

النمذجة الرياضية للإدارة بالاحتكاك في آلات التشغيل ذات الضبط العالي الدقة

الدكتور محمد زهرة*

تاريخ الإيداع 27 / 5 / 2012. قُبِلَ للنشر في 15 / 7 / 2012

□ ملخص □

إن الإدارة (نقل الحركة) بالاحتكاك ذات الاسطوانة - القضيب هي مثال عن المحرك المستقيم عالي الدقة. كما أن الإدارة بالاحتكاك ذات الاسطوانة - القضيب تقدم ميزات تحكم ذات حركة رجوعية ضعيفة، ونطاق عدم رجوع، وذلك نتيجة للتعديل المرن داخل منطقة التماس بحسب نظرية هرتز. إضافة إلى أنها تعطي البساطة في التصميم الأولي، والتصميم القابل للتوسع أو التمدد إلى مجالات أطول (بعلو ترتيب الأمتار)، إذ تبدي مجهوداً بنكلفة هامشية فقط في التصميم والتطبيق. إلا إن الإدارة بالاحتكاك ذات الاسطوانة - القضيب لم تُستخدم على نطاق واسع، ومن المحتمل أن يكون السبب في ذلك هو عدم التأكد بخصوص أمور محددة مثل: القدرة على الإدارة، والكسب في نقل الحركة، والتبولوجيا (دراسة الخصائص الهندسية التي لا تتأثر بتغيير الحجم أو الشكل)، ونظافة قضيب الإدارة - سطح التماس.

إن مواجهة عدم التأكد هذا، والمتعلق بخصوص أمور محددة في القدرة على الإدارة بالاحتكاك، تمت بإجراء تحليل بقصد تأمين أدوات تصميم لجيل جديد من آلات التشغيل. وتطوير نموذج رياضي ليقصى سلوك سطحي التماس باستخدام نظرية هرتز لإجهادات التماس. وهذا ما سقدمه في هذا البحث، بالإضافة لأهداف أخرى للدراسة تضمنت منهجيات من أجل تحديد الصلابة الستاتيكية والديناميكية بوصفها تابعاً للحمل، وإدخال الحركة (الديناميكا) بوصفها تمثيلاً للإدارة - تردد القوة. وتم أيضاً وصف للنموذج، وإجراء مقارنات مع النتائج التجريبية.

الكلمات المفتاحية: النمذجة الرياضية- الإدارة بالاحتكاك- الضبط العالي الدقة- نظرية هرتز- آلات التشغيل- سطح التماس.

* أستاذ مساعد- قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية-سورية

Mathematical Modeling For Friction Drive (transmission) on Ultra- Precision Machine Tools

Dr. Mohammad Zahra *

(Received 27 / 5 / 2012. Accepted 15 / 7 / 2012)

□ ABSTRACT □

The friction Drive (transmission) with the roller-the bar is an example of a high-precision rectilinear actuator. And also friction Drive with the roller-the bar offers control advantages with a retrograde movement is weak, and the scope will not return, as a result of the elastic amendment within the contact area according to the theory of Hertz. Add to that, it gives the simplicity in the initial design and design viable for expansion or expansion to areas longer (order of meters height), so show only a marginal cost of effort in design and application. However, the friction Drive with the roller—the bar not used widely, and is likely to be the reason for this is uncertainty regarding the specific matters such as: the ability to drive-force, and gain in the transmission, and topology (the study of geometric properties which are not affected by change size or shape), and the cleanliness of drive bar-interface.

To face of this uncertainty, that is related to specific matters concerning the ability to drive-force, an analysis has the aim of ensuring design tools for a new generation of machine tool, and the development of a mathematical model to explore the behavior of surface contact using the theory of Hertz contact stresses. This is what we will present in this research, in addition to other objectives of the study included the methodologies in order to determine Static and dynamic stiffness as a function of load, and input dynamics as represented by drive-force frequency. It was also a description of the model, and comparisons with experimental results.

Keyword: Mathematical Modeling, Friction Drive, Ultra-Precision, Hertz's Theory, Machine Tools, Contact Interface.

* Assistant Professor, Department of Production and Design, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Tishreen, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن وجود مفاهيم مثل: "الدقة"، و"الدقة الفائقة" هي، إلى حد ما، متكيفة مع التطور، وتأخذ بالحسبان المعايير المعاصرة المتوقعة والتحسينات، وإذ إن تطورات العصر والمستويات العامة في الأداء تتحسن وينقص الانحراف عن المواصفات المطلوبة. ونتائج مثل هذا التقدم تُظهر التحسينات في منتجات الإنسان المستهلك كمحركات السيارات لزيادة الشحن، وفي إطالة عمر ضواغط البرادات، وصنع أدوات الدقة للقوالب عالية الأحجام؛ كالبصريات من أجل تكنولوجيا الأقراص المدمجة [1] [2]، إن "الدقة" يمكن أن تنطبق على أفضل إمكانيات ورش الآلات، كما يمكن إيجادها في المتقنب الدليلي إذ تلزم الدقة الفائقة للاستعمال في عمليات قادرة على التكرار في ترتيب القطع بمقدار 10^6 والدقة إلى مستويات ما دون الميكرومتر.

تم بشكل خاص تحقيق انجازات كبيرة في أداء المحركات المستقيمة باستخدام لولب السحب (عمود السحب في الآلة). ونشأت حاجة دقيقة في تسطير (تعزيز) مشابك الانعراج (الحوازر الشبكية) السبيكتروسكوبية (المطيافية) إذ إن وضع الفرضيات المتتالية فوق 250 مم يجب أن يكون ضمن جزء من الميكرومتر للموقع الصحيح (كما هو محدد من قبل متوسط الحزوز المسطرة مسبقاً). وبعد أن تمت المعرفة والاستطلاع باستخدام علم القياس بالتداخل الضوئي لتطبيقات القياس [3]، قام بعض الباحثين بتطبيق ذلك بتعبير وتصحيح الأخطاء المتكررة في لولب السحب (عمود السحب) لمحركات التسطير (التعزيز)، وإذ سمحت حالة الالكترونيات، تم تطبيق ذلك من أجل تصحيح سيرفو مستمر على آلة مشتقة من أعمال باحثين سابقين [4]، وكذلك تم تمديد قياس الحواجز الشبكية المحززة أو المسطرة إلى 600 مم [5]. إن هذا التداخل في العمل لمجموعة بحث تعزيز الحواجز الشبكية مع مصنعي آلات التشغيل، أدى إلى استخدام التحكم عن طريق القياس بالتداخل الضوئي على مخارط برأس واحد وآلات تشغيل أخرى مصممة للتصنيع المباشر للسطوح البصرية المعدنية مثل المرايا اللاكروية، بنفس ترتيب تسامحات أشكال ما تحت طول الموجات والانتهاءات النانومترية [6]. إذ تكون الأخطاء المرحلية غير مؤذية، كما هو الحال في الحواجز الشبكية (التي تسبب قمم شبح عرضية أو زائفة) في الطيف الملاحظ أو المراقب)، يكون الخطأ العشوائي الحاصل بالتدرج أو مرحليا أكثر تسامحاً. بعد العمل الأولي على محركات الحواجز الشبكية فان تطبيق التدرج أو المرحلة تم استخدامه لتوليد الحركة في الكاميرات - ذات الخطوة والحلقة الرقائعية (wafer) في إنتاج دارات ميكرواللكترونية VLSI.

تم استخدام الحركات المستقيمة في صناعة آلات التشغيل تقليدياً في مجالات تغطي أطوال مصنوعات الإنسان المطلوبة. إن دوران الاسطوانات الطويلة واللواحب واستخدام التشغيل الآلي للسطوح الطويلة على آلات التفريز والتشكيل والتسوية، هي أمثلة على عمليات - صناعات الإنسان التي تتطلب مثل هذه الحركات، والمحرك العادي المستخدم كان لولب السحب أو عمود السحب عالي الدقة. إن لولب عمود السحب ذات القدرة أو الكفاءة الميكرومترية، يمكن الحصول عليها بأطوال تزيد عن متر واحد. إن ميزات لولب أو عمود السحب تكمن في إمكانياته الذاتية للقياس بدقة متناهية لمجالات طويلة من تعداد الدورات والأجزاء الزاوية لأي جزء من الدورة. إلا أنه عند إضافة ناقل أو محوّل للطاقة منفصل القياس (مثال: الميزان الترابيدي أو مقياس التداخل الليزري)، فان المطلوب يتحول إلى تأمين حركة ناعمة (سلسلة) متكررة. إن استخدام لولب عمود السحب يستمر حتى في التطبيقات الحديثة مثل تركيز X-Y في الكاميرات ذات الخطوة بحلقة رقائعية للصناعات الميكرواللكترونية [7].

وهنا أيضاً لا بد أن نذكر أن هناك إدارة (نقل حركة) بديلة، مبدوها ومخططها الفيزيائي له عموميته مع الإدارة بالاحتكاك، وهي الإدارة بالمحرك الكهربائي الخطي [8]. وبشكل أساس، القلب الدوار والقسم الساكن الخارجي لمحرك

دوار تقليدي يتم ترتيبها على شكل عناصر مستقيمة. ومن أجل التفريز من الجانبين لعنصر (قضيب) طويل، يستخدم المحرك الكهربائي الخطي ذو وحدة إدارة صغيرة يمكن تركيبها بشكل مباشر ومتكامل مع العربة المدارة، وبالتالي يمكن حذف القارنات ومصادر الأخطاء المحتملة نتيجة للحركة الرجوعية والرولمانات. ولأنه محرك قدرة، فهناك قصور أو تعييدات قليلة لدقة الموقع النهائي، وقد أظهرت اختبارات الدقة في تحديد المواقع أو المواضع ضمن 0.1 ميكرون أو ميكرومتر (0.1 μm) [9]. إذ إن هناك إمكانية لوجود مزايا محرك ذي مجال قصير بالاشتراك مع محركين اثنين طويلي المجال بشكل هجين، ولكن هذا يتطلب ترتيبات مناسبة للتحكم في الخط والتفاعل.

ومن أجل خدمة هدف البحث، فإن هذه المتطلبات جميعها تحمّل بشكل هام على مواصفات المحركات المطلوبة لإنتاج الحركة. إن المستلزمات اللازمة لحركات الضبط والإحكام يمكن تعرفها من خلال عدد من الصفات المفضلة في محركات (محرضات) الحركة وهي:

1. الصلابة الستاتيكية العالية .

2. الصلابة الديناميكية (الحركية) العالية .

3. الاحتكاك القليل .

4. الاستقامة (الخطية)

5. الكسب الذاتي العالي .

إن الآليات، مثل لولب عمود السحب تحقق الصفة الأولى، ويقابل من الجهد، يمكن الوصول إلى تحقيق الصفة الثانية. أما بالنسبة للاحتكاك القليل فالمطلوب من أجل تحقيق ذلك هو وجود أجزاء متزاوجة (متداخلة) للتمكن من شروط قوى سطحي التماس التي توضح الحركات الضائعة بالعكس مثل: الأثر التخلفي (المغناطيسي)، والحركة الرجوعية هي مثال رئيس على ذلك. ويمكن استخدام إطار للقياس،

وذلك للتعويض عن عدم الاستقامة (الخطية). هناك نتيجة أخرى للقيم المطلقة المنخفضة للاحتكاك هي

الميل نحو سطوح تماس انزلاقية لإظهار الالتصاق (انعدام الحركة بين سطحين)، أو الالتصاق- الانزلاق (stick-slip)، وهو تأثير مؤد جداً لتركيز مواقع الدقة، ويمكن تعقبه بالاحتكاك المرتبط بالإقلاع الأعلى مما هو مطلوب لديمومة الحركة. وبالاشتراك مع المرونة، قد تنشأ حركة تقويت غير دقيقة على مستويات منخفضة (بطيئة) للحركة، والشروع في الحركة لاحقاً لعملية الانعكاس. إن اشتراك الحركة الرجوعية، والالتصاق- الانزلاق (stick-slip) يشكل مشكلة، وبشكل خاص، عندما يُستخدم المحرك في دارة تحكم مغلقة ذات كسب عال، كما يحدث في الغالب. ولكن عند التحليل بشكل متناسق، فإن " التأخير " الفعال يعمل بوصفه مرحلة انتقال أو طور انتقال مع انخفاض معقول (ضمن الحدود) في استقرار دارة التحكم المغلقة (أي التخميد المنخفض أو الميل نحو الذبذبة تلقائياً).

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف الأساس من البحث هو تطوير نموذج رياضي للإدارة بالاحتكاك ليتقصى سلوكاً سطحي التماس باستخدام نظرية هرتز لإجهادات التماس. بالإضافة لأهداف أخرى للدراسة تتضمن منهجيات من أجل تحديد الصلابة الستاتيكية والديناميكية بوصفها تابعاً للحمل، وإدخال الحركة (الديناميكا) تمثيلاً للإدارة (نقل الحركة) - تردد القوة. وإجراء مقارنات مع النتائج التجريبية.

طرائق البحث ومواده:

إن طريقة البحث ومواده هو امتداد لنظرية هرتز لاجهادات التماس بين السطوح وتطبيقها على الإدارة بالاحتكاك في آلات التشغيل ذات الضبط العالي الدقة، من خلال نموذج للتنبؤ بالسلوك المطاوع للإدارات بالاحتكاك. حيث أن هذا الامتداد أو التوسع يتم بتحليل الانزلاق النسبي والصلابة المماسية على سطحي التماس للإدارات بالاحتكاك وذلك للأهمية ودقة الملاحظة في العلاقة بين الصلابة المماسية والحمل المطبق، بالإضافة إلى اختبارات الصلابة الستاتيكية في حالة التحميل واللاتحميل لقضيب الإدارة، وتحديد معامل الاحتكاك عند تطبيق الحمل الذي يتسبب في بدء قضيب الإدارة بالانزلاق والانتقاس بواسطة قوة التحميل المسبق، وكذلك اختبارات الصلابة الديناميكية على منصة اختبار عن طريق مجموعة محرك حركي - كهربائي (وشبعة صوت ومغناطيس) مركبة على قضيب الإدارة، ومدارة بواسطة مضخم سيرفو خطي من خلال جهاز التحليل الطيفي الرقمي، ومسابر لقياس الإزاحة من أجل معرفة الاستجابة للمطاوعة الديناميكية في حالة عدم التزيب، ومقارنة النتائج المقاسة مع النتائج النظرية (المحسوبة). بالإضافة إلى الاعتماد على مراجع علمية متخصصة، وبحوث علمية منشورة في مجلات عالمية في هذا المجال.

النتائج والمناقشة:

1- الإدارة بالاحتكاك - وصف النموذج

إن الإدارة بالاحتكاك (المعروفة كذلك بالإدارة المسيرة) هي مفهوم مباشر. إن إدارة الحركة المستقيمة تتم بواسطة قوة تتولد بالدوران لتعطي العزم لإدارة الأسطوانة المتحركة بشكل نموذجي عن طريق سيرفو- محرك تيار مستمر dc. إن الحركة المحيطة تنتقل إلى قضيب (له شكل أو مقطع سطح مطابق مناسب) مثبت على اسطوانة الإدارة بواسطة الطاقة المنقولة من خلال اسطوانة ضغط أو قيادة ذات محور موازي لمحور اسطوانة الإدارة تلك، ولكن على الجانب المقابل من القضيب. إن ضغط التحميل المسبق أو قوة التحميل المسبق (المبدئي) يتولد نموذجياً من انحراف النوابض ذات اللفات، أو آلية ثني مركبة في الداخل .

ونقدم في الشكل (1) نموذج مختلف للإدارة بالاحتكاك يستخدم قضيباً ذا مقطع مستطيل الشكل واسطوانات مدلفنة (مبرومة).

إن مبدأ عمل الإدارة بالاحتكاك له صفات مشتركة مع الإدارة بالجريدة المسننة والترس، وله صفات ايجابية تتضمن ما يلي :

1. التركيب المباشر لوحدة الإدارة في العربة المتحركة (قارنات الإزالة أو الحذف) .
 2. الحركة الرجوعية ضعيفة والتحكم بعدم الاستقامة (الخطية) ثابت (ناتجة عن التركيب المباشر).
 3. احتكاك الإدارة ضعيف .
 4. التصميم غير معقد نسبيا .
 5. التعشيق محدد بشكل جاهز ضمن الحدود الموضوعية من قبل هندسة الاسطوانة - القضيب .
- وهنا لا بد أن نذكر بعض الصفات الأقل رغبة التي تتضمن ما يلي :
1. الانزلاقية عند سطحي التماس للاسطوانة - قضيب الإدارة (أي قوة الإدارة والعزم) .
 2. الصلابة وحدود التخמיד نتيجة للخواص المادية والهندسية للاسطوانات - القضيب .
 3. الكسب - نقل الحركة (التعشيق) بالأصل ضعيف، ولكن يتوافق وهندسة الأسطوانات - القضيب .
 4. التحسس من دخول جزيئات عند سطحي التماس البيني (يتطلب منفاخ قابل للتطويل ...) ،
- إن العلاقة بين نصف قطر اسطوانة الإدارة R والسرعة الزاوية ω والسرعة المستقيمة V تعطى بالعلاقة التالية :

$$V = R\omega \quad (1)$$

عند حد الانزلاق، إن قوة الإدارة المحورية F_d ترتبط بالعزم τ كما يلي :

$$F_d = \tau R \quad (2)$$

إذا كان معامل الاحتكاك هو μ ، فإن العلاقة بين قوة الإدارة F_d وقوة الحمل المسبق (المبدئي) F_p تكون :

$$F_p = F_d/\mu \quad (3)$$

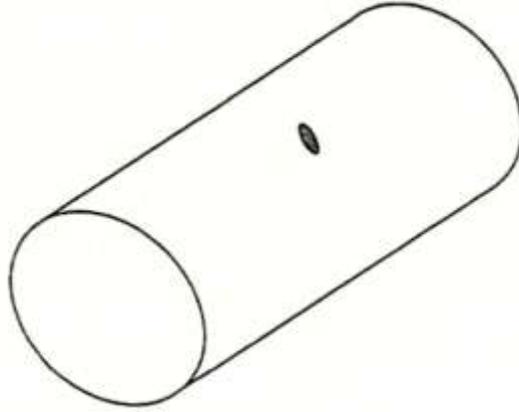
وبالنسبة إلى كتلة محددة m وتسارع محدد a تكون :

$$F_p = ma/\mu \quad (4)$$

إن هذه المعادلة تتحكم بتصميم الحمل المسبق لمعامل محدد للاحتكاك والكتلة المختارة والتسارع. أما بالنسبة للأنظمة ذات قضيب الإدارة المتحرك، فإن الكتلة يجب أن تتناسب بالحد الأدنى مع الصلابة .

إن الإدارة بالاحتكاك لديها مرونة تصميم معتبرة فيما يخص المجال لقوة الإدارة المعطاة (المحددة) . عندما يتم اختيار هندسة وقوة اسطوانة الضغط والإدارة ، يحدّد المجال بشكل أساس عن طريق طول القضيب المدار. أما فيما يتعلق بالإقلاع بمجموعة الإدارة ذات المجال المتواضع بخصوص التوسع أو التمديد ، فإن للتصميم أن يعطي أو يقدم الكثير بالمقارنة مع، محرك لولب عمود السحب الذي تصبح فيه التصاميم مقيدة بشكل أساس عندما يتم اختيار طول اللولب.

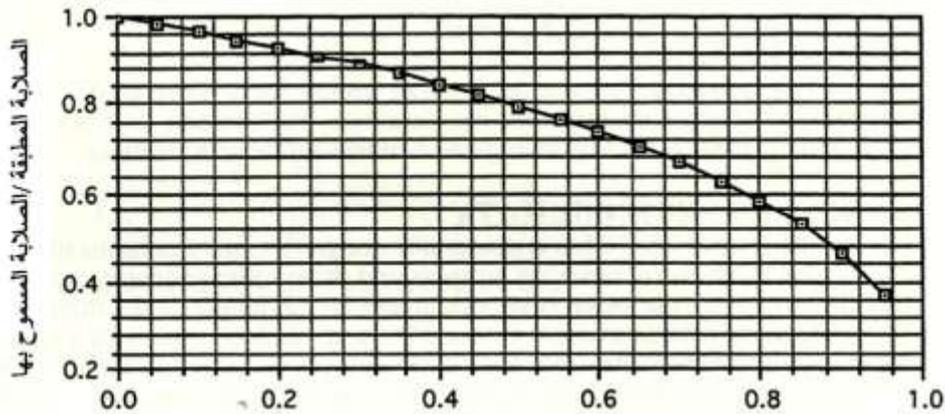
ويبين الشكل (3) منطقة التلامس الاهليلجي التي يسببها التماس النقطي بين اسطوانة الإدارة وقضيب الإدارة. إن حجم منطقة التلامس الاهليلجي والإجهاد الأعظمي على سطحي التماس يمكن تحديدهما باستخدام نظرية هرتز للتلامس بين الأجسام المنحنية .



الشكل (3) منطقة التماس الاهليجي بين سطحي التماس لقضيب الإدارة واسطوانة الإدارة.

إن الاجهادات التي يسببها التلامس بين الأجسام المرنة تم تطويرها سابقا من قبل العالم هرتز، ووضعت حلول لحالات عامة، وتم تطبيق النظرية على عناصر التماس (التلامس) المتدرجة، واستخدمت من قبل العديد من الباحثين لتصميم وتوصيف الإدارة بالاحتكاك، واسطوانات الإدارة وقضبان الإدارة [10], [11]. إن العمل في هذه الورقة البحثية هو امتداد للنظرية التي تحلل الانزلاق النسبي والصلابة المماسية (الصلابة المحورية المتوسطة في منطقة التلامس الاهليجي) على سطحي التماس للإدارات بالاحتكاك، من خلال تطوير نموذج رياضي ليقصى سلوك سطحي التماس [12].

ويبين التحليل التالي أهمية ودقة الملاحظة في العلاقة بين الصلابة المماسية والحمل المطبق. إن الشكل (4) يوضح كيف أن الصلابة تتخفض عندما يزداد الحمل المماسي المطبق. وفي الأحمال الضعيفة، يبدو أن الإدارة بالاحتكاك تعطي صلابة عالية بشكل معقول (صلابة أعلى من المعتمدة عادة)، إلا أنه كلما اقترب الحمل من الحد الاعظمي المسموح به من قبل قوة الحمل المسبق ومعامل الاحتكاك، فإن الصلابة تبدأ بالهبوط بسرعة أكبر. إن عدم الاستقامة هذا قد يؤثر على استقرار أو ثبات نظام السيرفو، إذا سُمح بنشوء حمولات ذات قصور ذاتي كبيرة خلال تشغيل الآلة.

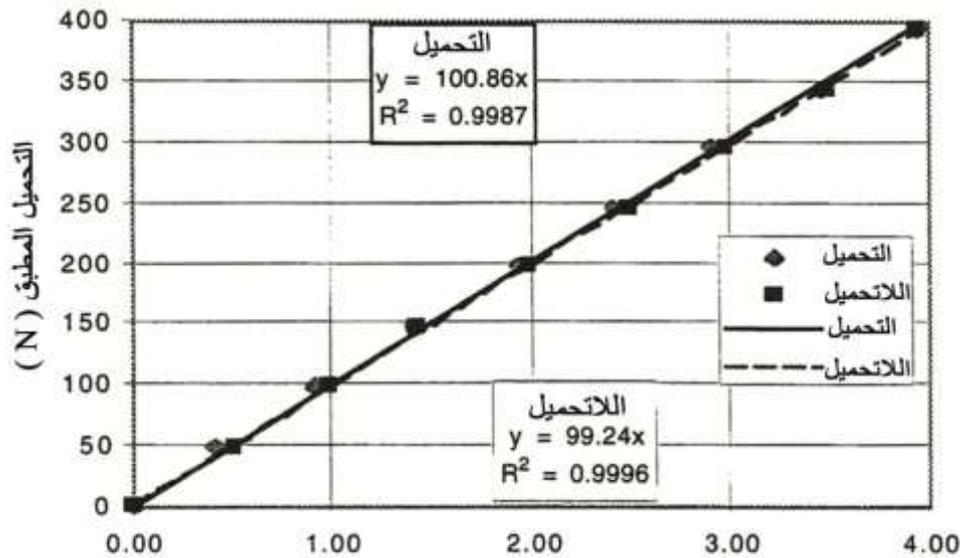


الشكل (4) التأثير النظري للحمل المطبق على الصلابة المماسية من خلال الإدارة بالاحتكاك.

2- نتائج اختبارات الصلابة الستاتيكية

تم إجراء قياسات الصلابة الستاتيكية (الساكنة). وبالنسبة لكل اختبار تم تحميل القضيب محورياً بأوزان ومن ثم رفعت الأحمال (اللا تحميل)، وتم تسجيل إزاحة قضيب الإدارة عند كل زيادة وزن. الخطوط المستقيمة مركبة على المعطيات: المنحنيات تمثل الصلابة المماسية. الخطوط المستقيمة مركبة باستخدام تراجع خطي للإزاحة مقابل معطيات الأحمال لكل من حالي التحميل وتفريغ الحمل (اللاتحميل). لقد تم تحديد معامل الاحتكاك بأخذ الحمل المطبق الذي تسبب في بدء قضيب الإدارة بالانزلاق والانقسام بواسطة قوة الحمل المسبق.

ويبين الشكل (5) نتائج الصلابة الستاتيكية المقاسة لحمل مسبق 4300 N ومن دون تزييت . بالنسبة لحالة التحميل فإن الصلابة الستاتيكية قيست وكانت $99 \text{ N}/\mu\text{m}$ ، أما الصلابة الستاتيكية بالنسبة لحالة تفريغ الحمل (اللاحمل) فقيست وكانت $101 \text{ N}/\mu\text{m}$ ، إن الفرق في الصلابة الستاتيكية المقاسة بين حالي التحميل واللا تحميل ربما تتمثل في كم صغير من الانزلاق أو التخلف المغناطيسي الموجود في سطحي التماس . وتم قياس معامل الاحتكاك لهذه الحالة ووجد بأنه يساوي 0.1 ($\mu = 0.1$) .

الانحراف بالميكرون (μ)

الشكل (5) الصلابة الستاتيكية لسطحي التماس من دون تزييت (اللا تزييت).

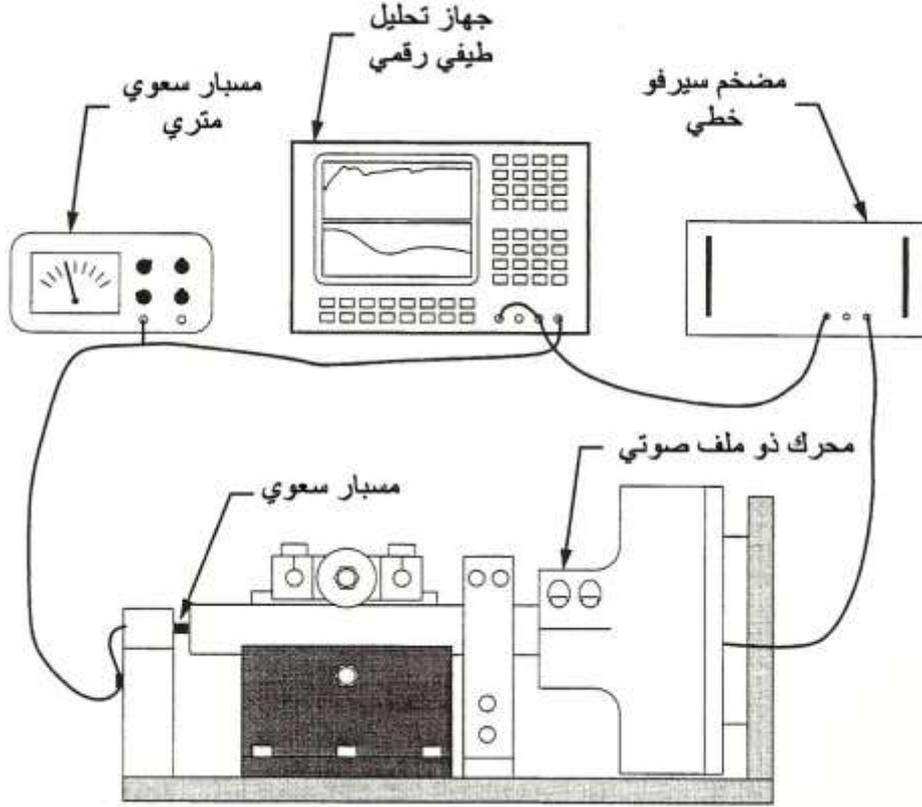
ويبين الجدول (1) ملخص نتائج الصلابة الستاتيكية. شروط الحالة واحدة تمثل اللاتزييت (دون تزييت): السطح البيئي التلامسي (سطحي التماس) نظيف وجاف .

الجدول (1) نتائج اختبارات الصلابة الستاتيكية.

التحميل المسبق (N)	شروط الحالة	معامل الاحتكاك	الصلابة المماسية المقاسة ($\text{N}/\mu\text{m}$)
4300	دون تزييت	0.1	101
3900	دون تزييت	0.1	98
3500	دون تزييت	0.1	92
3100	دون تزييت	0.1	93

3- نتائج اختبار الصلابة الديناميكية

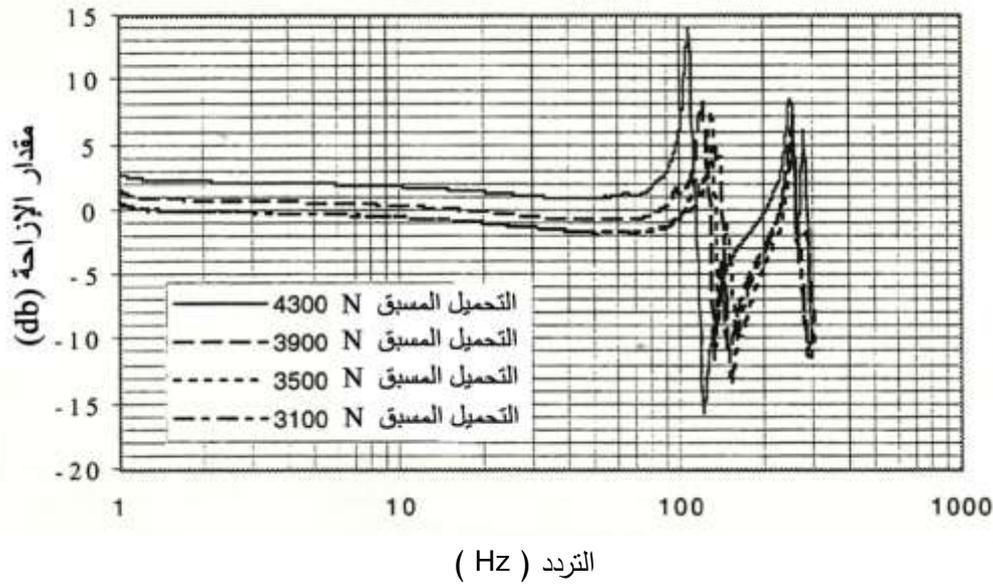
لقد تم قياس الصلابة الديناميكية لسطحي التماس (التلامس) على منصة اختبار الشكل العام كما هو مبين في الشكل (6) .



الشكل (6) منصة اختبار الإدارة بالاحتكاك - المؤلفة من محرك ذي ملف صوتي (قوة الدخل) ومستشعر سعوي (قياس الإزاحة) من اجل قياس الصلابة الديناميكية.

ويتم إظهار الشكل على منصة الاختبار عن طريق مجموعة محرك حركي - كهربائي (وشيعه صوت ومغناطيس) مركبة على قضيب الإدارة . هذه المجموعة تدار بمضخم سيرفو خطي بقوة معيّرة على جهد ثابت. إن الإشارة إلى مضخم السيرفو تتولد بواسطة جهاز التحليل الطيف الرقمي (محلل الطيف الرقمي). وجهاز التحليل الطيف الرقمي يولّد جهد جيبّي لإدارة المحرك الحركي - الكهربائي الذي يُنتج قوة جيبية على سطحي التماس أو التلامس. إن الإزاحة التي تسببها قوة الدخل تُقاس بمسابر السعة، وتُقرأ بجهاز التحليل الطيف الرقمي. وهذا القياس هو استجابة التردد لمطاوعة أو امتثال سطحي التماس (أي عكس أو مقلوب الصلابة الديناميكية) .

ويظهر في الشكل (7) استجابة التردد للمطاوعة الديناميكية (الحركية) في حالة عدم التزييت مع ملخص النتائج في الجدول (2) .



الشكل (7) استجابة التردد للمطاطعة الديناميكية لسطحي التماس في حالة عدم التزييت.

الجدول (2) ملخص نتائج الصلابة الديناميكية لسطحي التماس بدون تزييت .

		4300 N	3900 N	3500 N	3100 N
التحميل المسبق	التردد				
مقدار الإزاحة (db)	1	2,869	1,534	0.567	0.699
الصلابة الديناميكية (N/μ m)	1	184	214	239	236
مقدار الإزاحة (db)	50	1,003	-0,703	-1,67	-1.723
الصلابة الديناميكية (N/μ m)	50	228	277	310	312

ونلاحظ هنا انه عندما انخفض الحمل المسبق، ازدادت فعلياً الصلابة المقاسة مقابل القيم النظرية (المحسوبة) كما توضحه النتائج الواردة في الجدول (3) . وقد لوحظ أيضاً أن الصلابة ازدادت مع عدد مجموعات البيانات أو المعطيات المجمعة، عندما استخدمت نقاط سطحي التماس نفسها (السطح البيئي التلامسي). وعندما أديرت اسطوانة الإدارة وقضيب الإدارة إلى موقع جديد، فإن الصلابة انخفضت بشكل مبدئي، ومن ثم ازدادت مرة أخرى مع عدد مجموعات البيانات المجمعة . ويُشك بأن السبب الرئيس في تغيّر (تقلب) النتائج هو خشونة من تشابك المعدن مع المعدن عند سطحي التلامس. هذا التشابك يتم تسهيله بالقوة الجيبية من المحرك الحركي - الكهربائي المطبقة على قضيب الإدارة. إن الصلابة الديناميكية المقاسة هي أكثر من ضعف تلك العائدة للصلابة الستاتيكية، وهذا يعود للتأثير على الصلابة بوصفها تابعاً للحمل المماسي المطبق، وهذا ما يوضحه الشكل (4) السابق .

الجدول (3) مقارنة الصلابة الديناميكية المقاسة عند واحد هرتز (1 Hz)، والصلابة الديناميكية النظرية (المحسوبة) في حالة عدم التزييت

الصلابة الديناميكية المقاسة (N/μ m)	الصلابة الديناميكية لنظرية (المحسوبة) (N/μ m)	الحمولة المماسية الأعظمية المطبقة (N)	شروط الحالة	التحميل المسبق (N)
184	236	32	بدون تزييت	4300
214	228	32	بدون تزييت	3900
239	219	32	بدون تزييت	3500
236	210	32	بدون تزييت	3100

الاستنتاجات والتوصيات:

تقدم هذه الدراسة العون لمصمم الآلات في اختبار معايير التصميم المستندة إلى الامتداد والتوسع في نظرية هرتز للتلامس بين السطوح الجيدة التأسيس. إن النتيجة كانت إيجاد نموذج للتنبؤ بالسلوك المطاوع للإدارات بالاحتكاك، وقد أظهرت النتائج التجريبية الارتباط الوثيق مع هذا النموذج. وهذا يمكّن مصمم الآلة من حساب أداء الإدارات بالاحتكاك (والآلة الناتجة) وأن يضع مجموعة أسئلة شرطية في مرحلة التصميم قبل التصنيع الأولي واختبار النموذج الأول. وتقدم له أيضا إمكانية توفير الوقت والجهد في تطوير جيل جديد من آلات التشغيل التقليدية والرقمية، وأنظمة التصنيع الأخرى ذات الدقة العالية.

المراجع:

1. Yohichi Nakao, Masato Mimura, - Spindle Motor driven by Fluid Energy for Ultra-Precision Machine Tools. Department Mechanical Engineering Kanagawa University, Yokohama, Japan, 2002, 997p.
2. Nobuyuki Mornoki., - Application of Friction Drive to Ultra- Precise Machine Tools. Journal of the Japan Society for Precision Engineering V57, 2009, pp1722-1725.
3. Zultan fuzsessy, Arpad Kiss, Pal Pacher, - Laser Interferometer for Position Measurement and Control. Mechtronics, Technical university Budapest, Hungary, V3, 2003, pp181-184.
4. H. F. Castro, M. Burdidekin, - International Journal of Machine Tools and manufacture Calibration System Based on a Laser Interferometer for Kinetics Accuracy assessment on Machine Tools. SaoPaulo, Brazil, V46, 2006, pp89-97.
5. I, A, Rouledge, - Recent Development in Precision Radial Grating Manufacture. SciVerse, Precision Engineering, Grazfield, institute of technology, Bedford, USA, V6, 2003, pp83-85.
6. L. De Chiffre, H. Kunzmann, G. N. Peggs, - Surface Precision Engineering, Microengineering and Nanotechnology. CIRP- Annals, Manufacturing Technology, V52, 2007, pp561-577.
7. Sanao Ishihara., - Positioning Technology for VLSI Exposure System Using Air Bearing Lead Screw. Journal of the Japan Society for Precision Engineering, V57, 2009, pp1735-1739.
8. Frank Petruzella., - Electric Motors and Control System. Free Download book, Career Education, 1 Edition, 2010, 296p.

9. D. C. Thompson, J. L. Chrislok, L. E. Newton, - Development of an Inexpensive, High Accuracy Diamond Turing Machine. Precision Engineering, Material Fabrication Division, USA, V4, 2003, pp73-77.
10. S. Lingard., - Tractions at the Spinning Point Contact of Variable Ratio Friction Drive. Hydro- Mechanical Engineering Department, Bradford, England, V7, 2003, pp226-234.
11. Chii – Rang Yong, Yuang- Chemy, Rang- T Song Loe., - Study on Position Accuracy of Reciprocating Friction Drive System. Department of Mechanical Engineering, Sen University, Taiwan, V189, 2000, pp58-65.
12. T. Shigematsu, M. K. Kurosawa., - Friction Drive Modeling of Saw Motor Using Classical Theory of Contact Mechanics. 10th International Conference on a New Actuator, Bremen, Jermamy,2006, pp444-447.