# فعالية استخدام مساحيق المواد ذات الأساس الحديدي في العقد الاحتكاكية في عناصر الآلات[1]

المهندسة نوار رعيدي[2] الدكتور خليل عزيمة[3]

**الملخص**

**تعدُّ مشكلة التآكل الاحتكاكى والاهتراء في أجزاء الآلات وخصوصاً آلات النسيج من أهم المشاكل التي تواجه الصناعات في الوقت الحاضر. ومن هنا ظهرت الحاجة إلى عملية التطوير التقني العلمي والتغلب على المشاكل العلمية التقنية والاقتصادية الخاصة بأجزاء الآلات، وحاجتها إلى الإصلاح أو التبديل، مثل الآليات التي تتعرض إلى عملية الاهتراء والتآكل بالاحتكاك ضمن ظروف الاستثمار من حرارة، وجو غازي، وسائل نشط فعال، في عملية التآكل الكيميائي.**

**اتجهت في هذا المجال عملية التطوير التقني إلى ضرورة أن نستبدل الطرائق التقليدية في عملية التصنيع إلى طرائق حديثة، أكثر سرعة، وأكثر إنتاجية، وأحيانا أفضل نوعية وأطول عمراً، ضمن ظروف الاستثمار، مثل طريقة ميتالورجيا المساحيق المعدنية.**

**بين البحث عند دراسة تأثير نسبة الغرافيت في الخواص الميكانيكية أن متانة الصدم تتناقص بشكل مستمر مع زيادة نسبة الغرافيت، وذلك بسبب زيادة نسبة السمنتيت المتشكلة داخل البنية حيث ترتفع الهشاشية.**

[1] أعد هذا البحث في سياق رسالة الماجستير للمهندسة نوار رعيدي بإشراف الدكتور خليل عزيمة.

[2] قسم التصميم الميكانيكي– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

[3] قسم التصميم الميكانيكي– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

**إن زيادة نسبة الغرافيت حتى 0.5% تؤدي إلى زيادة سريعة لهذه الخواص، وعند نسب غرافيت أعلى من 0.5% فإنَّ زيادة المتانة والقساوة تكون بشكل بطيء. كما لوحظ أن القساوة تزداد بشكل ملحوظ عند زيادة نسبة الكروم وهذه الزيادة متناسبة تدريجياً مع زيادة نسبة الكروم، أما حد المتانة فتختلف طبيعة زيادته عن القساوة حيث تكون الزيادة في حد المتانة قليلة جداً عند زيادة نسبة الكروم من 2% إلى 4%، وعند زيادة نسبة الكروم إلى 6% تكون زيادة حد المتانة شديدة ويعزى هذا الأمر إلى تشكل الكربيدات في البنية. تؤثر نسبة الكروم في الخليطة في شدة الاهتراء فبزيادة نسبة الكروم تنخفض شدة الاهتراء بشدة. تؤثر نسبة الكروم في مقاومة التآكل الكيميائي بعد دراسة العينات في وسط شديد الفعالية لمدة 168 ساعة، حيث تمّت ملاحظة زيادة في مقاومة التآكل مع زيادة نسبة الكروم.**

**كلمات المفتاح: مساحيق المواد، الحديد، مقاومة الاهتراء، مقاومة التآكل.**

**المقدمة:**

يرتبط موضوع زيادة الإنتاج وخفض استهلاك الطاقات والمواد باستخدام مواد وتقانات جديدة. وتعدُّ ميتالورجيا المساحيق واحدة من هذه التقانات، حيث يتطور علم ميتالورجيا المساحيق في الوقت الحاضر بشكل سريع وذلك بسبب اقتصاديته وإمكانية الحصول على عناصر آلات ذات مواصفات خاصة.

تعدُّ مشكلة التآكل الاحتكاكي والاهتراء في أجزاء الآلات من بين أهم المشاكل التي تواجه الصناعات في الوقت الحاضر. ومن هنا ظهرت في هذا المجال عملية التطوير التقني العلمي للتغلب على المشاكل الاقتصادية الخاصة بأجزاء الآلات، وحاجتها إلى الإصلاح أو التبديل، مثل الاجزاء التي تتعرض إلى عملية الاهتراء والتآكل بالاحتكاك ضمن ظروف الاستثمار من حرارة وجو غازي وسائل نشط فعال. واتجهت في هذا المجال عملية التطوير التقني إلى ضرورة أن نستبدل بالطرائق التقليدية في عملية التصنيع طرائق حديثة، أكثر سرعة، وأكثر إنتاجية، وأحياناً أفضل نوعية وأطول عمراً، ضمن ظروف الاستثمار، مثل طريقة ميتالورجيا المساحيق المعدنية.

**مساحيق المواد ذات الأساس الحديدي:**

نشأت بداية علم ميثلورجيا المساحيق كعلم مستقل بذاته من قبل العالم فيدورتشنكو عام 1961 بعنوان أساسيات ميتالورجيا المساحيق ومن ثم تبعه العالم ليبنسون عام 1980، وكذلك بحوث علماء عدة بإشراف البروفسور شلوكوف عام 1992 وأجريت بحوث نظرية مختلفة لحل مشاكل كثيرة في علم مساحيق المواد في السنوات العشرين الأخيرة لعلماء كثيرين كسمسونوف وسككوروخود وكايزنكوب وهاوسنر وجونس اولينلا وغيرهم(1). ومن الضروري الإشارة إلى الاقتصاد في التقليل الكبير في الهدر باستخدام طريقة ميتالورجيا مساحيق في تحضير بعض عناصر أجزاء السيارات بحيث لا تتجاوز نسبة الهدر في فقدان المادة 7-10% في حين تصل نسبة الهدر في المادة عند استخدام الطرائق التقليدية كالسباكة أو الدرفلة بالمتابعة بعمليات الخراطة أو

التفريز التي تصل إلى 60%. كما أنّه من الضروري الإشارة إلى المجال الواسع في استخدام المساحيق المعدنية في الدهانات أو المواد المقاومة للحرارة أو الخلائط الانفجارية أو المواد المحفزة في تعدين المعادن الملدنة أوفي اللحام. ويقوم علم ميتالورجيا المساحيق على إنشاء مبادىء نظرية في تركيب مواد جديدة وكيفية تحضيرها، كما يدرس علم ميثلورجيا المساحيق إمكانية تركيب مواد ذات خواص مميزة بحيث يمكن الاعتماد عليها في حل مشاكل معدات الطاقة والأدوات الكهربائية وتقانات الفضاء والمفاعلات النووية وصناعة الآلات وتقانات الكمبيوتر وغيرها من مجالات الصناعة المختلفة.

تتألف مراحل ميثالورجيا المساحيق من المرحلة الأولى وهي: تصنيع المساحيق ذات الأنواع المختلفة بالطرائق الميكانيكية أو الطرائق الفيزيائية الكيميائية، ومن المرحلة الثانية تحضير الخليط المسحوقي، ومن المرحلة الثالثة تشكيل القطع المختلفة إما بالكبس على البارد أو الكبس على الساخن، وأخيراً المرحلة الرابعة تلبيد القطع للحصول على قطع متماسكة، وتسمى هذه المرحلة أيضاً بالمعالجة الحرارية في وسط معزول، ومن ثم معالجه القطع كيميائياً وحرارياً أو بالبلازما أو بالتفجير أو بالليزر من أجل الحصول على الخواص المطلوبة للقطع المنتجة بهذه الطريقة.

تكون المواد ذات الأساس الحديدي المقاومة للاحتكاك أكثر المواد استخداماً، وخاصة عند إضافة مواد محسنة ومقاومة للاحتكاك. يحضر على أساس الحديد مواد كثيرة منها الحديد المسامي الذي يتبلل بزيوت التشحيم، والحديد الغرافيتي وغيرها. وبطريقة إدخال مواد إضافية على أساس الحديد يمكن تشكيل مواد مقاومة للتآكل والاهتراء التي تستثمر في ظروف التحميل القاسي وسرعات انزلاق مرتفعة، وفي درجات حرارة مرتفعه، وفي اوساط غازية وسائلة فعالة، وكذلك في ظروف الاحتكاك الشديد. تعتمد البنية والخواص الميكانيكية النهائية لعناصر الآلات المصنعة بطريقة ميثالورجيا المساحيق على(1) تركيب الخليطة و(2)طريقة التحضير والكبس والتلبيد.

**1 –تأثير نسبة الغرافيت في الخواص الميكانيكية:**

تؤدي إضافة الغرافيت إلى مسحوق الحديد إلى رفع مقاومة الاحتكاك والخواص الميكانيكية( المتانة و القساوة ) وهذا مرتبط بوجود الاوستنيت، وتشبيع الحديد بالكربون بالإضافة إلى تلبيد دقائق الحديد مع بعضها والانتشار إلى أماكن الاتصال بين دقائق الحديد ودقائق الغرافيت، وكذلك عن طريق الطور الغازي وبهذا يتم الحصول على بنيات مختلفة وخواص ميكانيكية مختلفة. ويتوقف ذلك على تركيز الغرافيت ونظام التبريد، فمثلاً التبريد في الزيت لنسبة 3% غرافيت يعطي حد متانة 65.2 كغ/مم2 والقساوة 222 HB وأما في ثلاجة البراد فيصل حد المتانة إلى 35.5 كغ/مم2 والقساوة 87.3 HB. أما تأثير درجة حرارة التلدين في الخواص الميكانيكية بالنسبة 3% غرافيت وعند درجة حرارة تلدين 1000مْ تكون المتانة 28.4 كغ/مم2 والقساوة 60.7 HB أما عند درجة حرارة تلدين 1100 فتصل المتانة إلى 35.4 كغ/مم2 و القساوة 87.3 HB. يجب بعد التلدين لمدة ساعة أن يكون الكربون الحر أكثر من الكربون المتحد، ويجب ألاَّ تزيد نسبة الكربون المتحد على 1.2 %. وتكون أقل نسبة معامل احتكاك عند قيمة 5% غرافيت أما عند نسبة 2.5-3% احتواء العينة على الكربون فتكون نسبة معامل الاحتكاك جيدة، وزيادة الغرافيت تؤدي إلى زيادة معامل الاحتكاك. يفسر تأثير الغرافيت في خواص مقاومة الاحتكاك بأن الغرافيت في النسق البلوري يكون على هيئة طبقات تتفتت وتتحول إلى صفائح دقيقة تمتز الزيت مكونة تزيتاً غروانياً من الغرافيت والزيت.

تعمل كراسي التحميل المسامية المصنوعة من الحديد والغرافيت بسرعة أعلى بكثير من كراسي التحميل من البرونز وبديلاته. ويفسر ارتفاع مقاومة التآكل الاحتكاكي لكراسي التحميل المسامية بعدم وجود الاحتكاك الجاف نظراً لوجود الزيت المستمر في المسام وبانخفاض قيمة معامل الاحتكاك إلى قيم غير ملحوظة وبقابلية المواد

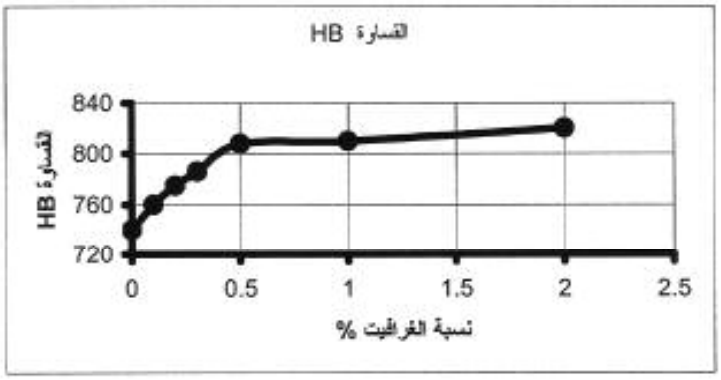
المسامية للتأقلم الجيد. وتزيد مقاومة التآكل الاحتكاكي لكراسي التحميل المصنوعة من الحديد والغرافيت مرتين عنها في حالة كراسي التحيمل المصنوعة من البرونز القصديري وأكثر كراسي التحيمل مقاومة للتآكل تلك التي لها بنية برليتية.

لتحديد النسبة المثالية للخلطات المقترحة تمت دراسة تأثير نسبة الغرافيت في الخواص الميكانيكية. من أجل ذلك تم تحضير عينات من الحديد والغرافيت بالنسب الآتية: (0)-(0.1%)-(0.2 %)–(0.3%)-(0.5%)-(1%)-(2%)، وأجريت الاختبارات وفق المواصفات القياسية الخاصة بذلك (2) حيث تم إجراء اختبارات القساوة بطريقة برينل وكذلك الشد والصدم على عينات مختلفة من حيث نسبة الغرافيت. ويبين الجدول رقم 1 نتائج هذه الاختبارات، ويبين الملحق1 أشكال العينات المستخدمة، حيث يتم من قبلنا تنفيذ قوالب لهذه العينات.

الجدول رقم 1 تأثير نسبة الغرافيت في الخواص الميكانيكية:

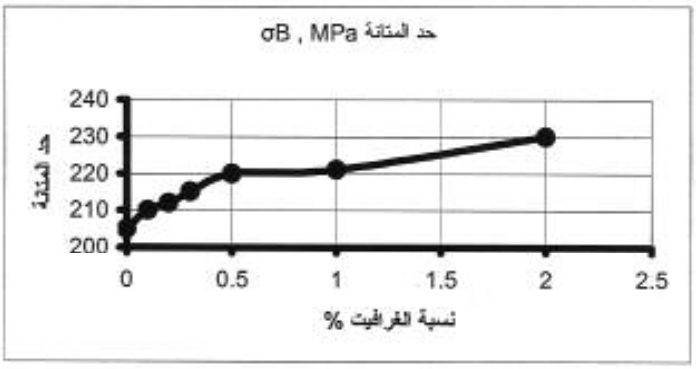
| نسبة الغرافيت % | القساوة HB | حد المتانة $\sigma_B$ , MPa | متانة الصدم ak, J/cm$^2$ |
|---|---|---|---|
| **0** | **740** | **205** | **29** |
| **0.1** | **760** | **210** | **28.3** |
| **0.2** | **775** | **212** | **27** |
| **0.3** | **786** | **215** | **25.5** |
| **0.5** | **808** | **220** | **21** |
| **1** | **810** | **221** | **13.5** |
| **2** | **820** | **230** | **8.2** |

توضح الأشكال 1 و2 و3 تغير الخواص الميكانيكية بتغير نسب الغرافيت في الحديد.



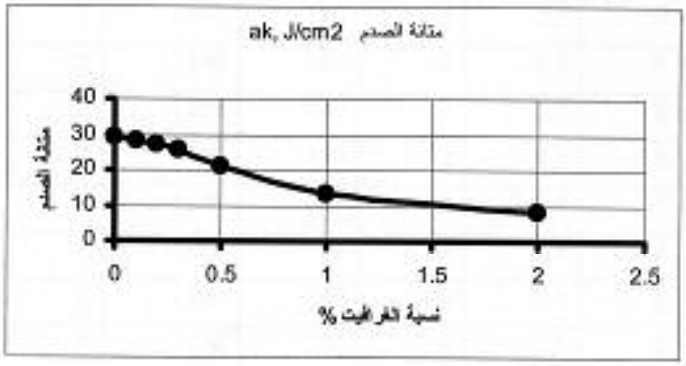

الشكل رقم 1

تأثير نسبة الغرافيت في القساوة




الشكل رقم 2

تأثير نسبة الغرافيت في المتانة




الشكل رقم 3
تأثير نسبة الغرافيت في متانة الصدم

تتناقص متانة الصدم بشكل مستمر مع زيادة نسبة الغرافيت، وذلك بسبب زيادة نسبة السمنتيت المتشكلة داخل البنية حيث ترتفع الهشاشية أيضاً أما المتانة والقساوة فتؤدي زيادة نسبة الغرافيت حتى 0.5% إلى زيادة سريعة لهذه الخواص، وعندما تكون نسب الغرافيت أعلى من 0.5% تكون زيادة المتانة والقساوة بشكل بطيء. ومع مقارنة الخواص عند النسب 0.5% و0.3% يكون الفرق في حد المتانة على الشد والقساوة لهذين النسبتين قليلاً جداً ولا يذكر، أما من ناحية متانة الصدم فإن النسبة 0.3% تملك متانة أكبر لذلك سنعتمد في الدراسة النسبة 0.3% من الغرافيت في متابعة البحث.

**2- تأثير نسبة الكروم في الخواص الميكانيكية:**

لدراسة تأثير الكروم تم اختبار عدد من الخلائط المسحوقية وقسمت العينات إلى ثلاث مجموعات A,B,C وفقا لنوع المعالجة الحرارية المنفذة على العينات. حيث لم يُجْرَ على المجموعة الأولى أي عمليات معالجة حرارية بعد عملية التلدين، أما المجموعتان الباقيتان فقد تم أجراء عمليات تقسية لهما ثم أجريَّ على مجموعة واحدة فقط عمليات الإرجاع. وبين الجدول رقم 2 نظام الكبس والتلدين والتركيب الكيميائي للعينات. ولتقييم تأثير نسب الخلط ونوع المعالجة الحرارية اختبرت العينات على الشد وكذلك قيست القساوة واعتبر حد المتانة والقساوة هو المؤثر في جودة الخلائط والمعالجة.

الجدول رقم 2:

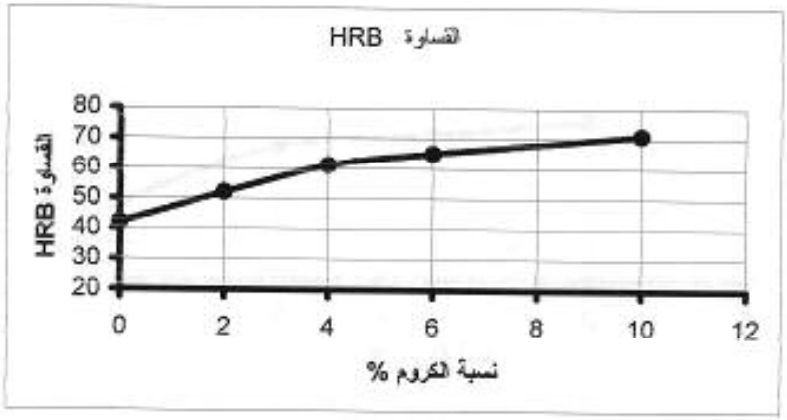
| رقم العينة | رمز العينة | نسبة الكربون % | نسبة النحاس % | نسبة الكروم % | ضغط الكبس MPa | درجة حرارة التلبيد $C^o$ | زمن التلبيد، ساعة | نوع المعالجة الحرارية اللاحقة |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | **0A** | **0** | **0** | **0** | **180** | **1100** | **2** | دون |
| **1** | **1A** | **0.3** | **0** | **0** | **180** | **1100** | **2** | تقسية |
| **2** | **2A** | **0.3** | **2.5** | **0** | **180** | **1100** | **2** | دون |
| **3** | **2B** | **0.3** | **2.5** | **0** | **180** | **1100** | **2** | تقسية |
| **4** | **3A** | **0.3** | **2.5** | **2** | **180** | **1100** | **2** | دون |
| **5** | **3B** | **0.3** | **2.5** | **2** | **180** | **1100** | **2** | تقسية |
| **6** | **3C** | **0.3** | **2.5** | **2** | **180** | **1100** | **2** | تقسية وإرجاع |
| **7** | **4A** | **0.3** | **2.5** | **4** | **180** | **1100** | **2** | دون |
| **8** | **4B** | **0.3** | **2.5** | **4** | **180** | **1100** | **2** | تقسية |
| **9** | **4C** | **0.3** | **2.5** | **4** | **180** | **1100** | **2** | تقسية وإرجاع |
| **10** | **5A** | **0.3** | **2.5** | **6** | **180** | **1100** | **2** | دون |
| **11** | **5B** | **0.3** | **2.5** | **6** | **180** | **1100** | **2** | تقسية |
| **12** | **5C** | **0.3** | **2.5** | **6** | **180** | **1100** | **2** | تقسية وإرجاع |
| **13** | **6A** | **0.3** | **2.5** | **10** | **180** | **1100** | **2** | دون |

**التقسية: تسخين إلى درجة حرارة 900 درجة مئوية لمدة 15 دقيقة ثم تبريد بالماء والإرجاع: تسخين إلى درجة حرارة 200 درجة مئوية**

تبين الجداول 3 و4 و5 قيم القساوة وحد المتانة للعينات المختبرة المصنفة في ثـــلاث مجموعات وفق نوع المعالجة الحرارية. أما الأشكال4، 5 ،6،7،8،9 فتبين تأثير نسبة الكروم في الخليطة على هذه الخواص الميكانيكية.

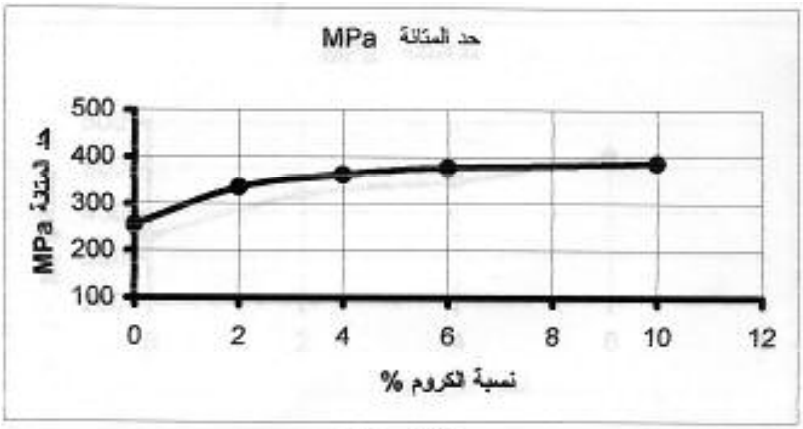
الجدول رقم 3: المجموعة الأولى: تبريد داخل الفرن

| رمز العينة | نسبة الكروم % Cr | القساوة HRB | حد المتانة MPa |
|---|---|---|---|
| 2A | 0 | 42 | 254 |
| 3A | 2 | 52 | 335 |
| 4A | 4 | 61 | 362 |
| 5A | 6 | 65 | 377 |
| 6A | 10 | 71 | 386 |




الشكل رقم 4

تأثير نسبة الكروم في القساوة دون معالجة

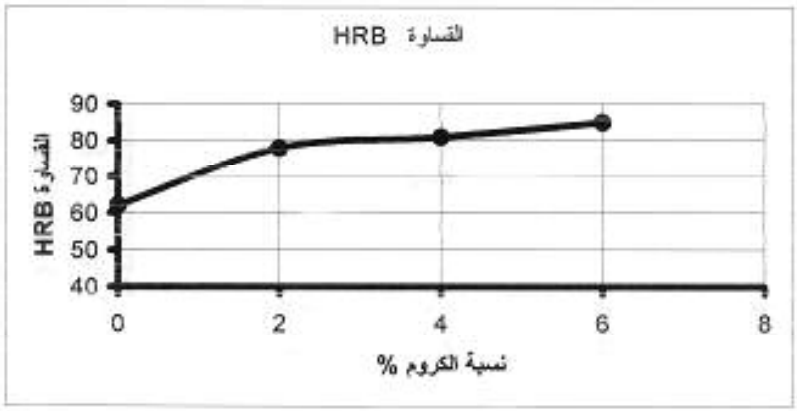



الشكل رقم 5

تأثير نسبة الكروم في المتانة دون معالجة

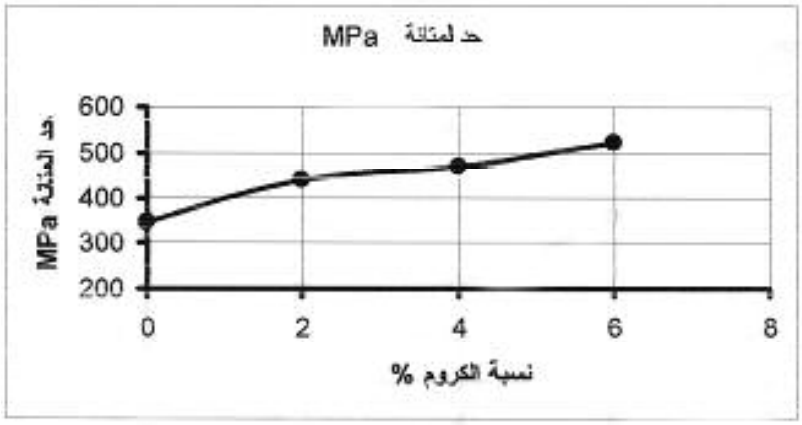
الجدول رقم 4: المجموعة الثانية: نقسية

| رمز العينة | نسبة الكروم % Cr | القساوة HRB | حد المتانة MPa |
|---|---|---|---|
| 2B | 0 | 62 | 345 |
| 3B | 2 | 78 | 440 |
| 4B | 4 | 81 | 470 |
| 5B | 6 | 85 | 520 |




الشكل رقم 6

تأثير نسبة الكروم في القساوة بعد التقسية

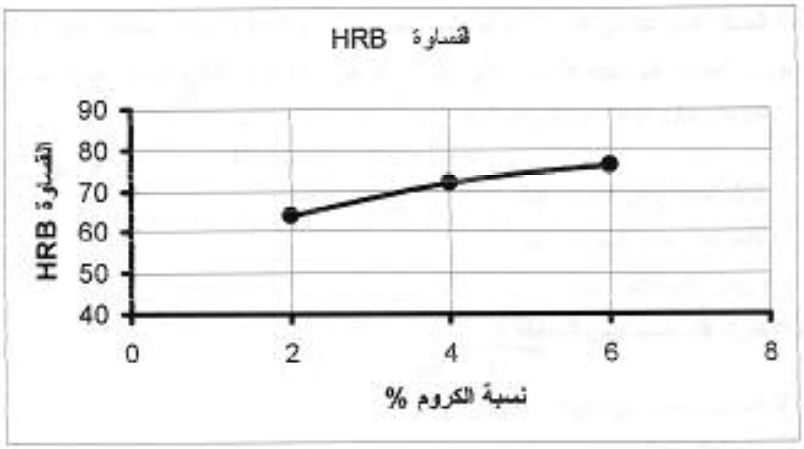



الشكل رقم 7

تأثير نسبة الكروم في المتانة بعد التقسية

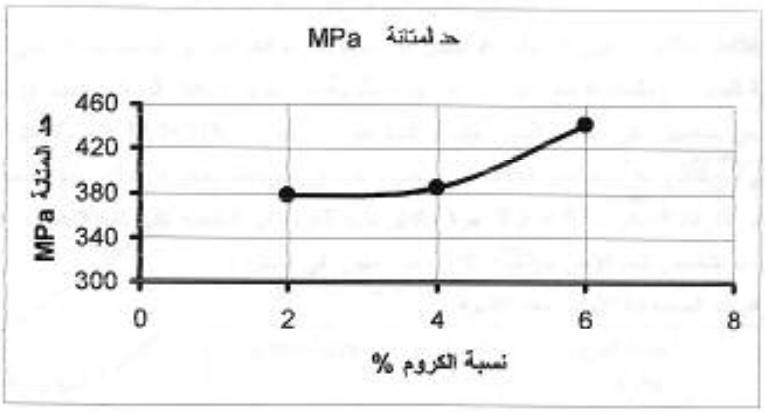
الجدول رقم 5: المجموعة الثالثة: تقسية وإرجاع

| رمز العينة | نسبة الكروم % Cr | القساوة HRB | حد المتانة MPa |
|---|---|---|---|
| 3C | 2 | 64 | 378 |
| 4C | 4 | 72 | 385 |
| 5C | 6 | 76 | 442 |




الشكل رقم 8

تأثير نسبة الكروم في القساوة بعد التقسية والإرجاع




الشكل رقم 9

تأثير نسبة الكروم في المتانة بعد التقسية والإرجاع

من دراسة الجداول والأشكال المذكورة تبين ما يأتي: تتشابه العلاقة بين نسبة الكروم والقساوة مع العلاقة بين نسبة الكروم وحد المتانة(حيث تلاحظ زيادة في القساوة والمتانة مع زيادة نسبة الكروم) في حالة عدم المعالجات الحرارية. وترتفع القساوة والمتانة عند التقسية. تزداد القساوة والمتانة مع زيادة نسبة الكروم في المجموعات التي تعرضت للتقسية. يختلف بعد الإرجاع شكل العلاقة بين نسبة الكروم والقساوة وحد المتانة عنه قبل الإرجاع ، حيث تزداد القساوة بشكل ملحوظ عند زيادة نسبة الكروم.

**3-تحديد مقاومة الاهتراء:**

تم على جهاز اختبار المواد على الاحتكاك تحديد مقاومة الاهتراء للمواد في ظروف الاحتكاك الانزلاقي، ومبدأ عمل هذا الجهاز هو اختبار عينة اسطوانية مع قرص الاحتكاك المصنوع من الفولاذ المسقي تحت تأثير حمل P ، حيث يدور قرص الاحتكاك بسرعة انزلاق 1 m/sec، ويبين الملحق 2 مخطط هذا الجهاز الذي نفذ من قبلنا. تم الاختبار تحت حمل 1MPa ومسافة احتكاك 1 km وقيس حجم الاهتراء

بوزن العينات قبل الاختبار وبعده على ميزان حساس بدقة 0.001 g، وذلك بعد غسل العينة بالكحول وتجفيفها. حسبت قيمة الاهتراء وفق المعادلة:

$$K=\Delta G/s\tau \quad Kg/m^2.sec$$

$\Delta G$ الضياع في الوزن kg

$S$ مساحة سطح العين $m^2$ m

$\tau$ زمن الاحتكاك sec

أما شدة الاهتراء فقد حسبت من المعادلة:

$$I=V/L \quad mm^3 / km$$

حيث $V$ الحجم المفقود من العينة $mm^3$

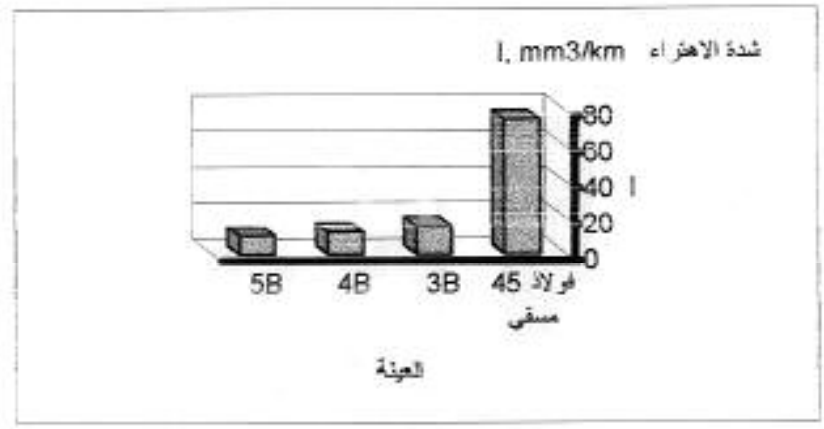
$L$ مسافة الاحتكاك km

درست مقاومة الاهتراء لمجموعتين فقط من العينات. المجموعة الأولى بعد التقسية والمجموعة الثانية بعد التقسية والإرجاع أي المجموعات B,C وذلك في ظروف الاحتكاك الانزلاقي الجاف ولمسافة 1 km وسرعة انزلاق 1m/sec، وذلك انطلاقاً من علاقة الاهتراء بسرعة الانزلاق التي وضحها كوزنتسوف Kuznetso V.D بمنحنى بياني بيّن أن أكبر شدة اهتراء تكون عند هذه السرعة. أما الحمولة فكانت 1MPa. يبين الجدول 6 والشكل 10 شدة اهتراء العينات من المجموعة B التي تعرضت فقط لعملية التقسية . وبالمقارنة مع شدة اهتراء عينة نظامية من الفولاذ St45 المسقي نجد أن العينات المصنعة من مساحيق على أساس الحديد تمتلك شدة اهتراء تساوي: 13.7-21%من شدة اهتراء الفولاذ 45 المسقي ومن ثَمَّ فإنَّ عناصر الآلات التي تصنع من هذه الخلائط يمكن أن تملك مدة خدمة تفوق مثيلاتها من الفولاذ

المسقي ب 4.8-7.3 مرة. تؤثر نسبة الكروم في الخليطة في شدة الاهتـــراء فبزيـــادة نسبة الكروم تنخفض شدة الاهتراء انخفاضاً كبيراً وهذا مبين في الشكل 11.

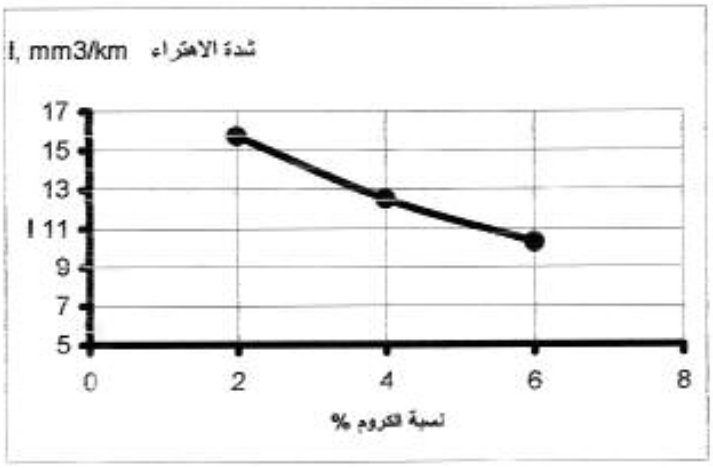
الجدول رقم 6: المجموعة الأولى: بعد التقسية

| العينة | نسبة الكروم % Cr | شدة الاهتراء I, $mm^3/km$ |
|---|---|---|
| فولاذ 45 مسقي | – | 75 |
| 3B | 2 | 15.7 |
| 4B | 4 | 12.5 |
| 5B | 6 | 10.3 |




الشكل رقم 10

شدة اهتراء العينات B



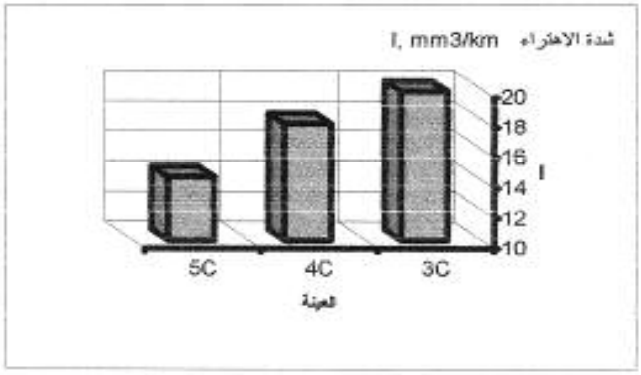

الشكل رقم 11

تأثير نسبة الكروم في شدة الاهتراء بعد التقسية

عند اختبار عينات المجموعة C التي تعرضت بعد التقسية إلى عملية إرجاع ارتفعت شدة الاهتراء قليلاً بالنسبة لعينات المجموعة B ، وذلك لانخفاض قساوة الخليطة.ويبين الجدول 7 والشكل 12 شدة اهتراء عينات هذه المجموعة. ومع ذلك بالمقارنة مع شدة اهتراء الفولاذ ST 45 المسقي فإنَّ شدة اهتراء عينات هذه المجموعة تساوي 18.9-26.5% من اهتراء الفولاذ المسقي ومن ثَمَّ فإن مدة اهتراء العناصر المصنعة من هذه الخلائط تزداد ب 5.3-3.8 مرة عن العناصر المصنعة من الفولاذ المسقي.

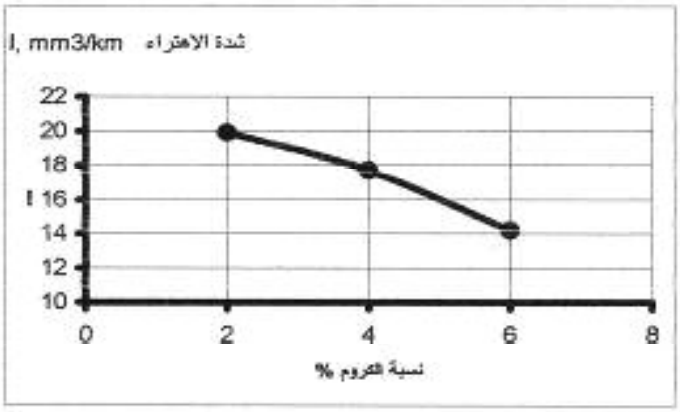
جدول رقم 7: المجموعة الثانية: تقسية وإرجاع

| العينة | نسبة الكروم % Cr | شدة الاهتراء $I, mm^3/km$ |
|---|---|---|
| 3C | 2 | 19.9 |
| 4C | 4 | 17.7 |
| 5C | 6 | 14.2 |




الشكل رقم 12
شدة اهتراء العينات C

يبين الشكل 13 تأثير نسبة الكروم في شدة اهتراء عينات الخليطة بعد التقسية والإرجاع ويلاحظ انخفاض شدة الاهتراء مع زيادة نسبة الكروم وهذا يعود إلى تشكل الكربيدات فى بنية المادة.




الشكل رقم 13
تأثير نسبة الكروم في شدة الاهتراء بعد التقسية والإرجاع

**4–مقاومة التآكل الكيميائي**

لدراسة التآكل الكيميائي في الخلائط المدروسة ومن أجل تسريع عملية التآكل تم اختيار محلول محضر فعال هو محلول حمض الآزوت بالماء $HNO_3$ 10%. حددت مقاومة التآكل الكيميائي للعينات بطريقة الوزن قبل الاختبار وفي أثنائه. نظفت العينات قبل الاختبار من الزيوت والشحوم بغسلها بالكحول وبعد التجفيف تم وزن العينات على ميزان حساس بدقة 0.001 g ثم وضعت العينات في وعاء زجاجي يحتوي على المحلول الحمضي ، وحدد فقدان الوزن من خلال وزن العينات كل 24 ساعة ، وذلك بعد إزالة منتجات التآكل الكيميائي عن سطح العينة بغسلها تحت تيار مائي قوي، ثم جففت العينات ووزنت واستمرت العملية سبعة أيام. وحسب التآكل الكيميائي عن طريق النقص بالوزن وفق المعادلة:

$$W=\Delta G/s \qquad Kg/m^2$$

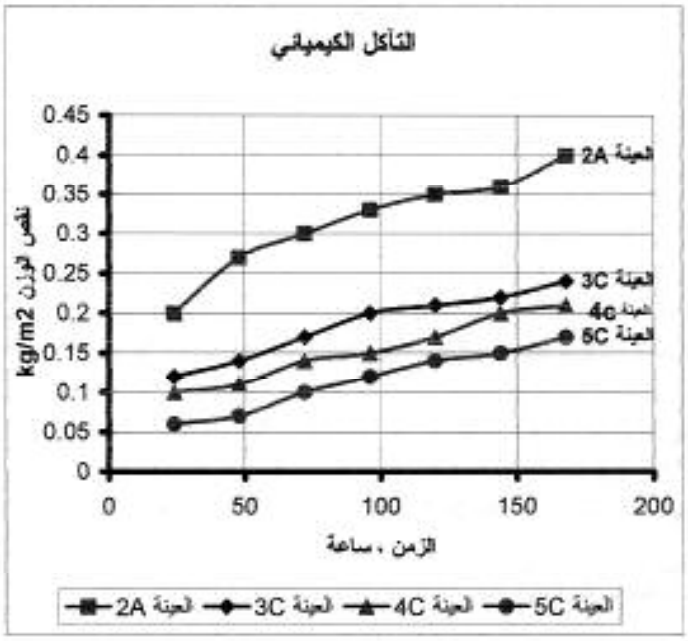
$\Delta G$ الوزن الضائع من العينة Kg

S مساحة سطح العينة $m^2$

يبين الجدول 8 مقدار نقص الوزن ( التآكل) للعينات خلال زمن 168 ساعة. كما يبين الشكل 14 علاقة مقدار التآكل مع الزمن لمختلف العينات المدروسة؛ حيث يلاحظ أن مقدار التآكل للعينات C دائماً أقل من العينات A. كما يبين الشكل 15 تأثير نسبة الكروم في مقاومة التآكل بعد 168 ساعة حيث يلاحظ زيادة مقاومة التآكل( انخفاض التآكل ) مع زيادة نسبة الكروم.

الجدول رقم 8: مقاومة التآكل الكيميائي، المحلول الفعال المستخدم $HNO_3$ 10%

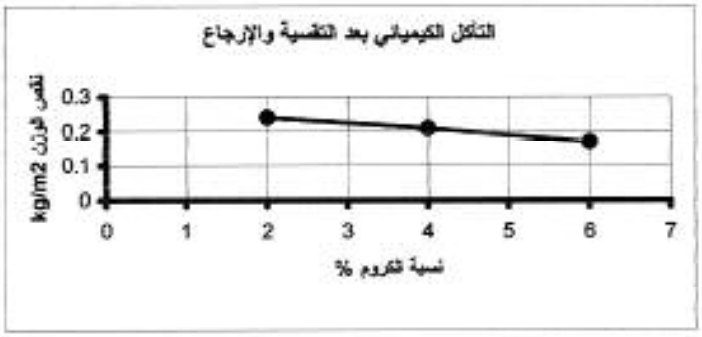
| الزمن ، ساعة | نقص الوزن G, kg/m2 | | | |
|---|---|---|---|---|
| τ | العينة 2A | العينة 3C | العينة 4C | العينة 5C |
| 24 | 0.2 | 0.12 | 0.1 | 0.06 |
| 48 | 0.27 | 0.14 | 0.11 | 0.07 |
| 72 | 0.3 | 0.17 | 0.14 | 0.1 |
| 96 | 0.33 | 0.2 | 0.15 | 0.12 |
| 120 | 0.35 | 0.21 | 0.17 | 0.14 |
| 144 | 0.36 | 0.22 | 0.2 | 0.15 |
| 168 | 0.4 | 0.24 | 0.21 | 0.17 |




الشكل رقم 14

علاقة مقاومة التآكل الكيميائي مع الزمن

التآكل الكيميائي للعينات C بعد 168 ساعة




الشكل رقم 15

تأثير زيادة نسبة الكروم في مقاومة التآكل الكيميائي ( العينات C بعد 168 ساعة )

بدراسة النتائج المدروسة أعلاه وبمقارنة طبيعة عمل بعض عناصر الآلات من حيث كونها تعمل في ظروف احتكاك نتيجة السرعات النسبية العالية والأوساط الفعالة نقترح تصنيع العناصر الأكثر تحميلاً من الخلطات ذات الرمز (4B,Cr Cr%4 4C, (4%),(5B Cr6%),(5C,Cr 6%)(الذي يبين الجدول 2 تركيبها ونظام تبريدها) لما لهذه الخلطات من قساوة ومتانة عالية ومقاومة اهتراء وتآكل عالية.

**النتائج:**

1- تؤثر طريقة الكبس في خواص المنتج النهائي.

2- تؤثر نسبة الغرافيت الداخلة في الخلطة في الخواص الميكانيكية فتزداد القساوة وحد المتانة وتنخفض متانة الصدم ويرتبط ذلك بوجود الاوستنيت.

3- تعدُّ البنية البرليتية هي الأكثر جودة للاستعمال، أما البنية السمنتيتية فتؤدي إلى ارتفاع معامل الاحتكاك ولكنها تزيد مقاومة الاحتكاك.

4- النسبة المثلى للغرافيت في الخلائط الحديدية هي 0.3% وذلك لأنها توفق بين متانة الصدم العالية ومتانة الشد.

5- إدخال النحاس في الخليط يقوم أثناء عملية التلبيد بالانصهار وإملاء الفراغات وأفضل نسبة نحاس كانت 2.5%.

6- أدخل الكروم بثلاث نسب 6%، 4%،2% ودرس، تأثير زيادة نسبة الكروم في رفع المتانة والقساوة.

7- تتشابه العلاقة بين نسبة الكروم والقساوة مع العلاقة بين نسبة الكروم وحد المتانة في حالة عدم المعالجات الحرارية، ويلاحظ زيادة في القساوة والمتانة مع زيادة نسبة الكروم.

8- ترتفع القساوة والمتانة عند التقسية.

9- تزداد القساوة والمتانة مع زيادة نسبة الكروم في المجموعات التي تعرضت للتقسية.

10- بعد الإرجاع يختلف شكل العلاقة بين نسبة الكروم والقساوة وحد المتانة عنه قبل الإرجاع ، حيث تزداد القساوة بشكل ملحوظ عند زيادة نسبة الكروم .

11- في ظروف الاحتكاك الجاف تملك العينات التي تعرضت لعملية التقسية شدة اهتراء تساوي % 21 -13.7 بالنسبة لشدة اهتراء الفولاذ St 46 المسقي، ومن ثَمَّ ترتفع مدة خدمة العناصر المصنعة من هذه الخلطات على مدة خدمة مثيلاتها من الفولاذ المسقي ب 4.8- -7.3 مرات.

12- تؤدي زيادة نسبة الكروم إلى انخفاض شدة الاهتراء بشده سواء بعد التقسية أو بعد التقسية والإرجاع.

13- بعد الإرجاع تصبح شدة اهتراء العينات تساوي 18.9-26.5% من شدة اهتراء الفولاذ المسقي. ومن ثَمَّ ترتفع مدة خدمة هذه العناصر إلى 3.8-5.3 مره من العناصر المصنعة من الفولاذ المسقي.

14- يتناقص التآكل الكيميائي مع زيادة نسبة الكروم.

15- يؤدي استخدام مساحيق المواد إلى وفر اقتصادي في المواد والطاقات.

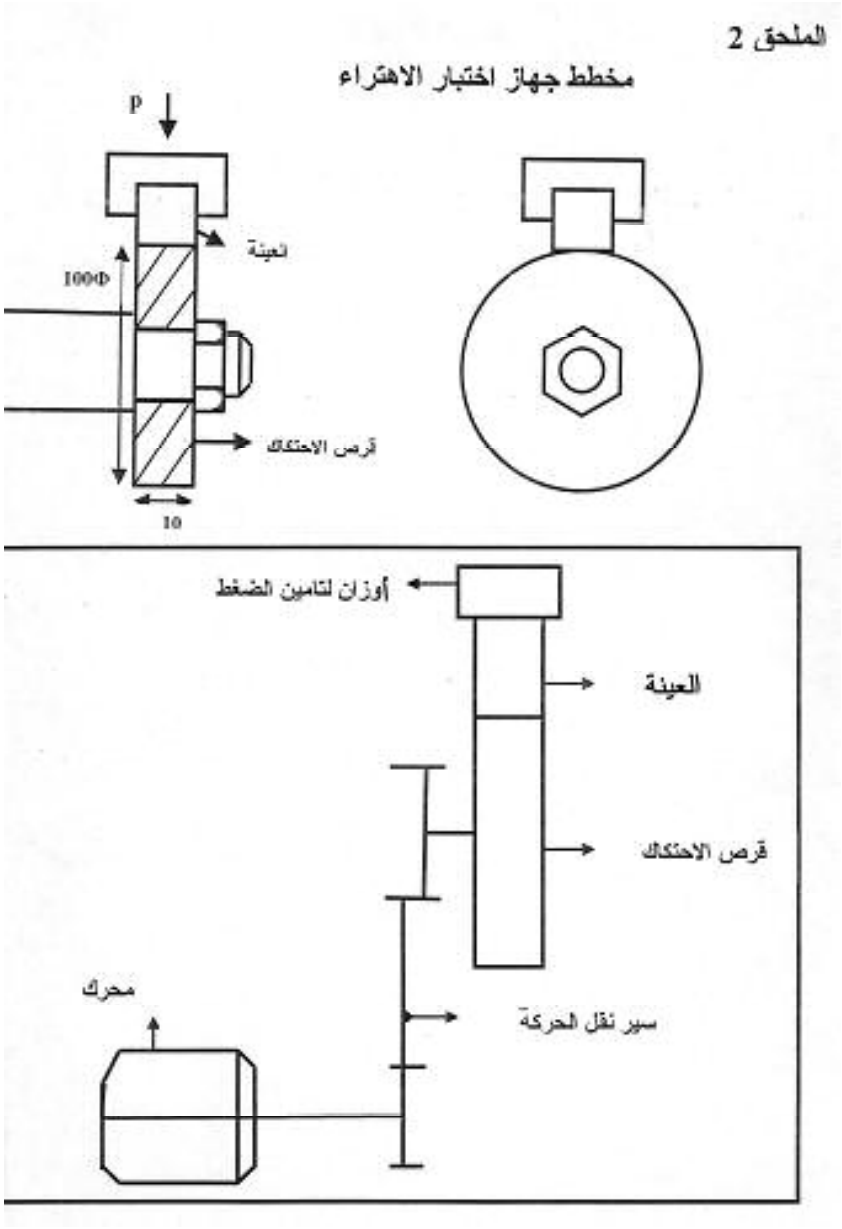
**ملاحظة :**تم تنفيذ البحث في مخابر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق، وتم تصنيع قوالب العينات وجهاز اختبار الاحتكاك من قبلنا. وهذا البحث جزء من رسالة الماجستير.

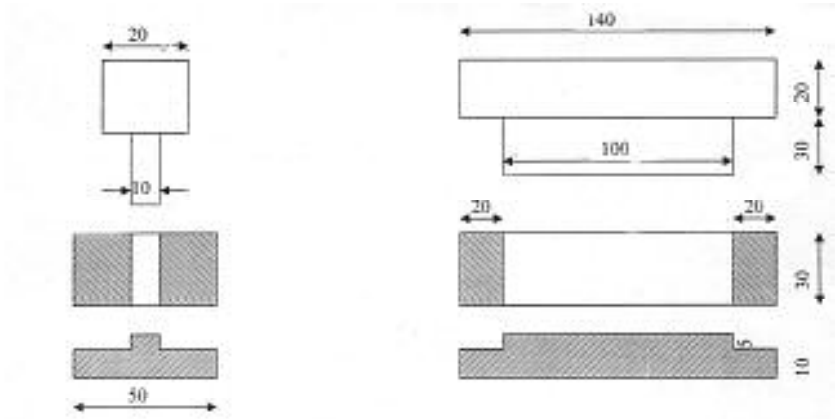
**المراجع المستخدمة:**

1-S.SARITAS, "Powder Metallurgy", Handbook of Mechanical Engineering , Chamber of Mechanical Engineering , Ankara , Turkey , 1994, vol .1 , 2-64/2-82.
2-I.M. FIDROTSHENKO, "Powder Metallurgy", Handbook, Kiev 1985 .
3 – بيرماكوف ، فيازينكوف ،" استخدام منتجات ميثالورجيا المساحيق في الصناعه" ، 1986 دار مير
R.GERMAN , "Powder Metallurgy Science" .USA 1989,277P .4-
5-C.DOGAN and S .SARITAS,"Metal Powder Production by Centrifugal Atomi –zation" , Int. Powder Metallurgy Con -90 , Pittsburgh , USA, 1990.
6-GORDON DOWSON ,"Powder Metallurgy / The process and its products /" 1990 167P.
7-Advances in Powder Technology , ASM ,Materials Science Seminar .USA 1981 ,348P.
8-S.SARITAS , Editor , Proceedings of First National Powder Metallurgy Conference , Ankara ,Turkey, 1996,768 Pages .
9-R.G. Icocca, P. Downs and R.M.German , " The Effect of Powder Characteristics on Particle Size Measurements , " Advances in Powder Metallurgy and Particulat Materials – 1996, Metal Powder Industries Federation , P rinceton , NJ , 1996 , pp.4.63-4.80.
10-A . Upadhyaya and R.M.German, " Control of Distortion during Liquid Phase Sintering , " Plansee Plansee Proceedings , Vol .2, Fourteenth I nternational Plansee Seminar , Plansee AG , Reutte,Austria, 1997, PP.68-85.
11-R.M .German , " Powder Metallurgy and Sintering ,"Fifth World Congress of Chemical Engineers , vol .VI American institute of Chemical Engineer , New York ,NY , 1996, PP.22-26.
12-R.Tandon and R.M. German , "Sintering and Mechanical Properties of a Boron –Doped Austenitic Stainless Steel," International Journal of Powder Metallurgy, 1998,vol.34,no.1,pp.40-49
13-Second Powder Metallurgy Conference with International Participation , Ankara, 1999.
14-S.SARITAS, "Ceramics ", Handbook of Mechanical Engineering , Chamber of Mechanical Engineering , Ankara, Turkey , 1994,vol.1,2-101/2-115.

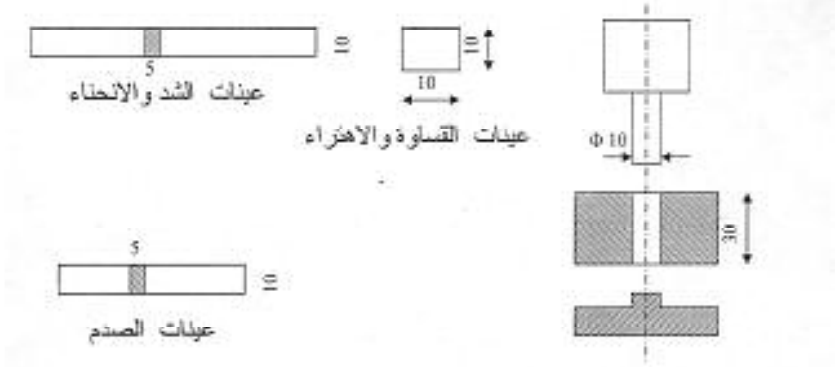
الملحق 2

مخطط جهاز اختبار الاهتراء

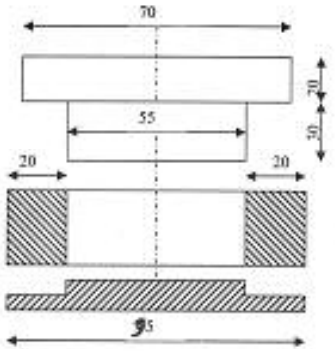


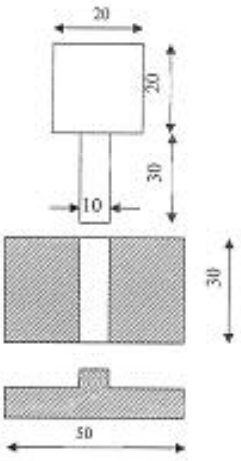



قالب عينة الشد والانحناء




قالب العينة الاسطوانية

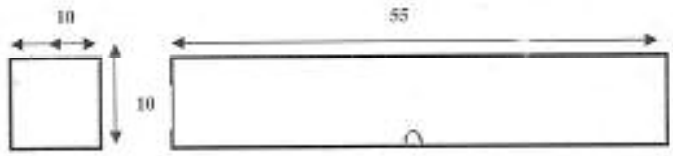


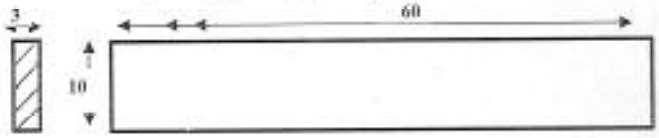

قالب عينات الصدم

الملحق1

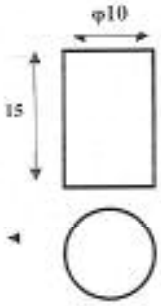
عينة اختبار الصدم




عينة اختبار الشد والانحناء




عينة اختبار القساوة والاهتراء والتآكل الكيميائي




تاريخ ورود البحث إلى جامعة دمشق2004/3/23.