الجمهورية العربية السورية
جـامـعـــة حـــلب
كلية الهندســـة الميكانيكية

نمذجة عملية التماس بين الدولاب والسكة في الخطوط الحديدية لتحسين أدائها

Simulation of Contact between Rail and Wheel Of Railway to Improve its Performance

بحث أُعد لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

إعداد
المهندسة ردينة دباس
دبلوم دراسات عليا في الميكانيك التطبيقي
كلية الهندسة الميكانيكية-جامعة حلب

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

مقدمة البحث

في السنوات الخمس عشر الأخيرة حدث في العالم تطور كبير في وسائل النقل ومعداته ومنها السكك الحديدية حيث يعتبر النقل السككي من أهم وسائل النقل المستخدمة في كافة أنحاء العالم باعتباره الوسيلة الأكثر قدرة على النقل الضخم للركاب والبضائع نظرا لما يتمتع به من سرعة وتوافر عناصر الأمان وسلامة البيئة وتخفيف الأعباء المرورية وانخفاض التكلفة الاقتصادية.

وإن أدوات عمل النقل السككي والتي من خلالها يتحدد مدى نجاحه وفعاليته هي الأدوات المحركة والمتحركة (القاطرة، العربة، والشاحنة) التي تسير على القضبان الحديدية التي تشكل القسم العلوي لشبكة الخطوط الحديدية، هذا بالإضافة إلى القسم السفلي الذي يشكل البنية التحتية التي يتم تمديد الخطوط الحديدية فوقها، إن هذه العناصر الثلاثة لها كامل التأثير على أداء النقل السككي بنوعيه (مسافرين، بضائع)، وبالتالي يجب أن تحظى باهتمام بالغ وعناية كبيرة من أجل أهداف تحسين وتطوير هذا المرفق الحيوي الهام.

قامت العديد من الدراسات لتحسين أداء النقل السككي، حيث ركزت بعض الأبحاث على القضبان الحديدية للسكة وتأثير نوع الفولاذ المصنوعة منه وطريقة تثبيت القضبان وعلاقتها مع بنية القسم السفلي، إضافة إلى تأثير طريقة اللحام وغيرها من العوامل الكثيرة ذات التأثير الهام. وركزت الأبحاث الأخرى عل تطوير وتحسين الأدوات المحركة والمتحركة التي تسير على هذه السكك، وفي هذا المجال فقد قامت الخطوط الحديدية السورية بالتعاون مع الشركات المختصة بتطوير عدد من القاطرات الروسية القديمة وتحويلها إلى قاطرات مجدده ذات كفاءة وأداء عالي بالإضافة إلى تطوير نقل الركاب باستخدام مجموعات الترين سيت (Train set) الحديثة، في حين قامت الأبحاث الأكثر تطورا بدراسة العوامل المؤثرة على حركة القطارات مثل السرعة والحمولات المحورية ودرجات الحرارة واستخدام التزييت وتأثير الكبح....الخ ومن أهم هذه العوامل هو عملية التماس الحاصلة بين زوج الدولاب/السكة، حيث قامت بعض الأبحاث مثل DETERS and PROKSCH [١] بتجارب مخبرية لدراسة التماس التدحرجي والاحتكاك بين الدولاب والسكة باستخدام آلة المدحرجات ذات التصميم الجديد، وتوصلت إلى أن ازدياد حجم الاهتراء يكون متناسب مع ازدياد الضغط الفعال والزحف بين مدحرجتي الدولاب والسكة، وأن ازدياد السرعة المحيطية لمدحرجات التجربة يسبب انخفاض في حجم الاهتراء. بينما قام

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

[٢] Gallardo-Hernandez and Dwyer-Joyce بدراسة تأثير درجة الحرارة على عملية التماس بين الدولاب والسكة، باستخدام كاميرات حرارية لقياس درجة الحرارة بين قرصي الآلة التي تحاكي عملية التماس بين الدولاب والسكة وأظهرت أن درجة الحرارة عند تماس الدولاب والسكة عند ظروف تماس عنيف (شديد) يمكن أن تقود إلى تحوله من الاهتراء العنيف (الشديد) إلى الاهتراء الكارثي. كما قام [٣] Guagliano and Pau M بدراسة تحليلية للشقوق الداخلية التي تتولد في الدواليب السككية عند تعرضها للأضرار المختلفة، من خلال دراسة الحمولة الكلية التي تتعرض لها الدواليب وكيفية انتقال هذه الحمولة خلال سطح التقابل بين الدولاب والسكة باستعمال تقنية الأمواج فوق الصوتية. أما [٤] Jaiswal et al. فقد قام بدراسة محاكاة سبع نماذج من المركبات السككية التي تعمل على شبكة UK وتوصلت إلى نتائج النمذجة المتعلقة بضغط التماس والاجهادات السطحية وإجهادات القص...الخ لكل من الدولاب والسكة، كما أنها توصلت لتقدير عمر السكة والدولاب. وقد تم تركيز البحث من قبل [٥] Koan-Sok et al. على دراسة تأثير الظروف الرطبة والجافة على مميزات السحب (الجر)، وتم قياس معامل السحب باستعمال الآلة ثنائية الأقراص ذات الاحتكاك التدحرجي الانزلاقي بحيث يمكن محاكاة ظروف تماس الدولاب والسكة فعلياً عند نسب انزلاق وسرع تدحرج منخفضة وتمت دراسة المنحني الناتج عن علاقة معامل السحب مع مسافة الانزلاق عند ظروف الاحتكاك الرطبة والجافة ومقارنة هذا المنحني في الحالتين. أما [٦] Telliskivi and Olofsson فقد قاما بمحاكاة تآكل سطح الدولاب والسكة في المنعطفات، على اعتبار أن التآكل يجمع بين الاهتراء والتشوه اللدن، وتوصلت لمحاكاة تغير شكل التماس بين الدولاب والسكة مما ساعد في وصف الخطر الناجم عن الاهتراء الشديد والناتج عن زيادة كل من سرعة القطار والحمولات المحورية، علاوة على ذلك فقد قاما بدراسة حالة تغير الشكل عند التماس بنقطتين أظهرت النتائج على أنه يمكن وصف الاهتراء كفقدان للكتلة عند الانزلاق، ويمكن أن يكون أعلى بحدود ٢,٥ مرة عند استعمال نموذج المادة المرة اللدنة مقارنة مع المادة المرنة خطياً.

ومن المعروف أنه مع تطور النقل السككي، فقد دعت الحاجة لزيادة سرعة القطارات واستخدام حمولات محورية بقيم تحميل مرتفعة تجاوزت بالنتيجة الحدود التصميمية لمادة الفولاذ، وأدت لزيادة الاحتكاك والاهتراء وإنقاص دورة حياة كل من الدولاب والسكة وأخيراً سببت كلف صيانة مرتفعة. مما جعل مسألة التماس بين الدولاب والسكة أكثر تعقيداً، إضافة إلى التأثير الكبير لتغير شكل بروفيل الدولاب على المميزات الديناميكية للمركبة السككية كالاستقرار وراحة المسافرين وقد يسبب الجنوح في أسوأ الحالات.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

ومن أجل تقليل الأضرار إلى حدودها الدنيا على كلٍ من الدولاب والسكة على حد سواء، فإنه يجب أن يتم تجريب الدواليب من خلال مجموعة من التجارب التي تثبت وثوقية الدواليب واقتصاديتها، إضافة إلى أنه يجب تشغيل الدواليب أو استبدالها عندما تصل إلى الحدود الدنيا المسموح بها، وذلك للتخلص من الشقوق و التآكلات وحجوم التغيرات لسطوح الدواليب. إلا أن استبدال الدواليب أو القيام بخراطتها يسبب تكاليف اقتصادية مرتفعة، لذلك وللضرورة القصوى فقد دعت الحاجة إلى إيجاد الحلول الممكنة لهذه المشكلة.

ومن هنا فقد جاءت فكرة هذا البحث الذي يهدف إلى دراسة عملية التماس الحاصلة بين الدولاب والسكة من أجل تحسين أداء الخطوط الحديدية السورية وذلك من خلال ما يلي:

أهداف البحث:

أولاً: نمذجة عملية التماس بين الدولاب والسكة لدراسة طبيعة تماس السكة/الدولاب وتحديد شكل ومساحة رقعة التماس وتغير قوى التماس عند سطح التقابل بالإضافة إلى حساب إجهادات وضغوط وقوى التماس المعقدة والتي تتطلب عمليات حسابية ومعادلات رياضية غاية في التعقيد، وذلك فيما يتعلق بالدواليب والسكك المستخدمة في شبكة الخطوط الحديدية السورية.

ثانياً: محاولة التنبؤ بمعدل اهتراء الدولاب السككي، وتطبيق نتائج التنبؤ بالاهتراء بشكل عملي لحساب اهتراء الدولاب عند تشغيله على مسارات الشبكة السورية.

ثالثاً: دراسة تغير بروفيل الدولاب حسابياً وتجريبياً أثناء تشغيله وأخذ هذه القراءات وتحليلها وفقاً للمسافة الكيلومترية المقطوعة ومقارنة النتائج، من أجل تقدير فترات مثلى لإجراء عملية الصيانة (الخراطة) الفعّالة للدولاب وبالتالي العمل على إطالة عمر هذه الدواليب وتحقيق أقل كلفة صيانة وفق أطول دورة حياة ممكنة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

أهمية البحث:

تكمن أهمية هذا البحث على اعتبار أنه البحث الأول من نوعه الذي يهتم بمجال السكك الحديدية السورية، ويُعنى بدراسة علاقة الأدوات المحركة والمتحركة مع القضبان الحديدية التي تسير عليها، ويسلط الضوء على أهمية عملية التماس الحاصلة عند تقابل الدولاب/السكة وتأثير تغير بروفيل الدولاب على حُسن أداء المركبات السككية، إضافة إلى أنه يُركّز على مفهوم الاهتراء للدولاب السككي في محاولة للتنبؤ بمقدار الاهتراء وما إلى ذلك من أهمية في إطالة عمر الدواليب السككية وإنقاص كلفة دورة الحياة لهذه الدواليب، والوصول أخيراً إلى تحقيق زيادة في أمان وسلامة النقل السككي بكافة أشكاله.

ومن الجدير بالذكر أن فكرة هذا البحث قد حظيت باهتمام كبير في كافة الأبحاث العالمية وذلك بسبب الأهمية الحيوية للنقل السككي في العالم، ومازال البحث مستمراً من أجل تحديد كافة البارمترات المؤثرة على عملية الاهتراء والتوصل إلى تنبؤات للإهتراء أكثر دقة.

أخيراً، إن دراسة عملية التماس بين الدولاب/السكة والتغير الناتج لبروفيل الدولاب والسكة وبالتالي اهتراء الدولاب السككي يبقى بحاجة إلى الكثير الكثير من البحث والدراسة لما له من أهمية أولاً ولما يحتوي من التأثير المتبادل بين البارمترات المتعددة التي تحكم عملية الاهتراء الحاصلة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Simulation of Contact between Rail and Wheel Of Railway to Improve its Performance

Abstract

Wheel and rail wear is a fundamental problem in the railway field. so, friction and wear of the wheel/rail system influence the running performance of rail vehicles and the life of its components.

The present paper is focused on simulating the wheel-rail contact model, the global model is a finite element (FE) model and is analyzed using ABAQUS Standard Version ٦,٦-١, the FE program requires specified material properties and profiles for both components. Tensile testes dictate the rail-wheel material properties, and the rail-wheel profiles are drawing using Solid Works SP٠,٢. The analysis was conducted as a dynamic analysis using ABAQUS Explicit during which the rim wheel is rolled along the head of the rail under the appropriate loading and the speed of the locomotive was assumed to be constant and a value of (٠,٤٥-٠,٥) taken as the coefficient of friction between the two components. Two kind of wheels (Monobloc for locomotives ٣٢٠٠ - Tires of Locomotives ٢٨٠٠) and rails (rail UIC٦٠-٩٠٠A - rail R٥٠) were modeled and analyzed. Typical results are the surface contact pressure, surface stress and contact patch size. Additionally, subsurface stress distributions are calculated for both the wheel and rail components, including directional and shear stresses and Von Misses stress distributions on the rail-wheel surface.

The later work declares the method able to predict Syrian railway wheel wear rates by adapt the Derby wear index approach to generate the wear coefficient. The wear rates are then calculated for different tracks in Syrian railway. To this end, the change of wheel profile shape is studied experimentally and the results are used to effectively evaluate maintenance intervals.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

First: Simulating the Wheel-Rail Contact Model:

Simulating the form change of the wheel–rail contacts help to identify the risk of severe or catastrophic wear resulting from increased train speeds and axle loads and can help in determining more efficient maintenance schedules for track and rolling stock.
The analysis was conducted as a dynamic analysis using ABAQUS Explicit during which the rim wheel is rolled along the head of the rail in two contact cases, cases ١ and ٢. These two cases were analyzed in a previous work.

Case ١: Contact at rail head

In case ١, the wheel is in contact with the rail head as shown in Fig. ١ The analysis is sufficiently precise for the contact area and the maximum contact pressure is approximately similar to those achieved by FEM using an elastic–plastic material model.

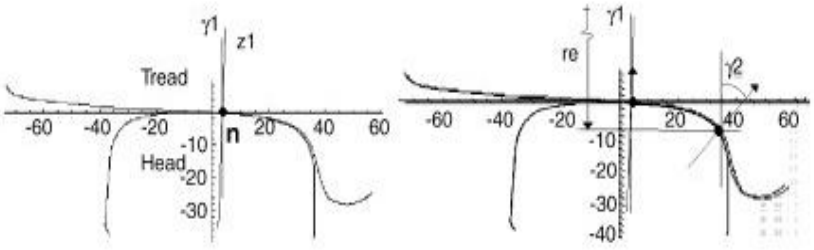

Fig. ١. Contact locations for the first case (right) and second case (left)

Case ٢: two-point contact (at rail head & on rail edge)

Two-point contact is the characteristic contact mode in curving wheel–rail contact. In a two-point contact, there is contact at the rail head due to gravity and also contact between the rail edge and the wheel flange due to the centrifugal side forces of the curving train.

١. Results & Outputs:

Typical results are the surface contact pressure, surface stress and contact patch size. Additionally, subsurface stress distributions are calculated for both the wheel and rail components, including directional and shear stresses, The results are presented in Table ١.
The von Mises distributions in the rail head and in the wheel are shown in Figure ٢. for the Contact Wheel٣٢٠٠ & Rail UIC٦٠ in the cases ١&٢ contact (as example).

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

A major benefit of the contact model is the ability to show the stress distribution through the rail head. The von Mises distributions in the rail head and in the wheel are shown in Figure ٢.

Table ١. Output parameters from analyzing cases ١& ٢ contact

Contact Model	*Case ١: contact at rail head*			*Case ٢: Two-point contact*		
	Wheel Misesmax Stress (Mpa)	**Rail Misesmax Stress (Mpa)**	**Contact Area (mm^2)**	**Wheel Misesmax Stress (Mpa)**	**Rail Misesmax Stress (Mpa)**	**Contact Area (mm^2)**
Contact Wheel٣٢٠٠ Rail UIC٦٠	٣٤٠	٨٠٠	٢٠٠	٦٨,٢	٦٨٦	٥٠٠
Contact Wheel٣٢٠٠ Rail R٥٠	١١٥	٧٧٠	١٣٥	٦٧,٩٧	٦٥٨,٣	٤٥٠
Contact Wheel٢٨٠٠ Rail UIC٦٠	٤٦٥	٨٠٠	١٤٠	٨٢,١١	٧٣٣	٢٨٠
Contact Wheel٢٨٠٠ Rail R٥٠	٧٦٥,٩	٧٧٠	١٢٥	٨٢	٧٠٥,٨	٢٧٠

- **Contact Wheel٣٢٠٠_ Rail UIC٦٠**

Case ١: contact at rail head

Misesmax_Rail= ٧٧٠ MPa

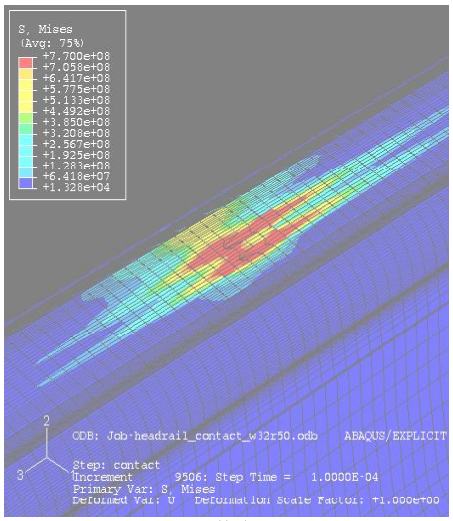

Figure (٢-١)

Misesmax_Wheel =١١٥ MPa

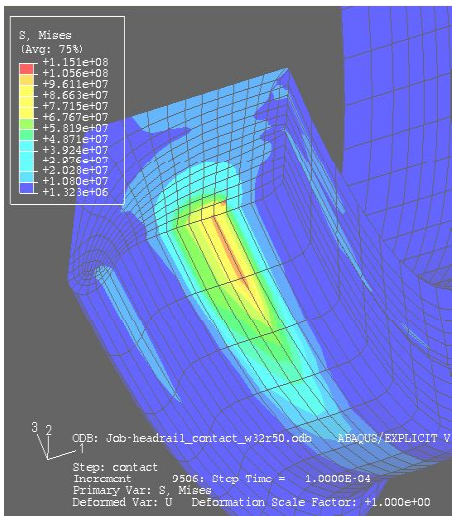

Figure (٢-٢)

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Contact Area =٤٥٠ mm^{٢}

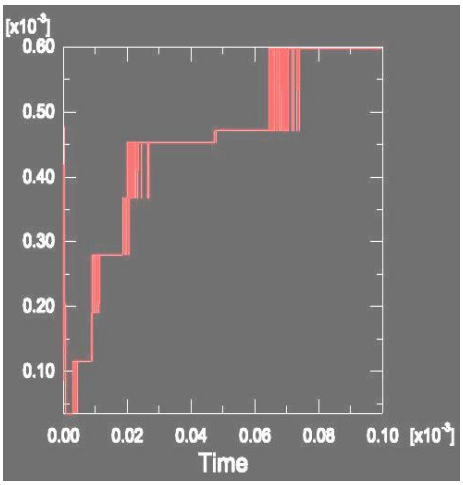

Figure (٢-٣)

Contact Area =١٣٥ mm^{٢}

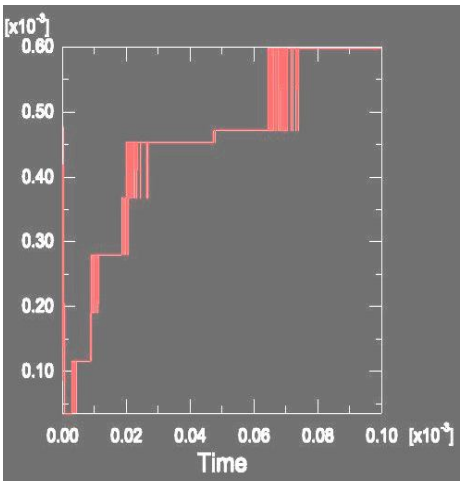

Figure (٢-٤)

Case ٢: Two-point contact

Misesmax_Rail= ٦٥٨,٣ MPa

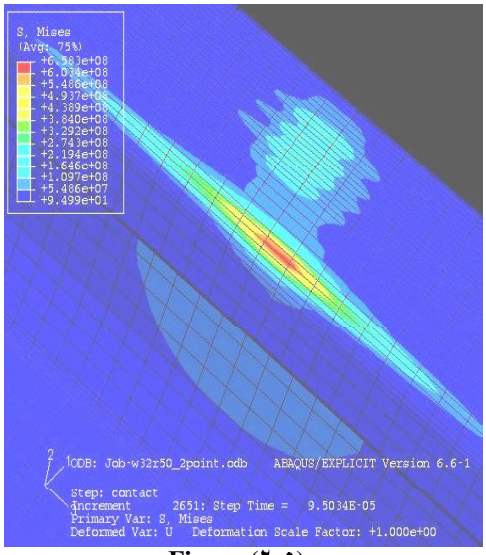

Figure (٢-٥)

Misesmax_Wheel=٦٧,٩٧ MPa

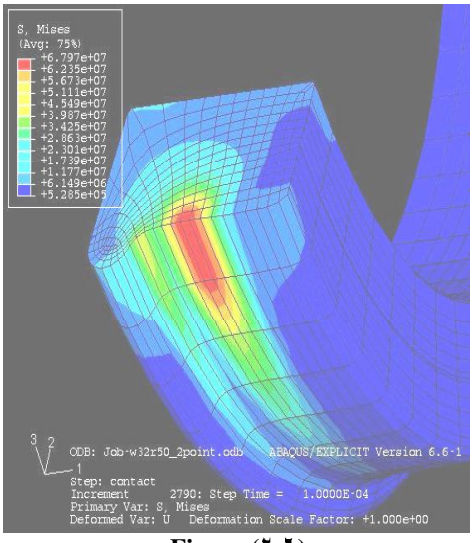

Figure (٢-٦)

٣. CONCLUSIONS:

The Contact model essentially provides a window to visualize the mechanical process occurring during contact and the resulting distribution of stress, both directional and in shear. It is also considered to be a very accurate method for quantifying contact stress compared to other methods.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Second: Predict wheel wear rates in the Syrian railway:

Friction and wear of the wheel/rail system influence the running performance of rail vehicles and the life of system components. A more realistic prevision about the wear behavior of wheels and rails require further investigations into friction and wear behavior within the wheel-to-rail contact. With a better understanding of the causes (friction), it will be possible to put the right construction on the effects (wear) and effectively counter damage to system components.

A number of different techniques have been used for studying wear rates of railway wheel steels to generate data for use in wear modeling procedures. Field measurements have been used in the past to study the causes of wear as in Darden. A large amount of data has also been gathered from simulated field experiments carried out on specially built test tracks. Laboratory methods used range from full-scale laboratory experiments and scaled-down tests to bench tests using a twin disc set-up. The twin disc approach has been used more than most because it offers greater control over experimental variables as well as the ability to test a wide range of materials at lower cost.

١. Wear Index:

The Derby wear index used by Pearce and Sherratt [١٢] adopts an energy approach in the analysis of the relationship between wear rate and contact conditions. It is assumed that wear rate (μg/m rolled/mm٢ contact area) is related to work done at the wheel–rail contact (wear rate = $KT\gamma/A$, where T is tractive force and γ slip at the wheel–rail interface, K a wear coefficient and A is the contact area). Various researchers have reported wheel–rail wear results using twin disc test machines of varying geometries as well as full-scale test results that support this approach.

This research is focused on wear forecasts. To this end, the wear index has been used and the behavior of the wheel and rail material will be determined in the Syrian Railway**.**

٢. Wear Predict results:

Fig. ٣ shows the wear rate against the wear index Tγ/A. At low values of Tγ/A, wear rate is proportional to Tγ/A (K , wear coefficient) .

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

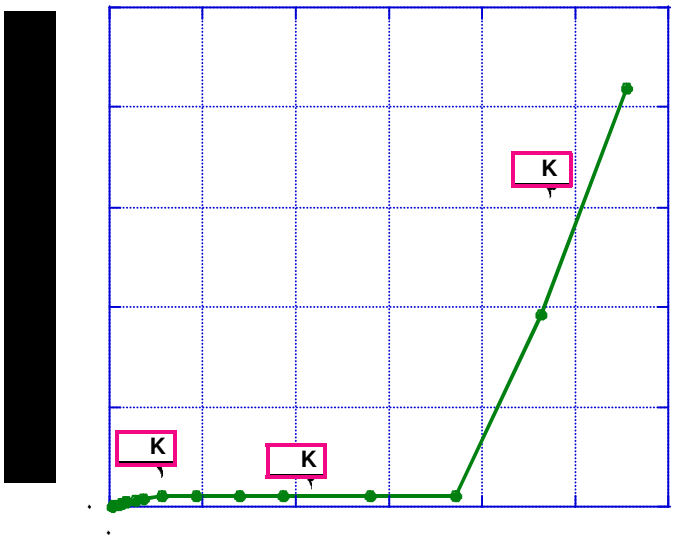

Figure (٣) wear rate_ wear index

As Ty/A was increased, however, the wear rate leveled and then increased again quite rapidly indicating that as the severity of the contact is increased different wear regimes are apparent ($K_٢$ wear coefficient) .
As Ty/A was increased, the wear mechanism altered. The wheel material appeared to wearing by a delimitation process ($K_٢$ wear coefficient).
In order to provide wear coefficients for use in the wheel wear modeling procedure the wear rate data was split into three regions (see Fig. ٣). A wear coefficient was defined for each of these regions (see Table ٢).

Regime	T y/ A (N/mm^٢)	wear rate (µg/m/mm٢)
K١	T y/A < ١٠,٤	٠,٢ T y/A
K٢	١٠,٤ <T y/A < ٧٧,٢	constant
K٣	٧٧,٢ < T y/A	unknown

Table ٢. wear coefficients

Clearly, with the lack of data generated in the third regime there is a possibility of less accurate wear predictions for contacts at these conditions. It would be anticipated, however, that wheel–rail contact is in K١ and K٢

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

regions most if not all of the time and only reaches K^{3} region in the most severe curves.

Simulation of Contact between Rail and Wheel of Railway to Improve its Performance

Master Degree in Mechanical Engineer

Produced By

Eng. Roudaina Dabbas

Directed By

Dr. Kasan Moulki

٢٠٠٨/١٤٢٩

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Syrian Arab Republic
University of Aleppo
Faculty of Mechanical Engineering

Simulation of Contact between Rail and Wheel Of Railway to Improve its Performance

Master Degree in Mechanical Engineer

Produced By

Eng. Roudaina Dabbas

Dep. Of Applied Mechanics
Faculty of Mechanical Engineering
University of Aleppo

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit