

## Loss of the Thermal Power in the Rolling Bearings at Different Speeds and Loads

Hazar Mhanna\*

(Received 26 / 6 / 2019. Accepted 1 / 12 / 2019)

### □ ABSTRACT □

Rolling bearing is considered to be one of the helpful elements that facilitate the function of different mechanisms, because it works as a mechanical tool that allows the rotational movement of the dynamic parts which have a relative movement within, and its main function is to reduce the friction between the shafts and the holes that holding them.

A study of different types of the rolling bearings, according to the effect of speed and load on its performance, has done at this research experimentally by using a test apparatus, which allows measuring the thermal power loss of bearings by put it up on the device then provided it with the rotational motion through the electrical control panel. Reading the stability temperature of rolling bearings has done by using a thermal sensor at the speed of rotation 2000 [rpm].

The obtained results show that the thermal power loss of the Ceramic bearing is less than the Steel one. The thermal power loss with high speeds is less in the Self-aligning ball bearing comparing to the Spherical roller bearing and the Double row deep groove ball bearing. And the thermal power loss is less in the Spherical roller bearing comparing to the Double row deep groove ball bearing and that is till the approximate angular speed  $\omega = 630$  [rad/s] and after this speed the thermal power loss will increase.

**Keywords:** rolling bearing, speed, load, stability temperature.

---

\* Academic Assistant, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## ضياع الطاقة الحرارية في المحامل الدحرجية عند سرعات وأحمال مختلفة

هزار مهنا\*

(تاريخ الإيداع 26 / 6 / 2019. قُبِلَ للنشر في 1 / 12 / 2019)

### □ ملخّص □

يعد المحمل الدحرجي من العناصر المساعدة في عمل مختلف الآليات؛ إذ يعمل كأداة ميكانيكية، تتحكم بالحركة الدورانية للأجزاء المتحركة حركة نسبية فيما بينها؛ وتتركز وظيفته في تقليل الاحتكاك والتآكل بين أعمدة الدوران، والأجسام الحاملة لها.

تم في هذا البحث دراسة أنواع مختلفة من المحامل الدحرجية من ناحية تأثير كل من السرعة والحمل على أدائها، وفق منحى تجريبي عن طريق استخدام جهاز اختبار، يسمح بقياس ضياع الطاقة الحرارية في المحامل، وذلك بتركيبها على الجهاز، ثم إعطائها الحركة الدورانية بواسطة لوحة التحكم الكهربائية، وباستخدام جهاز الحساس الحراري تمت قراءة درجة حرارة الاستقرار للمحامل الدحرجية عند سرعة الدوران [rpm] 2000.

أظهرت النتائج أن المحمل المصنوع من مادة السيراميك، يحصل فيه ضياعاً للطاقة الحرارية أقل بكثير من المحمل المصنوع من مادة الفولاذ. ويحصل في المحمل الكروي ذاتي المحاذاة ضياعاً أقل للطاقة الحرارية عند السرعات العالية بالمقارنة بالمحمل الدحرجي البرميلي، والمحمل الكروي ذو المجرى العميق مزدوج الصف. ويحصل في المحمل الدحرجي البرميلي ضياعاً أقل للطاقة الحرارية بالمقارنة بالمحمل الكروي ذي المجرى العميق مزدوج الصف، وذلك حتى السرعة الزاوية  $\omega = 630$  [rad/s] تقريباً، ليحصل بعد هذه السرعة ضياعاً أعلى للطاقة الحرارية.

**الكلمات المفتاحية:** محمل دحرجي، سرعة، حمل، درجة حرارة الاستقرار.

\* عضو هيئة فنية - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**مقدمة:**

قد لا تخلو آلة ما من أجزاء تدور، أو تتردد أو تتأرجح، ولنقل الحركة لهذه الأجزاء نستعمل المحاور، التي يجب أن تركز على ما نسميه بالمحامل، وهنا تبرز أهمية المحمل كجزء من الآلة يتحكم بتوجيه الأجزاء المتحركة ويعمل على تقليل الاحتكاك والتآكل وتمكين الأجزاء الدائرة والمنزلة من الحركة بسلاسة، وإن أي خلل (عطل) يصيب المحامل سواءً بسبب أخطاء في التصنيع، والتجميع غير الدقيق أو بسبب طبيعة التشغيل القاسية (بيئية أو فنية)، سيؤدي ذلك حتماً إلى فشل في عمل الآلية [1].

يتألف المحمل بشكل رئيسي من العناصر التالية:

- الحلقتين: حلقة خارجية تتصل بغلاف المحمل والأخرى داخلية تثبت بمحور الدوران.
- الأجسام التدرجية: ولها تصاميم مختلفة قد تكون كروية، أو اسطوانية، أو مخروطية، أو إبرية... الخ وتسمح بالحركة النسبية بين الحلقتين الداخلية والخارجية.
- تصنع الأجسام التدرجية عادةً من الفولاذ الصلب وهو ذو صلادة عالية، ومقاوم للحرارة والاحتكاك والتآكل، وهناك نوع آخر أنتج حديثاً وأصبح شائعاً وهو دحارج السيراميك والذي يتميز عن سابقاته بصلادة أكثر بنسبة 20%، وعمر أطول، ووزن أخف بنسبة 50% واحتكاك وتآكل أقل.
- هيكل قفصي الشكل: وهو يفصل ما بين الأجسام التدرجية داخل المحمل، ويقوم بتثبيتها بالنسبة إلى بعضها البعض [2].

تم في هذا البحث دراسة أربعة أنواع مختلفة من المحامل الدحرجية حصلنا عليها من شركة SKF العالمية [3]، حيث تم تجهيز هذه المحامل كأزواج، من أجل اختبارها عند سرعات وأحمال مختلفة وقياس ردة فعلها على ضياع الطاقة الحرارية وهي:

1. محملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف (double row deep groove ball) مفتوح ذو تصميم (4211 ATN9): وهي محامل تستخدم بشكل أساسي في علب السرعة، مناسبة من أجل السرعات العالية والعالية جداً، قوية عند التشغيل، تتطلب صيانة قليلة وغير قابلة للتفكيك، وإن التطابق المحكم بين مدارج الكريات والكريات نفسها يجعل هذه المحامل قادرة على التكيف مع الأحمال المحورية بكلا الاتجاهين، بالإضافة للأحمال القطرية حتى عند السرعات العالية [4]، كما هو مبين بالشكل (1).



الشكل (1): مخطط لمحمل كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف من الفولاذ الصلب

2. محملين من نوع دحرجي برميلي (spherical roller) مفتوح ذو تصميم (E 22211\*): وهي محامل لها صفان من الدحارج مع مدرجة دحارج ذات شكل منحني في الحلقة الخارجية ومدرجتي دحارج في الحلقة الداخلية تميل كل منهما بزاوية بالنسبة لمحور المحمل، تكون الدحارج ذات شكل برميلي أي يأخذ سطحها شكلاً منحنياً، مما

يسمح بزيادة مساحة الاحتكاك وتخفيض الضغط من جهة وتطابق أكبر ما بين المدارج والدحارج من جهة أخرى، لذا تستطيع هذه المحامل أن تتكيف مع الأحمال القطرية الكبيرة بالإضافة للأحمال المحورية الكبيرة بكل الاتجاهين، وتستخدم عادةً عندما تتعرض المحاور إلى تحنيب [5]، كما هو مبين بالشكل (2).



الشكل (2): مخطط لمحمل دحروجي برميلي من الفولاذ الصلب

3. محملين من نوع كروي ذاتي المحاذاة (self-aligning ball) مفتوح ذو تصميم (2211 ETN9): وهي محامل تصلح للأحمال القطرية والمحورية، لها صفيين من الكريات ومدرجة كريات ذات شكل منحني في الحلقة الخارجية مع إمكانية دوران هذه الكريات مع القفص الحاوي لها بالنسبة لمحور المحمل بشكل قطري، تعد هذه المحامل ذاتية الضبط إذ يمكن تدارك عدم التسامت ما بين المحور وغللاف المحمل، فهي لا تتأثر بانحناء الأعمدة أو أخطاء الموازنة، وتتميز بأنها ذات احتكاك أقل بالمقارنة مع المحامل الأخرى، لذا يمكن أن تبرد بشكل أسرع حتى عند السرعات العالية [6]، كما هو مبين بالشكل (3).



الشكل (3): مخطط لمحمل كروي ذاتي المحاذاة من الفولاذ الصلب

4. محملين من نوع كروي ذي تلامس زاوي مزدوج الصف (Ceramic double row angular contact ball) وهي محامل مصنوعة من مادة السيراميك، تصلح للأحمال العالية في الاتجاهين القطري والمحوري، لها زوج من مدارج الكريات في الحلقة الداخلية والخارجية، وتتميز بوجود زاويتي احتكاك، حيث تزداد استطاعة تحمل الحمل المحوري كلما زادت قيمة زاوية الاحتكاك، كما تتحمل هذه المحامل القوى المحورية في الاتجاهين معاً [7]، كما هو مبين بالشكل (4).



الشكل (4): مخطط لمحمل كروي ذي تلامس زاوي مزدوج الصف من السيراميك

### أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى الأهمية العلمية للبحث في تحديد العمر الزمني الأمثل للمحامل الدحروجية عند سرعات وأحمال مختلفة، وفي ظروف التشغيل الصناعي وتتنحصر أهداف هذا البحث بما يلي:

1. مقارنة لصياح الطاقة الحرارية في المحملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف كتابع للحمل المؤثر.

2. دراسة تأثير الحمل على ضياح الطاقة الحرارية في المحامل الدحرجية عند السرعات العالية.
3. مقارنة لضياح الطاقة الحرارية كتابع للسرعة الزاوية بين محملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف مصنوعين من مادة الفولاذ، ومحملين من نوع كروي ذي تلامس زاوي مزدوج الصف مصنوعين من مادة السيراميك، وذلك عند الحمولة نفسها.
4. مقارنة لضياح الطاقة الحرارية كتابع للسرعة الزاوية لكل من المحامل الكروية ذات المجاري العميقة مزدوجة الصف والمحامل الدحرجية البرميلية والمحامل الكروية ذاتية المحاذاة، وذلك عند الحمولة نفسها.
5. المقارنة بين نتائج قياس درجة حرارة الاستقرار للمحامل عند سرعة الدوران 2000 [rpm] ونتائج الاختبارات التي تمت على قياس ضياح الطاقة الحرارية.

### طرائق البحث ومواده:

قمنا بإجراء التجارب على المحامل المشار إليها سابقاً، وهي تملك المواصفات الهندسية الأساسية التالية:

- القطر الخارجي  $D = 100$  [mm].
- القطر الداخلي  $d = 55$  [mm].
- العرض  $B = 25$  [mm].

وذلك عن طريق جهاز اختبار ضمن مخبر آلات التشغيل في جامعة تشرين، كما هو مبين بالشكل (5). حيث يتألف الجهاز من الأجزاء الأساسية التالية:

1. محور معدني دوار.
2. محرك كهربائي.
3. دولاب احتكاكي.
4. حساس كهرومغناطيسي.
5. مكبس هوائي.
6. نظام التغذية والتحكم الكهربائي.

يقوم المحرك الكهربائي ذو الاستطاعة 7.5 [HP] بتدوير المحور الذي يرتكز على محملين عن طريق الدولاب الاحتكاكي المركب على محور المحرك نفسه، يركب القرص الأملس على أحد طرفي المحور، بينما يوجد الحساس الكهرومغناطيسي على الطرف الآخر، والذي يقيس سرعة الدوران كتابع للزمن من خلال اللوحة الرقمية الموجودة على لوحة التحكم الكهربائية.



الشكل (5): جهاز الاختبار المستعمل

يهدف دراسة تأثير الحمل على ضياع الطاقة الحرارية في المحامل الدحرجية، تم تركيب أقراص ملساء بأوزان مختلفة على الطرف الحر من محور الجهاز، تعطى مواصفاتها الهندسية ضمن الجدول (1).

الجدول(1): المواصفات الهندسية للأقراص الملساء

السماكة $\delta$ [mm]	القطر الخارجي $D_1$ [mm]	الوزن $m$ [Kg]	مادة القرص
24	203	5,605	حديد
24	203	2,065	ألومنيوم
24	203	0,465	خشب

تولد هذه الأقراص في محلي الجهاز (b,a)، حيث المحمل a هو المحمل البعيد عن القرص والمحمل b هو المحمل القريب من القرص، قوى قطرية ( $R_b, R_a$ )، موضحة في الشكل(6).



الشكل (6): القوى القطرية المؤثرة في محلي الجهاز

وتعطى قيمها ضمن الجدول (2).

الجدول (2): قيم القوى القطرية المؤثرة في محلي الجهاز

$R_a$ [N]	$R_b$ [N]	مادة القرص
45.5558	119.256	حديد
53.10103	76.9834	ألومنيوم
56.5113	57.87713	خشب

عند وصول سرعة الدوران للجملة ( محور + قرص ) إلى القيمة العظمى المطلوبة، فإنه يتم فصل الجملة عن مصدر الطاقة الكهربائية، وتترك لتتباطأ تحت تأثير ضياح الطاقة الحرارية في المحملين، بينما يقوم الحساس الكهرومغناطيسي بتسجيل سرعة الدوران كتابع للزمن.

بتطبيق نظرية الطاقة الحركية على الجملة (محور + قرص) نحصل على الضياح الكلي كتابع لتحويلات السرعة وفق العلاقة التالية[8]:

$$P = I_0 \cdot a \cdot \omega \quad (1)$$

حيث إن:

$P$ : الضياح الكلي بوحدة [W].

$I_0$ : عزم العطالة القطبي الكلي للجملة ( محور + قرص ) بوحدة [Kg. m<sup>2</sup>].

$a$ : التباطؤ الزاوي.

$\omega$ : السرعة الزاوية بوحدة [rad/s].

يتم تحديد عزم العطالة القطبي الكلي من خلال جمع عزم العطالة الناتج عن دوران المحور وعزم العطالة الناتج عن دوران القرص الأملس.

$$I_0 = I_{\text{محور}} + I_{\text{قرص}} \quad (2)$$

نحصل على عدد دورات المحور عن طريق اللوحة الرقمية الموجودة داخل لوحة التحكم الكهربائية، عندها نستطيع حساب السرعة الزاوية من خلال العلاقة التالية:

$$\omega = \pi n/30 \quad (3)$$

حيث إن:

$n$ : سرعة الدوران بوحدة [rpm].

ويتم حساب التباطؤ الزاوي من خلال العلاقة التالية:

$$a = \Delta\omega/\Delta t = (\omega_2 - \omega_1)/(t_2 - t_1) \quad (4)$$

حيث إن:  $t_1, t_2$ : الزمن الأولي والنهائي للقياس.

يتم الحصول على ضياح الطاقة الحرارية في المحامل الدحروجية بتطبيق العلاقة (1)، ومن أجل سهولة القراءة والتحليل، تم استخدام برنامج حاسوبي (fitting) لتمليس النقاط التجريبية، وتحديد درجة كثير الحدود (وكانت من الدرجة الثالثة). ومن أجل قياس درجة حرارة الاستقرار لكل من المحامل الدحروجية المختبرة، يستخدم جهاز الحساس الحراري، وهو عبارة عن جهاز ليزر حراري يصدر أشعة تحت حمراء، بهدف قراءة درجة حرارة الأجسام التي لا يمكن الدخول إليها على أن لا تقل المسافة بين الجسم والحساس الحراري عن 15 سم. كما هو مبين بالشكل (7).

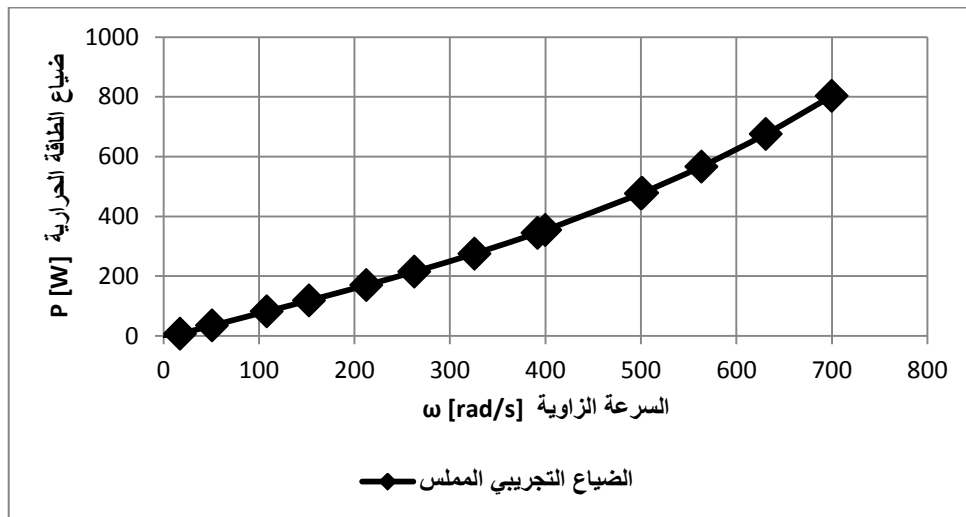


الشكل (7): الحساس الحراري

## النتائج والمناقشة:

### التجربة الأولى:

تم في هذه التجربة تركيب قرص مصنوع من مادة الحديد على أحد طرفي محور الجهاز الذي ركب عليه محملان من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف ذو تصميم (4211 ATN9) مصنوعان من مادة الفولاذ الصلب. ويمثل الشكل (8) تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية.



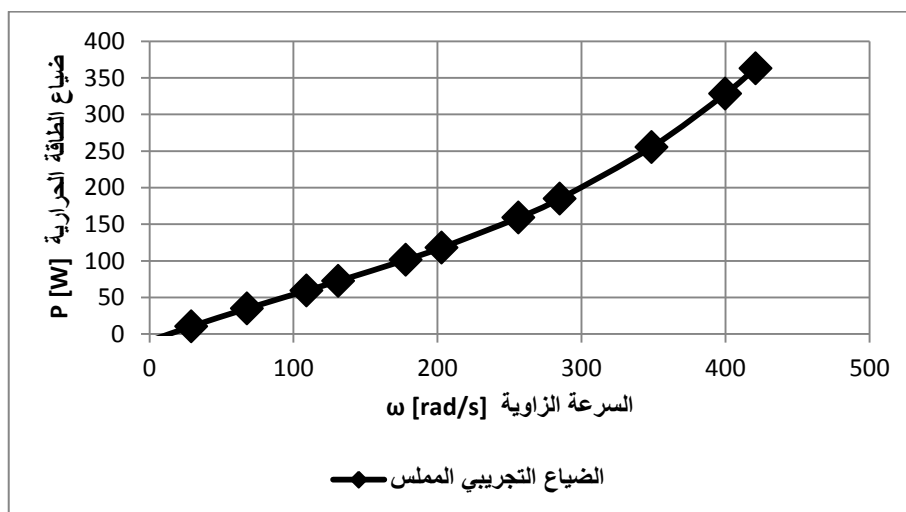
الشكل (8): تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية من أجل قرص الحديد

يظهر الشكل (8) ازدياد ضياع الطاقة الحرارية في المحملين مع ازدياد السرعة الزاوية.

### التجربة الثانية:

تمت هذه التجربة باستبدال قرص الحديد بقرص مماثل له بالأبعاد الهندسية مصنوع من مادة الألمنيوم وبوجود نفس نوع المحملين السابقين.

ويمثل الشكل (9) تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية.



الشكل (9): تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية من أجل قرص الألمنيوم

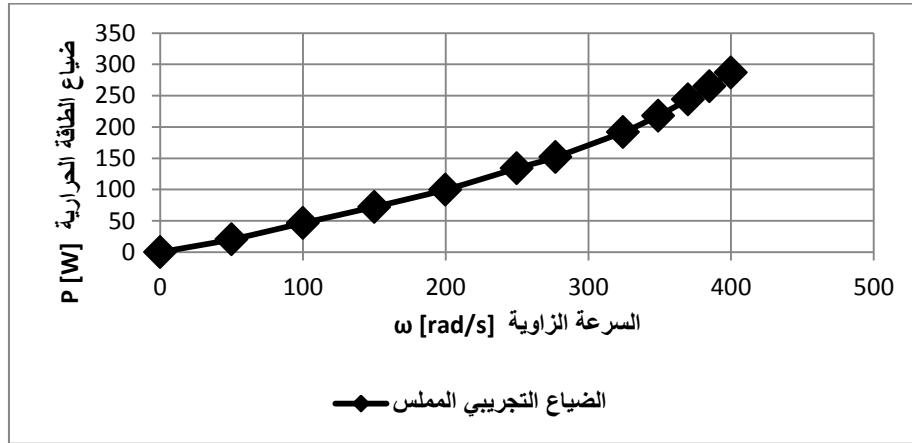


يظهر الشكل (9) ازدياد ضياع الطاقة الحرارية في المحملين مع ازدياد السرعة الزاوية. نلاحظ من هذا الشكل انخفاضاً في ضياع الطاقة الحرارية في المحملين بالمقارنة مع الشكل (8)، وهو ناتج عن انخفاض في قيمة الحمل المؤثر، لأن قرص الألمنيوم أخف وزناً من قرص الحديد.

#### التجربة الثالثة:

تمت هذه التجربة بالاستعاضة عن قرص الألمنيوم بقرص مصنوع من مادة الخشب، له نفس الأبعاد الهندسية، وبوجود نفس نوع المحملين السابقين.

ويمثل الشكل (10) تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية.

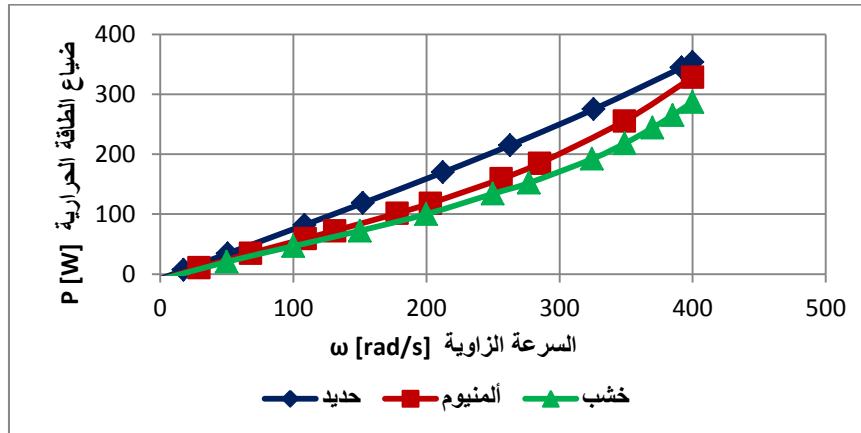


الشكل (10): تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية من أجل قرص الخشب

يظهر الشكل (10) ازدياد ضياع الطاقة الحرارية في المحملين مع ازدياد السرعة الزاوية. نلاحظ من هذا الشكل انخفاضاً في ضياع الطاقة الحرارية في المحملين بالمقارنة مع كل من الشكلين (8) و(9)، وهو ناتج عن انخفاض في قيمة الحمل المؤثر في كلا المحملين، لأن وزن قرص الخشب أخف من وزني القرصين السابقين.

#### مقارنة بين التجارب الأولى والثانية والثالثة:

يمثل الشكل (11) مقارنة لضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للحمل المؤثر.



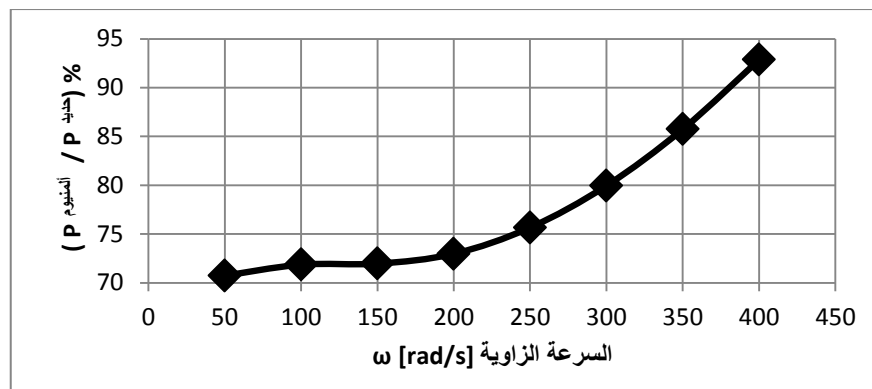
الشكل (11): مقارنة لضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للحمل المؤثر من أجل أقراص الحديد والألمنيوم والخشب

يظهر الشكل (11) الانخفاض بضياع الطاقة الحرارية في المحملين مع انخفاض قيمة الحمل المؤثر والعكس صحيح. على سبيل المثال، عند السرعة الزاوية  $\omega = 250$  [rad/s]، كان ضياع الطاقة الحرارية في المحملين على النحو التالي:

مادة القرص	قرص حديد	قرص ألومنيوم	قرص خشب
P[W]	203	154	134

**تأثير الحمل على ضياع الطاقة الحرارية في المحامل الدحرجية عند السرعات العالية:**

يمثل الشكل (12) النسبة المئوية، لضياع الطاقة الحرارية في المحملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف عند تركيب قرص الألومنيوم إلى ضياع الطاقة الحرارية في نفس نوع المحملين عند تركيب قرص الحديد، كتابع للسرعة الزاوية.



الشكل (12): النسبة المئوية، لضياع الطاقة الحرارية في المحملين عند تركيب قرص الألومنيوم إلى ضياع الطاقة الحرارية في المحملين عند تركيب قرص الحديد، كتابع للسرعة الزاوية

يظهر الشكل (12) ازدياد النسبة المئوية مع ازدياد السرعة الزاوية مما يعني انخفاض تأثير الحمل على ضياع الطاقة الحرارية في المحملين عند السرعات العالية.

على سبيل المثال، عند السرعة الزاوية  $\omega = 250$  [rad/s]، كان ضياع الطاقة الحرارية في المحملين عند تركيب حمولة الألومنيوم يشكل حوالي 76% من ضياع الطاقة الحرارية في المحملين عند تركيب حمولة الحديد.

بينما بلغ ضياع الطاقة الحرارية في المحملين عند تركيب حمولة الألومنيوم حوالي 93% من ضياع الطاقة الحرارية في المحملين عند تركيب حمولة الحديد، وذلك عند السرعة الزاوية  $\omega = 400$  [rad/s].

#### التجربة الرابعة:

تم في هذه التجربة تركيب قرص الخشب على أحد طرفي محور الجهاز الذي ركب عليه محملين من نوع كروي ذي تلامس زاوي مزدوج الصف، وهما محملان مصنوعان من مادة السيراميك.

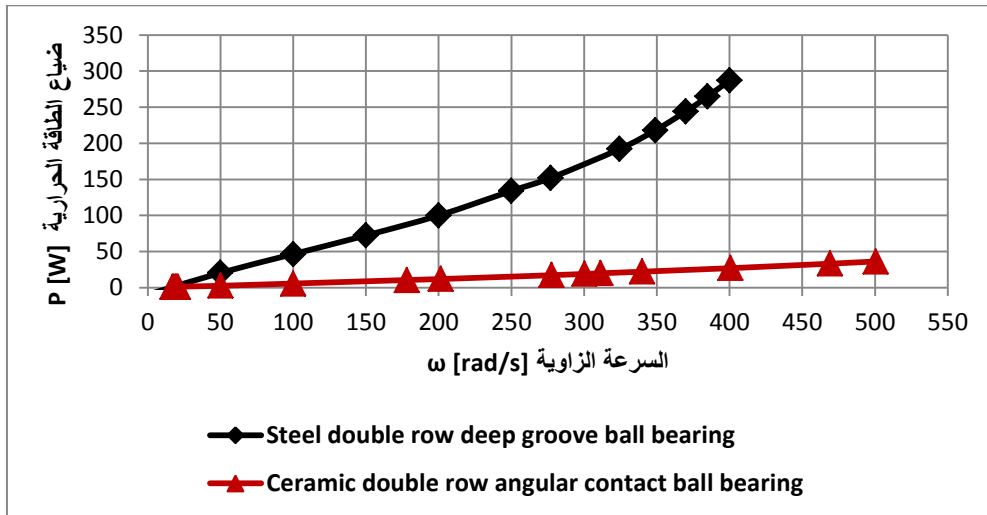
ويمثل الشكل (13) تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية.



الشكل (13): تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية

يظهر الشكل (13) الازدياد بضياع الطاقة الحرارية في المحملين مع ازدياد السرعة الزاوية، إلا أن الضياع كان في حدوده الدنيا، ويعزى ذلك إلى نعومة سطحي المحملين المصنوعين من مادة السيراميك. مقارنة بين التجربة الثالثة والرابعة:

من أجل توضيح تأثير نوع المادة التي يصنع منها المحمل، يمثل الشكل (14) مقارنة لضياع الطاقة الحرارية كتابع للسرعة الزاوية بين محملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصنف مصنوعين من مادة الفولاذ، ومحملين من نوع كروي ذي تلامس زاوي مزدوج الصنف مصنوعين من مادة السيراميك، وذلك عند نفس الحمولة المتمثلة بقرص الخشب.



الشكل (14): مقارنة لضياع الطاقة الحرارية بين محملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصنف مصنوعين من مادة الفولاذ ومحملين من نوع كروي ذي تلامس زاوي مزدوج الصنف مصنوعين من مادة السيراميك، من أجل قرص الخشب

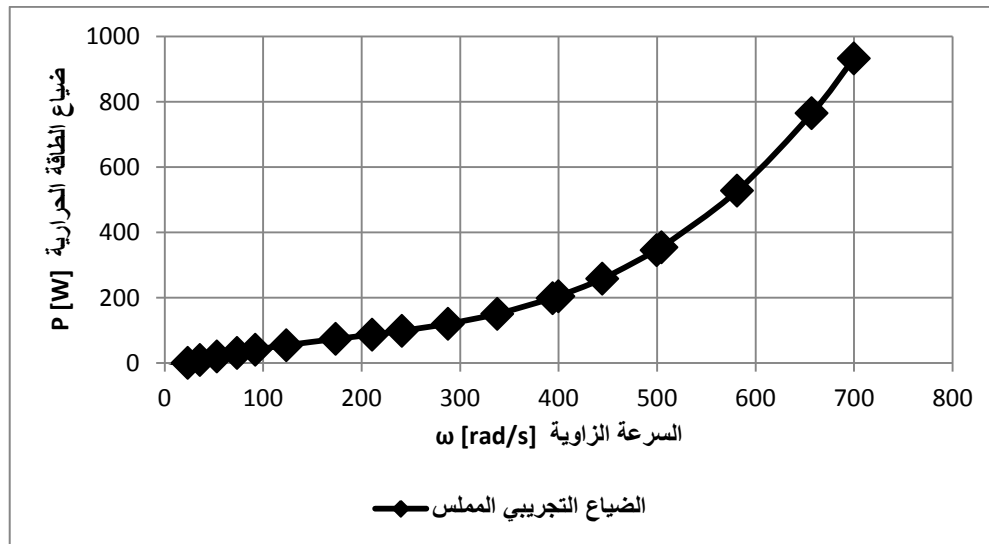
يظهر الشكل (14) الانخفاض الكبير بضياع الطاقة الحرارية في المحملين من نوع كروي ذي تلامس زاوي مزدوج الصف المصنوعين من مادة السيراميك بالمقارنة بضياع الطاقة الحرارية في المحملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف المصنوعين من مادة الفولاذ.

ويعزى ذلك إلى إمكانية تصنيع سطوح ذات نعومة كبيرة بالنسبة لمادة السيراميك، وهو الأمر الذي لا يمكن الحصول عليه بالنسبة لمادة الفولاذ، حيث انخفض ضياع الطاقة الحرارية أكثر من عشر مرات عند السرعة الزاوية  $\omega=300$  [rad/s]، مما يشير إلى مناسبة استخدام المحامل المصنوعة من مادة السيراميك عند السرعات العالية، إلا أنه من أهم مساوئها عدم تحملها للصدمات المفاجئة.

#### التجربة الخامسة:

تم في هذه التجربة تركيب قرص الحديد على أحد طرفي محور الجهاز الذي ركب عليه محملان من نوع دحروجي برميلي ذو تصميم (E 22211\*) مصنوعان من مادة الفولاذ الصلب.

ويمثل الشكل (15) تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية.



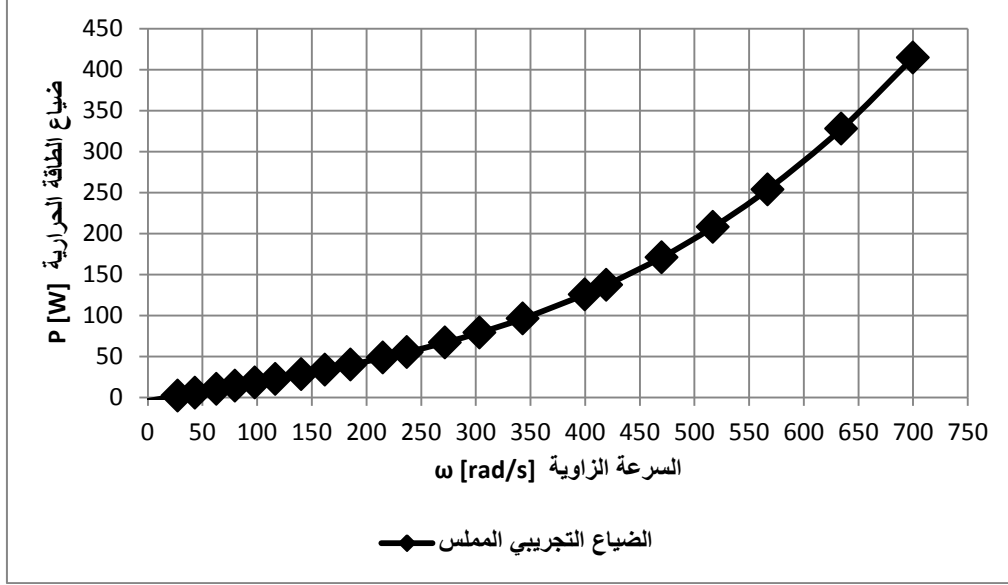
الشكل (15): تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية من أجل قرص الحديد

يظهر الشكل (15) ازدياد ضياع الطاقة الحرارية في المحملين مع ازدياد السرعة الزاوية.

#### التجربة السادسة:

تم في هذه التجربة تركيب محملان من نوع كروي ذاتي المحاذاة مفتوح ذو تصميم (ETN9 2211) مصنوعان من مادة الفولاذ الصلب، وذلك عند نفس الحمولة السابقة المتمثلة بقرص الحديد.

ويمثل الشكل (16) تغير ضياع الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية.

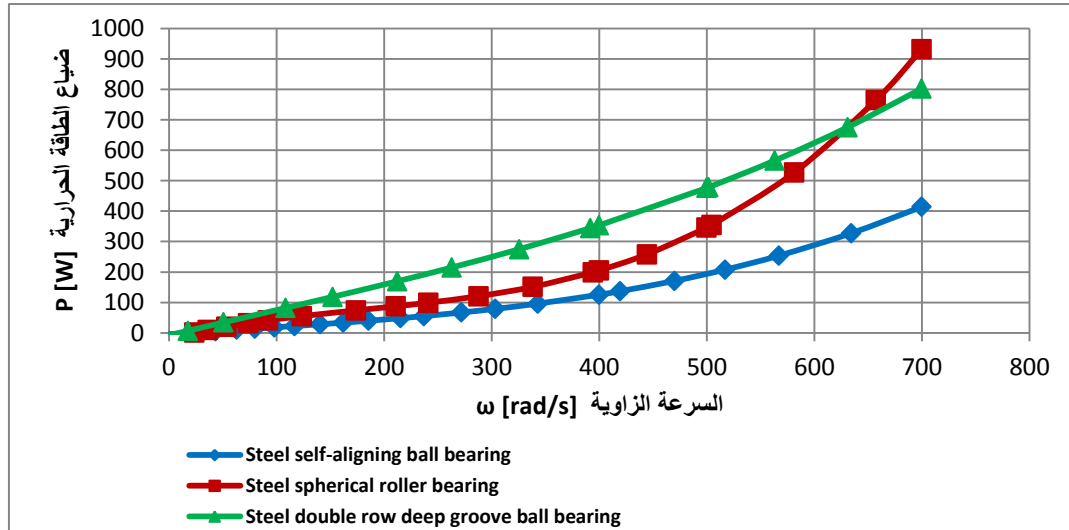


الشكل (16): تغير ضياح الطاقة الحرارية في المحملين كتابع للسرعة الزاوية من أجل قرص الحديد

يظهر الشكل (16) ازدياد ضياح الطاقة الحرارية في المحملين مع ازدياد السرعة الزاوية.

مقارنة بين التجارب الأولى والخامسة والسادسة:

يمثل الشكل (17) مقارنة لضياح الطاقة الحرارية كتابع للسرعة الزاوية لكل من المحامل الكروية ذات المجاري العميقة مزدوجة الصف والمحامل الدحرجية البرميلية والمحامل الكروية ذاتية المحاذاة وذلك عند تركيب نفس الحمولة المتمثلة بقرص الحديد.



الشكل (17): مقارنة لضياح الطاقة الحرارية كتابع للسرعة الزاوية لكل من المحامل (كروية ذات مجاري عميقة مزدوجة الصف، دحرجية برميلية، كروية ذاتية المحاذاة) من أجل نفس حمولة الحديد

يظهر الشكل (17) ما يلي: يحصل في المحملين من نوع كروي ذاتي المحاذاة ضياحاً أقل للطاقة الحرارية عند السرعات العالية بالمقارنة بالنوعين الآخرين، وهذا يعود إلى التصميم الهندسي لهذا النوع من المحامل، والذي يمكن أن

يأخذ فيه المحمل وضعاً تكون فيه نقاط الاحتكاك أقل ما يمكن، الأمر الذي يضمن عدم ارتفاع درجة الحرارة حتى عند السرعات العالية.

من جهة أخرى، يحصل في المحملين من نوع دحروجي برميلي ضياعاً أقل للطاقة الحرارية بالمقارنة بالمحملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف، وذلك حتى السرعة الزاوية  $\omega = 630$  [rad/s] تقريباً، ليحصل بعد هذه السرعة ضياعاً أعلى للطاقة الحرارية، وهذا يشير إلى أن المحامل من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف يمكن استعمالها عند سرعات أعلى بالمقارنة بالمحمل الدحروجية البرميلية، وذلك من وجهة نظر حرارية.

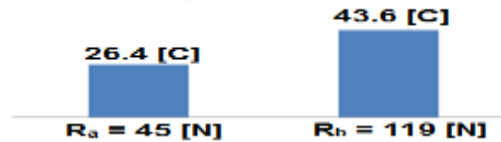
#### نتائج قياس درجة حرارة الاستقرار في المحامل الدحروجية:

بالإضافة إلى الاختبارات التي أجريت على قياس ضياع الطاقة الحرارية، تم قياس درجة حرارة الاستقرار في المحامل، لأن ضياع الطاقة الحرارية يتحول إلى حرارة تطرح ضمن عناصر المحمل المختلفة، وباستخدام جهاز الحساس الحراري أخذت درجة الحرارة في جميع التجارب عند سرعة الدوران 2000 [rpm] بعد أن وصلت إلى حالة الاستقرار أي لم تتغير مهما طال مدة التجربة.

#### التجربة الأولى:

تم في هذه التجربة تركيب قرص الحديد على أحد طرفي محور الجهاز الذي ركب عليه محملان من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف، حيث إن المحمل b هو المحمل القريب من القرص، بينما المحمل a هو المحمل البعيد عن القرص.

وأخذت درجة الحرارة لكلا المحملين عند سرعة الدوران 2000 [rpm] بعد أن وصلا إلى حالة الاستقرار، كما هو موضح في الشكل (18)، حيث كانت درجة حرارة الوسط المحيط تساوي  $22[^\circ\text{C}]$ .



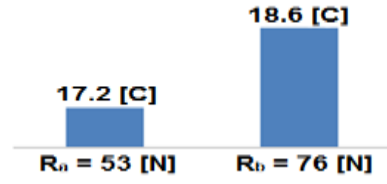
الشكل (18): درجتي حرارة الاستقرار لمحملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف عند تركيب حمولة الحديد

يظهر الشكل (18)، أن درجة حرارة المحمل b القريب من القرص والتي تساوي  $43.6 [^\circ\text{C}]$  أعلى من درجة حرارة المحمل a البعيد عن القرص والتي تساوي  $26.4 [^\circ\text{C}]$ ، وهذا يعود إلى أن القوة المطبقة على المحمل b والتي تساوي  $119$  [N] أكبر من القوة المطبقة على المحمل a والتي تساوي  $45$  [N].

#### التجربة الثانية:

تم في هذه التجربة تركيب قرص الألمنيوم بدلاً من قرص الحديد على أحد طرفي محور الجهاز الذي ركب عليه نفس نوع المحملين المشار إليه سابقاً.

وأخذت درجة الحرارة لكلا المحملين عند سرعة الدوران 2000 [rpm] بعد أن وصلا إلى حالة الاستقرار، كما هو موضح في الشكل (19)، حيث كانت درجة حرارة الوسط المحيط تساوي  $13 [^\circ\text{C}]$ .



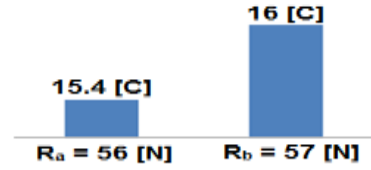
الشكل (19): درجتي حرارة الاستقرار لمحملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف عند تركيب حمولة الألمنيوم

يظهر الشكل (19)، أن درجة حرارة المحمل b القريب من القرص والتي تساوي  $18.6 [^{\circ}\text{C}]$  أعلى من درجة حرارة المحمل a البعيد عن القرص والتي تساوي  $17.2 [^{\circ}\text{C}]$ ، وهذا يعود إلى أن القوة المطبقة على المحمل b والتي تساوي  $76 [N]$  أكبر من القوة المطبقة على المحمل a والتي تساوي  $53 [N]$ .

#### التجربة الثالثة:

تم في هذه التجربة تركيب قرص الخشب بدلاً من قرص الألمنيوم على أحد طرفي محور الجهاز الذي ركب عليه نفس نوع المحملين المشار إليه سابقاً.

وأخذت درجة الحرارة لكلا المحملين عند سرعة الدوران  $2000 [rpm]$  بعد أن وصلا إلى حالة الاستقرار، كما هو موضح في الشكل (20)، حيث كانت درجة حرارة الوسط المحيط تساوي  $13 [^{\circ}\text{C}]$ .



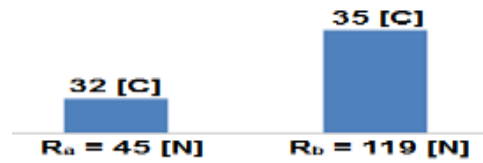
الشكل (20): درجتي حرارة الاستقرار لمحملين من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف عند تركيب حمولة الخشب

يظهر الشكل (20)، أن درجة حرارة المحمل b القريب من القرص والتي تساوي  $16 [^{\circ}\text{C}]$  قريبة من درجة حرارة المحمل a البعيد عن القرص والتي تساوي  $15.4 [^{\circ}\text{C}]$ ، وهذا يعود إلى أن قيمة القوة المطبقة على المحمل b والتي تساوي  $57 [N]$  قريبة من قيمة القوة المطبقة على المحمل a والتي تساوي  $56 [N]$ .

بالمحصلة، نلاحظ من خلال الأشكال (18)، (19) و(20)، أن المحامل الكروية ذات المجاري العميقة مزدوجة الصف أعطت أعلى درجة حرارة عند تركيب قرص الحديد، لتعطي درجة حرارة أقل عند تركيب كل من قرص الألمنيوم وقرص الخشب، وهذا يمكن ملاحظته في الشكل (11) الذي يقارن ضياح الطاقة الحرارية من أجل المحامل المذكورة أعلاه مع اختلاف الحمل المؤثر عليها، مما يؤكد التوافق مابين قياس الضياحات وقياس درجات الحرارة ويثبت صحة النتائج التي تم التوصل إليها.

#### التجربة الرابعة:

تم في هذه التجربة تركيب قرص الحديد على أحد طرفي محور الجهاز الذي ركب عليه محملان من نوع دحرجي برميلي. وأخذت درجة الحرارة لكلا المحملين عند سرعة الدوران  $2000 [rpm]$  بعد أن وصلا إلى حالة الاستقرار، كما هو موضح في الشكل (21)، حيث كانت درجة حرارة الوسط المحيط تساوي  $18 [^{\circ}\text{C}]$ .



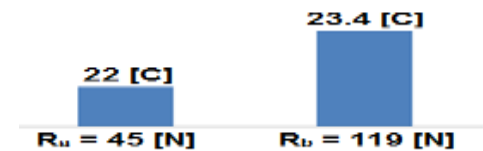
الشكل (21): درجتي حرارة الاستقرار لمحمليين من نوع دحروجي برميلي عند تركيب حمولة الحديد

يظهر الشكل (21)، أن درجة حرارة المحمل b القريب من القرص تساوي  $35 [^{\circ}\text{C}]$ ، بينما درجة حرارة المحمل a البعيد عن القرص تساوي  $32 [^{\circ}\text{C}]$ .

إن الفرق في درجات الحرارة بين المحمليين a و b ليس كبيراً، وهذا يعود إلى التصميم الهندسي لهذا النوع من المحامل، والذي يمكنه من أن يوازن بين القوى المؤثرة على كلا المحمليين، وبالتالي تكون درجتي الحرارة في كل من المحمليين متقاربتين.

**التجربة الخامسة:**

تم في هذه التجربة تركيب محملين من نوع كروي ذاتي المحاذاة وذلك عند نفس الحمولة السابقة المتمثلة بقرص الحديد. وأخذت درجة الحرارة لكلا المحمليين عند سرعة الدوران  $2000 [rpm]$  بعد أن وصلا إلى حالة الاستقرار، كما هو موضح في الشكل (22)، حيث كانت درجة حرارة الوسط المحيط تساوي  $18 [^{\circ}\text{C}]$ .



الشكل (22): درجتي حرارة الاستقرار لمحمليين من نوع كروي ذاتي المحاذاة عند تركيب حمولة الحديد

يظهر الشكل (22)، أن درجة حرارة المحمل b القريب من القرص تساوي  $23.4 [^{\circ}\text{C}]$ ، بينما درجة حرارة المحمل a البعيد عن القرص تساوي  $22 [^{\circ}\text{C}]$ .

إن الفرق في درجات الحرارة بين المحمليين a و b ليس كبيراً، وهذا يعود أيضاً إلى التصميم الهندسي لهذا النوع من المحامل، والذي يمكنه من أن يوازن بين القوى المؤثرة على كلا المحمليين، وبالتالي تكون درجتي الحرارة في كل من المحمليين متقاربتين.

بالمحصلة، نلاحظ من خلال الأشكال (18)، (21) و (22) أن المحامل الكروية ذات المجاري العميقة مزدوجة الصف أعطت أعلى درجة حرارة عند سرعة الدوران  $2000 [rpm]$ ، ثم تأتي المحامل الدحروجية البرميلية في المرتبة الثانية، بينما أعطت المحامل الكروية ذاتية المحاذاة أقل درجة حرارة بالمقارنة بالنوعين السابقين، وذلك عند نفس الحمولة المتمثلة بقرص الحديد.

وهذا يمكن ملاحظته في الشكل (17) الذي يقارن ضياع الطاقة الحرارية كتابع للسرعة الزاوية من أجل المحامل المذكورة أعلاه عند حمولة الحديد نفسها، مما يثبت من جديد صحة التجارب السابقة التي تبين مستوى الضياع في المحامل.

### الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن الخلوص من هذه الدراسة إلى الاستنتاجات التالية:

- انخفاض تأثير الحمل على ضياع الطاقة الحرارية في المحامل الدحروجية عند السرعات العالية.



- يحصل في المحمل المصنوع من مادة السيراميك ضياعاً للطاقة الحرارية أقل بكثير من المحمل المصنوع من مادة الفولاذ.
- يحصل في المحمل من نوع كروي ذاتي المحاذاة ضياعاً أقل للطاقة الحرارية عند السرعات العالية بالمقارنة بالمحمل من نوع دحرجي برميلي، والمحمل من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف.
- يحصل في المحمل من نوع دحرجي برميلي ضياعاً أقل للطاقة الحرارية بالمقارنة بالمحمل من نوع كروي ذي مجرى عميق مزدوج الصف، وذلك حتى السرعة الزاوية  $\omega = 630$  [rad/s] تقريباً، ليحصل بعد هذه السرعة ضياعاً أعلى للطاقة الحرارية، وهذا يشير إلى أن المحامل الكروية ذات المجاري العميقة مزدوجة الصف يمكن استعمالها عند سرعات أعلى من المحامل الدحرجية البرميلية، وذلك من وجهة نظر حرارية.
- هنالك تطابق جيد بين نتائج قياس درجة حرارة الاستقرار عند سرعة الدوران 2000 [rpm] ونتائج الاختبارات التي تمت على قياس ضياح الطاقة الحرارية، وهذا يثبت صحة النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها. كما أننا نقترح التوصيات الآتية:
- إجراء مجموعة من التجارب على أنواع أخرى من المحامل.
- قياس درجة حرارة المحامل عند سرعات دوران مختلفة.
- تزويد جهاز الاختبار بحاسوب من أجل تسجيل سرعة دوران التشغيل كتابع للزمن.

#### الملحق:

##### دلالة الرموز المستخدمة

الواحدة	مدلول الرمز	الرمز
[W]	ضياح الطاقة الحرارية	P
[Kg. m <sup>2</sup> ]	عزم العطالة القطبي الكلي	I <sub>0</sub>
-	التباطؤ الزاوي	a
[rad/s]	السرعة الزاوية	$\omega$
[rpm]	سرعة دوران التشغيل	n
[N]	رد الفعل على المحمل a	R <sub>a</sub>
[N]	رد الفعل على المحمل b	R <sub>b</sub>

#### References:

- 1- KOTZALAS, M.; and HARRIS, T. *Fatigue failure and ball bearing friction*. Tribol. Trans., 43(1), 2000, 137-143.
- 2- FRENE, J.; NICOLAS, D.; DEGUERCE, B.; BERTHE, D.; and GODET, M. *Lubrification Hydrodynamique*. Editions EYROLLES, Paris, 1990, 488.
- 3- SKF General Catalogue 1993.
- 4- JONG, E.; BYOUNG, H.; and KYUNG, W. *A study on the sound of Roller bearings operating under radial load*. January 2006, 21-28.

- 5- T. HATAZAWA., J. KAGAMI., T. KAWAGUCHI. *Influences of bearing pitch diameter, roller length and roller diameter on the frictional torque of a needle roller thrust bearing*. Proceeding of the 5<sup>th</sup> international tribology conference in Australia(1998)429.
- 6- SHAO, N. J.; XIAO, Y.C.; JIA, M.G.; and SONG, S.L. *Test Analysis of Friction Moment between Ball and Cage of Miniature Bearing at Very Low Speed*. Advanced Materials Research, Vol. 139-141, 2691-2695.
- 7- R. GOHAR. *Low friction rolling element bearings*. Department of Mechanical Engineering, Imperial College of Science and Technology, Exhibition Road, London SW7 2BX GT. Britain, Vol. 104, 1985, 309-322.
- 8- ANDRZEJ, R. *Effect of working surface shape on power loss in taper roller bearings*. Vol. 152, 1992, 31-45.