

تصميم وتنفيذ آلة اختبار لدراسة تأثير خشونة السطوح على الاحتكاك والاهتراء في عقد الاحتكاك

الدكتور أحمد سلامة*

الدكتور خضر خفيف**

رانيت سويقات***

(تاريخ الإيداع 14 / 1 / 2014. قُبِلَ للنشر في 17 / 2 / 2014)

□ ملخص □

قمنا خلال هذا البحث بتصميم آلة اختبار خاصة تمكننا من إجراء طيف واسع من التجارب على حالات الاحتكاك المختلفة بين السطوح المعدنية منها دراسة تأثير خشونة السطوح على الاحتكاك والاهتراء في عقد الاحتكاك وذلك حسب خشونة السطوح المنتجة. وذلك بالاستفادة من الإمكانيات التي تتيحها الآلة بتغيير الشروط والبارامترات التالية (تغيير السرعة النسبية بين السطوح المحتكة - تغيير خشونة السطوح - تغيير وسط الاحتكاك (رطب أو جاف) - تغيير الحمل)

الكلمات المفتاحية: الاحتكاك - الاهتراء - خشونة السطح .

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

** مدرس - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - هندسة التصميم والإنتاج - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Designing and Implementing a Testing Machine for Studying the Effect of Surface Roughness on friction and Wear

Dr. Ahmad Salamha*
Dr. Khader Afeef**
Raniet Kamal Swekat***

(Received 14 / 1 / 2014. Accepted 17 / 2 / 2014)

□ ABSTRACT □

Throughout this research, we have designed a special test machine so that we can do a wide range of experiments on various cases of friction between metal surfaces in order to study the effect of surface roughness on friction and wear, depending on the roughness of the surfaces produced, and making use of the possibility offered by the machine to change the following conditions and parameters: (changing the relative velocity between the surfaces that come into contact with each other, changing of surface roughness, the center of friction (wet or dry), and the load).

Keywords: friction, wear, surface roughness

* Associate Professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student, Design and Production Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

الاحتكاك ظاهرة طبيعية واسعة الانتشار، فالاحتكاك أهدى البشرية النار والحرارة، وبوساطته يمكن إيقاف القطارات والسيارات السريعة بزمن قصير، تسريع التفاعلات الكيميائية بآلاف المرات تسجيل صوت الإنسان على أشرطة وإصدار أصوات من أوتار الآلات الموسيقية الوترية وغيرها الكثير الذي يصب في خدمة الإنسان والإنسانية.

فالاحتكاك نراه في حياتنا اليومية (في البيت، في الشارع، في المصنع وفي جميع الأدوات والآلات المصنوعة من المواد المعدنية وغير المعدنية).

فهو يجعل عجلات السيارة تتحرك على الطريق، ويجعل عجلات القاطرة تمسك بقضبان السكك الحديدية. وهو يسمح للسير الناقل بأن يدير البكرة دون انزلاق، بالإضافة إلى العشرات إن لم يكن المئات من الفوائد الأخرى.

ولكن في الوقت نفسه ينتج عن الاحتكاك مشاكل كثيرة فالاحتكاك يؤدي إلى تقسية أو تطرية المعادن، زيادة أو إنقاص محتواه من الكربون، ويصقل القطع والأجزاء المحتكة بالإضافة إلى ضياع القدرة الميكانيكية واهتراء أجزاء الآلات والذي بسببه يتم صرف الكثير من الأموال من أجل الإصلاح وغالباً ما يؤدي الاهتراء إلى خروج الآلات من الخدمة، فالاحتكاك يستهلك حوالي 33% من الطاقة المولدة سنوياً في العالم بينما (85-90)% من الأعطال التي تؤدي إلى خروج الآلات من مجال العمل يكون سببه الاحتكاك. لذا كان لابد من تخفيض ضياعات الاحتكاك.

لقد قمنا خلال هذا البحث بتصميم آلة اختبار خاصة، تمكننا من إجراء طيف واسع من التجارب على حالات الاحتكاك المختلفة بين السطوح المعدنية وغير المعدنية، بغية دراسة حالات الاحتكاك والاهتراء التي تصيب السطوح، وذلك حسب أنواع الملوثات التي تتعرض لها الطبقة في منطقة التماس. وذلك بالاستفادة من الإمكانيات التي تنتجها الآلة بتغيير الشروط والبارامترات مثل (تغيير السرعة النسبية بين السطوح المحتكة، تغيير خشونة السطوح، تغيير وسط الاحتكاك (رطب أو جاف)، تغيير الحمل) حسب هدف التجربة.

فالحسائر الناجمة عن الاهتراء جزء لا يستهان به من الناتج القومي للدول الصناعية أما في الدول النامية فلا يوجد اهتمام في هذا النوع من الدراسات مع أن المتوقع أن تكون الخسائر أكبر بسبب تدني أساليب الصيانة والمراقبة، لذلك كان موضوع الاحتكاك وما زال ينال اهتماماً كبيراً في الأوساط العلمية والصناعية وينصب الاهتمام بشكل رئيسي على ثلاثة أمور هي:

- 1 – تطوير مواد مقاومة للاحتكاك والاهتراء.
- 2 – تطوير مواد بديلة من البوليميرات.
- 3 – تطوير طرائق حماية المواد من الاحتكاك والاهتراء. [2]

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من النقص الحاد في التجهيزات المخبرية الخاصة بدراسة الاحتكاك والاهتراء في المخابر الأكاديمية التي تخدم العملية الدراسية والبحثية فكان هدف البحث:

- تصميم وتنفيذ آلة لإجراء اختبارات مختلفة للمواد المعدنية والبوليميرية في مجالات الاحتكاك والاهتراء.

- دراسة تأثير خشونة السطوح على الاحتكاك والاهتراء في مجالات الاحتكاك الجاف والرطب.
- تحديد العلاقة بين خشونة السطح ومقاومة الاهتراء.

طرائق البحث ومواده:

طريقة البحث :

تمّ إجراء البحث وفق المحاور التالية :

✓ تصميم وتنفيذ آلة الاختبار .

✓ تحضير عينات معدنية مختلفة صف الخشونة وقياس خشونتها في مخبر القياسات في الكلية التقنية من

أجل تصنيفها وفق صف الخشونة .

✓ إجراء تجربة لعينات بدون وجود مواد تزييت. (المتغير الخشونة)

✓ إجراء تجربة لعينات مع وجود مواد تزييت. (المتغير الخشونة)

✓ حساب معدل الإهتراء عن طريق حساب الفقد الوزني

✓ حساب معدل الاهتراء عن طريق الفقد بالأبعاد (الاهتراء الخطي).

هذه التجارب تمّ إجرائها على الآلة التي تمّ تصميمها وتنفيذها وفق المكونات والأجزاء الأساسية التالية

الموضحة بالشكل (1) وهي كمايلي:

1- الهيكل المعدني الحامل.

- المجموعة المحركة لعينة الاختبار الأولى المركبة على عمود الدوران:

2- المحرك الكهربائي.

3- البكرة القائدة.

4- البكرة المقادة.

5- عمود الدوران.

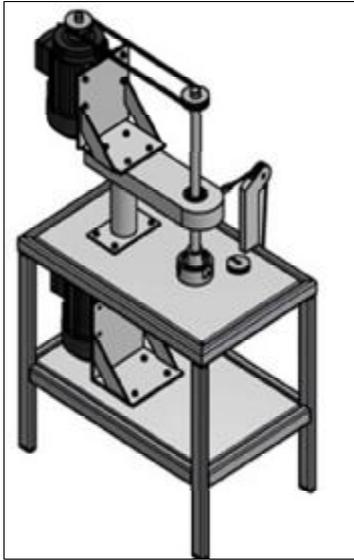
- المجموعة المحركة لعينة الاختبار الثانية الموضوعة في الكأس:

6- المحرك الكهربائي.

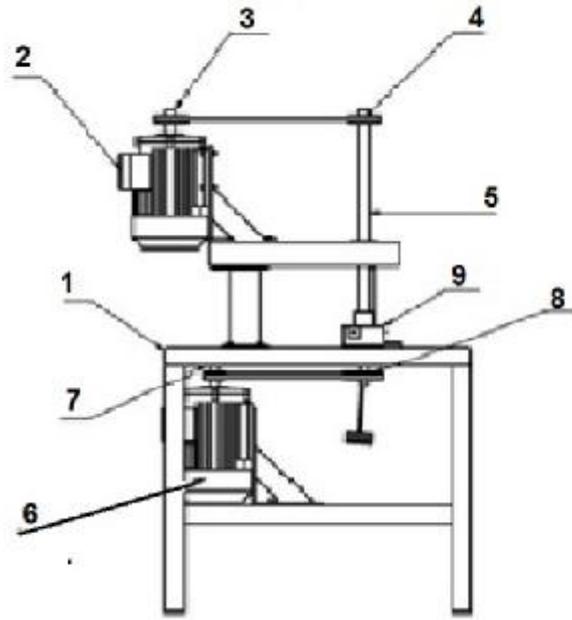
7- البكرة القائدة.

8- البكرة المقادة.

9- الكأس



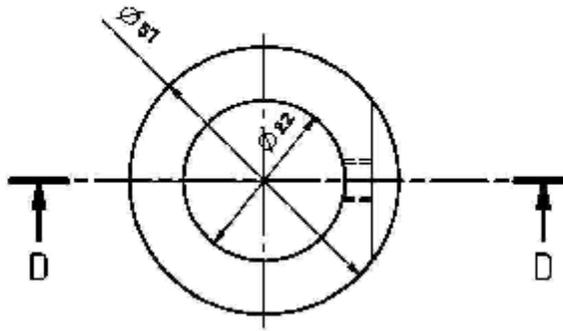
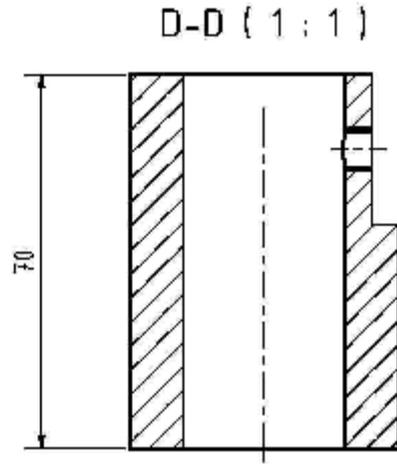
شكل (2) : منظور الآلة جاهزة للعمل



شكل(1): الأجزاء الأساسية للآلة.

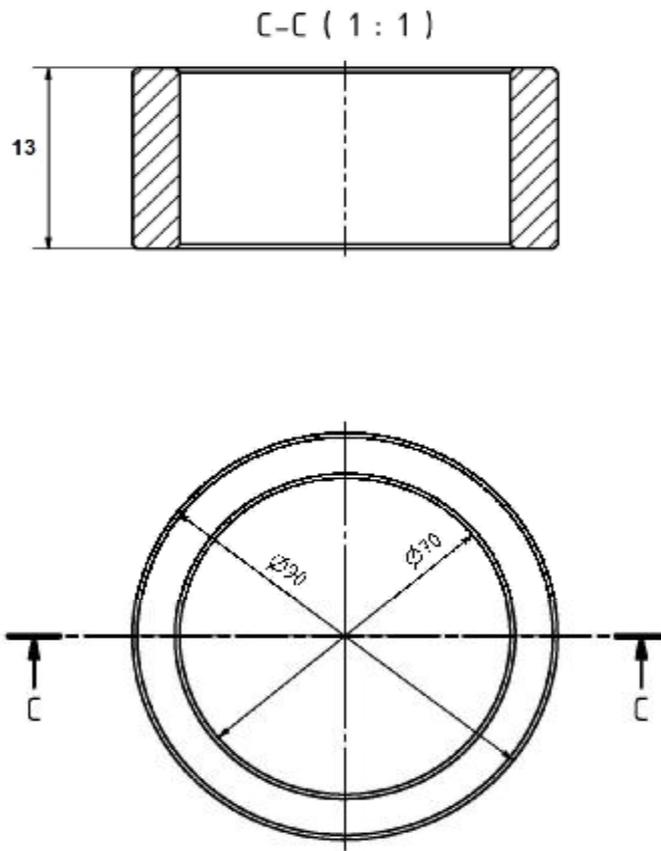
عينات الاختبار:

العينة المركبة على عمود الدوران شكل (3) على شكل إسطوانة ذات قطر داخلي 22 mm وقطر خارجي 57mm وارتفاع العينة المشارك في عملية الاحتكاك 15mm والارتفاع الكلي للعينة 70mm، تتركب على عمود الدوران وتثبت ببراعي وتعطى السرعة المطلوبة .

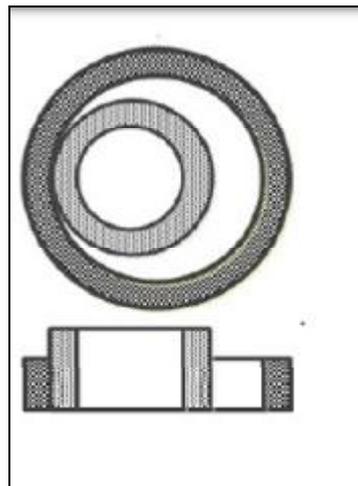


شكل (3): مساقط عينة الاختبار المركبة على عمود الدوران.

العينة الثانية : على شكل حلقة شكل (4) ذي قطر داخلي 70mm وقطر خارجي 90mm وبارتفاع 13 mm توضع في الكأس وتعطى السرعة المطلوبة بحيث يشارك سطحها الداخلي في عملية الاختبار. شكل (5) يبين طريقة توضع العينتين أثناء الاختبار.



شكل(4): مساقط عينة الاختبار في الكأس



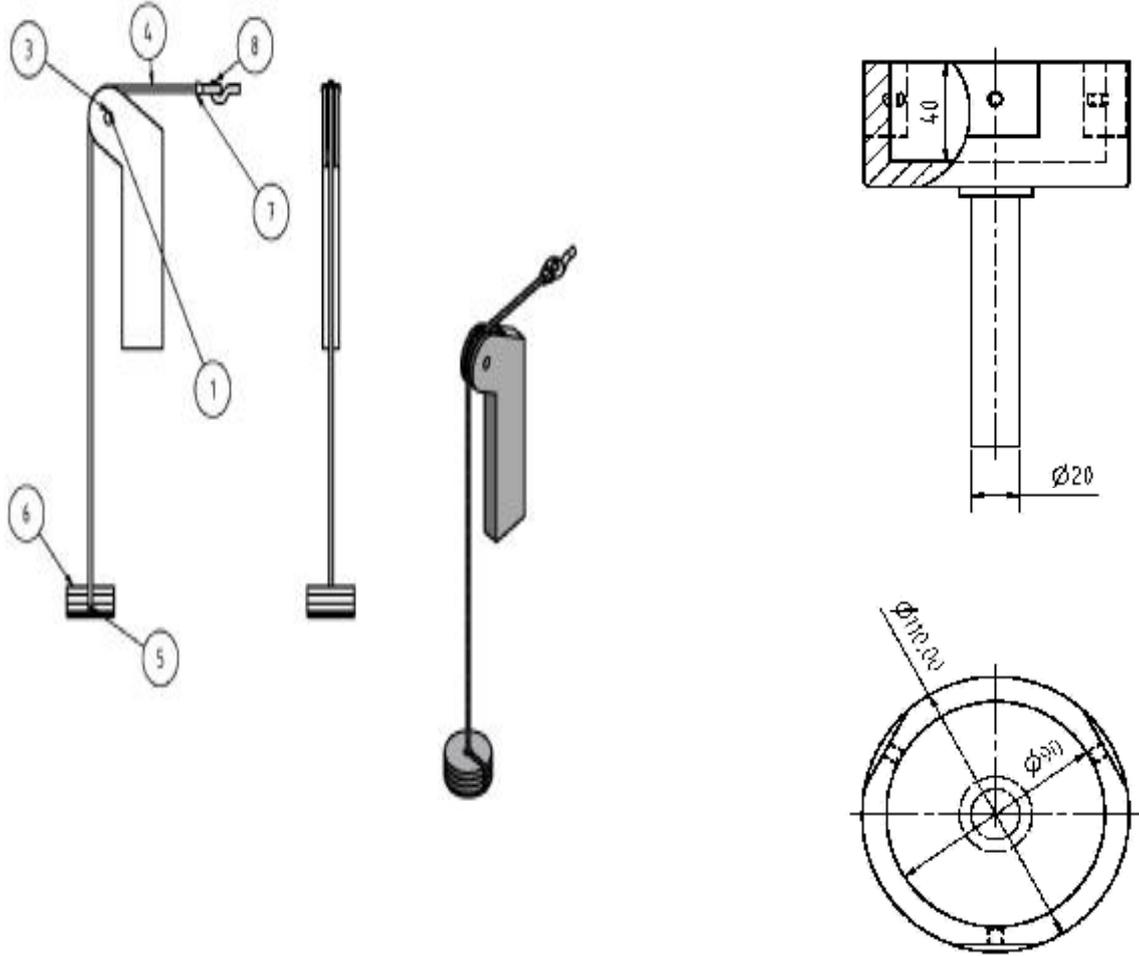
شكل(5): طريقة توضع العينتين أثناء الاختبار

الكأس:

يركب كأس إسطواني الشكل ذي قطر خارجي 110 mm وقطر داخلي 90 mm على عمود ويبرز فوق سطح الطاولة بمقدار 40 mm، وقطر محور الكأس 20 mm بحيث توضع فيه عينة الاختبار المدروسة وتعطى السرعة المطلوبة كما هو مبين في الشكل (6).

آلية التحميل:

تتألف هذه الآلية كما هو مبين في الشكل (7) من سلك معدني يتصل بالكتلة المتحركة بواسطة خطاف معدني ويمر فوق بكرة مثبتة على طاولة الاختبار ونضيف أوزان على هذا السلك لدراسة تأثير زيادة الحمل على خشونة السطوح



شكل(7): آلية التحميل.

شكل(6) : مساقط الكأس الحامل لعينة الاختبار

النتائج والمناقشة:**تحضير عينات الدراسة:**

تم تحضير العينات المعدنية من الفولاذ المستخدم في تصنيع الكثير من القطع الداخلة في تركيب الآليات وأعمدة الدوران ومسننات الشيركا في الروافع، وتم تسمية المعدن باسمه النظامي اعتماداً على برنامج

(Key To Metals Steel 2008) [3]، [4] حيث يتضمن هذا البرنامج أكثر من أربعة ملايين سجل لخصائص الفولاذ والحديد والألمنيوم والنحاس والتيتانيوم والماغنيسيوم، وتمّ تحليل معدن العينات من خلال جهاز التحليل الطيفي للمعادن من نوع (FOUNDRY-MASTER) ألماني الصنع الموجود في مديرية المخابر المركزية في الشركة العامة لمرفأ طرطوس .

من خلال هذا التحليل حصلنا على نسب العناصر الداخلة في تركيب العينات من حديد ونيكل ونحاس وألمنيوم حيث ندخل هذه النسب في الواجهة المبينة في الشكل(8) وحصلنا بالنتيجة على الاسم النظامي للمعدن وهو Rst37-2، وللحصول على دقة أكثر في القياس أخذنا ثلاثة قياسات من عينات مختلفة.

نموذج لإدخال نسب العناصر في واجهة برنامج Key To Metals Steel 2008								
Material	Standard	Country			Numerical Designation			
Rst37-2	DIN	Germany			1.0038			
Chemical Composition (%)								
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	97.4	0.09866	0.0172	1.67	0.0379	0.150	0.0484	0.0100
2	97.6	0.101	0.0100	1.60	0.0389	0.150	0.0473	0.0100
3	97.6	0.104	0.0156	1.59	0.0382	0.150	0.0520	0.0100
Average	97.5	0.101	0.0139	1.62	0.0383	0.150	0.0492	0.0100
	Ni	Al	Co	Cu	pb	Ti	V	W
1	0.0232	0.0050	0.0100	0.083	0.181	0.0010	0.0264	0.0250
2	0.188	0.0050	0.0100	0.0813	0.119	0.0011	0.0255	0.0317
3	0.0220	0.0050	0.0100	0.0831	0.139	0.0012	0.0251	0.0250
Average	0.077	0.0050	0.0100	0.0825	0.146	0.0011	0.0257	0.0250
Rst37-2								

شكل (8) : نسب العناصر السبائكية في معدن عينات التجارب وفق برنامج Key To Metals Steel 2008

تنفيذ التجارب :

المجموعة الأولى : - إجراء التجارب بدون مواد تزييت (الاحتكاك الجاف)

حضرت المجموعة الأولى من العينات المعدنية المركبة على عمود الدوران وفي الكأس (شكل (9,10)) بخشونات مختلفة. قمنا بمسح العينات بقطعة قماش بواسطة الكحول الإيثيلي ومن ثم أخذنا الوزن بواسطة ميزان الكتروني حساس ذو دقة 0.01 g موجود في مديرية المخابر المركزية في مرفأ طرطوس .



الشكل (10): عينة الكأس المصنعة

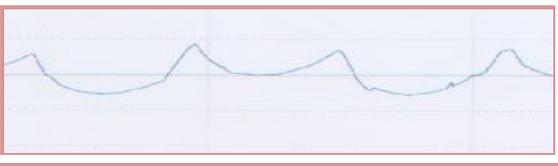
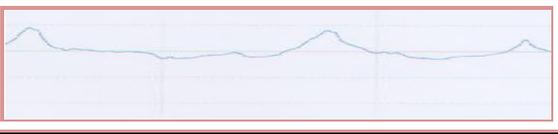
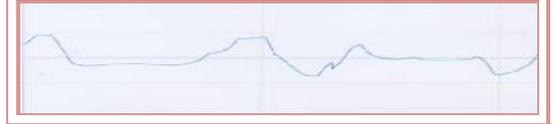


الشكل (9) عينات العمود المصنعة

تم قياس خشونة هذه العينات في مخبر القياسات في كلية الهندسة التقنية من أجل تصنيفها وفق صف الخشونة حسب الترتيب الروسي والجدول (1) يبين مخطط وبارامترات الخشونة للعينات المركبة على عمود الدوران قبل إجراء التجارب.

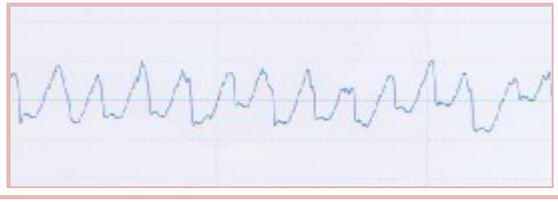
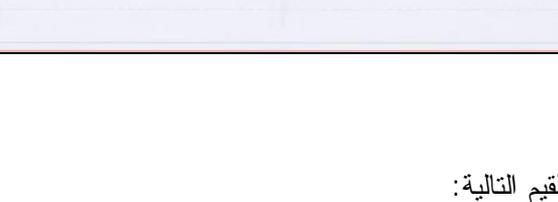
الجدول (1) : مخطط وبارامترات الخشونة للعينات المركبة على عمود الدوران قبل التجربة.

مخطط الخشونة	بارامترات الخشونة m				رمز العينة		
	R_t	R_q	صف الخشونة	R_z			R_a
	65.66	17.96	4	55.533	13.081	A11	A1
	65.23	17.90		55.511	13.891	A12	
	65.11	17.88		55.211	13.011	A13	
	76.09	18.342	3	67.618	12.819	A21	A2
	76.18	18.423		67.512	12.022	A22	

	76.22	18.214		67.322	12.540	A23	
	23.365	97.75	2	85.402	18.27	A31	A3
	23.202	97.68		85.515	18.23	A32	
	23.504	97.22		85.214	18.09	A33	
	69.66	13.701	4	53.622	10.096	A41	A4
	69.65	13.485		53.022	10.225	A42	
	69.25	13.997		53.914	10.988	A43	
	87.91	23.081	3	75.392	19.061	A51	A5
	87.45	23.019		75.389	19.079	A52	
	87.66	23.088		75.217	19.815	A53	

أما بارامترات الخشونة للعينات المركبة في الكأس قبل إجراء التجارب موضحة نتائجها في الجدول (2):

الجدول (2): بارامترات الخشونة للعينات المركبة في الكأس قبل التجربة.

مخطط الخشونة	بارامترات الخشونة m					عينات الكأس
	R_t	R_q	صف الخشونة	R_z	R_a	
	20.85	4.513	5	17.245	3.855	B1
	21.02	4.702	5	18.6	4.03	B2
	20.27	3.851	5	16.009	3.347	B3
	20.71	4.355	5	17.285	3.744	B4
	20.95	4.297	5	15.781	3.512	B5

المجموعة الأولى : إجراء التجارب بدون وجود تزييت :

q تم إجراء الاختبار في هذه الحالة عند القيم التالية:

1- عدد دورات كل من عمود الدوران والكأس : 600r.p.m

2- الحمولة المطبقة : 10 N .

3- بدون وجود وسيط تزييق (احتكاك جاف).

4- السرعة النسبية = 0,41m\sec

5- مدة التجربة لمدة 30 min .

بعد إجراء التجربة تم فك العينات ومسحها من جديد وقياس وزنها وكذلك الأمر قياس متوسط عمق الخشونة

لها في كلية الهندسة التقنية لكل من عينات عمود الدوران وعينات الكأس.

q أعدنا إجراء الاختبار على الاحتكاك الجاف عند القيم التالية:

- 1- عدد دورات كل من عمود الدوران والكأس : 2800r.p.m.
 - 2- الحمولة المطبقة : 50 N.
 - 3- بدون وسيط تزليق (احتكاك جاف).
 - 4 - زمن التجربة لمدة 60 min.
 - 5- السرعة النسبية 1,85m\sec
- تم اختيار هذا المجال من السرعة والحمولة استناداً للدراسات المرجعية [5]، [6]، [7]
- حسابات الاهتراء:

العلاقة العامة في حساب الاهتراء الخطي : [8]

$$I_{A,B} = \frac{\Delta M_{A,B}}{p D_{A,B} b r}$$

$\Delta M_{A,B}$: مقدار الاهتراء الوزني للنموذج خلال فترة إجراء التجربة.

$D_{A,B}$: القطر الذي يتم عليه الاحتكاك للنموذج.

b : عرض طريق الاحتكاك.

r : الوزن النوعي لمعدن النموذج.

الدليل A,B يرمز إلى عينة العمود والكأس على الترتيب.

طول طريق الاحتكاك يعطى بالعلاقة:

$$L_{A,B} = \frac{2aVT}{p D_{A,B}}$$

a : عرض مساحة منطقة الاحتكاك بين النموذجين .

T : زمن التجربة.

$D_{A,B}$: القطر الذي يتم عليه الاحتكاك للنموذج.

V : السرعة النسبية الخطية عند سطح الاحتكاك.

وتكون شدة الاهتراء هي $i_{A,B} = I_{A,B} / L_{A,B}$

تم حساب شدة الاهتراء للعينات والجدول (3) يبين نتائج متوسط عمق الخشونة وشدة الاهتراء للعينات المركبة على عمود الدوران.

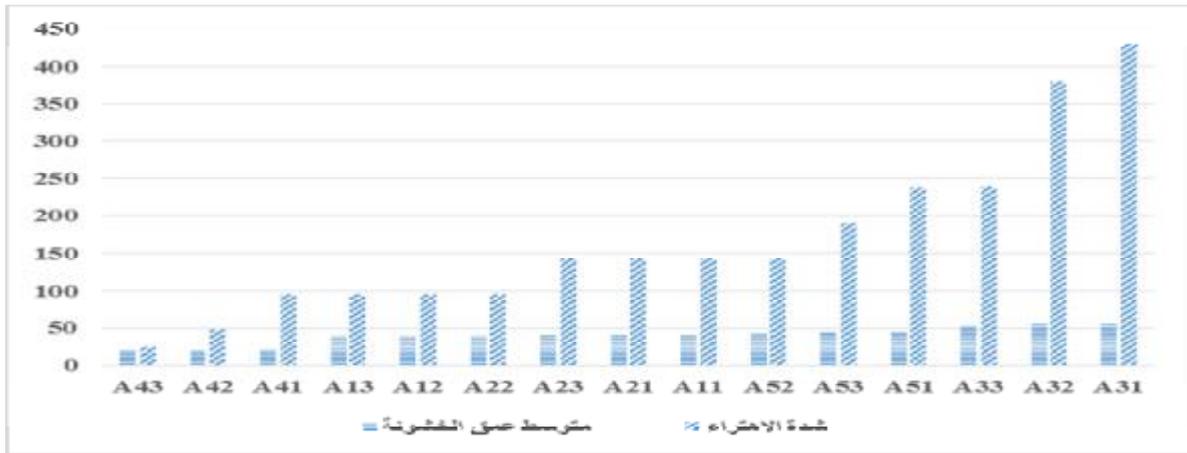
الجدول (3) نتائج متوسط عمق الخشونة وشدة الاهتراء للعينات المركبة على عمود الدوران.

شدة الاهتراء بـ mm/km	متوسط عمق الخشونة (R_z) بـ m	رمز العينة المركبة على عمود الدوران
253.8	20.55	A11
246.1	20.05	A12
223	19.98	A13
92	10.211	A21
115.4	10.659	A22
138.5	10.753	A23

330.8	37.214	A31	A3
323	37.019	A32	
315.4	36.999	A33	
207.7	11.043	A41	A4
192.3	10.989	A42	
176.9	10.911	A43	
307.7	22.023	A51	A5
292.3	22.11	A52	
276.9	21.99	A53	

نلاحظ من الجدول أنه كلما زادت قيم متوسط عمق الخشونة زادت شدة الاهتراء في حالة الاحتكاك الجاف، والمخطط المبين في الشكل (11) يوضح هذه العلاقة الخطية.

تم تمثيل هذه العلاقة بيانياً فقط لتوضيح هذه العلاقة حيث شدة الاهتراء مقدرة بـ $\mu\text{m}/\text{km}$ ومتوسط عمق الخشونة مقدر بـ μm



شكل (11) : يوضح العلاقة بين شدة الاهتراء مقدرة بـ $\mu\text{m}/\text{km}$ ومتوسط عمق الخشونة مقدر بـ μm في حالة الاحتكاك الجاف لعينات عمود الدوران (بعد ترتيب العينات من متوسط عمق الخشونة الأصغر حتى الأكبر)

وبالنتيجة نجد : أن العلاقة بين شدة الاهتراء ومتوسط عمق الخشونة هي علاقة خطية في حالة الاحتكاك الجاف.

المجموعة الثانية: (إجراء التجارب مع مواد تزييت (الاحتكاك الرطب):

تم إجراء الاختبار في هذه الحالة عند البارامترات التالية :

1- عدد دورات كل من عمود الدوران والكأس : 600 r.p.m

2- الحمولة المطبقة : 10 N .

3 - مع وجود وسيط تزييق حيث استخدمنا زيت C10 (طبيعي - شفاف - الكثافة $0,75\text{g}/\text{cm}^3$ منخفض الكبريت)

4- السرعة النسبية = $0,41\text{m}/\text{sec}$

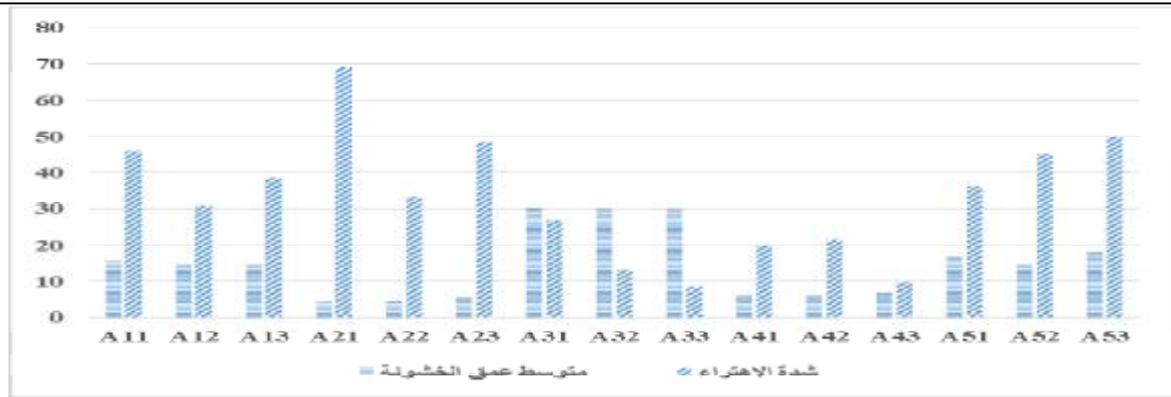
تم إعادة الاختبار في هذه الحالة عند البارامترات التالية :

- 1- عدد دورات كل من عمود الدوران والكأس : 2800r.p.m
 - 2- الحمولة المطبقة : 50N
 - 3- مع وجود وسيط تزليق حيث استخدمنا زيت C10(طبيعي -شفاف - الكثافة $0,75g/cm^3$ منخفض الكبريت)
 - 4- تم تشغيل التجربة لمدة 60min.
 - 5- السرعة النسبية = 1,85mlsec
- بعد إجراء التجربة تم فك العينات ومسحها من جديد وقياس وزنها وكذلك الأمر قياس متوسط عمق الخشونة لها في كلية الهندسة التقنية لكل من عينات عمود الدوران وعينات الكأس.
- بعد التجربة تم حساب شدة الاهتراء للعينات المركبة على عمود الدوران والجدول(4) بين متوسط عمق الخشونة وشدة الاهتراء للعينات المركبة على عمود الدوران بعد التجربة.

الجدول(4) : متوسط عمق الخشونة وشدة الاهتراء للعينات المركبة على عمود الدوران بعد التجربة.

شدة الاهتراء بـ mm/km	متوسط عمق الخشونة (R_z) بـ m_m	رمز العينة المركبة على عمود الدوران
46.15	15.418	A11
30.77	14.916	A12
38.46	14.844	A13
69.23	4.073	A21
33.33	4.521	A22
48.6	5.621	A23
26.92	30.082	A31
13.07	29.887	A32
8.46	29.875	A33
20	5.911	A41
21.54	5.857	A42
9.6	6.779	A43
36.15	16.891	A51
45.38	14.97	A52
50	17.866	A53

بمقارنة قيم متوسط عمق الخشونة لهذه العينات مع شدة الاهتراء نلاحظ أن هناك عينات ذات خشونة عالية تملك شدة اهتراء قليلة وعينات أخرى ذات خشونة أقل تملك شدة اهتراء أعلى، وهذا ما يوضحه المخطط التالي المبين في الشكل (12).



شكل(12): يوضح العلاقة حيث شدة الاهتراء مقدرة بـ $\mu\text{m}\text{km}$ ومتوسط عمق الخشونة مقدر بـ μm في حالة الاحتكاك الرطب لعينات عمود الدوران.

وكذلك الأمر بالنسبة لعينات الكأس تبين أن هناك عينات ذات خشونة عالية تملك شدة اهتراء قليلة وعينات أخرى ذات خشونة أقل تملك شدة اهتراء أعلى.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

§ إن تصميم وتنفيذ آلة اختبار الاحتكاك تعطينا مجالاً واسعاً من اختبارات الاحتكاك § في الاحتكاك الجاف بينت الدراسة أنّ العلاقة خطية بين شدة الاهتراء a و متوسط عمق الخشونة (صف الخشونة) ، حيث أنّ القوة تؤثر على قمم الخشونة وبالتالي الضغط المطبق الحقيقي أكبر بكثير من الضغط الحسابي، هذا يعني أن مساحة التلامس الحقيقية هي أقل بكثير من مساحة التلامس الحسابية، أي أن الاحتكاك يبدأ على هذه القمم واهترائها تدريجياً ، وبالتالي العينات ذات صف الخشونة الأكبر سيكون فيها الاهتراء أكبر ويزداد تدريجياً.

§ في الاحتكاك الرطب تكون العلاقة بين الاهتراء والخشونة ليست خطية وإنما هناك عينات ذات خشونة عالية تملك شدة اهتراء قليلة وعينات أخرى ذات خشونة أقل تملك شدة اهتراء أعلى في حالة الاحتكاك الرطب ، ويفسر هذا بسبب أن زيت التزييت يشكل سطحاً إضافياً يملأ فجوات الخشونة وبالتالي السطح الحامل يصبح بالإضافة إلى قمم الخشونة هو الزيت الذي يملأ الفجوات وبالتالي الضغط الحقيقي المطبق يصبح قريباً من الضغط الحسابي، كما أن زيت التزييت يحافظ على خواصه التزييتية لأنه لا يتعرض لعملية ضغط مباشر بين سطحي الاحتكاك، وبالتالي السطوح ذات الخشونة العالية تحافظ على خواص الزيت ، أي أنّ العينات ذات صف الخشونة الأكبر سيكون فيها شدة الاهتراء أقل.

التوصيات :

Ø استخدام الآلة في مجال طيف واسع من اختبارات الاحتكاك والاهتراء حيث تمكننا آلة الاختبار

هذه من :

1- إجراء تجارب على الاحتكاك الجاف - الاحتكاك الرطب .

2- تستخدم الآلة في دراسة الاحتكاك في ظروف قاسية مثل ظروف وجود الرمال من خلال توجيه سائل إلى منطقة الاحتكاك يحوي على نسبة ما من الرمال وبما أن النموذجين يدوران باتجاهين متعاكسين يسمح ذلك باستقرار سقوط السائل أو الحبيبات الحاكة (الرمل) في منطقة الاحتكاك، وتمكننا الآلة من إجراء تجارب لدراسة الاحتكاك والاهتزاز على المسننات من خلال تركيب مسنن قائد ومسنن مقاد بدلاً من النموذجين .

3- تسمح الآلة بتغيير سرعة دوران كل من النموذج الأول والثاني ضمن مجال واسع بواسطة جهاز انفرتر .

4- تسمح الآلة بتغيير مقدار الضغط المطبق على منطقة الاحتكاك بين النموذجين من خلال تغيير الحمل المطبق على عمود الدوران باتجاه الكأس الحاوي على النموذج الثاني

Ø في عمليات تصنيع سطوح الاحتكاك مع وجود سائل تزييت عدم البحث عن الدقة العالية في

تصنيع السطوح وتصنيعها ضمن مجال صف الخشونة $\nabla_4 - \nabla_5$

المراجع:

1. Bhushan, B. 1984. Analysis of the real area of contact between a polymeric magnetic medium and a rigid surface. ASME J. Lub. Tech.106:26–34
2. Bhushan, B. and Gupta, B. K. 1991. Handbook of Tribology: Materials, Coatings, and Surface Treatments. McGraw-Hill, New York.
3. Key to steel, La cle des aciers Chiave dell acciaio Llave del acero Stalnyckel 1998
4. Key to steel, La cle des aciers Chiave dell acciaio Llave del acero Stalnyckel 1998
5. Davis FA, Eyre TS. Effect of silicon content and morphology on the wear of
6. aluminium–silicon alloys under dry and lubricated sliding conditions. Tribol
7. Int 1994;27:171–81.
8. Pathak JP, Torabian H, Tiwari SN. Anti-seizure and antifricition characteristics
9. of Al–Si–Pb alloys. Wear 1997;202:134–41.
10. A. Andersson, A study on dry and poorly lubricated alumina journal bearings, Finish J. Tribol. 1 (1993) 37–45.
11. سلامة، أحمد . محاضرات مقرر التآكل والحماية — ماجستير علم المواد وهندستها. جامعة تشرين، سوريا. 2011.