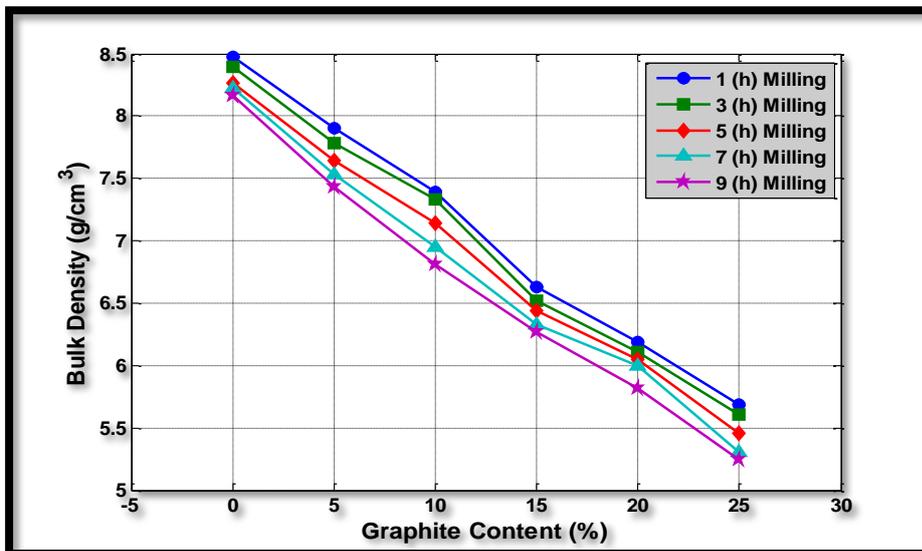
كرافيت

مختلفة.

2.1.3.4 تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على الكثافة الحجمية

Effect the Volumetric Fraction of Graphite on The Bulk Density

الشكل (3.4) يوضح العلاقة بين الكثافة الحجمية ومحتوى الكرافيت لازمان طحن مختلفة. ومن خلال الشكل يتبين ان زيادة محتوى الكرافيت قد أدت الى انخفاض كثافة مترابك النحاس - كرافيت المكبوس عند ضغط (700 MPa) والمليد عند درجة حرارة (900 °C) لمدة ساعة واحدة إذ تنخفض الكثافة الحجمية من (8.476 g/cm³) للنحاس النقي على سبيل المثال الى (5.689 g/cm³) لمحتوى الكرافيت (25%) عند زمن طحن (1) ساعة بينما تنخفض من (8.163 g/cm³) للنحاس النقي الى (5.25 g/cm³) لمحتوى الكرافيت (25%) عند زمن طحن (9) ساعة، كما يلاحظ من الشكل نفسه ان زيادة زمن الطحن قد أدى هو الآخر الى انخفاض الكثافة ويمكن ان يعزى هذا السلوك الى عدة اسباب تعمل بشكل متزامن ويؤازر بعضها البعض الاخر في حدوث هذا الانخفاض الكبير في الكثافة ويأتي في مقدمتها حقيقة كون كثافة الكرافيت منخفضة إذ تبلغ (2.26 g/cm³) وتؤدي زيادة محتواه بالضرورة الى انخفاض كثافة المترابك ثم يأتي بعد ذلك الكرافيت إذ يعمل على تغطية جسيمات النحاس والتي يزداد فعلها وأثرها بزيادة كل من محتوى الكرافيت وزمن الطحن. أن عملية التغطية هذه ستعمل كعائق لحدوث الاندماج (Consolidation) التام بين جسيمات النحاس نتيجة اعاقه حدوث انتشار الحالة الصلبة خلال عملية التليد ونتيجة لذلك سيقبل الانكماش الحجمي الناتج من الاندماج بزيادة محتوى الكرافيت وزمن الطحن ومن ثم تقل معه الكثافة الحجمية علاوة على ذلك فإن زيادة زمن الطحن سيعمل على حدوث تنعيم جسيمات النحاس وحدث تكتلات من تلك الجسيمات الامر الذي يعزز زيادة المسامية ويقلل الكثافة الحجمية للمترابك. وقد توصل كل من [5] و [24] الى نتائج مماثلة لمترابك النحاس - كرافيت بعد عمليتي التليد التقليدي وبالموجات المايكروية على التوالي.



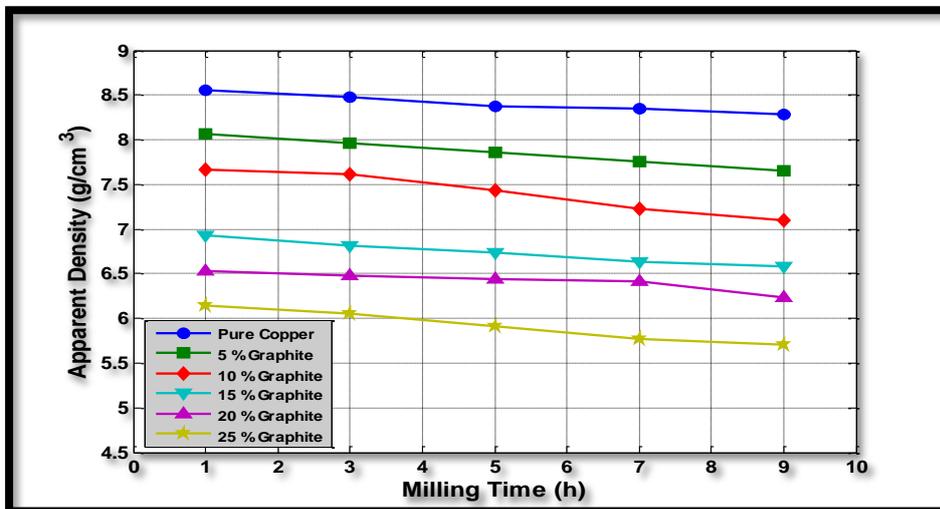
الشكل (3.4)
العلاقة بين
الكسر الحجمي
للكرافيت
والكثافة
الحجمية
لأزمان طحن
مختلفة.

2.3.4 الكثافة الظاهرية Apparent Density

1.2.3.4 تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على الكثافة الظاهرية

Effect of Milling Time And Volumetric Fraction of Graphite on The Apparent Density

يبين الشكلان (4.4) و (5.4) تأثير كل من زمن الطحن ومحتوى الكرافيت على الكثافة الظاهرية لمترابك نحاس - كرافيت بعد التلييد إذ يلاحظ من خلال الشكلين ان زيادة كل من زمن الطحن ومحتوى الكرافيت قد أدت الى نقصان الكثافة الظاهرية التي تنخفض من (8.55 g/cm^3) الى (8.29 g/cm^3) عند زيادة زمن الطحن من (1) ساعة الى (9) ساعة بالنسبة للنحاس النقي بينما تنخفض من (6.138 g/cm^3) الى (5.709 g/cm^3) عند تلك الازمان على التوالي بزيادة محتوى الكرافيت الى (25%) ، كما يلاحظ من الشكلين أن فعل زيادة محتوى الكرافيت في المترابك على انخفاض قيم الكثافة الظاهرية أعلى بكثير من فعل زيادة زمن الطحن ويعزى ذلك الى الاسباب التي سبق وأن تم ذكرها أنفاً والممثلة في زيادة نسبة وعدد المسامات المغلقة مع زيادة زمن الطحن نتيجة لتنعيم الجسيمات وحدثت تكتلات منها علاوة على زيادة فعل التغطية والعزل لجسيمات النحاس والذي بدوره يعيق الاندماج بين جسيمات النحاس (تعيق عملية التكتيف (Densification) والتقلص الحجمي في اثناء التلييد) وتبقي على مقدار كبير من المسامات في مواقعها وبما يتناسب وزمن الطحن فضلاً عن مساهمة زمن الطحن في زيادة الاصلاح الانفعالي وما يترتب عليه من مقاومة لضغط الكبس، هذا من ناحية ومن ناحية اخرى فان زيادة محتوى الكرافيت سيعزز عملية العزل والتغطية وما يتبعه من الابقاء على المسامية المغلقة في اماكنها بسبب اعاقه عملية الاندماج علاوة على الفعل المباشر للكرافيت في تقليل الكثافة بفعل كثافته المنخفضة والتي يزداد تأثيرها بزيادة نسبته.



الشكل

(4.4)

العلاقة بين

زمن الطحن

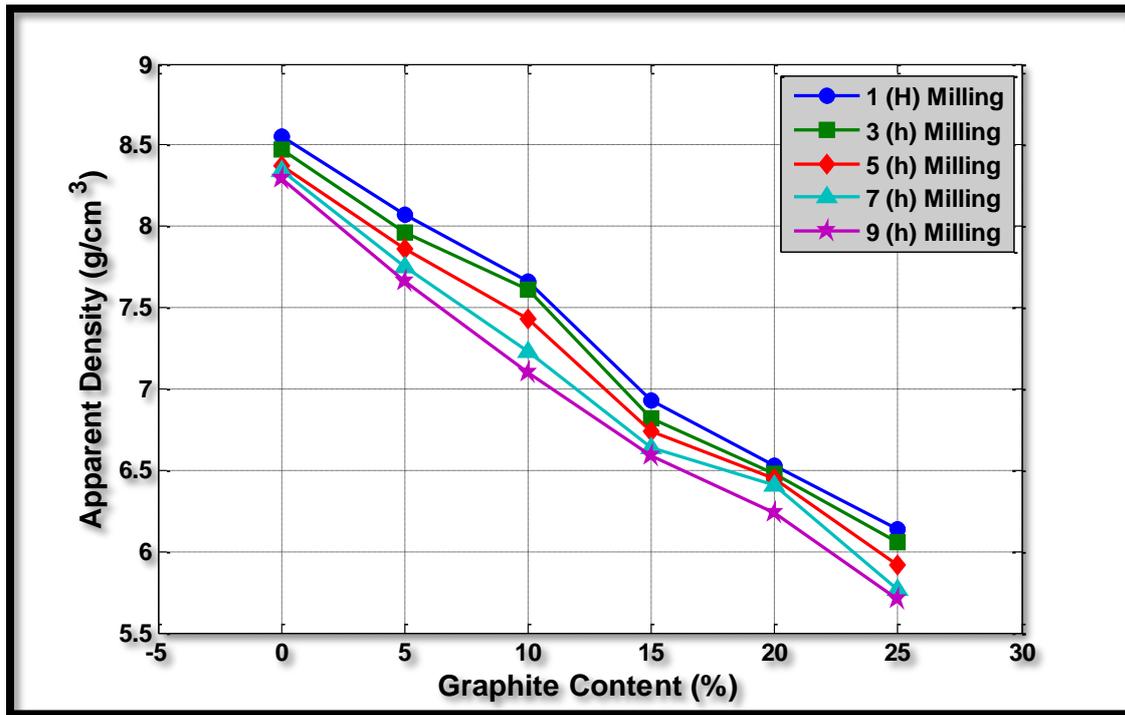
والكثافة

الظاهرية

لنسب

كرافيت

مختلفة.



الشكل (5.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والكثافة الظاهرية لأزمان طحن مختلفة.

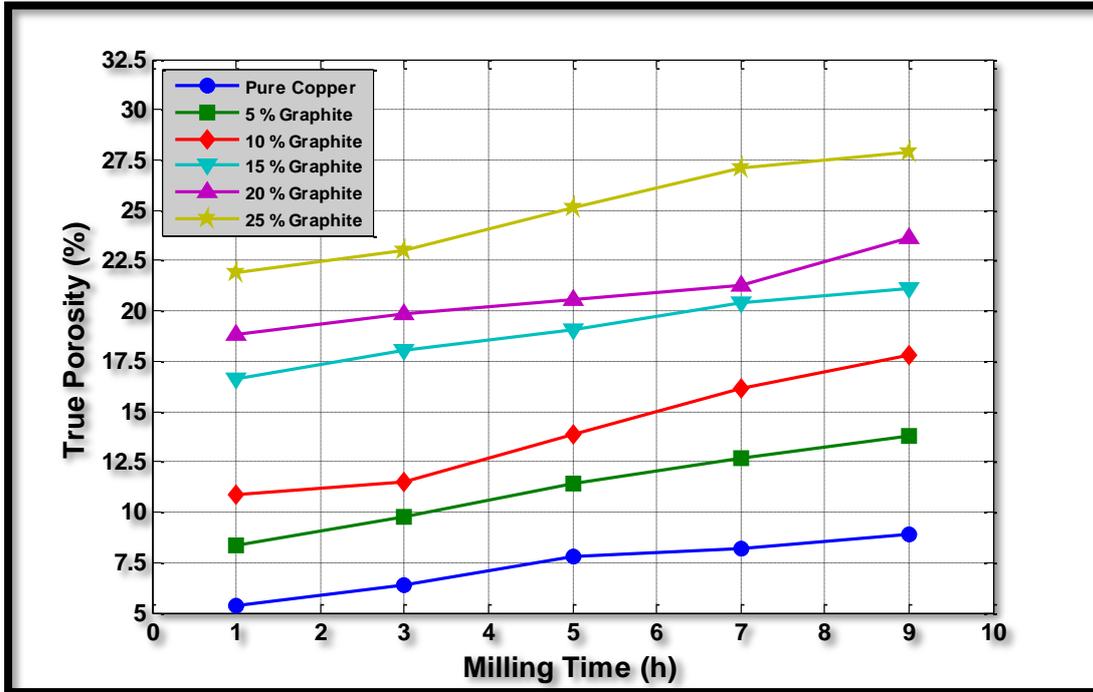
3.3.4 المسامية الحقيقية True Porosity

1.3.3.4 تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على المسامية الحقيقية

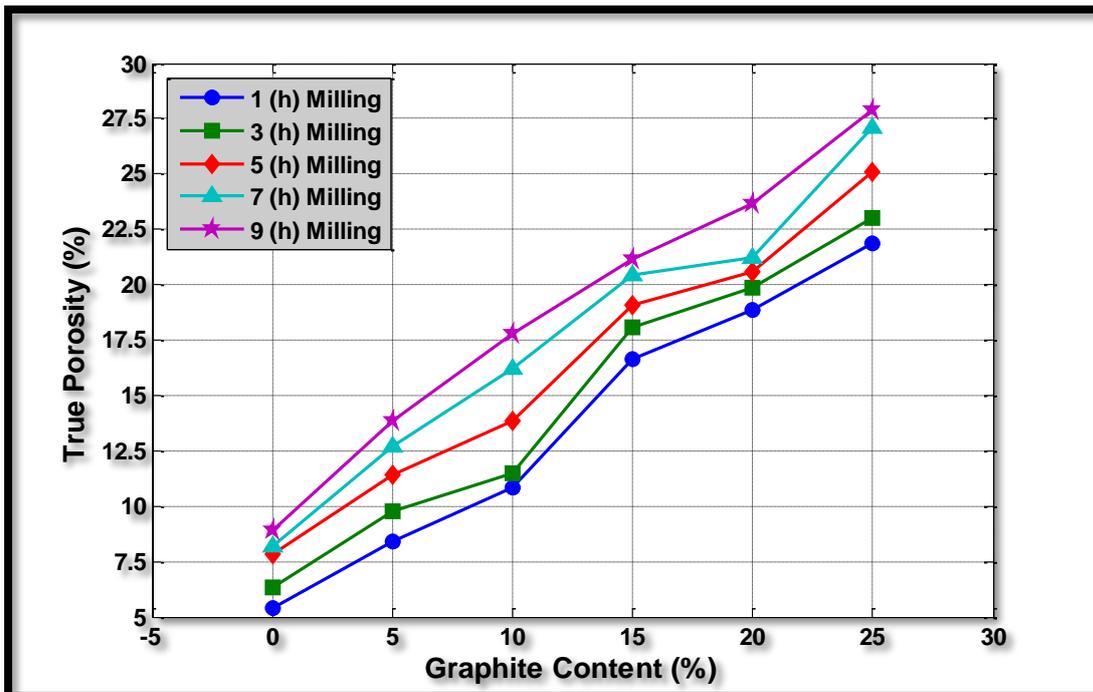
Effect of Milling Time and Volumetric Fraction of Graphite on The True Porosity

تزداد المسامية الحقيقية (المسامية المغلقة والمسامية المفتوحة) بزيادة زمن الطحن ومحتوى الكرافيت كما يوضحها كل من الشكلين (6.4) و (7.4) إذ تزداد من (5.392%) عند زمن طحن (1) ساعة الى (8.884%) عند زمن طحن (9) ساعة بالنسبة للنحاس النقي بينما تزداد من (21.871) عند زمن طحن (1) ساعة الى (27.909%) عند زمن طحن (9) ساعة عند محتوى كرافيت (25%) ويعزى هذا السلوك الى ذات الاسباب التي ذكرت في البندين {1.1.3.4} و {2.1.3.4}. ان ما يلفت الانتباه عند مقارنة هذين الشكلين مع الشكلين (4.4) و (5.4) هو التأثير الكبير جداً لمحتوى الكرافيت على كل من المسامية الحقيقية والكثافة الظاهرية اذا ما قورن بتأثير زمن الطحن. وهذه النتيجة توحي الى ان الكرافيت هو العامل المسيطر والمتحكم في نسبة المسامية الحقيقية ومن ثم الكثافة الظاهرية وله فعل واضح في تغطية وتغليف وعزل جسيمات النحاس عن بعضها البعض واعاقا الاندماج الجزئي ومنع الاندماج التام بين الجسيمات في اثناء عملية التليد علاوة على اعاقا او منع التقلص الحجمي. اما تنعيم جسيمات النحاس وتكون تكتلات

منها وزيادة مقاومتها للتشكيل اللدن والكبس بزيادة زمن الطحن فهو عامل معزز في تحديد هاتين الخاصيتين وليس المتحكم فيهما أو المسيطر عليهما. وقد توصل كل من [5] و [24] الى نتائج مماثلة لمترابك النحاس - كرافيت بعد عمليتي التليد التقليدي وبالموجات المايكروية على التوالي.



الشكل (6.4) العلاقة بين زمن الطحن والمسامية الكلية لنسب كرافيت مختلفة.



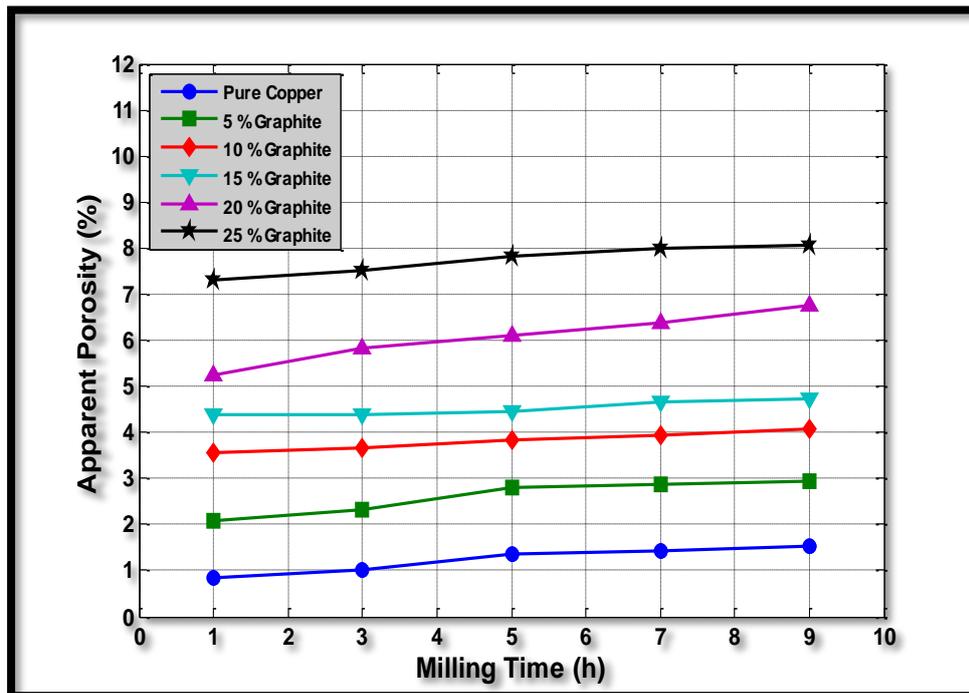
الشكل (7.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والمسامية الكلية لأزمان طحن مختلفة.

4.3.4 المسامية الظاهرية Apparent Porosity

1.4.3.4 تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على المسامية الظاهرية

Effect of Milling Time And Volumetric Fraction of Graphite on The Apparent Porosity

يبين الشكلان (8.4) و (9.4) العلاقة بين المسامية الظاهرية وكل من زمن الطحن ومحتوى الكرافيت إذ يلاحظ أن زيادة المسامية الظاهرية تكون بزيادة العاملين المذكورين ففي النحاس النقي مثلاً تزداد من (0.855 %) عند زمن طحن (1) ساعة الى (1.525 %) عند زمن طحن (9) ساعة بينما تزداد من (7.318 %) عند زمن طحن (1) ساعة الى (8.053 %) عند زمن طحن (9) ساعة عند محتوى كرافيت (25%) وان هذا السلوك متوافق تماماً مع سلوك المسامية الكلية بفعل زيادة زمن الطحن ومحتوى الكرافيت المبينة في الشكلين (6.4) و (7.4) ومعاكس لسلوك الكثافة الظاهرية إزاء العاملين نفسيهما المبينين في الشكلين (4.4) و (5.4)، وهو ما يشير الى ان طبيعة تأثير زمن الطحن ومحتوى الكرافيت على كل من المسامية المفتوحة والمسامية المغلقة هي طبيعة واحدة وأن العوامل التي تتحكم في المسامية المغلقة هي ذاتها التي تتحكم في المسامية المفتوحة وأن آليات تكون هذين النوعين من المسامية واحدة. ويلاحظ من خلال الشكلين كذلك ان محتوى الكرافيت وآليات عمله في تكوين المسامية هي التي تتحكم في تحديد المسامية الظاهرية وليس زمن الطحن وآليات تكون المسامية المترتبة عليه وهو ما يعزز ما تم التوصل اليه في البند {1.3.3.4}. وقد توصل [28] الى نتائج مماثلة لمتراكب النحاس - كرافيت.



الشكل

(8.4)

العلاقة

بين زمن

الطحن

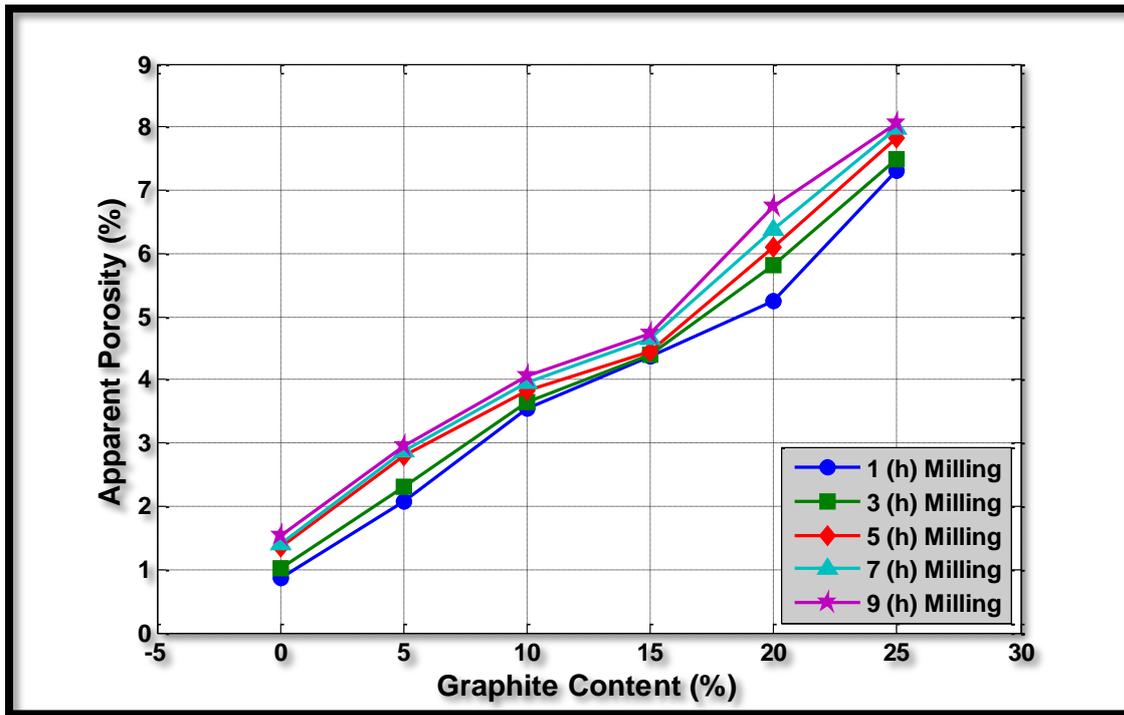
والمسامية

الظاهرية

نسب

كرافيت

مختلفة.



الشكل (9.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والمسامية الظاهرية لأزمان طحن مختلفة.

5.3.4 امتصاصية الماء Water Absorption

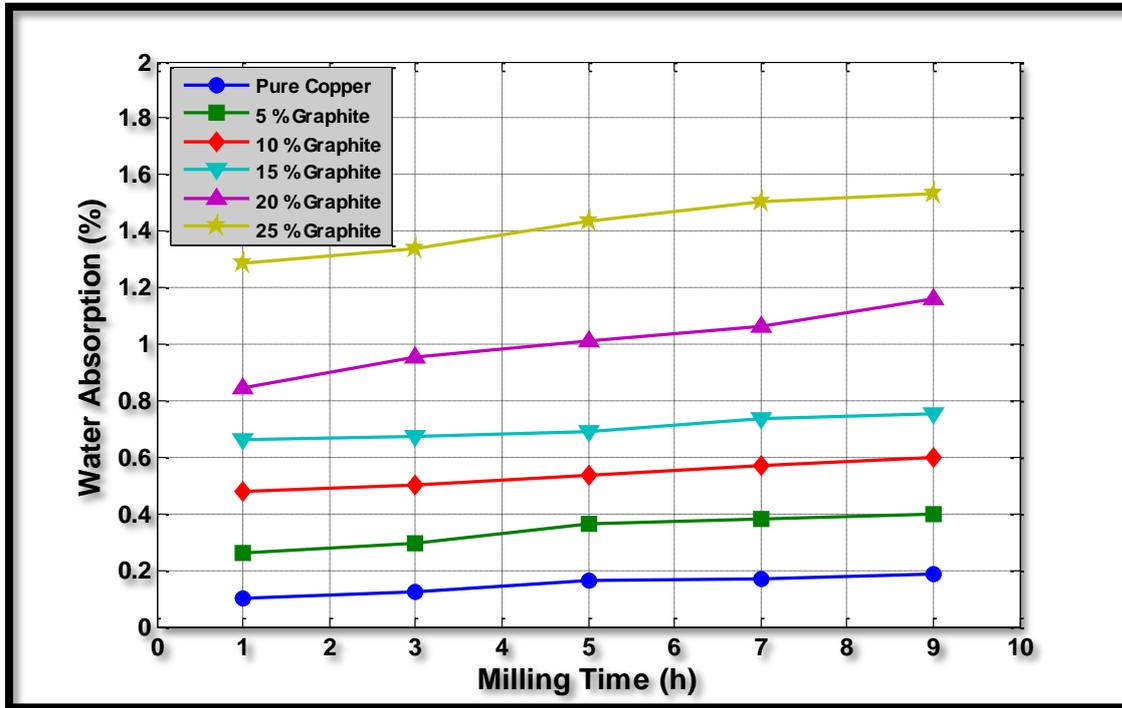
1.5.3.4 تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على امتصاصية الماء

Effect of Milling Time And Volumetric Fraction of Graphite on The Water Absorption

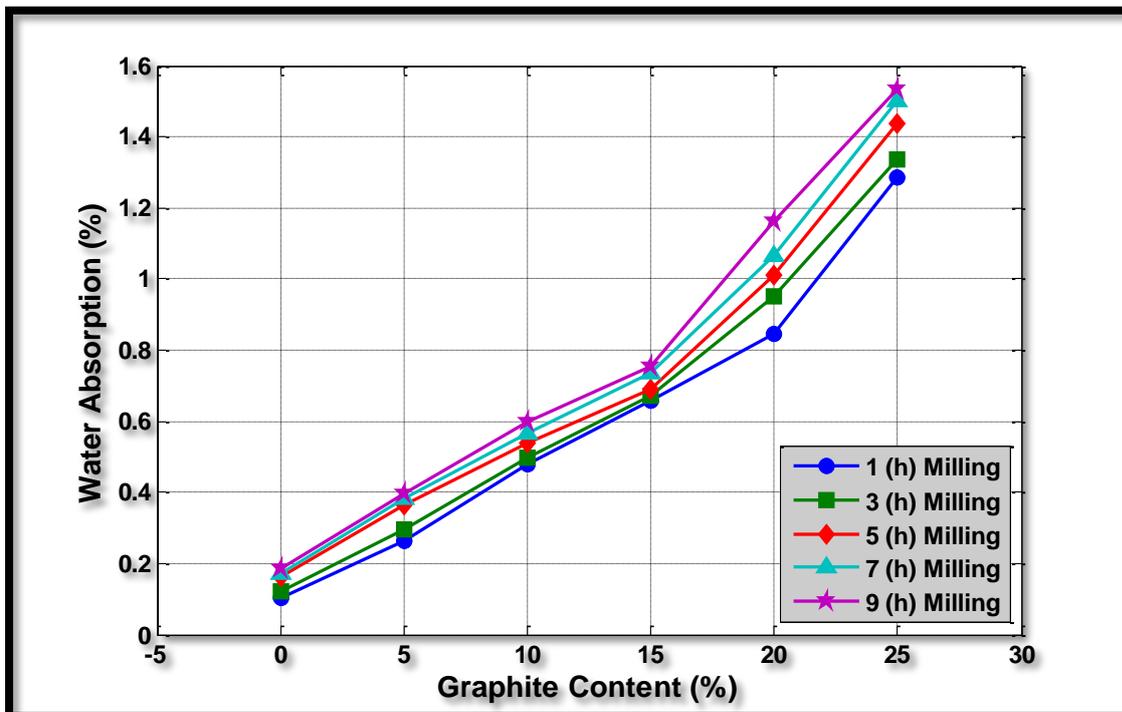
يبين الشكلان (10.4) و (11.4) العلاقة بين زمن الطحن ومحتوى الكرافيت على امتصاصية الماء على التوالي. ويلاحظ فيهما زيادة الامتصاصية بزيادة زمن الطحن ومحتوى الكرافيت، كما يلاحظ ان تأثير زمن الطحن على الامتصاصية اقل بكثير من تأثير محتوى الكرافيت إذ بلغت اقصى زيادة في الامتصاصية من (1.286 - 1.533) % عند زيادة زمن الطحن من ساعة واحدة الى (9) ساعة لمحتوى كرافيت قدره (25) % بينما ازدادت من (0.186 - 1.533) % عند زيادة محتوى الكرافيت من (0) % الى (25) % لزمن طحن قدره (9) ساعة. ويعزى هذا السلوك الى المسامية الظاهرية (المسامية المفتوحة) التي يمكن ان ينفذ من خلالها الماء داخل المتراكب ووجد ان سلوك امتصاصية الماء إزاء زمن الطحن ومحتوى الكرافيت مطابق تماماً لسلوك المسامية الظاهرية إزاء نفس العاملين والمبينان في الشكلين (8.4) و (9.4).

تعد خاصية امتصاصية الماء معياراً لمدى امكانية استخدام المتراكب في انتاج المواد ذاتية التزيت وان النتائج التي تم الحصول عليها ايجابية تماماً في هذا المجال إذ ان زيادة محتوى

الكرافيت تعمل على زيادة الامتصاصية بزيادة المسامية الظاهرية فضلاً عن عمل الكرافيت نفسه في تحسين الخواص الترابيولوجية للمترابك كما سيتم تناوله في البند {1.3.4.4}.



الشكل (10.4) العلاقة بين زمن الطحن وامتصاصية الماء لنسب كرافيت مختلفة.



الشكل (11.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت وامتصاصية الماء لأزمان طحن مختلفة.

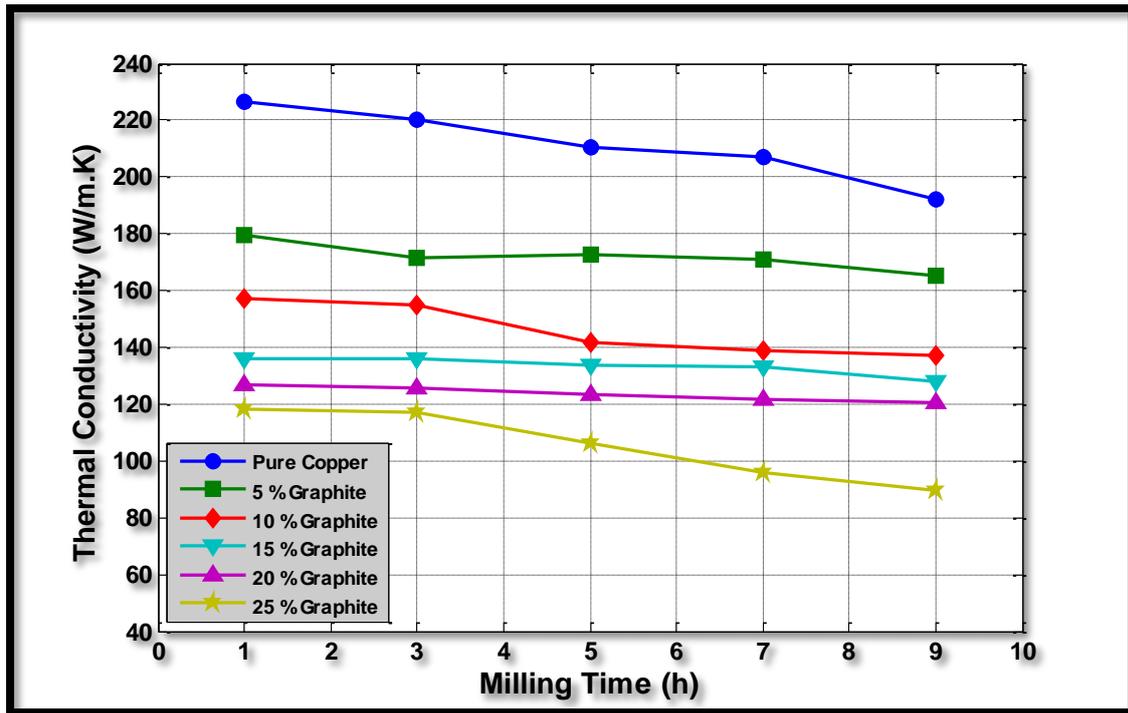
6.3.4 الموصلية الحرارية Thermal Conductivity

1.6.3.4 تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على الموصلية الحرارية

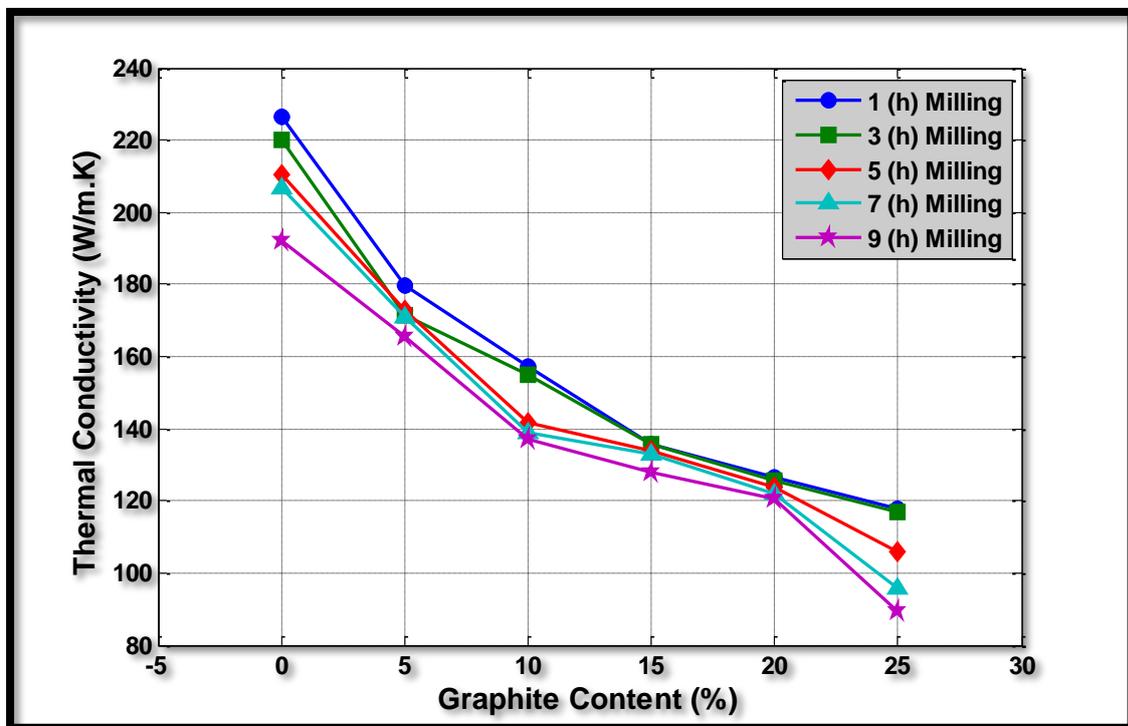
Effect of Milling Time And Volumetric Fraction of Graphite on The Thermal Conductivity

ان تأثير كل من زمن الطحن ومحتوى الكرافيت على الموصلية الحرارية لمتراكب النحاس - كرافيت موضح بالشكلين (12.4) و (13.4) على التوالي. يلاحظ من هذين الشكلين ان زيادة أي منهما (زمن الطحن ومحتوى الكرافيت) تعمل على تقليل الموصلية الحرارية وأن فعل زيادة محتوى الكرافيت في تقليل الموصلية الحرارية اكبر بكثير من فعل تأثير زيادة زمن الطحن إذ ان أقصى انخفاض في الموصلية الحرارية من (89.53 – 117.964) (W/m.K) جراء زيادة زمن الطحن من (1) ساعة الى (9) ساعة عند محتوى كرافيت قدره (25 %) بينما وصلت أقصى نسبة انخفاض فيها جراء زيادة محتوى الكرافيت من (0 %) الى (25 %) عند زمن طحن قدره (9) ساعة من (89.53 – 190.043) (W/m.K).

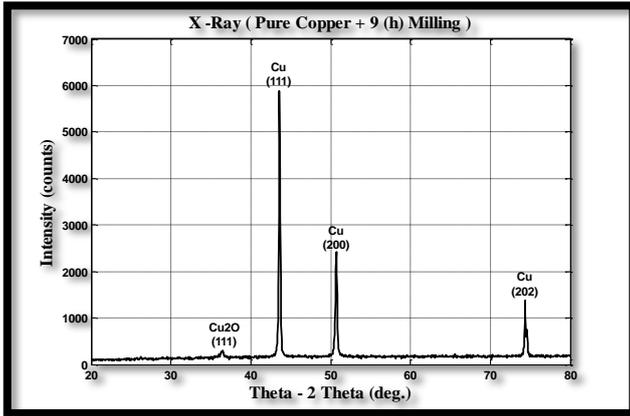
يمكن فهم سبب انخفاض الموصلية الحرارية مع زيادة هذين العاملين (زمن الطحن ومحتوى الكرافيت) والتباين الكبير في تأثير كل عامل منهما بالرجوع الى الشكلين (6.4) و (7.4) إذ يلاحظ فيهما زيادة نسبة المسامية الحقيقية بزيادتهما مع ملاحظة أن زيادة نسبة المسامية نتيجة زيادة محتوى الكرافيت أكبر بكثير من زيادتها بفعل زيادة زمن الطحن. ولا شك ان هذه المسامية تعمل كعوازل داخل جسم المتراكب وأن اي زيادة في نسبتها تعمل بالضرورة على خفض الموصلية الحرارية. كما ان الموصلية الحرارية الضعيفة للكرافيت (23.9) (W/m.K) مقارنة بالنحاس النقي (398) (W/m.K) تعمل هي الاخرى في تقاوم التأثير السلبي لزيادة محتوى الكرافيت على الموصلية الحرارية علاوة على أن فعل الكرافيت في تغليف جسيمات النحاس المتجاورة وتقليل مسارات النحاس المستمرة يعزز هذا التأثير. وأخيراً فأن ظهور اوكسيد النحاس (Cu_2O) في المتراكب ولجميع المتغيرات قيد الدراسة (زمن الطحن ومحتوى الكرافيت) قد ساهم هو الاخر في تقليل الموصلية الحرارية للمتراكبات بسبب موصليته الضعيفة (75) (W/m.K) والذي اظهره فحص حيود الاشعة السينية المبين في الشكل (14.4). وقد توصل [28] الى نتائج مماثلة لمتراكب النحاس - كرافيت و[34] للنحاس النقي ذو الشكل الكروي والشجيري و[35] لمتراكب نحاس - كرافيت ومتراكب نحاس - انابيب الكربون النانوية (Carbon Nano Tube (CNT)).



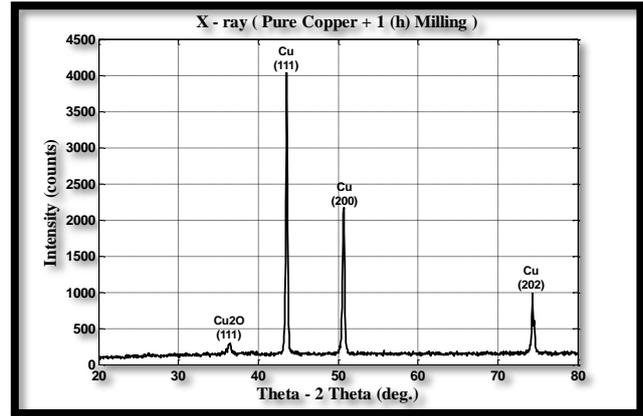
الشكل (12.4) العلاقة بين زمن الطحن والموصلية الحرارية لنسب كرافيت مختلفة.



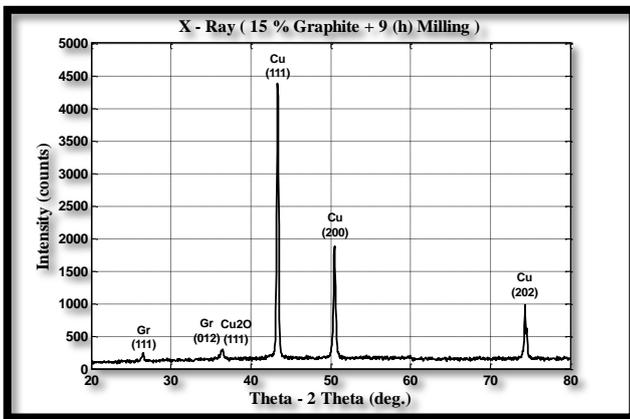
الشكل (13.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والموصلية الحرارية لأزمان طحن مختلفة.



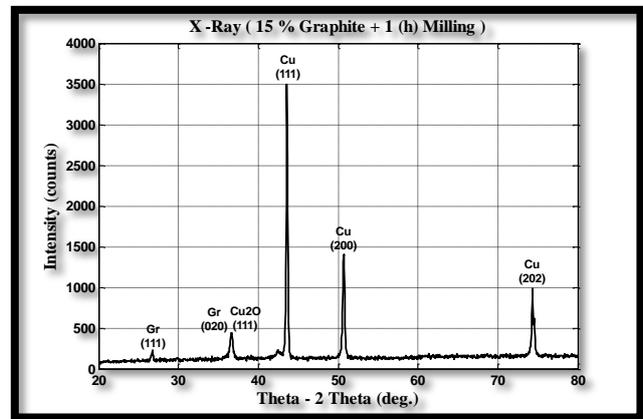
(ب)



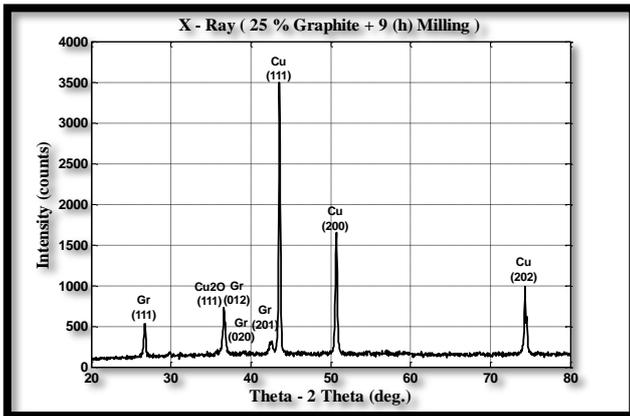
(أ)



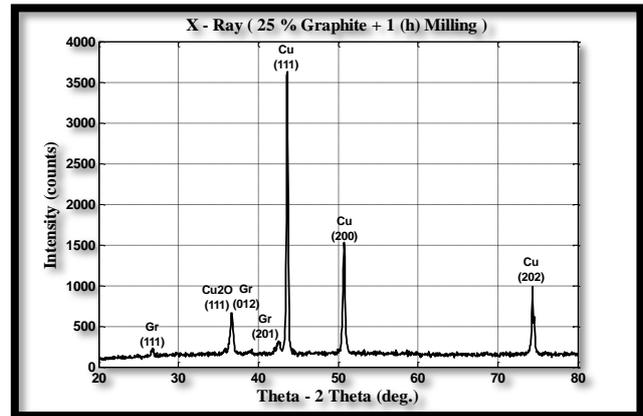
(د)



(ج)



(و)



(هـ)

الشكل (14.4) حيود الاشعة السينية.

- أ- نحاس نقي عند زمن طحن (1) ساعة.
 ب- نحاس نقي عند زمن طحن (9) ساعة.
 ج- 15% كرافيت عند زمن طحن (1) ساعة.
 د- 15% كرافيت عند زمن طحن (9) ساعة.
 هـ- 25% كرافيت عند زمن طحن (1) ساعة.
 و- 25% كرافيت عند زمن طحن (9) ساعة.

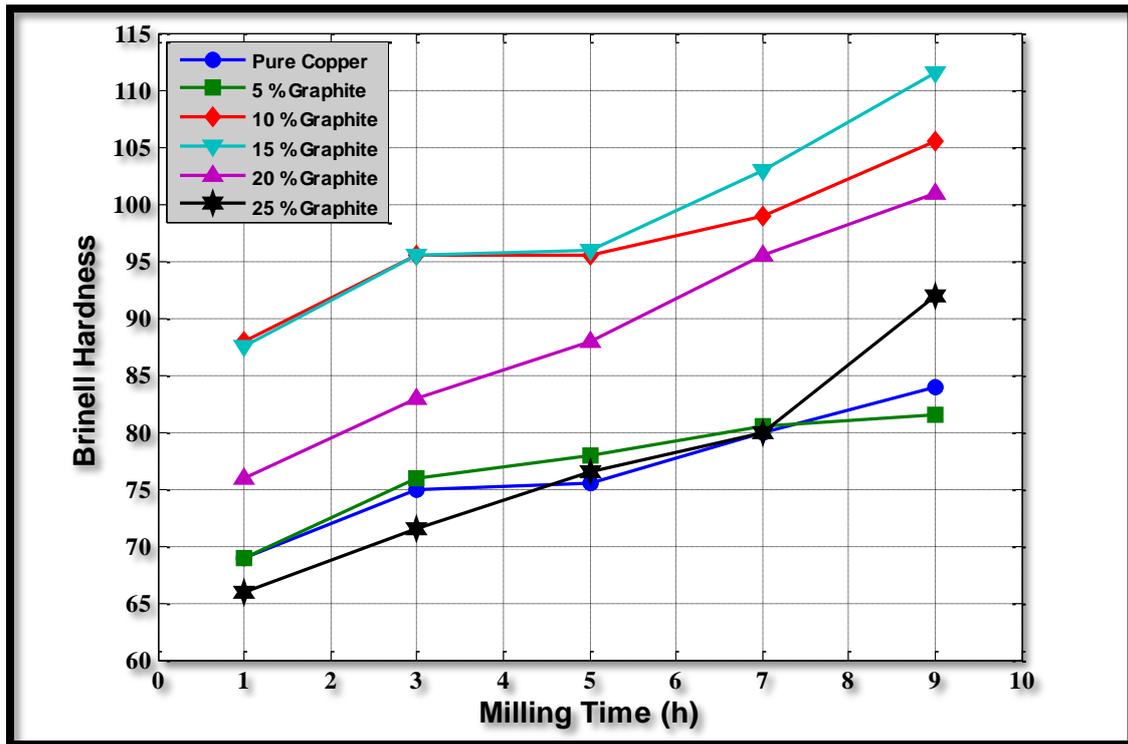
4.4 الخصائص الميكانيكية Mechanical Properties

1.4.4 الصلادة Hardness

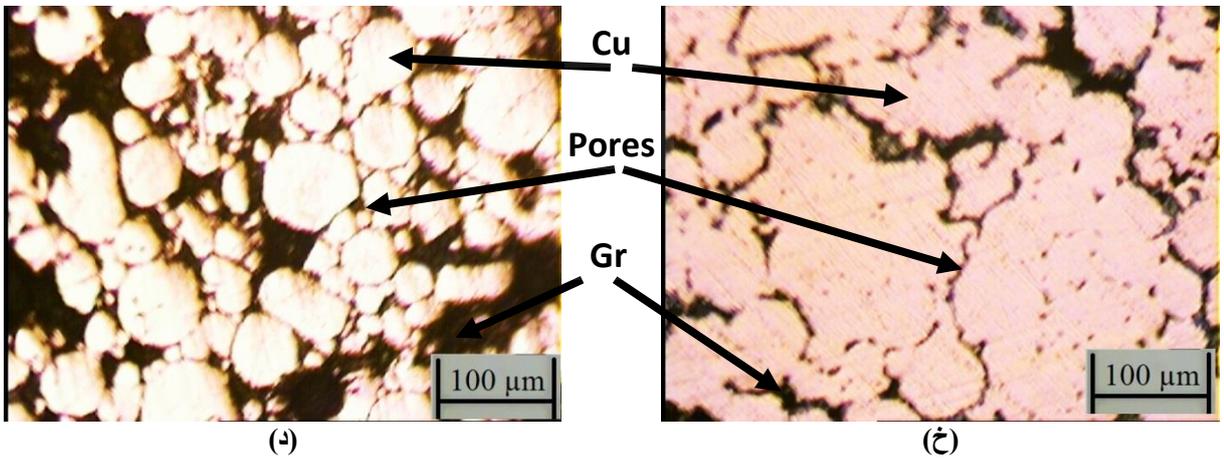
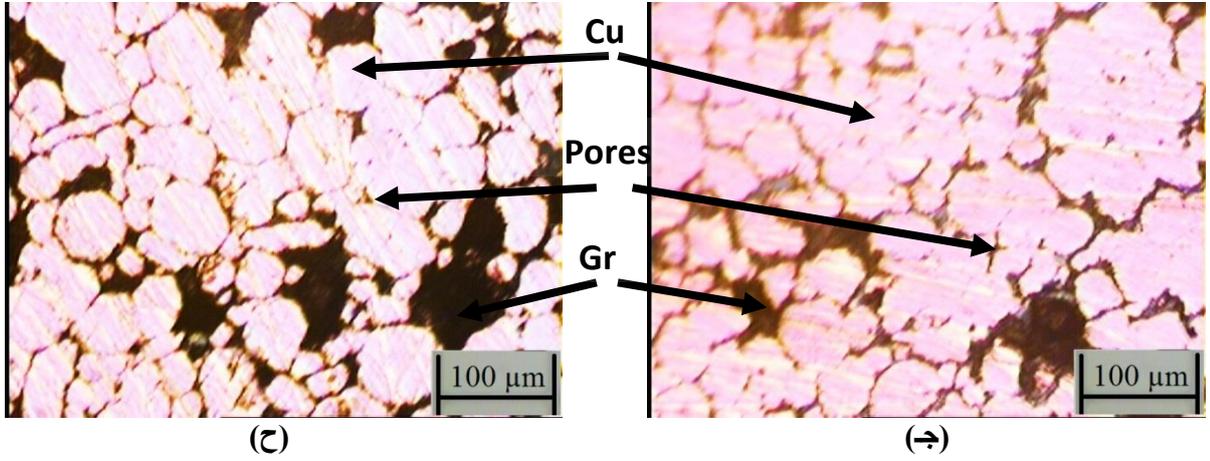
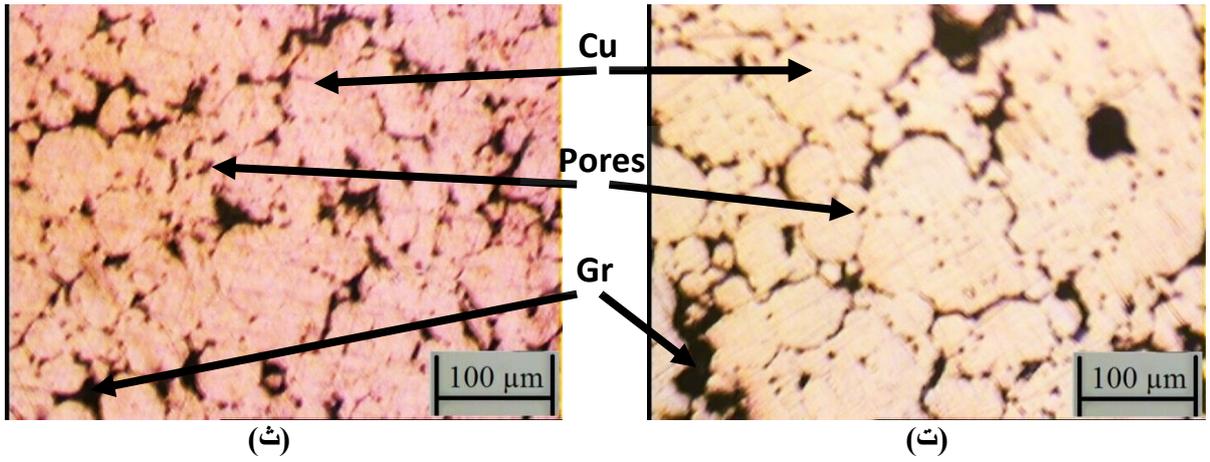
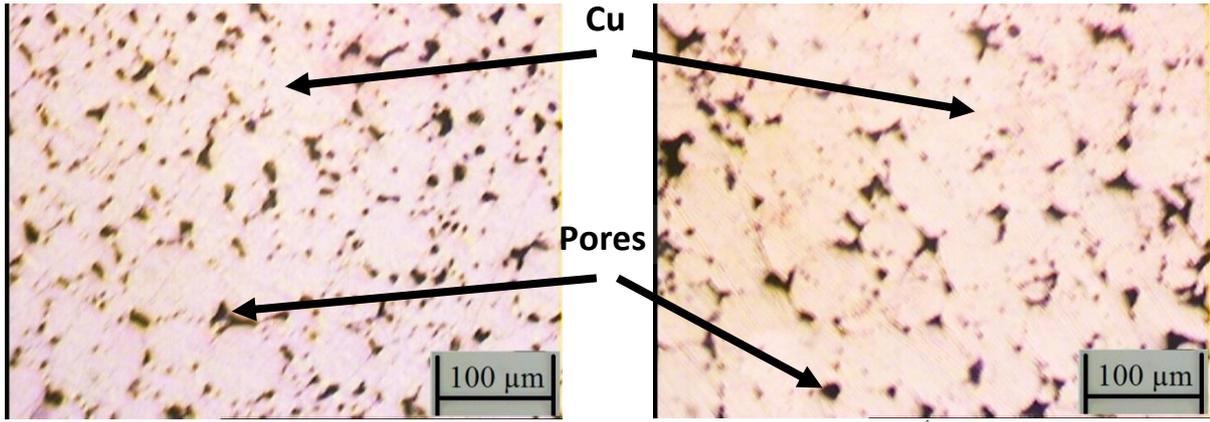
1.1.4.4 تأثير زمن الطحن على الصلادة

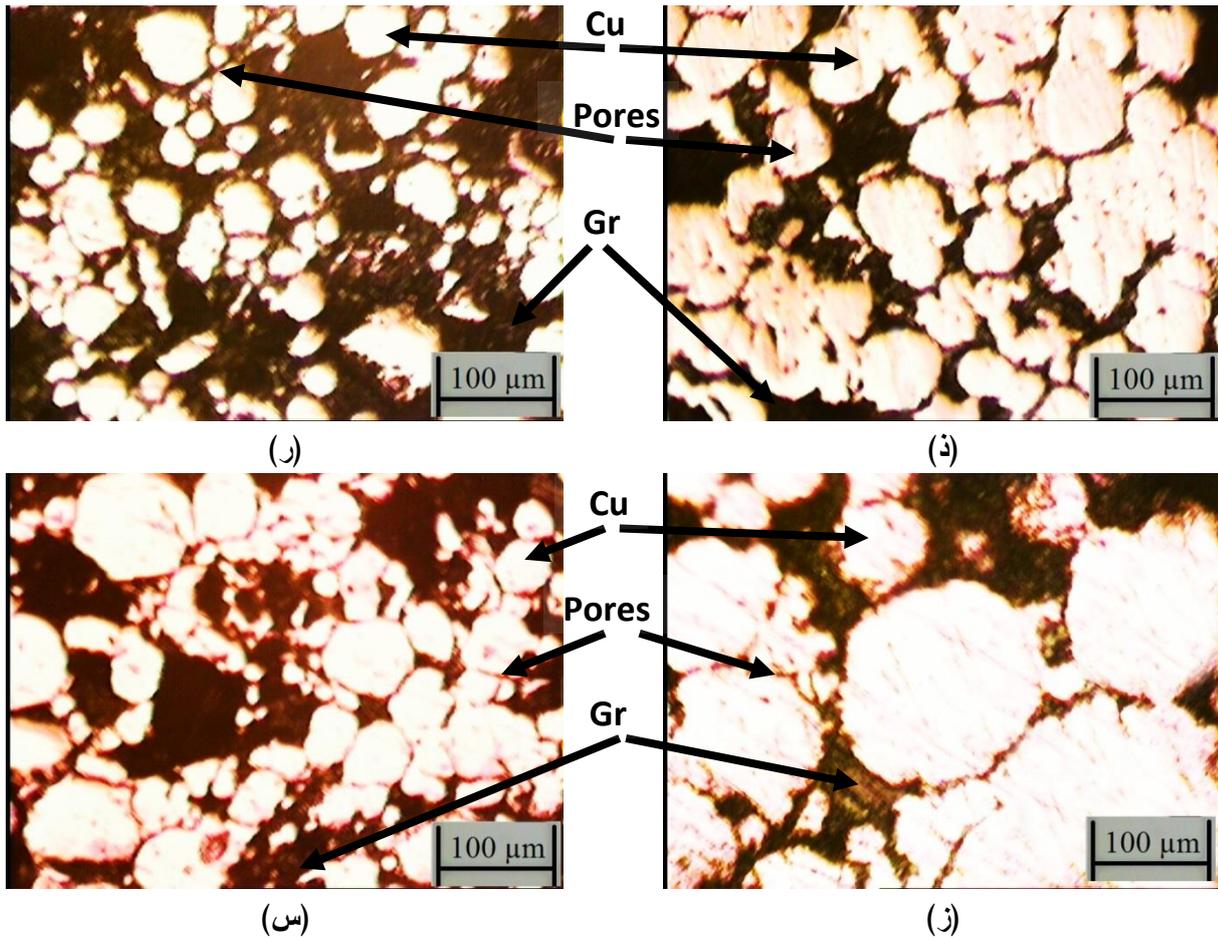
Effect of Milling Time on Hardness

يبين الشكل (15.4) العلاقة بين زمن الطحن وصلادة برينل لمتراكب النحاس - كرافيت ذو نسب كرافيت مختلفة. يلاحظ في الشكل ان زيادة زمن الطحن قد أدت الى زيادة ملحوظة في قيم صلادة المتراكب بغض النظر عن محتوى الكرافيت فيه، إذ ازدادت صلادة برينل من (69) الى (84) للنحاس النقي عند زمن طحن قدره ساعة واحدة وتسع ساعات على التوالي بينما ازدادت من (87.5) الى (111.5) عند زمن طحن قدره ساعة واحدة وتسع ساعات على التوالي للمتراكب الذي يحتوي على (15%) كرافيت على سبيل المثال وهي اقصى زيادة أمكن تحقيقها نتيجة لزيادة زمن الطحن للمتراكب نحاس - كرافيت الذي تناولته الدراسة الحالية. ويمكن أن يعزى هذا السلوك الى عدة عوامل يعزز بعضها البعض في تحقيق هذه الزيادة الكبيرة في قيم الصلادة. يأتي في مقدمتها تنعيم جسيمات كل من النحاس والكرافيت اثناء الطحن وتكون تكتلات (Agglomeration) من جسيمات النحاس نتيجة اللحام على البارد بتأثير الطرق الذي تسلطه كرات الطحن الفولاذية إذ يعمل كل من التنعيم والتكتل على زيادة كل من المساحة السطحية ومساحة تماس الجسيمات وتحسين الترابط بينها نتيجة انتشار الحالة الصلبة اثناء عملية التليد وتحقيق حالة الاندماج. كما تعمل زيادة زمن الطحن ايضاً على زيادة نسبة التشكيل على البارد وزيادة الكثافة الانخلالية وفي اثناء عملية التليد تحدث كذلك إعادة تبلور داخل هذه الجسيمات، وكلما كانت نسبة التشكيل على البارد أعلى كلما كانت البنية الناتجة من اعادة التبلور أنعم وتزداد معها المساحة السطحية للحدود البلورية وارتفاع قيم الصلادة وهذا يتفق مع ما ذهب اليه كل من [77,76,36]. تؤدي زيادة زمن الطحن كذلك الى تجانس توزيع جسيمات الكرافيت في المتراكب مما يؤدي الى ترابط أفضل بين جسيمات النحاس والكرافيت وارتفاع قيم الصلادة وهذا يتفق مع [36]. ويبين الشكل (16.4) صور البنية المجهرية لحالات مختلفة من أزمان الطحن ونسب الكرافيت والذي يُظهر فاعلية زيادة زمن الطحن في تنعيم البنية وتجانس توزيع الكرافيت في المتراكب. وأخيراً فأن فحص حيود الاشعة السينية المبين في الشكل (14.4) قد أظهر هو الاخر تكون أوكسيد النحاس (Cu_2O) الذي يسهم بنسبته القليلة في رفع قيم الصلادة. وقد توصلت عدة دراسات سابقة لتأثير مماثل لزمن الطحن على الصلادة منها [36] و [78] لمتراكب النحاس - كرافيت و [79] لمتراكب النحاس - المنيوم.



الشكل (15.4) العلاقة بين زمن الطحن والصلادة لنسب كرافيت مختلفة.





الشكل (16.4) البنية المجهرية لمتراكبات النحاس - كرافيت عند ازمان طحن مختلفة.

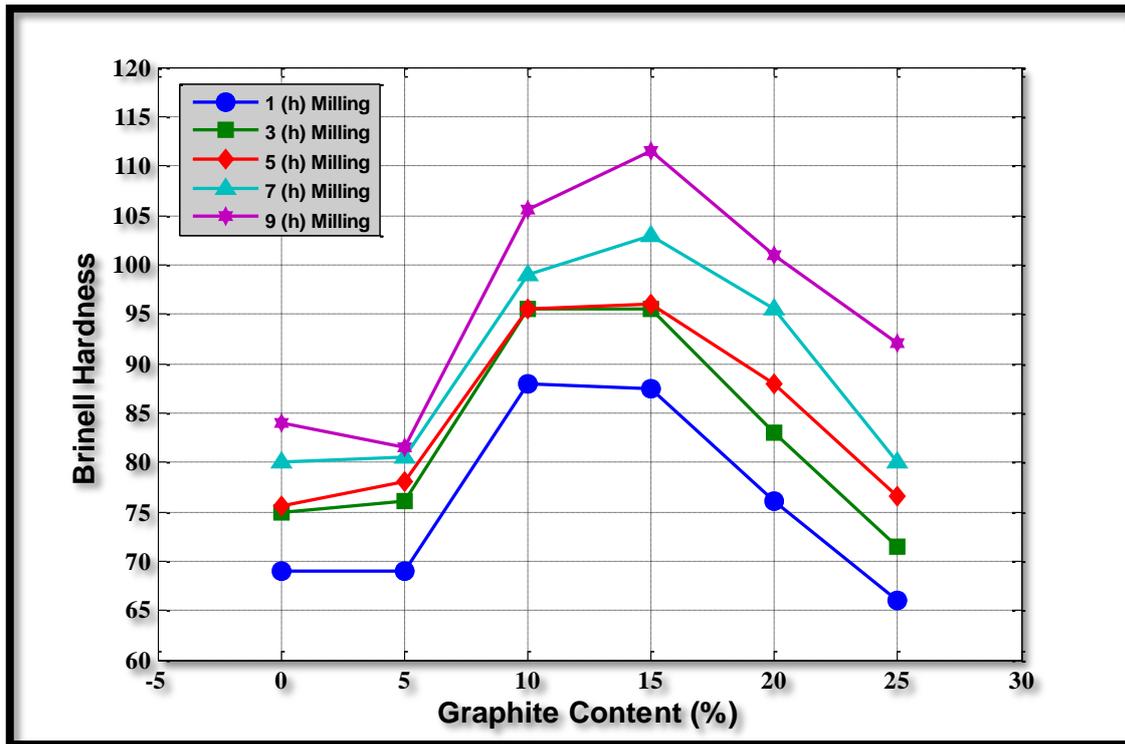
- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| أ- نحاس نقي عند زمن طحن (1) ساعة. | ب- نحاس نقي عند زمن طحن (9) ساعة. |
| ت- 5% كرافيت عند زمن طحن (1) ساعة. | ث- 5% كرافيت عند زمن طحن (9) ساعة. |
| ج- 10% كرافيت عند زمن طحن (1) ساعة. | ح- 10% كرافيت عند زمن طحن (9) ساعة. |
| خ- 15% كرافيت عند زمن طحن (1) ساعة. | د- 15% كرافيت عند زمن طحن (9) ساعة. |
| ذ- 20% كرافيت عند زمن طحن (1) ساعة. | ر- 20% كرافيت عند زمن طحن (9) ساعة. |
| ز- 25% كرافيت عند زمن طحن (1) ساعة. | س- 25% كرافيت عند زمن طحن (9) ساعة. |

2.1.4.4 تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على الصلادة

Effect The Volumetric Fraction of Graphite on Hardness

يصف الشكل (17.4) سلوك صلادة متراكب النحاس - كرافيت إزاء زيادة محتوى الكرافيت عند أزمان طحن مختلفة. يلاحظ من الشكل ان اضافة الكرافيت بنسبة (5 %) ليس له أثر كبير على قيم الصلادة بينما تؤدي زيادة نسبته حتى (10 %) الى تحقق زيادة حادة وكبيرة في الصلادة ولكافة أزمان الطحن، بعد ذلك تنخفض قيم معدل الزيادة أو تثبت عند زيادة محتوى الكرافيت من (10 %) الى (15 %) لتعاني الصلادة بعد ذلك من انخفاض كبير في قيمها حتى تصل نسبة الكرافيت المضافة الى اقصاها عند (25 %) ولجميع أزمان الطحن إذ يلاحظ ان صلادة المتراكب عند زمن طحن قدره ساعة واحدة قد ازدادت من (69) الى (87.5) ثم انخفضت الى (66) لنسب كرافيت قدرها (5 %) و(15 %) و(25 %) على التوالي وقد ازدادت عند زمن طحن قدره (9) ساعة من (84) الى (111.5) ثم انخفضت الى (92) لنفس نسب الكرافيت المذكورة. ان مما تجدر الاشارة إليه هو وجود تباين كبير فيما توصلت اليه الدراسات السابقة حول تأثير نسب الكرافيت على صلادة متراكب النحاس - كرافيت إذ توصلت الدراسات ومنها [5] و[28] و[31] و[38] الى حدوث انخفاض مستمر لقيم الصلادة مع زيادة نسبة الكرافيت بينما نجد في دراسات اخرى سلوكاً مغايراً لذلك فمثلاً توصل [36] الى حدوث انخفاض في قيم الصلادة بزيادة نسبة الكرافيت من (1 %) الى (5 %) وزيادتها بعد ذلك حتى تصل نسبة الكرافيت الى (10 %) وهي أقصى نسبة كرافيت تم استخدامها. أما [24] فقد توصل الى تحقيق زيادة في صلادة متراكب نحاس - كرافيت حتى نسبة كرافيت (10 %) ثم انخفضت بشكل مستمر مع زيادة نسبة الكرافيت حتى (30 %) وهي أقصى نسبة استخدمها في بحثه. وأخيراً فقد توصل [35] الى زيادة صلادة متراكب نحاس - كرافيت بزيادة نسبة الكرافيت حتى (10 %) بعدها حدوث انخفاض طفيف في الصلادة بزيادة نسبة الكرافيت الى (15 %) التي تمثل أعلى نسبة استخدمها الباحث.

إن انخفاض صلادة متراكب النحاس - كرافيت بزيادة محتوى الكرافيت فيه ناتج عن صلادة الكرافيت المنخفضة وسهولة اختراقه من قبل محدث الاثر (Indenter) لطريقة الصلادة المستخدمة علاوة على الانخفاض الشديد لذوبانيته في النحاس (عدم حدوث أي إصلاذ يذكر بالمحاليل الجامدة (Solid Solution Hardening) وعدم حدوث تفاعل بين الكرافيت والنحاس واقتصار الترابط بينهما على الرابطة الميكانيكية). أما زيادة الصلادة بزيادة نسبة الكرافيت فهو سلوك غريب لم يعقب عليه أي من الباحثين الذين تحقق عندهم ذلك ولم نجد له كذلك في دراستنا هذه ما يفسره وفق التحاليل والفحوصات التي اجريت وهو مدعاة لدراسات مستقبلية تتناول هذه الحالة بشيء من التفصيل في محاولة للوصول الى حقيقتها.



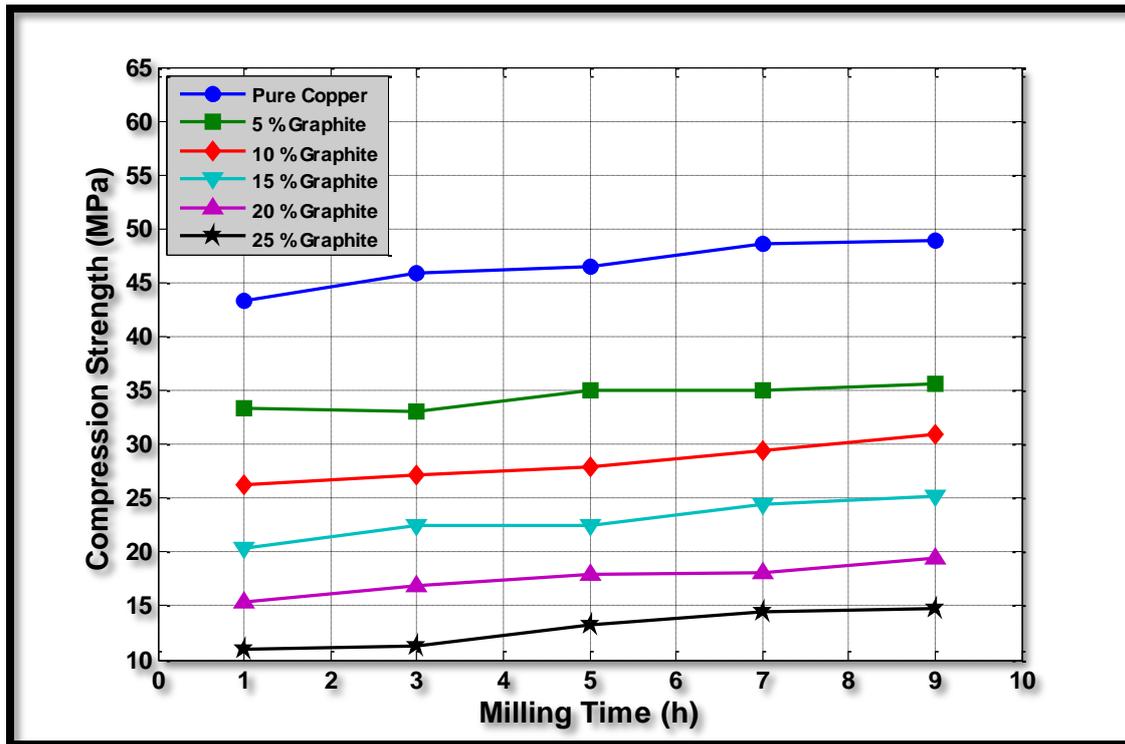
الشكل (17.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت والصلادة لأزمان طحن مختلفة.

2.4.4 مقاومة الانضغاط Compressive Strength

1.2.4.4 تأثير زمن الطحن على مقاومة الانضغاط

Effect of Milling Time on Compressive Strength

يبين الشكل (18.4) العلاقة بين زمن الطحن ومقاومة الانضغاط لمتراكب النحاس - كرافيت ذي نسب كرافيت مختلفة. تعمل زيادة زمن الطحن على زيادة مقاومة انضغاط المتراكب بغض النظر عن نسبة الكرافيت فيه، إذ ازدادت من (43.3 MPa) الى (48.8 MPa) لزمن طحن قدره ساعة واحدة وتسع ساعات على التوالي في النحاس النقي ومن (10.9 MPa) الى (14.7 MPa) لأزمان طحن مناظرة في المتراكب الذي يحتوي على (25%) كرافيت. ويعزى هذا السلوك الى نفس العوامل التي أدت الى زيادة قيم الصلادة والمشار اليها في البند {1.1.4.4} إذ ان زيادة الصلادة هي المسؤولة عن زيادة مقاومة الانضغاط بزيادة زمن الطحن. أما تتابع مقاومة الانضغاط تنازلياً فتأخذ الترتيب الآتي (النحاس النقي) < (5%) كرافيت < (10%) كرافيت < (15%) كرافيت < (20%) كرافيت < (25%) كرافيت). ويعزى سبب ذلك الى عمل الكرافيت على تغليف جسيمات النحاس ومنع الاندماج التام وإعاقة الاندماج الجزئي كما مر بنا سابقاً إذ كلما زادت نسبة الكرافيت كلما زادت الاعاقة وبقل الترابط ومن ثم تقل مقاومة الانضغاط وهذا يتفق مع ما اشار اليه [80,36].

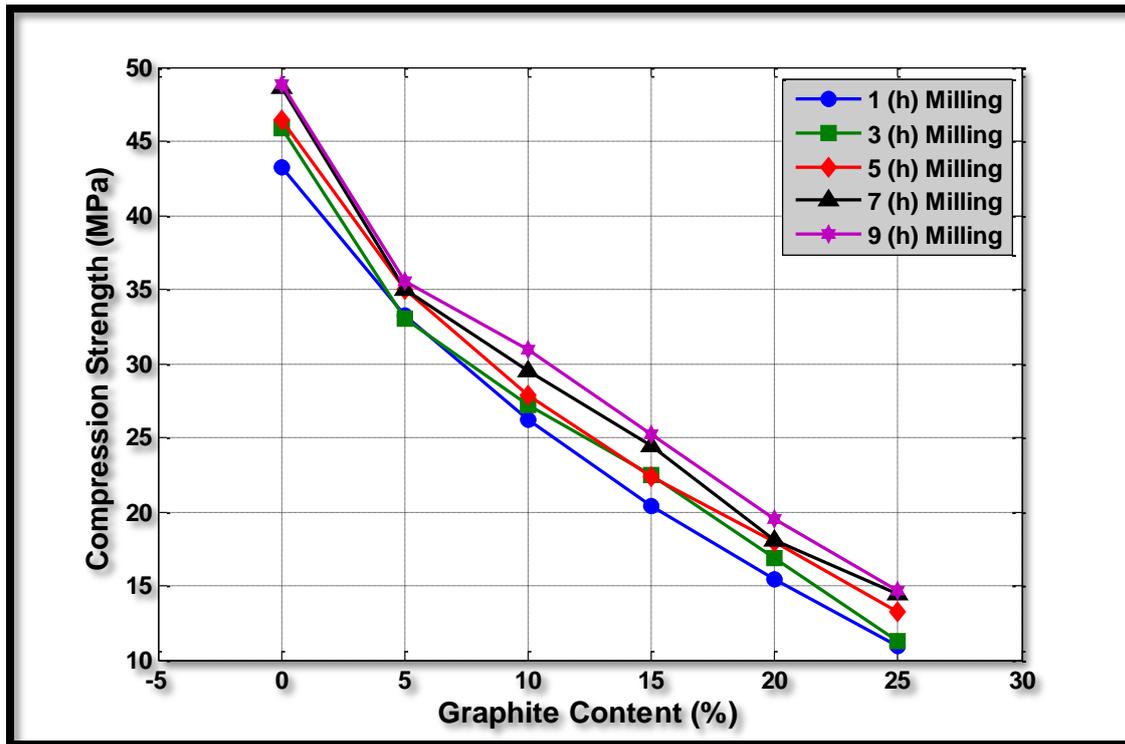


الشكل (18.4) العلاقة بين زمن الطحن ومقاومة الانضغاط لنسب كرافيت مختلفة.

2.2.4.4 تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على مقاومة الانضغاط

Effect the Volumetric Fraction of Graphite on Compressive Strength

يصف الشكل (19.4) تغير مقاومة الانضغاط بتغير الكسر الحجمي للكرافيت في متراكب النحاس - كرافيت. يلاحظ من الشكل ان زيادة الكسر الحجمي للكرافيت تتسبب في انخفاض حاد في مقاومة انضغاط المتراكب إذ تنخفض المقاومة من (43.3 MPa) الى (10.9 MPa) عند نسب كرافيت مقدارها (0 %) و (25 %) على التوالي عند زمن طحن قدره ساعة واحدة ومن (48.8 MPa) الى (14.7 MPa) لنسبتي الكرافيت نفسها عند زمن طحن قدره (9) ساعة. يمكن أن يعزى هذا السلوك الى عدة اسباب يأتي في مقدمتها ارتفاع هشاشية المتراكب مع ارتفاع نسبة الكرافيت فيه وتعزز هذه النتيجة ما تم التوصل اليه من قبل [5] لمتراكب النحاس - كرافيت بنسب وظروف تحضير متباينة. كما ان زيادة نسبة الكرافيت ستعمل على تغليف وعزل جسيمات النحاس عن بعضها البعض الأمر الذي يمنع الاندماج التام ويعيق الاندماج الجزئي بينها وهو يتفق مع ما اشار اليه [80,36]. علاوة على ذلك فإن زيادة نسبة الكرافيت قد صاحبها انخفاض في الكثافة الحجمية وزيادة في نسبة المسامية الحقيقية للمتراكب كما مر بنا من قبل في الاشكال (3.4) و(7.4) على التوالي. ان هذه العوامل مجملها قد أدت الى هذا الانخفاض الحاد في مقاومة الانضغاط إزاء زيادة محتوى الكرافيت.



الشكل (19.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت ومقاومة الانضغاط لأزمان الطحن المختلفة.

3.4.4 حجم البلى Wear Volume

1.3.4.4 تأثير زمن الطحن والكسر الحجمي للكرافيت على حجم البلى

Effect of Milling Time and Volumetric Fraction of Graphite on The Wear Volume

يبين الشكلان (20.4) و(21.4) العلاقة بين كل من زمن الطحن ومحتوى الكرافيت على حجم البلى على التوالي. يلاحظ من هذين الشكلين ان حجم البلى يقل بزيادة أي من زمن الطحن أو نسبة الكرافيت في المتراكب باستثناء النحاس النقي الذي يتعرض لزيادة في حجم البلى مع زيادة زمن الطحن إذ يزداد من (37.3 mm^3) إلى (46.7 mm^3) بزيادة زمن الطحن من ساعة واحدة إلى (9) ساعة على التوالي. ويعزى السبب في زيادة حجم البلى بزيادة زمن الطحن للنحاس النقي إلى الانخفاض في الكثافة الحجمية والزيادة الكبيرة في نسبة المسامية الحقيقية كما مر بنا من قبل في الأشكال (3.4) و(7.4) على التوالي. الأمر الذي يضعف تماسك جسيمات النحاس ويسهل خلعها في أثناء الحركة الانزلاقية على القرص الفولاذي كما ان غياب أية طبقة تزييت تمنع أو تقلل التصاق نحاس معدن العينة بمعدن القرص تسهم في تعجيل الزوال المستمر لجسيمات النحاس وزيادة حجم البلى وأن هذا التماس المباشر بين السطحين المعدنيين يزيد من تمركز الاجهادات ويؤدي إلى تشوه وتكسر جسيمات النحاس في أثناء الحركة الانزلاقية وهذا يتفق مع [33].

يلاحظ من خلال الشكلين (20.4) و(21.4) ان فعل زيادة الكسر الحجمي للكرافيت في تقليل حجم البلى اكبر بكثير من تأثير زيادة زمن الطحن إذ تحقق أقصى تخفيض في حجم البلى من (7.2 mm³) الى (5.8 mm³) بزيادة زمن الطحن من ساعة واحدة الى (9) ساعة على التوالي في متراكب يحتوي على كرافيت بنسبة (25 %) بينما بلغ أقصى تخفيض جراء زيادة الكسر الحجمي للكرافيت من (46.7 mm³) الى (5.8 mm³) لنسب كرافيت قدرها (0 %) و (25 %) على التوالي عند زمن طحن قدره (9) ساعة.

أن انخفاض حجم البلى مع زيادة زمن الطحن في متراكب النحاس - كرافيت يمكن أن يعزى الى ارتفاع صلادة المتراكب بزيادة زمن الطحن والمبينة في الشكل (15.4). إن زيادة الصلادة بوجود الكرافيت كمادة مزيطة تعمل على تقليل حجم البلى وفق المعادلة الآتية [26,17]:

$$W = K \frac{NS}{CH} \dots \dots \dots (3 - 1)$$

إذ ان :

W : الفقدان في حجم البلى.

K : ثابت البلى.

N : الحمل العامودي المسلط.

S : مسافة الانزلاق.

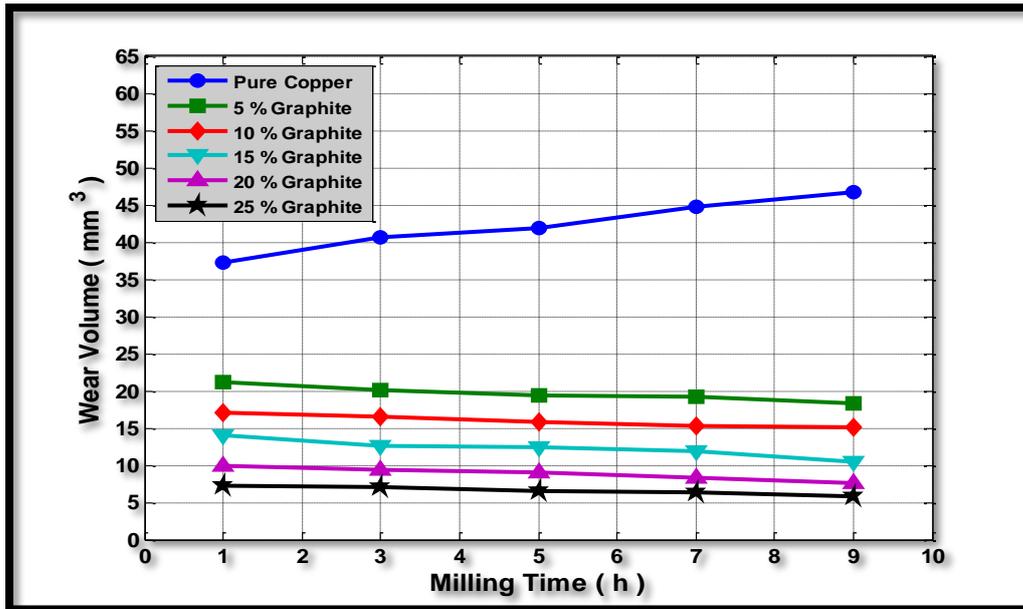
H : صلادة العينة.

C : عامل هندسي يعتمد على البنية المجهرية.

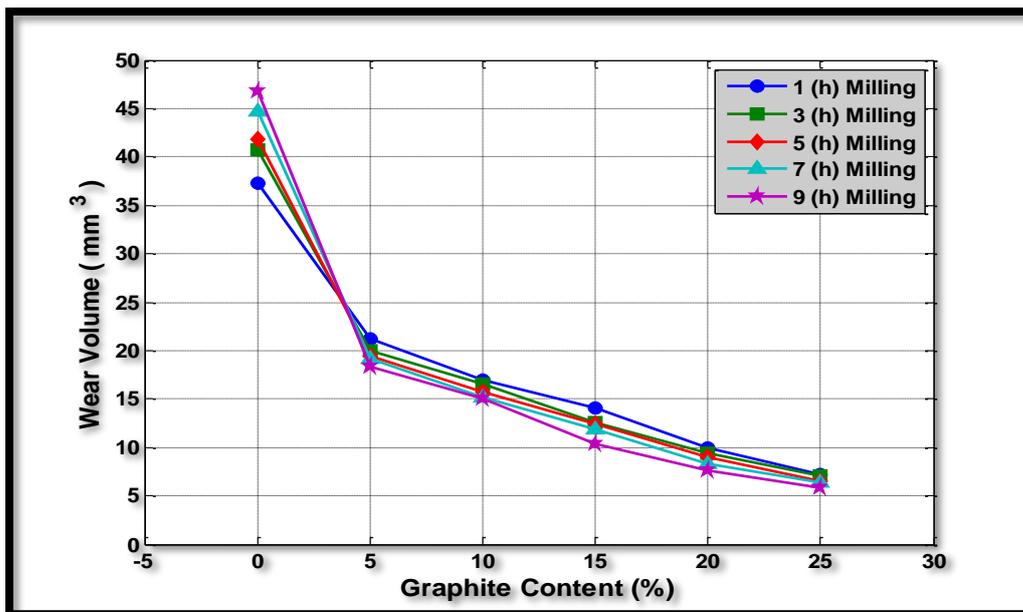
أما فعل زيادة محتوى الكرافيت في الانخفاض الكبير لحجم البلى لمتراكب النحاس - كرافيت فمنشأه تكون طبقة كرافيتية رقيقة بين السطحين المنزلقين، هذه الطبقة تعمل كمزيت صلب نتيجة لطبيعة الكرافيت الطبقيّة ونتيجة للترابط الضعيف بين تلك الطبقات التي لا يربط بينها سوى قوى فاندرفال الضعيفة مما يجعلها تنزلق فوق بعضها البعض ونتيجة لذلك فإن وجود الكرافيت سيعمل على تغيير طبيعة الاتصال من اتصال معدني بين السطحين المنزلقين فوق بعضهما (سطح النحاس و سطح القرص الفولاذي)، الى حالة اتصال بين سطحين تفصل بينهما طبقة كرافيتية تعمل كمزيت صلب يقلل الاجهاد القصي ويحسن الخصائص التريبولوجية لهذه الاسطح وبالتالي يقلل حجم البلى الناتج من الحركة الانزلاقية. وبزيادة محتوى الكرافيت في المتراكب يزداد سمك طبقة الكرافيت المزيطة وتصبح اكثر انتظاماً وتكاملاً وتزداد كثافتها ويتحقق ذلك كله نتيجة الترابط الضعيف بين النحاس والكرافيت في المتراكب إذ يقتصر هذا الترابط على الرابطة الميكانيكية فقط ولا يتكون أي تفاعل أو سطح بيني بينهما إذ لا تزيد ذوبانية الكاربون في النحاس عن

(0.02 atm%) وهو ما يساعد على انفصال الكرافيت من بنية المتراكب بفعل قوى الضغط العمودي التي تعصر الكرافيت الى السطح وهذا يتفق مع ما جاء به [21].

يلاحظ من الشكلين (20.4) و(21.4) أن العامل المسيطر على حجم البلى هو محتوى الكرافيت ويأتي فعل الصلادة كعامل معزز له. وقد توصلت دراسات سابقة لنتائج مماثلة في متراكبات النحاس كرافيت بنسب وظروف تحضير مختلفة منها [5] و[17] و[21] و[28] و[35].



الشكل (20.4) العلاقة بين زمن الطحن وحجم البلى لنسب كرافيت مختلفة.



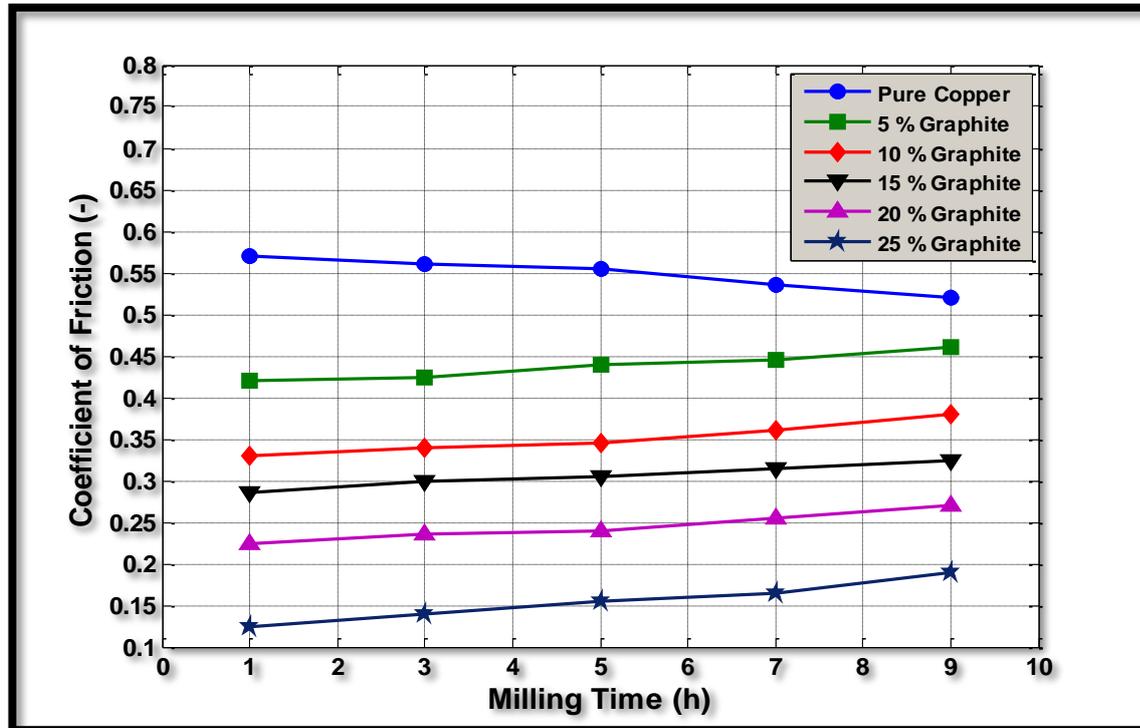
الشكل (21.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت وحجم البلى لأزمان طحن مختلفة.

4.4.4 معامل الاحتكاك Coefficient of Friction

1.4.4.4 تأثير زمن الطحن على معامل الاحتكاك

Effect of Milling Time on Coefficient of Friction

يوضح الشكل (22.4) العلاقة بين زمن الطحن ومعامل الاحتكاك لنسب مختلفة من الكرافيت في متراكب النحاس - كرافيت. يلاحظ من الشكل وجود تأثير طفيف لزمن الطحن على معامل الاحتكاك إذ تعمل زيادة زمن الطحن على احداث زيادة طفيفة في معامل احتكاك المتراكب بجميع نسبه عدا النحاس النقي إذ تعمل زيادة زمن الطحن على خفض قليل لمعامل الاحتكاك. وجد أن معامل احتكاك النحاس النقي يقل من (0.57) الى (0.52) بزيادة زمن الطحن من ساعة واحدة الى (9) ساعات وأنه يزداد في متراكب نحاس - 25% كرافيت من (0.125) الى (0.19) بزيادة زمن الطحن من ساعة واحدة الى (9) ساعات. تعزى الزيادة في معامل الاحتكاك بزيادة زمن الطحن الى زيادة الترابط بين جسيمات النحاس والكرافيت والتي أشير اليها في البند {1.1.4.4}. إن زيادة الترابط هذه تعيق خروج كرافيت المتراكب الى السطح وتعيق تكون طبقة متكاملة ومنظمة من الكرافيت بين سطحي المعدنين المنزلقين فوق بعضهما وهو ما يؤدي الى زيادة معامل الاحتكاك وقد توصلت دراسات سابقة الى نتائج متقاربة لمتراكبات النحاس - كرافيت منتجة بنسب وظروف مختلفة منها [26] و [33].

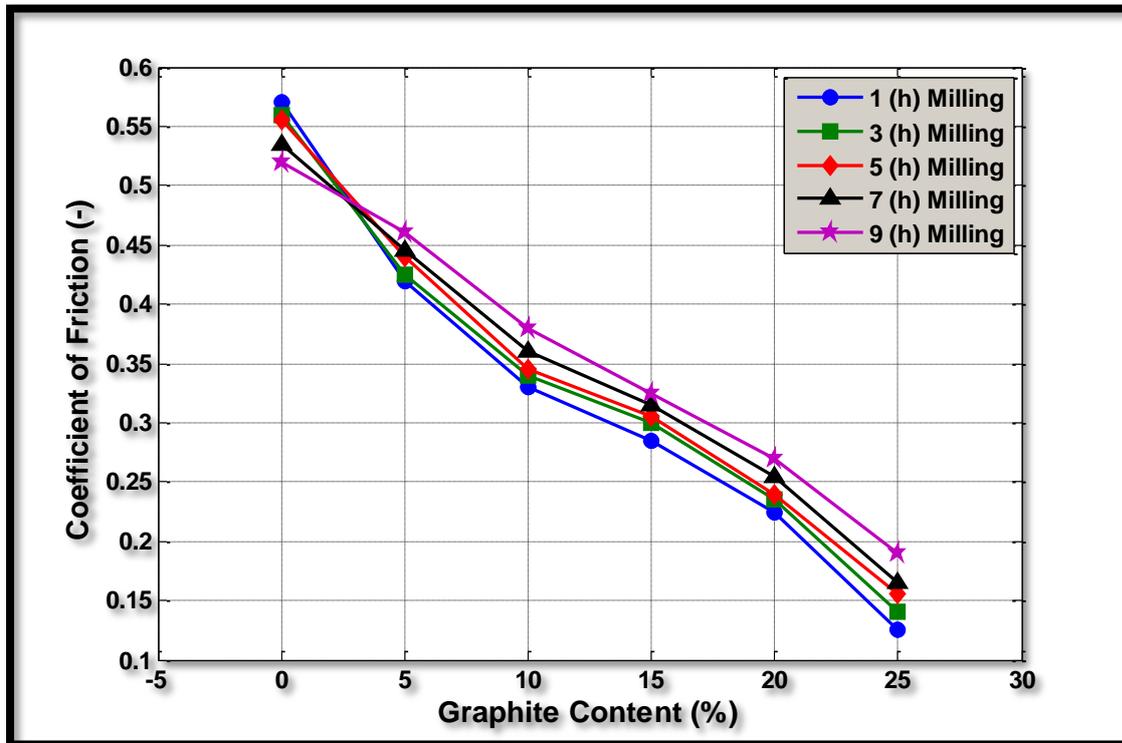


الشكل (22.4) العلاقة بين زمن الطحن ومعامل الاحتكاك لنسب كرافيت مختلفة.

2.4.4.4 تأثير الكسر الحجمي للكرافيت على معامل الاحتكاك

Effect the Volumetric Fraction of Graphite on Coefficient of Friction

يوضح الشكل (23.4) العلاقة بين محتوى الكرافيت ومعامل الاحتكاك عند ازمان طحن مختلفة. يلاحظ من الشكل أن لزيادة محتوى الكرافيت أثراً كبيراً في تقليل معامل الاحتكاك إذ ينخفض من (0.57) الى (0.125) عند محتوى كرافيت قدره (0%) و (25%) على التوالي عند زمن طحن قدره ساعة واحدة بينما ينخفض من (0.52) الى (0.19) عند محتوى كرافيت قدره (0%) و (25%) على التوالي عند زمن طحن (9) ساعة وهذا التأثير كبير جداً إذا ما قورن بتأثير زيادة زمن الطحن على معامل الاحتكاك. ويعزى هذا التأثير الى إن زيادة نسبة الكرافيت وكما ذكر في البند {1.3.4.4} تعمل على زيادة سمك طبقة الكرافيت المزيت والفاصل بين سطحي النحاس والفولاذ المنزلقين فوق بعضهما، كما إن هذه الطبقة تصبح اكثر انتظاماً وتتكامل لتشمل السطح البيني كله دون أية انقطاعات فيه علاوة على ارتفاع كثافة هذه الطبقة وهذه التغيرات التي تطرأ على طبيعة طبقة الكرافيت الفاصلة بين السطحين هي المسؤولة عن الانخفاض الكبير في معامل الاحتكاك. هذه النتائج تعززها دراسات سابقة أجريت على متراكبات النحاس - كرافيت بتراكيب وظروف تحضير مختلفة منها [5] و [17] و [21] و [28] و [35].



الشكل (23.4) العلاقة بين الكسر الحجمي للكرافيت ومعامل الاحتكاك لأزمان طحن مختلفة.

الفصل الخامس
الاستنتاجات والتوصيات

CHAPTER FIVE
CONCLUSIONS &
RECOMMENDATIONS



الفصل الخامس

الاستنتاجات والتوصيات

Conclusions and Recommendations

1-5 المقدمة Introduction

يَعرض هذا الفصل لأهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها بعد إجراء الفحوصات التي تعطي صورة واضحة عن خواص المتراكبات المنتجة علاوة على التوصيات التي نراها قد تكون مناسبة للدراسات المستقبلية.

2-5 الاستنتاجات Conclusions

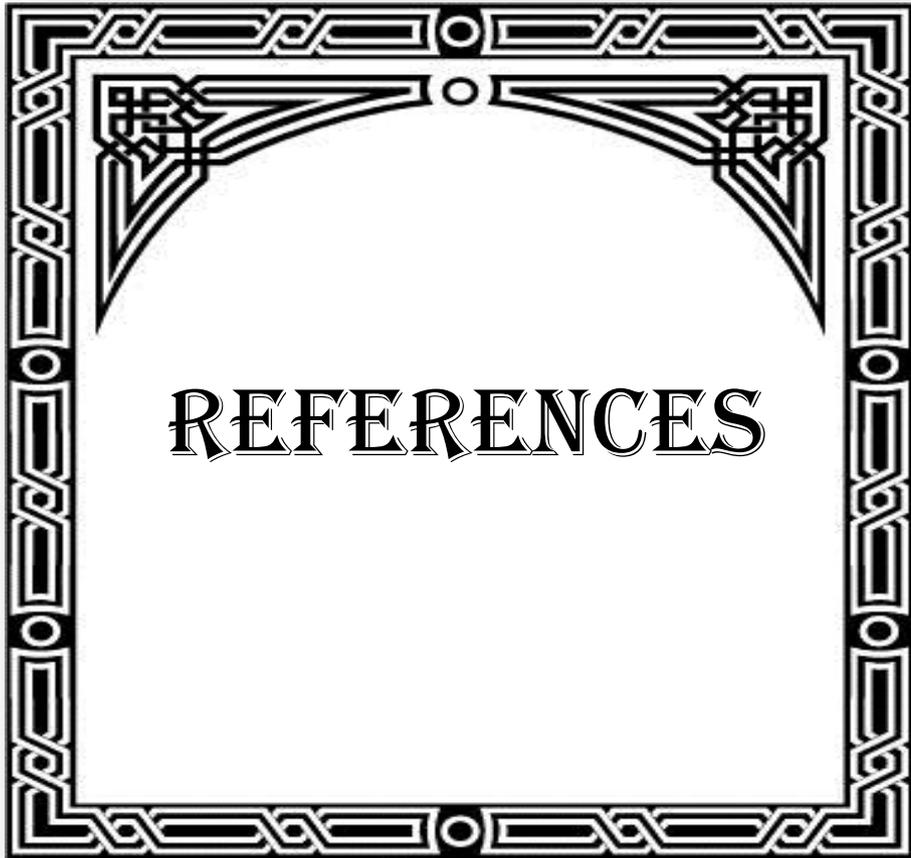
- 1- تعمل عملية الطحن على تنعيم جسيمات النحاس عن طريق التشكيل على البارد والتكسير كما تقوم على تكوين تكتلات منها عن طريق اللحام على البارد.
- 2- يغلف الكرافيت جسيمات النحاس ويعمل على اعاقه الاندماج التام بينها اثناء التليد.
- 3- تنخفض الكثافة الحجمية والظاهرية للمتراكبات بزيادة كل من زمن الطحن ومحتوى الكرافيت.
- 4- تزداد كل من المسامية الحقيقية والظاهرية وقابلية امتصاص الماء للمتراكبات بزيادة كل من زمن الطحن ومحتوى الكرافيت.
- 5- تنخفض الموصلية الحرارية بزيادة زمن الطحن ومحتوى الكرافيت.
- 6- بزيادة زمن الطحن تزداد كل من الصلادة ومقاومة الانضغاط.
- 7- تزداد الصلادة بزيادة محتوى الكرافيت حتى تصل الى اقصاها عند محتوى كرافيت قدره (15%) ثم تنخفض بعد ذلك.
- 8- تنخفض مقاومة الانضغاط للمتراكبات بزيادة محتوى الكرافيت.
- 9- لمحتوى الكرافيت تأثير كبير في خفض كل من حجم البلى ومعامل الاحتكاك.
- 10- ينخفض حجم البلى لمتراكبات النحاس - كرافيت بزيادة زمن الطحن بينما يزداد حجم البلى في النحاس النقي.
- 11- يزداد معامل الاحتكاك لمتراكبات النحاس - كرافيت بزيادة زمن الطحن بينما ينخفض معامل الاحتكاك في النحاس النقي.

3-5 التوصيات Recommendations

- 1- دراسة تأثير الحجم الحبيبي والتوزيع الحجمي لمسحوق النحاس للمتراب على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية.

- 2- دراسة تأثير إضافة مكونات اخرى الى متراكبات النحاس - كرافيت منها كاربيد السيلكون (SiC) و كاربيد التيتانيوم (TiC) على خصائص المتراكب.
- 3- دراسة تأثير التلييد بالموجات المايكروية أو التلييد بشعلة البلازما أو التلييد بالافراغ على خواص المتراكب.
- 4- دراسة تأثير متغيرات اختبار البلى على الخواص الترابولوجية لمتراكبات النحاس - كرافيت.
- 5- دراسة الخصائص الكهربائية لمتراكبات النحاس - كرافيت .
- 6- دراسة سلوك الصلادة إزاء زيادة نسبة الكرافيت والآليات التي تحكم هذا السلوك.

المصادر



REFERENCESالمصادر

- 1- T. W. Clyne , P. J. Withers " **An Introduction to Metal Matrix Composites** " Cambridge Solid State Science Series , Cambridge University Press , PP. 1-7 , 2003.
- 2- Crawford , R. J. " **Plastics Engineering** " Second Edition , Pergamon Press , U.K. , 1987.
- 3- نوال عزت عبد اللطيف ، اسراء عبد القادر " استخدام طريقة الغمر أو (التغطيس) لإنتاج مواد متراكبة " مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 25 ، ملحق العدد 2 ، صفحة 44-60 ، 2007.
- 4- William D. Callister , Jr. " **Fundamentals of Materials Science and Engineering** " Fifth Edition , 2001.
- 5- عبدالله محمد علي محمد الطويل " دراسة وتوصيف متراكبات النحاس - كرافيت " رسالة ماجستير ، قسم العلوم التطبيقية ، الجامعة التكنولوجية ، 2003 .
- 6- هبة جمعة جعفر " تأثير الالياف على سلوك الاخماد للمواد المتراكبة ذات اساس بولييمري " رسالة ماجستير ، قسم العلوم التطبيقية ، الجامعة التكنولوجية ، 2010 .
- 7- Daniel B. Miracle and Steven L " **Composites** " published in 2001 as Volume 21 of ASM Handbook . The Volume was prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee , Copyright © 2001 by ASM International .
- 8- P. W. Lee " **Powder Metal Technologies and Applications** " published in 1998 as Volume 7 of ASM Handbook , The Volume was Prepared Under the Direction of the ASM Handbook Committee. , Copyright © 1998 by ASM International .
- 9- قحطان خلف الخزرجي ، عادل محمود حسن " مبادئ عمليات الانتاج " جمهورية العراق ، مطبعة الرسالة ، 1983.

- 10- صالح أمين كركجي ، وليد محمد صالح ، طالب حسين الشريفي " **خواص المواد الهندسية** " جمهورية العراق ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي ، صفحة 268-269 ، 1992.
- 11- Hansjorg Lipowsky , Emin Arpaci " **Copper in The Automotive Industry** " Printed in the Federal Republic of Germany , WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA , Weinheim , Germany , 2007 .
- 12- Raymond A. Higgins " **Engineering Metallurgy , Part (I) (Applied Physical Metallurgy)** " The English Universities Press LTD , Printed in Great Britain , Bungay , Suffolk , Copyright @1973.
- 13- ف. بيلي " **مبادئ هندسة المعادن والمواد** " ترجمة حسين باقر رحمة الله ، جمهورية العراق ، صفحة 171-173 ، 1985 .
- 14- Thomas Bolton Ltd , BP Minerals International " **Copper & Copper Alloy Castings – Properties & Applications** " Copper Development Association , Publication TN42 , December 1991.
- 15- Hugh O. Pierson " **Handbook of Carbon , Graphite , Diamond and Fullerenes Properties, Processing and Applications** " Consultant and Sandia National Laboratories (retired) Albuquerque , New Mexico , Copyright © 1993 by Noyes Publications .
- 16- Qin Hong, Meiwu Li, Jianzhong Wei, Hui Song, Fei Xue, and Mingfang Sun " **New Carbon – Copper Composite Material Applied in Rail-Type Launching System** " IEEE , Journal of TRANSACTIONS ON MAGNETICS , VOL . 43 , NO.1, JANUARY, PP.137-140 , 2007 .
- 17- S.F. Moustafa , S.A. El-Badry , A.M. Sanad , B. Kieback " **Friction and Wear of Copper–Graphite Composites Made With Cu-Coated and Uncoated Graphite Powders** " Journal of Wear , VOL . 253 , PP.699–710 , 2002 , www.elsevier.com/locate/wear .

- 18- Yongzhong Zhan , Guoding Zhang " **Friction and wear behavior of copper matrix composites reinforced with SiC and graphite particles** " Journal of Tribology Letters , VOL. 17, No. 1 , PP.91-98 , 2004.
- 19- Y.M.Z. Ahmed , M.I. Riad , A.S. Sayed , M.K. Ahlam , M.E.H. Shalabi " **Correlation Between Factors Controlling Preparation of Porous Copper via Sintering Technique Using Experimental Design** " Journal of Powder Technology , VOL . 175 , PP.48–54, 2007, www.elsevier.com/locate/powtec.
- 20- X.C. Ma , G.Q. He , D.H. He, C.S. Chen , Z.F. Hu " **Sliding Wear Behavior of Copper–Graphite Composite Material For Use in Maglev Transportation System**" Journal of Wear , VOL . 265 , PP.1087–1092 , 2008 , www.elsevier.com/locate/wear.
- 21- Jaroslav Kováčik , ˇ Stefan Emmer, Jozef Bielek , L'ubomír Keleš " **Effect of Composition on Friction Coefficient of Cu–Graphite Composites** " Journal of Wear VOL . 265 , PP.417-421 , 2008 , www.elsevier.com/locate/wear.
- 22- T. Futami , M. Ohira , H. Muto , M. Sakai " **Indentation Contact Behavior of Copper–Graphite Particulate Composites: Correlation Between The Contact Parameters and The Electrical Resistivity** " Journal of CARBON , VOL . 46 , PP.671 – 678 , 2008 , www.elsevier.com/locate/wear .
- 23- W. Ma , J. Lu , B. Wang " **Sliding Friction and Wear of Cu–Graphite Against 2024 , AZ91D and Ti6Al4V at Different Speeds** " Journal of Wear VOL . 266 , PP.1072–1081 , 2009 , www.elsevier.com/locate/wear.
- 24- K. Rajkumar, S. Aravindan " **Microwave Sintering of Copper–Graphite Composites** " Journal of Materials Processing Technology , VOL.209, PP.5601–5605, 2009, www.elsevier.com/locate/jmatprotec.

- 25- Hisashi Imai , Yoshiharu Kosaka , Akimichi Kojima , Shufeng Li , Katsuyoshi Kondoh , Junko Umeda , Haruhiko Atsumi " **Characteristics and Machinability of Lead - Free P/M Cu60–Zn40 Brass Alloys Dispersed With Graphite** " Journal of Powder Technology , VOL . 198 , PP . 417–421 , 2010 , www.elsevier.com/locate/powtec .
- 26- Huijun Yang, Ruiying Luo, Suyi Han, Midan Li " **Effect of The Ratio of Graphite/Pitch Coke on The Mechanical and Tribological Properties of Copper–Carbon Composites** " Journal of Wear , VOL . 268 , PP.1337–1341 , 2010 , www.elsevier.com/locate/wear .
- 27- K. Rajkumar S. Aravindan " **Tribological Performance of Microwave – Heat – Treated Copper–Graphite Composites** " Journal of Tribol. Lett. , VOL . 37 , PP.131–139 , DOI 10.1007/s11249-009-9499-2 , Springer , 2010 .
- 28- مهدي محمود مطر " **تحضير متراكبات النحاس – كرافيت ودراسة الخصائص الكهربائية والميكانيكية والحرارية** " اطروحة دكتوراه ، الجامعة المستنصرية ، كلية العلوم ، قسم الفيزياء ، 2010 .
- 29- Wenlin Ma , Jinjun Lu " **Effect of Sliding Speed on Surface Modification and Tribological Behavior of Copper–Graphite Composite** " Journal of Tribol. Lett. , VOL . 41 , PP.363–370 , DOI 10.1007/s11249-010-9718-x , Springer , 2011 .
- 30- Yongping Jin , Ming Hu " **Densification of Graphite/Copper Compound Powders** " PP.1131-1135 , 978-1-4244-9439-2/11© IEEE , 2011 .
- 31- Montasser Dewidar, G.T. Abdel-Jaber, Mahmoud Bakrey, and Hussien Badry " **Effect of Processing Parameters and amount of additives on the Mechanical Properties and Wear Resistance of Copper-based Composite** " International Journal of Mechanical &

- Mechatronics IJMME-IJENS , Vol: 10 , No: 03 , PP.25-40 , 2011.
- 32- K. Rajkumar, K. Kundu, S. Aravindan , M.S. Kulkarni "**Accelerated Wear Testing for Evaluating The Life Characteristics of Copper – Graphite Tribological Composite** " Journal of Materials and Design , VOL . 32 , PP.3029–3035 , 2011 , www.elsevier.com/locate/matdes .
- 33- K. Rajkumar, S. Aravindan " **Tribological Performance of Microwave Sintered Copper – TiC – Graphite Hybrid Composites** " Tribology International , VOL . 4 , PP.347–358 , 2011 , www.elsevier.com/locate/triboint .
- 34- C. Vincent , J.F. Silvain , J.M. Heintz , N. Chandra " **Effect of Porosity on The Thermal Conductivity of Copper Processed by Powder Metallurgy** " Journal of Physics and Chemistry of Solids , VOL . 7 , PP.499–504 , 2012 , www.elsevier.com/locate/jpcs .
- 35- XU Wei , HU Rui , LI Jin-shan , ZHANG Yong-zhen , FU Heng-zhi " **Tribological Behavior of CNT - Cu and Graphite - Cu Composites With Electric Current** " Journal of Nonferrous Met. Soc. , VOL . 22 , PP.78 – 84 , 2012 , www.sciencedirect.com.
- 36- Chandana Priyadarshini Samal " **Microstructure and Mechanical Property Study of Cu-graphite Metal Matrix Composite Prepared by Powder Metallurgy Route** " master thesis , Department of Metallurgical and Materials Engineering , National Institute of Technology Rourkela , Orissa , India , 2012 .
- 37- Sibabrata Mohanty , Abhijeet Mohanty " **Synthesis and Characterization of Copper – Graphite Metal Matrix composite by Powder Metallurgy Route** " master thesis , Department of Metallurgical and Materials Engineering , National Institute of Technology Rourkela , Orissa , India , 2012.
- 38- Jin-Kun Xiao, LeiZhang, Ke-ChaoZhou, Xin-PingWang " **Microscratch Behavior of Copper – Graphite Composites** " Journal

- of Tribology International , VOL . 57 , PP.38–45, 2013 , www.elsevier.com/locate/triboint.
- 39- K. Rajkumar, S. Aravindan " **Tribological Behavior of Microwave Processed Copper – Nano Graphite Composites** " Journal of Tribology International , PP . 282-296 , 2013 , <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2012.06.023>.
- 40- S. Suresh , A. Mortensen , A. Needleman " **Fundamentals of Metal Matrix Composites** " British Library Cataloguing in Publication Data , Copyright©1993 by Butterworth Heinemann .
- 41- محمود نديم حماس " أحدث التطورات في مجال المواد المتراكبة - المواد المركبة الصديقة للبيئة والقابلة لإعادة الاستخدام " مجلة الملك عبد العزيز للعلوم الهندسية ، م 16 ، ع 1 ، صفحة 77-102 ، 2005 .
- 42- François Cardarelli " **Materials Handbook** " A Concise Desktop Reference , 2nd Edition , Springer , 2008 .
- 43- Nikhilesh Chawla , Krishan K. Chawla " **Metal Matrix Composites** " Library of Congress Cataloging in Publication Data © 2006 Springer Science Business Media .
- 44- برماكوف فيازنيكوف " استعمال ميتالورجيا المساحيق في الصناعة " موسكو ، دار مير للنشر ، 1968 .
- 45- Mikell P. Groover " **Fundamentals of Modern Manufacturing Materials , Processes , and Systems** " 4th Edition , Copyright © 2010 John Wiley & Sons .
- 46- A. K. Sinha " **Powder Metallurgy** " Ianpat Rai Publications (P) LTD. , Daryaganj , New Delhi , 1987 .
- 47- Hiroaki Masuda , Ko Higashitani , Hideto Yoshida " **Powder Technology Handbook** " Third Edition , Published in 2006 by CRC Press Taylor & Francis Group .

- 48- Thakur Prasad Yadav , Ram Manohar Yadav, Dinesh Pratap Singh
 " **Mechanical Milling : a Top Down Approach for The Synthesis of Nanomaterials and Nanocomposites** " Journal of Nanoscience and Nanotechnology , VOL . 2 , PP . 22-48 , DOI: 10.5923/j.nn.20120203.01 , 2012.
- 49- G. S. Upadhyaya " **Powder Metallurgy Technology** " Published by Cambridge International Science Publishing , Cambridge CB1 6AZ , England , 2002 .
- 50- Brian S. Mitchell " **An Introduction to Materials Engineering and Science For Chemical and Materials Engineers** " Published simultaneously in Canada , PP. 698-717 , Copyright © 2004 by John Wiley & Sons , Inc. , Hoboken , New Jersey .
- 51- Manish G. Bothara " **Sintering of Nanocrystalline Silicon Carbide in Plasma Pressure Compaction System** " Doctoral of Philosophy thesis , Oregon State University , 2007 .
- 52- Fouad Etizaz Habib " **A Finite Element Model For Ejection of Green Parts After PM Compaction** " Master thesis , Department of Mechanical Engineering , Queen's University , Kingston, Ontario, Canada , September, 2008 .
- 53- Lamet , John A. Bailey " **Mechanical Testing and Evaluation** " published in 2000 as Volume 8 of the ASM Handbook. The Volume was prepared under the direction of the ASM Handbook Committee , Copyright © 2000 by ASM International .
- 54- قحطان خلف الخزرجي ، عادل محمود محسن ، عبد الجواد محمد الشريف " **المواد الهندسية واختباراتها** " جمهورية العراق ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي ، جامعة بغداد ، 1987 .
- 55- ايمان صبيح نعيم " **تأثير التقسية بالماء على البلى الالتصاقى الجاف لسبيكة الفولاذ**

- المقاوم للصدأ المزدوج SAF 2205 " مجلة التقني ، المجلد 23 ، العدد 1 ، 2005 .
- 56- منى خضير عباس ، فاضل مالك رشيد " دراسة البلى الانزلاقي الجاف لبعض سبائك النحاس " مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 24 ، العدد 1 ، 2005 .
- 57- احلام عبد الامير محمد " تأثير المعاملات الحرارية على سلوك البلى الانزلاقي لفولاذ متوسط الكربون " مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 30 ، العدد 13 ، 2012 .
- 58- Peter J. Blau " **Friction, Lubrication, and Wear Technology** " published in 1992 as Volume 18 of the ASM Handbook. The Volume was prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee. , Copyright © 1992 by ASM International .
- 59- ضياء أحمد صلال " دراسة تأثير درجة الحرارة المتولدة عن الاحتكاك على خصائص ومميزات البلى الانزلاقي الجاف لحديد الزهر ذي الكرافيت الكروي " مجلة ديالى للعلوم الهندسية ، عدد خاص للمؤتمر العلمي الهندسي الاول ، صفحة 43-54 ، ISSN (1999-8716) ، 2010 .
- 60- Donald H. Buckley " **Surface Effects in Adhesion , Friction ,Wear, And Lubrication** " ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY , Amsterdam - Oxford - New York , PP. 429 – 508 , 1981 .
- 61- Raymond G. Bayer " **Mechanical Wear Fundamentals and Testing** " Second Edition Revised and Expanded , Copyright © 2004 by Marcel Dekker, Inc. All Rights Reserved .
- 62- P`ar Jons`en " **Fracture and Stress in Powder Compacts** " Doctoral Thesis , Department of Applied Physics and Mechanical Engineering , Lulea University of Technology , Lulea , Sweden, 2006 .
- 63- احمد حسين علي " تحضير مادة متراكبة من نظام (المنيوم - كارييد البورون)

- ، ودراسة بعض خواصها الميكانيكية " المجلة العراقية للهندسة الميكانيكية والمعادن ،
المجلد 10 ، العدد 3 ، صفحة (492-501) ، 2010 .
- 64- Mohammed Sellab Hamza " **Study the Effect of Carbon Fiber Volume Fraction and their Orientations on the Thermal Conductivity of the Polymer Composite Materials** " Al-Khwarizmi Engineering Journal , Vol.4 , No.1 , PP.80-89 , 2008 .
- 65- علي ابراهيم الموسوي ، علي جاهل سلمان ، عبدالله فياض عبد السادة " دراسة تأثير الكسر الحجمي على قيم الموصلية الحرارية لمتراكبات البولي أستر الدقيقة " مجلة الكوفة للفيزياء ، المجلد 4 ، العدد 1 ، 2011 .
- 66- علي جاهل سلمان " تأثير التقوية بالألياف على الموصلية الحرارية والخواص الميكانيكية للراتنجات المتصلبة بالحرارة " مجلة القادسية للعلوم الهندسية ، المجلد 4 ، العدد 1 ، صفحة (189 – 201) ، 2011 .
- 67- S. Lowell , Joan E. Shields " **Powder Surface Area and Porosity** " Second Edition , Printed in Great Britain by J. W. Arrow smith Ltd., Bristol © 1984 S. Lowell and J. E. Shields .
- 68- M. B. Berger " **The Importance and Testing of Density / Porosity / Permeability / Pore Size for Refractories** " The Southern African Institute of Mining and Metallurgy , Refractories 2010 Conference .
- 69- Goutam Dutta , Dipankar Bose " **Effect of Sintering Temperature on Density, Porosity and Hardness of a Powder Metallurgy Component** " International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering , ISSN 2250-2459, Vol. 2 , No. 8 , August 2012 , www.ijetae.com .
- 70- ASTM C373 – 88 " **Standard Test Method For Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, And Apparent**

- Specific Gravity of Fired White Ware Products "** , Reapproved 2006 .
- 71- ندى طاهر سلطان " تأثير نسبة المسامية على قيم الكثافة والصلادة لسبيكة (نيكل - نحاس) والمنتجة بطريقة ميتالورجيا المساحيق " مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 29 ، العدد 1 ، صفحة (66-74) ، 2011 .
- 72- فيصل علي مصطفى ، عبد الواحد كاظم راجح ، سيف محمد محسن " تأثير عناصر السبك والتعامل الحراري على سلوك السبائك ذات اساس (Al - Cu) المستخدمة في الصناعات البحرية " المجلة العراقية للهندسة الميكانيكية والمعادن ، المجلد 10 ، العدد 1 ، صفحة (144-165) ، 2010 .
- 73- S. K. Abd – Al Hassan " **Study the Effect of MgO Addition on Some of Physical Properties of ZnO "** Ibn Al – Haitham J. For Pure & Appl. Sci. , Vol.23 , No.2 , 2010 .
- 74- Adnan S. Jabur " **Effect of Powder Metallurgy Conditions on The properties of Porous Bronze "** Journal of Powder Technology , Vol.237 , PP . 477–483 , 2013 , www.elsevier.com/locate/powtec.
- 75- B.D. Cullity, S.R. Stock " **Elements of X-Ray Diffraction "** ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPAN, Copyright @ 1956.
- 76- H. Zuhailawati , Y. Mahani " **Effects of Milling Time on Hardness And Electrical Conductivity of in Situ Cu–NbC Composite Produced by Mechanical Alloying "** Journal of Alloys and Compounds , VOL 476 , PP. 142-146 , 2009 , www.elsevier.com/locate/jallcom.
- 77- Keke Gan, Mingyuan Gu " **The Compressibility of Cu/SiC_p Powder Prepared by High-Energy Ball Milling "** Journal of Materials

- Processing Technology, VOL. 199, PP.173-177, 2008, www.elsevier.com/locate/jmatprotec.
- 78- Yong ping Jin, Ming Hu " **Effect of Ball Milling on Mechanical Properties of Graphite/Copper Matrix Composites** " Journal of Advanced Materials, Vols. 217-218, PP.936-940, 2011.
- 79- V. Rajkovic, E. Romhanji, M. Mitkov " **Characterization of High-Energy Ball Milled Prealloyed Copper Powder Containing 2.5 wt % Al** " Journal of Materials Science Letters, Vol. 21, PP. 169– 173, 2002.
- 80- C.P. Samal, J.S. Parihar, D. Chaira " **The Effect of Milling And Sintering Techniques on Mechanical Properties of Cu–graphite Metal Matrix Composite Prepared by Powder Metallurgy Route**" Journal of Alloys and Compounds, VOL. 569, PP. 95–101, 2013, www.elsevier.com/locate/jalcom.

ملاحظة :

معظم المصادر المستخدمة في هذه الرسالة تم الحصول عليها من المكتبة الافتراضية العراقية ((Iraq Virtual Science Library (IVSL))).

عن طريق العنوان الآتي:

<http://www.ivsl.org>

ABSTRACT

Copper – Graphite composites lies among the most important composites that are used in many important engineering applications such as brushes, circuit breakers, mechanical sliding bearings and self-lubricating bearings due to their excellent thermal and electrical conductivity as well as good tribological properties due to the presence of graphite which is a solid lubricant.

The present work aims to prepare copper – graphite composites by powder metallurgy technique and study both the effect of graphite content and milling time on the physical and mechanical properties of these composites. The copper powder used in this work is 99.7 % pure and $\leq 63 \mu\text{m}$ particle size while the graphite powder is 99.8 % pure and $\leq 63 \mu\text{m}$ particle size. The volumetric fraction of graphite in the composite is (0,5,10,15,20,25) %. The mixture was milled mechanically using steel balls of (10 mm) diameter for (1,3,5,7,9) hours. The milled mixture was cold pressed by uniaxially at (700 MPa) for (30) seconds and sintered at (900 °C) for one hour.

The results showed that both bulk density and apparent density decrease with increasing graphite content and milling time. For example, bulk density decreases by (32.88%) on increasing graphite content from (0%) to (25%) at milling time of (1) hour. It was found that both true and apparent porosity increases with increasing graphite content and milling time where true porosity increases by (68.16%) on increasing graphite content from (0%) to (25%) at milling time of (9) hours. Water absorption was directly related to the porosity content within the composites. On the other hand it was found that thermal conductivity decreases with increasing both graphite content and milling time as a result of increasing the porosity content. For example, thermal conductivity decreases by (47.93%) on increasing graphite content from (0%) to (25%) at milling time of (1) hour.

The results of this study Showed that both Brinell hardness and compressive strength are directly related to milling time. For example, Brinell hardness increases by (21.52%) on increasing milling time from (1) to (9) hours for composite with graphite content of (15%), while compressive strength increases by (19.2%) on increasing milling time from (1) to (9) hours at the graphite content (15%). Brinell hardness was found to increase with increasing graphite content up to (15 %), then it decreases gradually with any further increase in graphite content. On the other hand it was found that the

compressive strength is sharply decreased on increasing graphite content where it decreases by (74.74 %) on increasing graphite content from (0 %) to (25 %) at milling time of (9) hours.

Both wear volume and coefficient of friction decrease with increasing graphite content where it was found that wear volume decreases by (80.58%) on increasing graphite content from (0%) to (25%) at milling time of (1) hour while the coefficient of friction decreases by (78%) at the same mentioned condition. On increasing milling time, it is observed that wear volume decreases and coefficient of friction increases for all composites while pure copper behaves differently where increasing milling time decreases the coefficient of friction and increases wear volume.

Ministry of Higher Education
And Scientific Research
University of Tikrit
Mechanical Engineering Department



Study The Effect of Powder Metallurgy Variables on The Mechanical And Metallurgical Properties of Copper – Graphite Composites

A Thesis

Submitted to The Department of Mechanical Engineering
of The University of Tikrit
in a Partial Fulfillment of The Requirements For The Degree of
Master of Science
in
Mechanical Engineering – Production Engineering And Metallurgy

BY

SAIF SABAH IRHAYYIM MARZOOK AL-ALKAWY

Supervisor

Ass. Prof. Dr. Farouk Mansour Mahdi
Ass. Prof. Dr. Raed Najeeb Razooqi

2013 A.D

1434 A.H