Study of Electrical Properties of Copper-Graphite Complexes

A. Al-Taweel[1*] , F. Yehya[1], H. Al-Sanaa[1]& N. Al-kadasi[2]
[1]*Department of Physics, Faculty of Educational and sciences , Rada'a, Al-Baydha University, Al- Baydha, Yemen*
[2]*Department of Chemstry, Faculty of Educational and sciences , Rada'a, Al-Baydha University, Al- Baydha, Yemen*

[*] Abdualtaweel77@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.56807/buj.v2i2.46

Abstract

The electrical properties of graphite-copper coals were studied, and the researchers relied on powder metallurgy technology to prepare and produce the composite materials consisting of graphite-copper powders, and the resistivity and electrical conductivity of those materials were measured. The graphite-copper charcoal (with a specific composition) gives high stability and high resistance to friction, which depends on the boundary layer between graphite and copper, the extent of bonding and the real distance of contact. The researchers found that the direction of the platelet structure of fine copper grains in the graphite causes the formation of surface layers with chemical mechanical resistance (wear resistance) and thus leads to improvement of the friction resistance of these materials and high stability in the electro-contact properties. (Electro) This research aims to develop a ceramic / metal cap meter with mechanical and electrical properties suitable for industrial application in the field of electric motors and generators. These properties give a direct picture of the effect of the fine structure on the performance of these complexes.

Keywords*: Copper-Graphite, Complexes, Electrical, powder*

دراسة الخصائص الكهربائية على متراكبات النحاس – الكرافيت

الملخص

تمت دراسة الخواص الكهربائية لفحمات الكرافيت– نحاس وقد أعتمد الباحثون على تقنية ميتالورجيا المساحيق لتحضير وانتاج المواد المتراكبة المتكونة من مساحيق الكرافيت– نحاس وتم قياس المقاومية والتوصيلية الكهربائية لتلك المواد حيث توصل الباحثون إلى أن قيم المقاومية والتوصيلية الحرارية والكهربائية تزداد بزيادة نسبة النحاس . وإن فحمات الكرافيت – نحاس (عند تركيب معين) تعطي استقرارية ومقاومة عاليتين للاحتكاك والذي يعتمد على طبقة الحد الفاصل بين الكرافيت والنحاس ومدى الترابط والمسافة الحقيقية للتلامس. ووجد الباحثون أن اتجاه التركيب الصفائحي لحبيبات النحاس الدقيقة في الكرافيت تسبب في تكون طبقات سطحية ذي مقاومة ميكانيكية كيميائية (مقاومة البلى) وبالتالي تؤدي إلى تحسين مقاومة الاحتكاك لتلك المواد واستقرارية عالية في الخواص الكهروتلامسية (Electro Contact) . ويهدف هذا البحث الى تطوير متراكبات سيراميك/ معدن ذي خواص ميكانيكية وكهربائية مناسبة للتطبيق الصناعي في مجال المحركات والمولدات الكهربائية , هذه الخواص تعطي صورة مباشرة عن أثر التركيب الدقيق على أداء هذه المتراكبات.

الكلمات المفتاحية: *المواد المتراكبة, النحاس, الكرافيت, الفحمات الكهربائية, الممقاومية الكهربائية.*

1.1 مقدمة عامة

تعرف المواد المتراكبة على أنها عبارة عن خليط من مادتين أو اكثر مرتبطة مع بعضها ارتباطاً فيزيائياً قوياً تتصرف على أساسه المادة ككتلة واحدة بحيث تمتلك خواصاً وسطية لخواص المكونات.

حيث أن المادة المتراكبة تتكون من طورين أولهما طور التقوية وهو عبارة عن دقائق, أو ألياف, أو شعيرات, أو صفائح. محاطة بطور أخر يتمثل بالمضيف وتكون الأطوار المستخدمة عبارة عن مواد بوليميرية أو معدنية أو سيراميكية (Popper -1961),

فالعديد من التقنيات الحديثة تتطلب مجموعة مواد ذات خواص متميزة لا يمكن الحصول عليها عند استخدام سبائك تقليدية وقد استخدمت المواد السيرامكية 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 كثافة منخفضة وقوية ذات صلابة (*Stiff*) عالية ومقاومة للتصادم والخدش والتآكل ومن النادر تآلف هذه الصفات معا، لذا فالمواد المتراكبة هي الحل الأمثل لتناقض هذه الصفات وقد تلتها بحوث تطويرية للاستيفاء بمتطلبات التقدم التكنولوجي (Calloster -2000,). ومع التطور العلمي والتقني ظهرت مواد لا يمكن الاستغناء عنها أو استبدالها بغيرها من أهمها الكرافيت الذي يعتبر واحداً من أهم المواد التي عرفتها البشرية لما يمتلكه من خصائص كهربائية ومميزات حرارية وميكانيكية وكيماوية ومعامل احتكاك منخفض ومعدل بلى منخفض. لذلك أصبح الكرافيت مؤهلا للعديد من الاستعمالات الواسعة لإنتاج الأقطاب والفحمات التي تستعمل في المحركات الكهربائية ويستعمل كوسط مهدئ للنيترونات في المفاعلات النووية وكمادة للتزيت(ريان-1986), وتعتبر تقنية ميتالوجيا المساحيق (*Powder Metallurgy Technology*) من التقنيات الأساسية لاستخدام الكرافيت في الصناعات الكهربائية والحرارية.

أن الفحمات الكربونية تقوم بعملية نقل التيار الكهربائي المتولد من مصادر الطاقة إلى المبدل أو العنصر الدوار للمحرك من خلال الفحمة لأنها تمتلك موصلية كهربائية عالية جداً (Martin -1983) تستخدم الفحمات الكربونية في العديد من التطبيقات المهمة ومنها الرادارات وعاكسات التيار أو المبدلات (*Commutators*) والأقمار الصناعية والمحركات والمولدات الكهربائية وذلك للحفاظ على الاستقرارية الكهربائية للتيار بين الدائرة الخارجية والأجزاء الدوارة للماكينة الكهربائية. ومن أهم المتطلبات المطلوب توفرها في مواد الفحمات الكهربائية عبر منطقة التلامس هي:

1) أن تكون التوصيلية الكهربائية والحرارية للمادة عالية.
2) يجب أن تكون مقاومة البلى عالية جداً.
3) يجب أن يكون هناك تذبذب قليل في الإشارة الكهربائية عند حدوث أي تغير في السرعة أو شدة الإشارة أو ضغط التلامس.

وفي الحقيقة هناك العد يد من المواد التي يمكن أن تحقق تلك المتطلبات لاستخدامها كفحمات في الأجزاء الكهربائية ومن هذه المواد : (*Electrographite, Carbon-Graphite, Resin-bonded Material, Metal-Graphite Materials,... etc*) ووجد أن أفضل هذه المواد هي مواد الفحمات (*Metal-graphite Material*) حيث تتفوق على الأنواع الأخرى بكونها ذات توصيلية كهربائية أعلى من نظيراتها، وهي مفضلة للعمل عند الفولتيات الواطئة(Jany -2001) .

2-2 الجانب العملي

يتناول هذا الجانب المواد والأجهزة المستخدمة في الدراسة الحالية وكذلك الأسلوب العملي الذي اتبع لتصنيع نماذج من المادة المتراكبة كرافيت- نحاس واعتماد الترابط الانتشاري خلال عملية التلبيد. ولاعتماد المراحل الأساسية لتصنيع المساحيق، كما هو موضح بالشكل (2-1) مخطط العمل المتبع في هذا البحث , لتحضير النماذج للاختبارات الكهربائية لغرض تقييم النماذج النهائية.

1.2.2 تحضير المواد الأولية

اتبعت طريقة تقنية ميتالورجيا المساحيق في تحضير مسحوق الكرافيت وتجفيفه بدرجة حرارة (200 °C) لمدة ساعتين، ومن ثم الغربلة لكل من مسحوقي الكرافيت المجفف والنحاس بغرابيل قياس (53µm).

2.2.2 تجانس خلط المساحيق

إن كمية المساحيق المطلوبة لكافة النماذج تم سكبها في حاوية جهاز الخلط الكهربائي وبالأسلوب الأتي:

أ) يتم سكب 50% من الكمية المقاسه لمسحوق النحاس في الخلاط.

ب) إضافة كمية الكرافيت المقاس بأكمله الى الخلاط.

ج) وبعد ذلك تضاف نصف الكمية المتبقية من مسحوق النحاس إلى الخلاط.

يتم تكرار العملية المذكورة أعلاه لمزيج من المساحيق المختلفة لـ (40% , 90%) وزنا من مسحوق النحاس مع (10%,60%) وزنا من مسحوق الكرافيت، وأن عملية الخلط أو المزج تكون ضرورية جدا. ولاجل الحصول على خليط متجانس من الكرافيت – نحاس تم استخدام النسب الوزنية في عملية الخلط الذي تم باستخدام خلاط كهربائي لمدة (4-5 hr).

3.2.2 ملء الجرعة في قالب الكبس (Dosing of The Pressing Tools)

يتم ملء قالب الكبس بالجرعة (الشحنة) المراد كبسها وبعدها يوضع قالب الكبس بعناية تامة في المكبس ويثبت لأجل منع أية حركة لأجزاء القالب. وأن الضغط المسلط على القالب يكون منتظماً على كتلة المكبوسة ويقدر بـ ($3.5\ Ton/cm^2$).

4.2.2 عملية الكبس

تتطلب عملية كبس المساحيق مكابس ذات مواصفات معينة فقد تم في هذا البحث استخدام المكبس الهيدروليكي في كبس العينات و الذي يصل مدى ضغطه إلى (20Tons).

5.2.2 عملية التلبيد

تم استخدام فرن كهربائي نوع (Carbolite) إنكليزي الصنع ولمنع تأكسد النماذج أثناء التلبيد تم تغطيتها بالفحم النباتي في حاوية خاصة، حيث توضع المكبوسات في بوادق مصنوعة من الألومينا المقاومة للحرارة. وقبل وضع المكبوسات تسكب في قاع البوادق طبقة من مسحوق الفحم النباتي سمكها (20-25mm). وتوضع على طبقة المسحوق طبقة من المكبوسات ثم يكرر سكب المسحوق ثم يوضع الصف الثاني من المكبوسات وعلى التعاقب. وتملأ البوادق بحيث يبقى (40-50mm) من جزئها العلوي فارغاً ويسكب مسحوق من الفحم النباتي على الطبقة الأخيرة من المكبوسات حتى تمتلئ البوادق وبعد ذلك تحكم تغطيتها بغطاء خاص، وتدهن بعجينة مقاومة للحرارة ثم تجفف وتوضع في الفرن.

بعد ذلك يسخن الفرن إلى درجة حرارة التلبيد ($650C^o$) تدريجيا وتبقى الجرعة (الشحنة) في الفرن لمدة (1.5hr) ثم تبرد البوادق في الفرن ولا تفتح البوادق عند درجة حرارة أعلى من ($50-60C^o$) وتسكب محتويات البوادق في وعاء واسع وتجمع القطع الملبدة. ويتم غربلة الفحم المتبقي ويستخدم مرة ثانية للسكب. وهكذا تكرر هذه العملية لبقية درجات الحرارة ($750,850,950C^o$) ولبقية الفترات الزمنية (2.5,3.5,4.5 hr) . وتم قياس أبعاد المكبوسات بعد عملية التلبيد والوزن لكل العينات المحضرة وقياس المقاومية الكهربائية.

5.2.2 القياسات

1.5.2.2 قياس المقاومية الكهربائية

هنالك عدة طرق لقياس المقاومية الكهربائية ولكن تم اختيار طريقة (*Vander Pauw*) لقياس المقاومية الكهربائية في هذا البحث وذلك بسبب المقاومات الكهربائية الصغيرة جدا للمواد المتراكبة ذات الوسط المضيف النحاسي ويشترط في هذه الطريقة أن تكون أشكال العينات دائرية

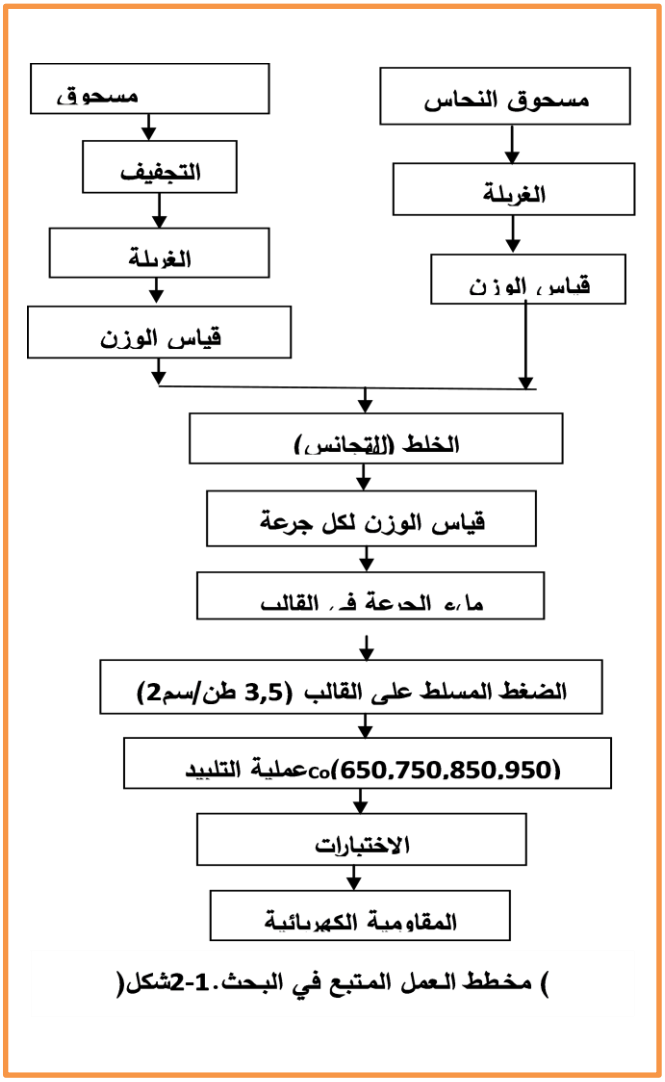
وبذلك تقاس المقاومية الكهربائية باستخدام العلاقة الآتية :-

$$\rho = \frac{\pi t}{2\ln 2}\left(R' + R''\right) F\left(\frac{R'}{R''}\right) \cdots\cdots (2.1)$$

حيث أن :

t: تمثل سمك العينة.

$F\left(\frac{R'}{R''}\right)$: تمثل دالة لـ (*Vander Pauw*) والموضحة بالشكل(2-2).



(مخطط العمل المتبع في البحث.1-2شكل)

R' : تمثل فرق الجهد بين التوصيلين (c ,d) لكل وحدة تيار المنساب خلال التوصيلين(a ,b) . (Vander -1958)

R'' : تمثل فرق الجهد بين التوصيلين (a ,b) لكل وحدة تيار منساب خلال التوصيلين (c ,d) والموضح بالشكل (2-3)

3. النتائج والمناقشة

يقدم هذا البحث النتائج العملية المستحصلة من القياسات والفحوصات التي أجريت على المواد المتراكبة والمحضرة بطريقة تقنية ميتالورجيا المساحيق واعتماداً على هذه النتائج تم مناقشة إمكانية استخدام المواد المتراكبة في تصنيع الفحمات. وأن استعراض ومناقشة النتائج العملية تم التركيز على ثلاثة محاور رئيسة:

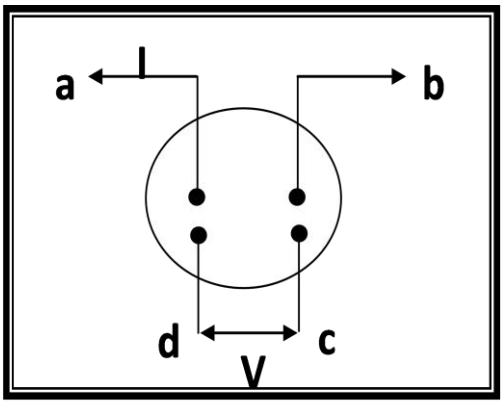
1) تحضير وتقييم بعض المواد المتراكبة وبشكل خاص (النحاس- كرافيت) إذ تشتمل هذه المحاور على مراحل، تحضير المواد المتراكبة (النحاس- كرافيت) والمتضمنة (تحضير المساحيق الكرافيتية والنحاسية والكبس الهيدروليكي والتلبيد بدرجة حرارة مختلفة وبزمن تلبيد مختلف).
2) يتضمن دراسة الخصائص الكهربائية والتي تتمثل بـ (المقاومية الكهربائية)
3) يهتم بدراسة إمكانية استخدام هذه المتراكبات المحضرة كفحمات تلامس في خاصية التوصيلية الكهربائية لها. واعتمادا على هذه الخصائص يتم اختيار نوع المادة المتراكبة ودرجة حرارة التلبيد وزمن التلبيد الملائم في التطبيق الصناعي.

من المهم جدا أن يناقش العمل الحالي بموضوع العمليات الصناعية أخذين بنظر الاعتبار الجوانب التوصيفية التي لها علاقة مباشرة بالتطبيق العملي فقد لوحظ بهذا العمل تصنيع نوعين من المتراكبات:

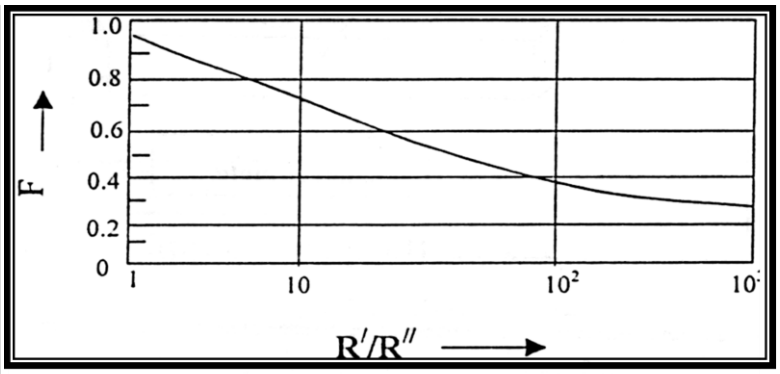
الأول :- يكون فيها الوسط المضيف مسحوق الكرافيت السيراميكي المدعمة بمعدن النحاس. الثاني :- يكون فيها الوسط المضيف مسحوق النحاس المعدني الذي ينتشر بمسحوق الكرافيت السيراميكي. وذلك لفحص أو مقارنة التركيب الدقيق الذي يمكن أن يتكون عندما تكون الغلبة للمادة السيراميكية أو الغلبة للمادة المعدنية وذلك لمعرفة العوامل والمكونات التي يكون لها أدوار في عملية الترابط والتماسك ضمن المكبوسات الرطبة وتلك الملبدة.

1.3 دراسة الخصائص الكهربائية

1.1.3 دراسة المقاومية الكهربائية :



مخطط دائرة يوضح عينة المقاومية(2-2الشكل) [8].



والنسبة ** $F\left(\frac{R'}{R''}\right)$ يمثل العلاقة بين(3-2الشكل

من أهم دلائل التطبيقات الصناعية لهذا النوع من المتراكبات (النحاس– كرافيت) هو استخدامها الشائع في نقل القدرة الكهربائية أو التيارات ما بين الأجزاء الثابتة والدوارة داخل المحركات الكهربائية كفحمات كهربائية. ففي هذه الحالات يراعى كمية القدرة الضائعة بشكل رئيس بالإضافة إلى ارتفاع درجة حرارة هذه الأجزاء. فضياع القدرة يؤثر بشكل رئيس على كفاءة المحرك بينما يؤثر ارتفاع درجة حرارة الفحمات على المقاومية الكهربائية وسلوكية البلى والاحتكاك. ولهاتين السلوكيتين الأثر المهم جدا على أداء أي منظومة ميكانيكية. ويعرض الشكل (3–1a,b) سلوكية تغير المقاومية الكهربائية للمتراكبات مع درجة حرارة التلبيد ويشمل مجموعة من المنحنيات تمثل المتراكب ذي الوسط المضيف النحاسي والمتراكب ذي الوسط المضيف الكرافيتي.

وكل مجموعة تغطي النتائج المستحصلة في مختلف أزمان التلبيد. ويلاحظ من هذا الشكل ميل المقاومية الكهربائية إلى النقصان أو الانحدار التدريجي مع ارتفاع درجة حرارة التلبيد بشكل عام.

وهذا ما يدل على أن المقاومية الكهربائية تعتمد بشكل رئيسي وأساسي على مدى التماس الحقيقي الموجود ما بين دقائق مترا كبات المكبوسة. وهذا التماس يمثل بالحقيقة المسالك الفعلية أو الفيزيائية التي تشكلها الإلكترونات أو حاملات الشحنات عند مرور التيار الكهربائي. فكلما زادت مساحة المقطع العرضي الفعال للمسارات المستمرة والغير متقطعة، كلما ارتفعت الموصلية الكهربائية وانخفضت مقاومة المادة لمرور التيار الكهربائي.

وتعتبر هنا المسامات كنقاط انقطاع لمسار حاملات الشحنات فكلما انخفضت النسبة الحجمية للمسام كلما تضخم المقطع العرضي الفعال (Effective Cross Section) للموصلية الكهربائية.

وإذا لا حظنا الشكل **(3–2a,b)** نجد أن ما يعرضه هو مجموعة من المنحنيات التي تمثل مدى اعتماد المقاومية الكهربائية للمتراكبات على زمن التلبيد، حيث نجد أن هناك ميلاً عاماً لهبوط هذه المقاومية بزيادة زمن التلبيد. وهذا ما يتماشى مع السلوكية المتوقعة من مكبوسات المساحيق بشكل عام. وأن أهم عاملين في الرص أو التكاثف للمكبوسات هما درجة حرارة التلبيد وزمن التلبيد. ويمكن ملاحظ الفرق الواضح في قيم المقاومية ما بين المنحنيات المعروضة في الشكلين**(3–1 a,b)** و **(3–2 a,b)** حيث نجد بأن القيم المعروضة في الشكل **(3–1 a,b)** أعلى بكثير من تلك المعروضة في الشكل **(3–2 a,b)** وذلك بسبب كمية النحاس في كل من المجموعتين وذلك ينعكس بدوره على مساحة المقطع العرضي الفعال للموصلية الكهربائية.

4. الاستنتاجات والتوصيات

1) إن التركيب الدقيق له أثر مباشر وفعال على الخواص الأدائية مثل التوصيلية الكهربائية ومعدلات البلى ومعامل الاحتكاك .
2) أن لدقائق مسحوق النحاس دور رئيس في ربط وتماسك المتراكب.

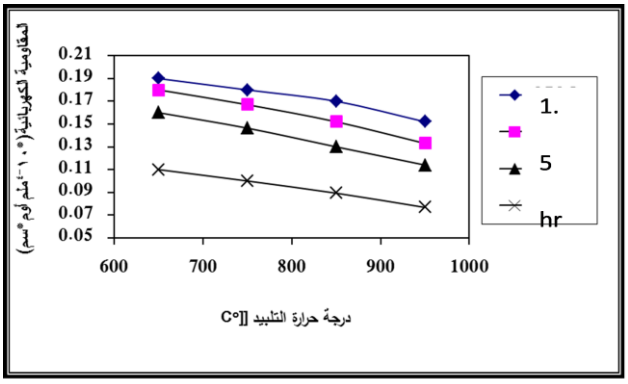
3) استخدام مساحيق كرافيت ونحاس خام بأحجام حبيبية مختلفة أخرى قبل التلبيد وعمل المتراكبات منها لبيان مدى تأثير الحجم الحبيبي للخامات الأولية المستخدمة على الخصائص الفيزيائية للفحمات المنتجة بعد التلبيد.

4) دراسة تأثير الحدود الحبيبية والحجم الحبيبي بعد التلبيد على مسارات التوصيل الكهربائية ضمن دراسة مفصلة عن التركيب الدقيق لهذه الفحمات وبيان مدى تأثير ذلك بأكمله على أداء هذه الفحمات في المحركات الكهربائية.

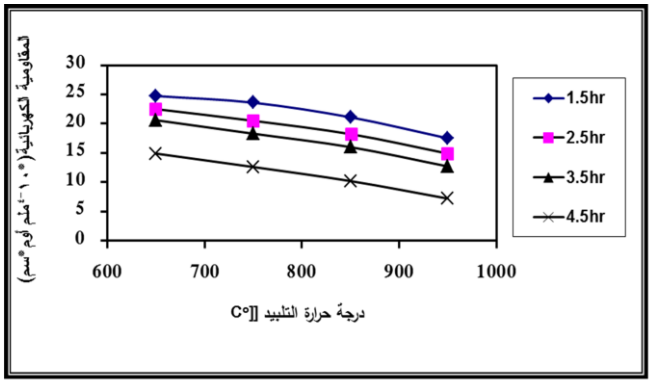
5) دراسة تأثير إضافة معادن أخرى كالحديد أو الرصاص أو الفضة مع النحاس على أداء هذه الفحمات.

6) التوسع في دراسة الخصائص الكهربائية ككثافة التيار أو انحدار الجهد لهذه الفحمات عبر تهيئة تقنيات خاصة تسهل مثل هذه الدراسة.

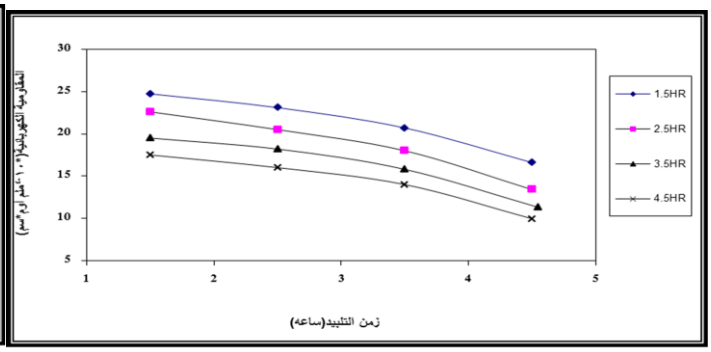
7) دراسة تأثير الأبعاد الهندسية على أداء هذه الفحمات وذلك عن طريق صنع نماذج بأبعاد وأشكال هندسية مختلفة، وتقييم أداء الفحمات بأبعادها الجديدة لمحركات الجهد العالي.



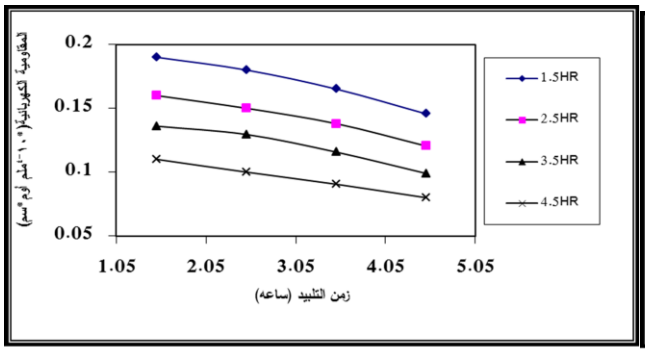
: العلاقة بين درجة حرارة التلبيد والمقاومية (a 3-1)الشكل الكهربائية للمادة المتراكبة



: العلاقة بين درجة حرارة التلبيد (b 3-1)الشكل



: يبين العلاقة بين زمن التلبيد (b 3-2)الشكل



): العلاقة بين زمن التلبيد والمقاومية الكهربائية للمادة a 3-2الشكل (

4. المصادر

[1]. Popper P,. & Davice D.G.S,. (1961) "*The Preparation And Properties Of Self-.Bonded Silicon Carbide*" Powder Metallurgy,No,8 , PP.113-227.

[2]. Calloster W.D.: et al (2000) ,"*Material Science and Engineering",An International 5 th edition* (U.S.A),pp(621-523),(527-543).

[3]. ريـان .و., (1986)"خـواص المـادة الخـام السـيراميكية", ترجمة: فاضل بندر عيسى وماجد محمد عكاشة وفوزي عبد الهادي السيد, ,دار التقني للطباعة والنشر, مؤسسة المعاهد الفنية, العراق,.

[4]. Martin Grayo, (1983)*"Encyclopedia of Composite Materials and Components"*, John Wiley and Sons,Newyork,.

[5]. Jany and Hyang Kyu Park,(2001) *"Effect of the Friction Characteristics of Sliding Contacts on Electrical Signal Transmission", International* Journal,Vol.2.No.1 ,pp 22-28. .

[6]. L.J.Vander Pauw, Phlips ((1958) *Tech,Re*Vol.,Vol.13,pp.1-9.