

دراسة تجريبية لآثار العيوب السطحية على التعب الاحتكاكي الدحرجي

الدكتور ياسر دياب*

الدكتور فبريس فيل**

الدكتور حبيب محمود***

(تاريخ الإيداع 23 / 6 / 2008. قُبل للنشر في 27/10/2008)

□ الملخص □

لقد بينت العديد من الدراسات السابقة النتائج السلبية لدخول الملوثات الصلبة داخل منطقة الاحتكاك في الآلات الميكانيكية. عملياً، عندما تدخل جزيئات العنصر الملوث المنطقة الفاصلة بين الجسمين المتحاكين، فإنها تسبب خدشاً وتفتيراً (dents) للسطحين المتحاكين، وتسمى العيوب السطحية الناتجة بالنقر، وهذه الأخيرة تسبب زيادة في الإجهادات السطحية وبالتالي يزداد خطر تقشر السطح المعدني الذي يؤدي إلى تعب المعدن. يقدم هذا المقال نتائج التجارب العملية التي تم إنجازها بواسطة الآلة ذات القرصين على سطوح تم خدشها (dented) مسبقاً بواسطة جهاز Rockwell ذي رأس كروي. لقد تم إجراء ثلاثة اختبارات على قرصين معدنيين ذات تركيب كيميائي مشابه لما هو مستخدم في الصناعة: (1) تحت شروط اختبار بدون انزلاق بين السطحين، (2) تحت شروط اختبار مع انزلاق موجب مقداره 1.5 %، (3) تحت شروط اختبار مع انزلاق سالب مقداره 1.5%-. كما قمنا بدراسة اتجاه ومدى تطور عمق الشقوق السطحية ونموها داخل بنية المعدن من خلال إجراء مقاطع عرضية في العينات المختبرة. ومن ثم قمنا بتحليل المقاطع العرضية من أجل تحديد الشقوق التي تؤدي إلى النقر الميكروي والماكروي، حيث تبين أن ظروف العمل ضمن انزلاق سالب هو الأسوأ بين ظروف التشغيل.

الكلمات المفتاحية: تلوث المادة المزيتة-التعب الاحتكاكي-النقر الميكروي.

* دكتور مهندس - شركة نسيج اللاذقية - سورية.

** مدرس - المعهد العالي للعلوم التطبيقية - ليون - فرنسا.

*** أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

An Experimental Investigation in to Rolling Contact Fatigue

Dr. Yasser Diab*
Dr. Fabrice Ville**
Dr. Habib Mahmoud***

(Received 23 / 6 / 2008. Accepted 27 / 10 / 2008)

□ ABSTRACT □

It is no longer necessary to demonstrate the influence of oil contamination on Rolling Contact Fatigue (RCF). Previous studies have shown the consequences induced by the travel of solid particles inside the contacts. In fact, when particles enter the contact, they indent the surfaces. The resulting surface defects, called dents, become stress raisers and increase the risk of spalling and consequently of RCF. In order to compare numerical and experimental results, some tests were also performed on a two-disk machine with artificially dented surfaces. Then, tests performed on the two-disk machine: 1) under pure rolling enter the surfaces, 2) under positive rolling-sliding conditions in amount +1.5%, 3) under negative rolling-sliding conditions enter the surfaces in amount -1.5%. Cross-sections were performed to complete the surface observations, and to analyze the crack initiation sites and the crack propagation direction. This paper proposes an analysis of these cross-sections to identify the cracks that lead to micro and macro spalling.

Keywords: Oil Contamination, Rolling Contact Fatigue, Micro Spalling

*Engineer, Textile Company, Lattakia, Syria.

** Assistant Professor, lamcos-insa de Lyon, France

***Associate professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

عندما تدخل جزيئات العنصر الملوث للزيت المنطقة الفاصلة بين جسمين متحركين، فإنها تسبب خدشاً وتقليباً (dents) للسطحين المتحركين وقد أظهرت الدراسات السابقة أهمية تأثير تلوث الزيت على التعب الناتج في منطقة الاحتكاك (Rolling Contact Fatigue RCF) [1-7]. وقد عرف الباحثون التعب الاحتكاكي الدحرجي بأنه التعب الذي يصيب المعدن تحت السطوح والناتج عن التحميل الدوري للسطح وتحت نسبة انزلاق معينة بين السطحين. حيث إن العديد من هذه الدراسات بيّنت النتائج السلبية لدخول الملوثات الصلبة داخل منطقة الاحتكاك [8-13].

لقد برهنت الدراسات التجريبية والعديدية السابقة بأن النقر الذي يصيب السطوح المعدنية يؤدي إلى التعب السطحي للمعدن. كما إن الشكل الهندسي للنقر الذي يصيب السطح المحتك مع سطح آخر يؤثر على الإجهادات السطحية التي تنشأ على السطحين. من جهة أخرى، وتحت ظروف انزلاق أحد السطحين على الآخر، حتى ولو كانت نسبة الانزلاق صغيرة، تظهر تأثيرات هيدروديناميكية تؤدي إلى زيادة إجهادات القص التي يتعرض لها المعدن عند السطح خلف النقر بالنسبة إلى اتجاه الانزلاق. وتشرح هاتين الظاهرتين بدء التشقق وتطوره إلى داخل المعدن، ولكن كل هذه النتائج اعتمدت على المراقبات السطحية للسطح.

لقد حاول بعض الباحثين [14-20] تخمين وحساب حياة التعب للسطوح التي أصابها التآكل نتيجة العمل، وقد استخدموا نماذج رياضية تعتمد على الإحصاء، وعلى سبيل المثال فقد حاول Landberg-Palmegren [21-25] أن يحسب التعب السطحي. غير أن النماذج الرياضية المعتمدة لم تأخذ الظواهر الفيزيائية بالحسبان واقتصرت على حساب مساهمة الإجهادات في التعب، ولكي يتم لاحقاً تطوير نموذج رياضي يعتمد على الظواهر الفيزيائية مماثلاً للنموذج المطور لحساب الضرر حول الفقاعات ضمن بنية المادة [26-27]، فإنه من الضروري وقبل ذلك فهم آلية التعب الاحتكاكي الدحرجي.

أهمية البحث وأهدافه:

تعد دراسة التعب الاحتكاكي الدحرجي للسطح والناتج عن مرور جزيئات المادة الملوثة عبر منطقة الاحتكاك صعبة إلى حد ما، وذلك لأن النقر الناتج عن مرور جزيئات الملوثات يكون ذا أبعاد مختلفة. لذا ومن أجل تبسيط هذه الدراسة، قمنا بإنجاز بعض التجارب بواسطة الآلة ذات القرصين على سطوح تم إحداث نقر مسبقاً فيها بواسطة آلة Rockwell.

ونسعى من خلال هذا البحث إلى تقديم دراسة مفصلة عن التشققات التي تصيب السطح من خلال إنجاز مقاطع عرضية في السطوح المختبرة، تمكّنا من تحديد مناطق بداية تكون الشق وكيفية تطوره، ومن ثم تحديد الشقوق التي تؤدي إلى النقر الميكروي والماكروي، والتي تعتبر الخطوة الأولى باتجاه بناء نموذج رياضي للتعب الناتج عن الاحتكاك الدحرجي للسطوح التي تعاني من النقر السطحي مستقبلاً.

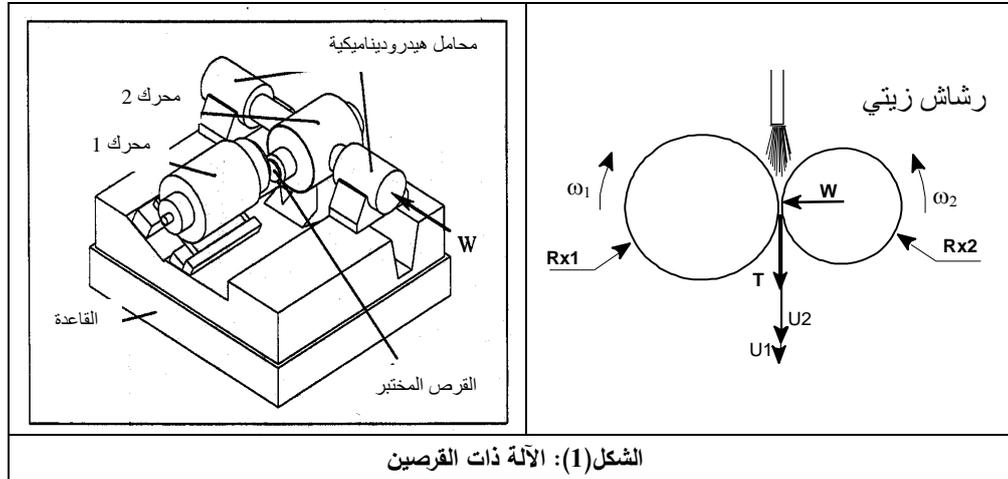
طريقة البحث ومواده:

تؤثر الملوثات التي تدخل مع مواد التزييت بشكل كبير على السطوح المتحاكة، وبالتالي على عمرها الزمني، ولذلك بدأ هذا البحث بمقدمة تستعرض ما أنجزته الأبحاث السابقة في هذا المجال، ومن ثم تم تقديم وصف مبسط للآلة ذات القرصين التي تمكّنا من إجراء الاختبارات المطلوبة على السطوح المتحاكة. حيث أنجزت الاختبارات لحالة

الدرجة بين السطوح بدون انزلاق وحالة الدرجة مع انزلاق بنسبة 1.5% ولكن باتجاهين مختلفين (انزلاق موجب و سالب). هذا وقد تم عمل مقاطع في العينات المختبرة وأخذ صور مجهرية لها ومن ثم تم تحليلها ومناقشة النتائج.

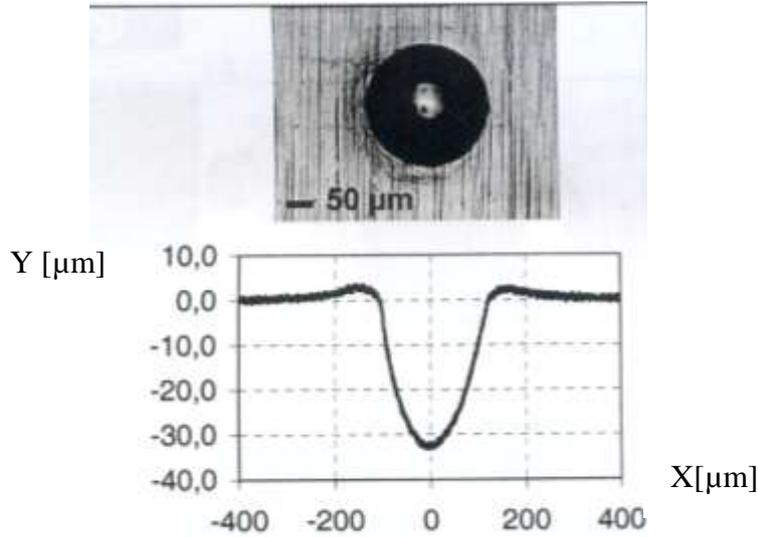
1. جهاز الاختبار أو الآلة ذات القرصين Two disks machine

تتألف الآلة ذات القرصين من محركين كهربائيين مستقلين (قيمة سرعة الدوران واتجاهها للمحرك الأول مستقلة عن الثاني)، ويتم تركيب الأقراص المراد اختبارها على محوري المحركين مباشرة كما هو موضح في الشكل (1). ويمكن رفع سرعة الدوران لكل محرك من 1000 إلى 14000 دورة في الدقيقة، كما ويمكن التحكم بسرعة كل محرك بشكل مستقل، وهذا يسمح بتبديل نسبة الانزلاق بين سطحي القرصين. ويتم تطبيق الحمل على القرصين المختبرين عن طريق مكبس هوائي (علما أن آلية تطبيق الحمل W آلية مستقلة مع أجهزة التحكم). علاوة على ذلك، فإن إمكانية اختبار أقراص ذات أنصاف أقطار (من 10mm إلى 50mm) وأنصاف أقطار انحناء في الاتجاه المحوري من (10 إلى اللانهاية) تسمح لنا بالحصول على ضغط هرتزيان (هو الضغط الناتج عن تطبيق حمل على كرة مرتكزة على سطح أو كرة على كرة وهو يأخذ شكل قطع ناقص نصف قطره الكبير يعادل 1.5 من الضغط الوسطي المؤثر، أي $p_h = 1.5F/A$ و F القوة المؤثرة بالنيوتن و A السطح بالمتر المربع و p_h الضغط) الذي يتراوح من 0.1GPa إلى 4GPa والذي يغطي جميع حالات التحميل الاحتكاكي في الميكانيكيات، كما ويمكننا هذا الجهاز من قياس قوة الاحتكاك بين القرصين عن طريق خلية قياس حمل (من 1 إلى 250 نيوتن). ونشير هنا إلى أن العينات قد تم تعريضها لحمولة التعب في المعهد العالي للعلوم التطبيقية في ليون في فرنسا أما تحضير المقاطع وأخذ الصور وتحليل النتائج فقد أجريت هنا في سوريا.



الشكل(1): الآلة ذات القرصين

ولكي يتمكن من محاكاة الواقع العملي للسطوح المتحاكاة قمنا بتشكيل حفر (نقر) على سطح أحد القرصين المتحاكين بواسطة آلة Rockwell، كما يوضح الشكل (2)، قبل وضعهما في الاختبار، وذلك من أجل تشكيل نقر مشابه لذلك الناتج عن دخول جزيئات الملوثات إلى منطقة الاحتكاك. وقد تم تطبيق حمل مقداره 250kgf للحصول على حفرة بعمق 38μm



الشكل(2): شكل وعمق النقر الناتج عن جهاز القساوة Rockwell

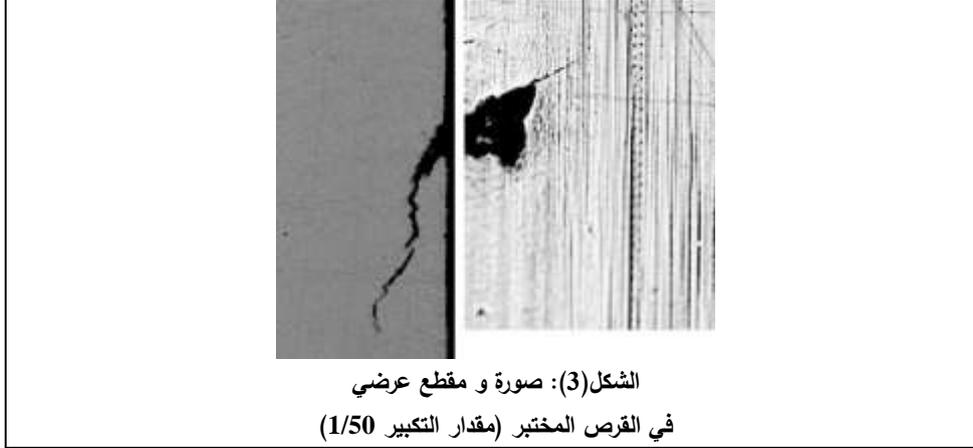
وتم تصوير كل حفرة بواسطة مجهر ضوئي وتم قياس عمقها بواسطة مجس لقياس الحفر (profilometer) قبل وبعد الاختبار كما هو موضح في الشكل (2). ويبين الجدول (1) ظروف الاختبار التي تم اختيارها من أجل إظهار تأثير قيمة واتجاه الانزلاق بين السطحين المتحاكين على التعب السطحي.

الجدول (1): ظروف الاختبار

| | |
|---|----------------------|
| نصف قطر القرص | 40mm |
| نصف قطر الانحناء لسطح القرص | 40mm |
| قطر القرص | 10mm |
| معدن القرص من الفولاذ (وفق نظام AISI52100) | 100Cr6(AISI52100) |
| السرعة الانسحابية الوسطية للقرصين $(U_1+U_2)/2$ | 40 m/s |
| نسبة الانزلاق $(U_1-U_2)/(U_1+U_2)$ | 0% -1.5% +1.5% |
| ضغط هرتزيان الأعظمي | 3.5GPa |
| نوع الزيت | ISO-L-MHA |
| درجة حرارة التزييت | 80C |
| الخشونة السطحية | 0.05μm |

إن مواقع بداية تشكل الشق واتجاه تطوره ضمن بنية المعدن تم دراستها وإظهارها من خلال مقاطع عرضية تم إجراؤها في الأفراس المختبرة، حيث إن مقدار التكبير في جميع الأشكال الواردة لاحقاً هي 1/50. وتبين الأشكال

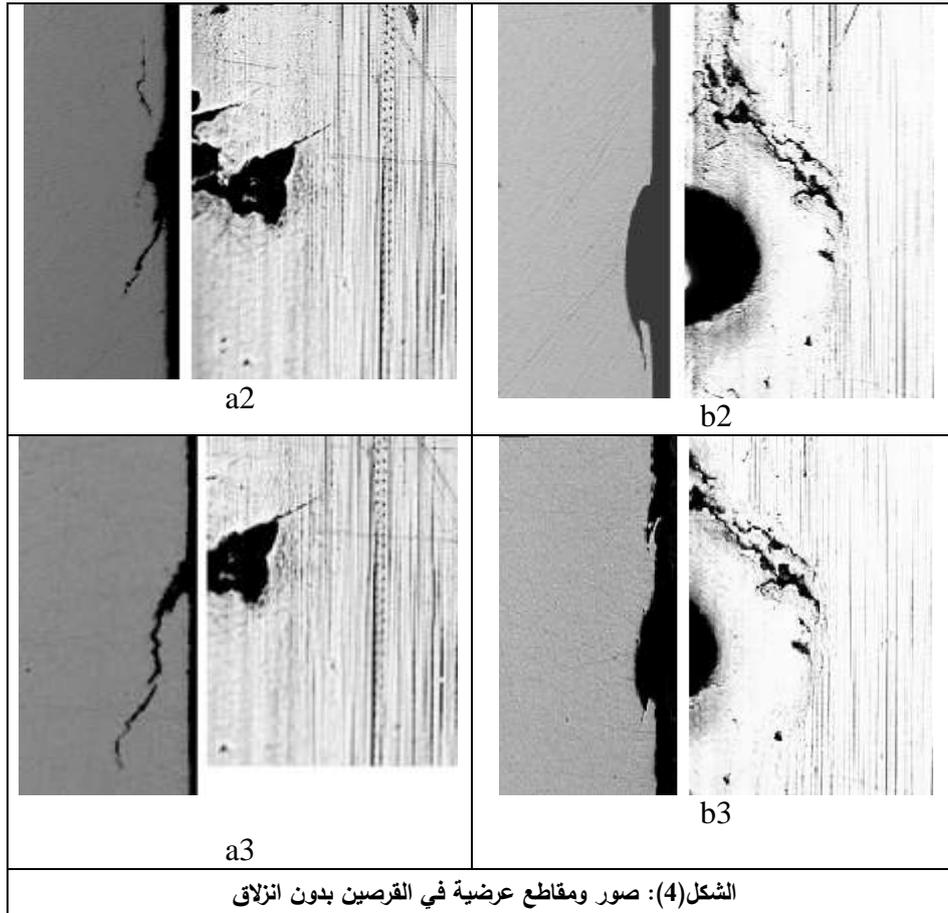
اللاحقة الصور التي تم أخذها بواسطة المجهر الضوئي. حيث إن المقطع الموجود في الجانب الأيمن يمثل تطور الشق ضمن مادة المعدن، بينما يمثل المقطع الموجود في الجانب الأيسر صورة للحفرة (النقر) التي تخفي تحتها هذا الشق شكل (3).



2. التعب تحت السطح لحالة الدرجة بدون انزلاق (Subsurface damage under pure rolling conditions)

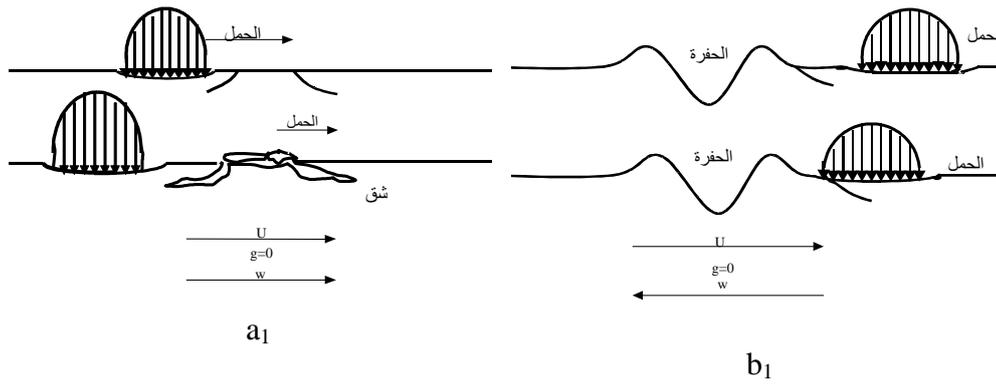
تبين المراقبة للسطح أن القرص الأملس قد أصابه الضرر كما هو موضح في الشكل (4.a)، بينما لم يشاهد إلا بعض التشوهات لللدنة حول الحفر التي تم إجراؤها على سطح القرص الآخر بواسطة جهاز Rockwell. علماً بأن هذه التجربة تم توقيفها بعد 11.1 مليون دورة للقرص. فيما يتعلق بالقرص الذي يحوي على الحفرة الصناعية، تبين المقاطع العرضية التي تم إجراؤها أن جوانب الحفرة الصناعية قد انهضرت إلى داخل الحفرة، شكل (4.b2). وبالتأكيد فإن بداية نشوء الشق تحت الجوانب سببه إجهادات القص الناتجة عن جوانب الحفرة، ولذا يمكن الاستنتاج أن الضرر لا يصيب سطح القرص الحامل للحفر الصناعية.

| القرص الأملس | | القرص الحامل للحفر الصناعية | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| اتجاه الحمل W ↓ | اتجاه سرعة الدرجة U ↑ | اتجاه الحمل W ↑ | اتجاه سرعة الدرجة U ↓ |
| | | | |
| a1 | | b1 | |



الشكل(4): صور ومقاطع عرضية في القرصين بدون انزلاق

أما فيما يتعلق بالقرص الأملس، فإن المقاطع المجهرية التي تم إجراؤها في القرص تبين وجود شقين باتجاهين متعاكسين موازيين للسطح (شكل 4.a2)) وعلى بعد 11 ميكرومتر عن السطح. ويظهر الشكل (4.a3) شقاً تحت السطح يأخذ اتجاه مرور الحمل، ويتوضع على مسافة 40 ميكرومتر من السطح. وتبين الحسابات العددية للإجهادات أن جميع الإجهادات تكون مساوية للصفر على عمق يتراوح بين 10 و 15 ميكرومتر ماعدا الإجهاد σ_{xz} الذي يكون اتجاه مواز للسطح، ولذا فإن هذا الإجهاد هو المسؤول عن حدوث هذا الشق، هذا وسيتم تقديم النموذج الرياضي في مقال لاحق. من خلال المشاهدات للصور المجهرية لمقاطع مادة معدن القرص تبين عدم وجود أية إمكانية لنمو الشق للسطح الحامل للحفر الصنعية. ويمكن تفسير ذلك على أن اتجاه نمو الشق معاكس لاتجاه الحمل المطبق وفقاً للدراسة التي قدمها Kaneta [28]، كما أن الشق في هذه الحالة لا يمكن له أن ينمو ضمن بنية المعدن بل على العكس يتجه إلى الانغلاق (closed). أيضاً، يمكن أن نفهم عدم نمو الشقوق في السطح الحامل للحفر من خلال الإجهادات المتبقية، والتي يمكن أن تحدث في منطقة الحفرة أثناء تشكيلها بواسطة جهاز Rockwell مما يؤدي إلى زيادة في صلادة المعدن حول وتحت الحفرة. من أجل السطح الأملس، يؤدي دخول الحفرة ضمن منطقة الاحتكاك إلى تغير في بروفيل الضغط المؤثر في منطقة الاحتكاك وهذا يقود إلى تولد إجهادات قص كبيرة موازية للسطح، وهذه الإجهادات يمكن أن تؤدي إلى نشوء ونمو شقوق تحت السطح شكل (5.a1) موازية لاتجاه الحمل المؤثر في منطقة الاحتكاك.



الشكل (5): رسم تخطيطي لطريقة تشكل الشق وتطوره

لحالة الدرجة دون انزلاق

3. التعب تحت السطح لحالة الدرجة مع انزلاق (Subsurface damage under rolling-sliding conditions)

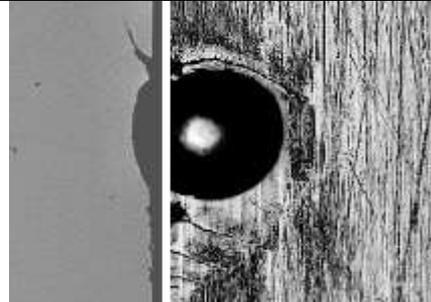
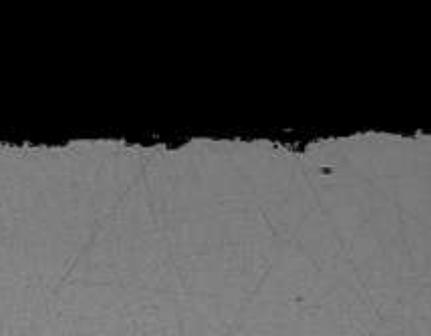
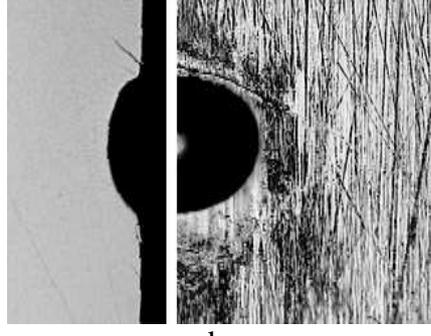
في هذه الحالة تم إجراء تجربتين بنفس شروط التجربة السابقة، ولكن مع وجود نسبة انزلاق بين السطحين. وتم إجراء التجربة الأولى مع نسبة انزلاق موجبة تساوي 1.5%+ في حين تم إجراء التجربة الثانية مع نسبة انزلاق سالبة تساوي 1.5%-.

1.3. نسبة انزلاق 1.5%+

تم إجراء هذه التجربة تحت شروط الانزلاق الموجبة، وقد تم إيقافها بعد 2.5 مليون دورة، وقد ظهر الضرر على كل من سطحي القرصين المختبرين، الأملس والحامل للحفرة الصناعية، الشكل (6). من أجل القرص الأملس، كان هنالك صعوبة بتحديد شقوق تحت السطح في حين ظهرت شقوق مجهرية كثيرة وصغيرة جداً (micro spilling) لا يتجاوز طولها 3 إلى 4 ميكرومتر (شكل (6.a3)). ويمكننا تفسير ذلك من خلال ما ذكرناه سابقاً مع مراعاة أن اتجاه مرور الحمل في منطقة الاحتكاك يعمل على إغلاق الشقوق في حال ظهورها. من أجل القرص الحامل للحفرة الصناعية، تبين الصور المجهرية في المقاطع العرضية التي تم إجراؤها ظهور شق أمام الحفرة يبعد 40 ميكرومتر عن السطح، (شكل (6.b2))، وسبب ظهور هذا الشق هو التأثير الناتج عن وجود أكتاف للحفرة (shoulders) تحت ظروف الانزلاق. ومن الملاحظ أن هذا الشق قد نما في اتجاه مرور الحمل المؤثر في منطقة الاحتكاك، وبالتأكيد يمكن لهذا الشق أن ينمو حتى منطقة هرتزيان المتوضعة على مسافة 450 ميكرومتر من السطح، (ومنطقة هرتزيان: هي منطقة تحت السطح حيث تكون فيها الإجهادات الناتجة عن التحميل أعظمية وعمقها عن السطح يعتمد على شكل منطقة الاحتكاك سواء كانت ذات شكل دائري أو قطع ناقص [10,27]) وقد يقود هذا الشق إلى تقشير عميق لسطح المعدن (تسلخ الطبقات العليا من السطح)، ومن الملاحظ أنه قد نما في منطقة خالية من التشوهات اللدنة للمعدن.

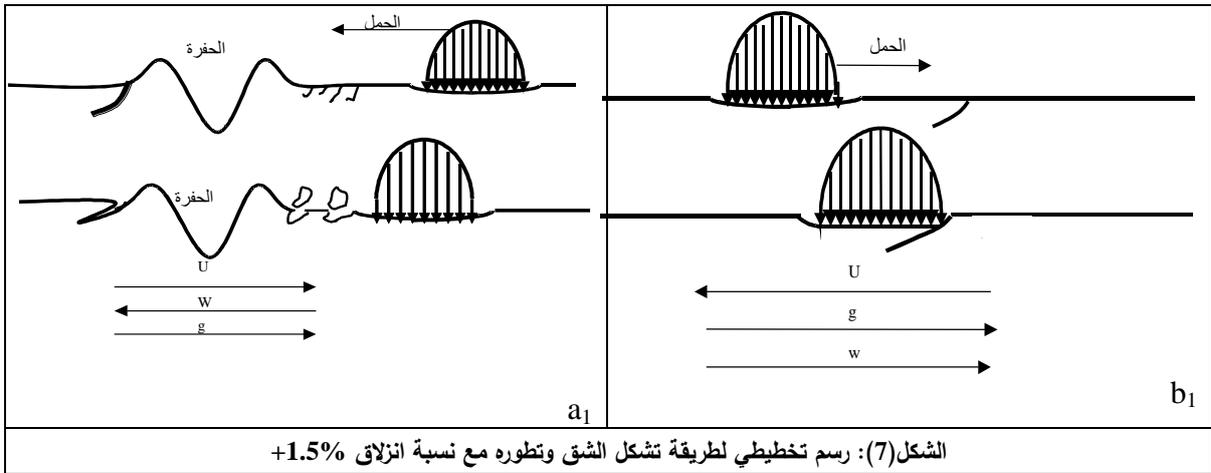
القرص الأملس

القرص الحامل للحفرة الصناعية

| اتجاه الحمل W ↓ | اتجاه سرعة الدحرجة U ↑ | اتجاه الانزلاق g ↓ | اتجاه الحمل W ↑ | اتجاه سرعة الدحرجة U ↓ | اتجاه الانزلاق g ↓ |
|---|------------------------------|--------------------------|--|------------------------------|--------------------------|
|  | | |  | | |
|  | | |  | | |
|  | | |  | | |
| <p>الشكل(6): صور ومقاطع عرضية في القرصين مع نسبة انزلاق +1.5%</p> | | | | | |

كما أنه يمكن ملاحظة بعض الشقوق الميكروية خلف الحفرة الصنعية ذات اتجاه موافق لاتجاه الانزلاق وعلى عمق بحدود 4 ميكرومتر تحت السطح (شكل (6.b2)). ويُعزى تشكل هذه الشقوق إلى الإجهادات الناتجة عن تغير الشكل الهندسي للسطح حول الحفرة وإلى الآثار الهيدروديناميكية المتولدة خلف الحفرة (الآثار الهيدروديناميكية هي الآثار الناتجة عن الارتفاع المفاجئ في الضغط المؤثر بين السطحين المتحركين عند مخرج منطقة الاحتكاك، والذي يؤدي إلى تغير في بروفيل الإجهادات الناتجة تحت السطح). كما ويمكننا تفسير عدم

نمو هذه الشقوق ضمن بنية المعدن بالاعتماد على الحقيقة القائلة بأن هذه المنطقة قد دخلت في مرحلة التشوه اللدن أثناء تشكل الحفرة والتحميل المستمر لها أثناء التجربة بالإضافة إلى الاجهادات المتبقية التي تكونت في هذه المنطقة. يبين الشكل (7) طريقة تشكل الشقوق ضمن بنية المعدن بشكل تخطيطي، ويظهر الشق الذي تشكل بسبب تأثير الشكل الهندسي (الجزء الأيسر من الرسم) ونما وتطور بسبب التوافق بين اتجاهه واتجاه الحمل المؤثر (شكل 7.a1)). بينما تمثل الشقوق الظاهرة على الجانب الأيمن من الرسم (شكل 7.a1)) الشقوق الناتجة عن الأثر الهيدروديناميكي والهندسي والتي نمت وتطورت لنفس السبب السابق، ولكن توقفت عند حد معين بسبب الإجهادات المتبقية الحاصلة في هذه المنطقة أثناء تشكل الحفرة. أما من أجل القرص الأملس، فإن الرسم التخطيطي الموضح في الشكل (7.b1) يبين شقوقاً نمت وتطورت بشكل بسيط لأن اتجاه نموها كان عكس اتجاه الحمل المؤثر.

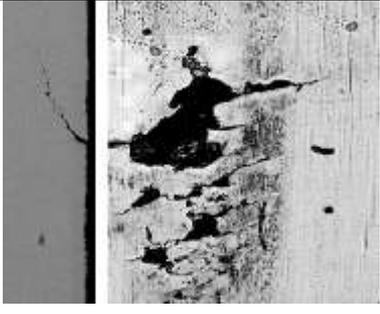
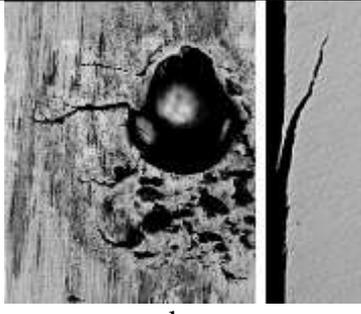
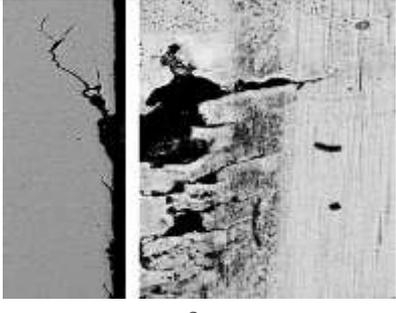
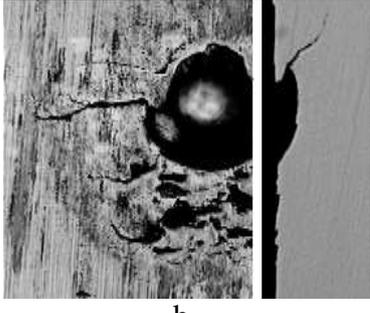


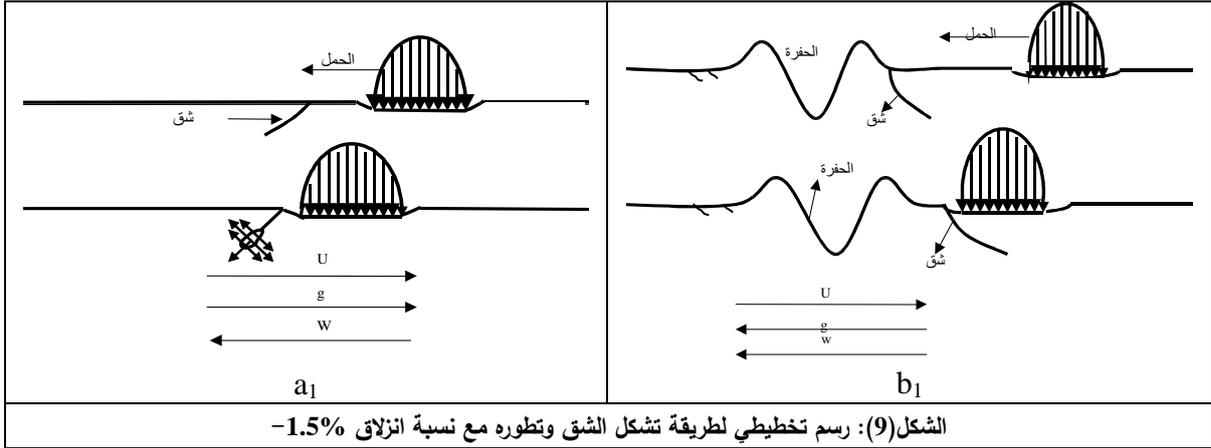
2.3. نسبة انزلاق 1.5% -

تم إجراء هذه التجربة بنفس شروط التجارب السابقة، ولكن مع نسبة انزلاق سالبة، وتم توقيف التجربة بعد 4.4 مليون دورة. يبين الشكل (8) نمو وتطور الشقوق ضمن بنية المعدن، للقرص الأملس والحامل للحفرة. ونلاحظ تطوراً كبيراً للشقوق على القرص الأملس ضمن بنية المعدن لأن اتجاه الشقوق واتجاه الحمل المؤثر متوافقين. كما ونلاحظ أيضاً أن الشق نما وتطور حتى عمق 70 ميكرومتر، شكل (8.a2)، ومن ثم أخذ الشكل الموازي للسطح ليعود، ويتطور حتى العمق 90 ميكرومتر، شكل (8.a3)، ويشير هذا إلى أن التجربة فيما لو استمرت أكثر من ذلك لشاهدنا تسليخ على سطح المعدن، يمكن أن يصل إلى عمق 90 ميكرومتر. أما بالنسبة للقرص الحامل للحفرة الصناعية، فإننا نلاحظ تشوهات غير متناظرة حول الشق، وتبين المقاطع العرضية التي تم إجراؤها على مادة القرص شفاً تحت السطح بعمق 60 ميكرومتر، شكل (8.b3)، ذو اتجاه متوافق مع اتجاه الانزلاق. ويعزى ظهور هذا الشق إلى التغيير الذي طرأ على شكل بروفيل الضغط الناتج عن الحمل المؤثر (الأثر الناتج عن الشكل الهندسي)، بالإضافة إلى إجهادات القص الناتجة عن وجود الأكتاف حول الحفرة.

يبين الشكل (9) رسماً تخطيطياً لطريقة تشكل وتطور الشقوق في القرص الأملس والحامل للحفرة. وكما ذكرنا سابقاً فإن الشق الأطول كان بالتأكيد بسبب الأكتاف الموجودة حول الحفرة وإجهادات القص الناتجة عنها، شكل (9.b1). أما بالنسبة للقرص الأملس، فيمكن تفسير تشكل الشق ونموه من خلال التوافق بين اتجاهه واتجاه الحمل المؤثر

بالإضافة إلى دخول الزيت ضمن الشق وانفجاره تحت تأثير الضغط الناتج عن مرور الحمل عليه، شكل (9.a1)، وهذه الظاهرة تم شرحها من قبل Kaneta [28].

| القرص الأملس | | | القرص الحامل للحفر الصنيعة | | |
|---|------------------------------|--------------------------|--|------------------------------|--------------------------|
| اتجاه الحمل W ↑ | اتجاه سرعة الدحرجة U ↓ | اتجاه الانزلاق g ↓ | اتجاه الحمل W ↓ | اتجاه سرعة الدحرجة U ↑ | اتجاه الانزلاق g ↓ |
|  | | |  | | |
|  | | |  | | |
|  | | |  | | |
| الشكل (8): صور ومقاطع عرضية في القرصين مع نسبة انزلاق 1.5% - | | | | | |



الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت المقاطع العرضية التي تم إجراؤها على الأقراص الملساء وذات الحفر الصناعي ما يلي:

1. تحت ظروف التشغيل دون انزلاق بين السطحين، يتعرض السطح الحامل للحفرة لبعض التشققات التي لم تتطور ضمن بنية المعدن، لأن اتجاهها كان بعكس اتجاه مرور الحمل المؤثر، أما السطح الأملس، فقد تعرض إلى شقوق تطورت ونمت بشكل مواز للسطح بسبب إجهادات القص المؤثرة.
 2. تحت ظروف التشغيل مع انزلاق موجب بين السطحين، يتعرض السطح الأملس إلى الكثير من الشقوق المهجرية التي سببت نقر سطحي له بعمق 3 إلى 4 ميكرومتر تحت السطح، أما سطح القرص الحامل للحفر، فقد كان السطح الأكثر ضرراً وتطوراً للشقوق، وذلك بسبب الظاهرة الهيدروديناميكية، وتغير الشكل الهندسي للسطح الناتج عن وجود الحفر.
 3. تحت ظروف التشغيل مع انزلاق سالب بين السطحين، فإن أكتاف الحفر التي أدت إلى وجود إجهادات قص كانت مسؤولة عن تشكل الشقوق وتطورها على السطح الحامل للحفر، بينما الشقوق على السطح الأملس كانت ناتجة عن اتجاه الحمل المؤثر وعن ظاهرة تدفق الزيت ضمن الشق وانفجاره.
- إن هذه الدراسة تعطي تصورا ومعلومات عن العوامل (اتجاه مرور الحمل، اتجاه الانزلاق، الظاهرة الهيدروديناميكية في التزييت، وتغير البناء الهندسي للمعدن) التي تساهم في تشكل الشقوق السطحية وتطورها في المعدن مما يؤدي في النهاية إلى ضرر السطح وتوقف الآلية عن العمل.
- لقد بينت الدراسة السابقة أهمية تجنب دخول الملوثات الصلبة إلى منطقة الاحتكاك بين السطحين، وذلك من خلال استخدام آليات لترشيح الزيت ذات مقدرة على وقف تلك الملوثات تتناسب مع سماكة طبقة الزيت الفاصلة بين السطحين.

المراجع:

- 1-FITZSIMMONS, B., CLEVINGER, H.D., "*Contaminated Lubricant and Tapered Roller Bearing Wear*". Tribology transactions, vol 20, 1977,97-107.
- 2-IOANNIDES, E., BEGHINI, B., JACOBSON, B., BERGLING G., GOODALL WUTTKOWSKI, J., "*Cleanliness and its Importance to Bearing performance*". Lubrication Engineering, vol 49, 1993,657-663.
- 3-LOEWENTHAL, S.H., AND MOYER, D.W., "*Filtration Effects on Ball Bearing Life and Condition in a Contaminated Lubricant*". Journal of Lubrication technology, vol 101, 1979, 171-179.
- 4-LOROSCH, H.K., "*Research on Longer Life for Rolling-Element Bearings*". Lubrication Engineering, vol 41, 1985,37-43.
- 5-LOSCHKE, T., "*New Aspects in the Realistic prediction of the fatigue Life of Rolling Bearing*". Wear, vol 134, 1989,357-375.
- 6-NIXON, H. P. AND ZANTOPULOS, H., "*Fatigue Life performance Comparisons of Tapered Roller Bearings with Debris-Damaged Raceways*". Lubrication Engineering, Vol 51, n9, 1995,732-736.
- 7-YE, N., AND KOMVOPOULOS, K. "*Effect of Residual Stress in Surface Layer on Contact Deformation of Elastic-Plastic Layered Media*". Tribology Transaction, October vol 125, Issue 4, 2003,692-699.
- 8-CANN, P. M. E., HAMER, J. C., SAYLES, R. S., SPIKES, H. A. AND IOANNIDES, E., "*Direct Observation of Particle Entry and Deformation in Rolling EHD Contact*". Proceeding of 22nd Leeds-Lyon Symposium on Tribology, D. Dowson, C. M. Taylor and M. Godet, Elsevier, Amsterdam, 1996, 127-134.
- 9-CHENG, W., CHENG, H.S., KEER, L.M., "*Experimental Investigation on Rolling/Sliding Contact Fatigue Crack Initiation with Artificial defects*". Tribology Transaction, vol 37, 1994,1-12
- 10-DWYER-JOYCE, R. S. AND HEYMER, J., "*The Entrainment of Solid Particles into Rolling Elastohydrodynamics Contacts*". Proceedings of 22nd Leeds-Lyon Symposium on Tribology, D. Dowson, C. M. Taylor and M. Godet, Elsevier, Amsterdam, 1996, 135-140
- 11-GIRODIN, D., VILLE, F., GUER, R., DUDRAGNE, G., "*Experimental investigation of surface initiated rolling contact fatigue using dented surfaces*". Proceeding of the 27th Leeds Lyon Symposium on Tribology, Lyon Sept. 2000, G. Dalmaz et al. Editors, Amsterdam, Elsevier, 2001, 449-458.
- 12-NIKAS, G.K., SAYLES, I., IOANNIDES, E., "*Effect of Debris Particles in Sliding/Rolling Elastohydrodynamics Contact*", Proc. Instn. Mech. Engrs., vol 212, 1998,333-343.
- 13-GONG, Z.-Q., AND KOMVOPOULOS K. "*Surface Cracking in Elastic-Plastic Multi-Layered Media Due to Repeated Sliding Contact*". Tribology Transaction, October vol 126, Issue 4, 2004,655-663.
- 14-VILLE, F., NELIAS, D., "*An Experimental Study on the Concentration and Shape Caused by Spherical Metallic Particle in EHL Contact*". Tribology Transaction, vol 42, 1999, 231-240.
- 15-C. JACQ, D. NE´ LIAS, G. LORMAND, AND D. GIRODIN. "*Development of a Three-Dimensional Semi-Analytical Elastic-Plastic Contact Code*". Tribology Transaction, vol 124. 2002.

- 16-WEDEVEN, L. D., "*Influence of Debris Dent on EHD Lubrication*". Tribology Transactions, vol 21, 1977, 41-52.
- 17-COULON, S., VILLE, F., NELIAS, D., "*Numerical and Experimental Investigations on Rolling Contact Fatigue for Dented Surfaces*". Proceeding of the 27th Leeds Lyon Symposium on Tribology, Lyon Sept. 2000, G. Dalmaz and al. Editors, Amsterdam, Elsevier, 2001, 459-467.
- 18-VILLE, F., NELIAS, D. "*Early Fatigue Failure Due to Dents in EHL Contacts*". ASLE Transactions, vol 42, 1999, 795-800.
- 19-XU, G., SADEGHI F., "*Spall Initiation and Propagation due to Debris Denting*". Wear, vol 201, 1996,106-116
- 20-Sayles, R.S., Ioannides, E., "*Debris Damage in Rolling Bearings and its Effects on Fatigue Life*", journal of Tribology, Vol.110, 1988,26-31.
- 21-VANNINA L., GUY B., LAURENT B., TAOUFIK S., AND JALILA S. "*Finite Element Analysis of a Contact With Friction Between an Elastic Body and a Thin Soft Layer*". Tribology Transaction, vol 127. 2005.
- 22-LUNDBERG, G., PALMGREN, A., "*Dynamic capacity of Roller Bearings*". Acta Polytechnica, Mechanical Engineering Series, Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, vol 2, n°4, 1952, 96.
- 23-LAMAGNERE, P., FOUGERES, R., LORMAND, G., VINCENT, A., GIRODIN, D., DUDRAGNE, G., VERGNE, F., "*A Physically Based Model for Endurance Limit of Bearing Steels*". Journal of Tribology, vol 120, 1998,421-426.
- 24-VILLE F., NELIAS D., TOURLONIAS G., FLAMAND L. & SAINOT P., "*On The Two Disc Machine : A Polyvalent and Powerful Tool to Study Fundamental and Industrial Problems Related to Elastohydrodynamic Lubrication*". Tribology series "Tribology Research: From model experiment to industrial problem: A century of efforts in mechanics, materials science and physico-chemistry" , D. Dowson et al. Editeurs, Elsevier, Amsterdam, Vol. 39, 2001 ,393-402.
- 25-SHAOBIAO C. AND BHARAT B.. "*Three-Dimensional Sliding Contact Analysis of Multilayered Solids With Rough Surfaces*". Tribology Transaction, vol129. 2007,
- 26- OVCHARENKO A., HALPERIN G., AND ETSION I. "*Experimental Study of Adhesive Static Friction in a Spherical Elastic-Plastic Contact*". Tribology Transaction, v130. 2008,
- 27-ANTOINE J-F. , VISA C., SAUVEY C., AND ABBA G. "*Approximate Analytical Model for Hertzian Elliptical Contact Problems*". Tribology Transaction, vol128. 2006,
- 28-KANETA, M., YATSUZUKA , H., MURAKAMI, Y., "*Mechanism of crack growth in Lubricated Rolling /Sliding Contact*". Journal of Tribology, vol 28, 1985, 407-414.