فعالية استخدام الطلاء البور يدي المركب في تحسين الخواص التريبولوجية لعناصر الآلات والعدد القاطعة

الدكتور عبد الله يوسف مجيد[1]

الملخص

تعدُّ عملية الطلاء البوريدي المركب إحدى تقنيات المعالجة السطحية، المستخدمة حديثاً في تحسين الخواص الميكانيكية والتريبولوجية للعدد القاطعة ولعناصر الآلات المعرضة للاهتراء والتآكل.

أظهرت نتائج البحث، أن عملية المعالجة السطحية باستخدام الطلاء البوريدي المركب بالطرائق المختلفة، يؤدي إلى تشكيل طبقات بوريدية ذات قساوة سطحية عالية ومقاومة اهتراء جيدة، كما تؤمن معامل احتكاك منخفضاً و مقاومة عالية للتآكل.

دُرِسَتِ الخواص التريبولوجية للمواد المعرضة للمعالجة السطحية باستخدام الطلاء البوريدي المركب حسب التركيب والبنية، وضمن ظروف الاحتكاك المختلفة، ولاسيَّما الاحتكاك الجاف والاحتكاك بوجود المواد الحاكة، والاحتكاك في وسط عدائي أكّال، ولمواد أخرى معرضة للتقسية فقط.

تبين نتائج البحث أن عملية الطلاء البوريدي المركب لها تأثير كبير ومهم في قدرة عمل عناصر الآلات المعرضة للاحتكاك الجاف أو الاحتكاك في وسط أكال، وذلك نتيجة لاستقرار طبقة الاحتكاك وتشكيل بنية ثانوية كروية الشكل، تتألف من أكاسيد البورون المختلفة واتحادات أخرى تعمل كمادة تزييت لزوج الاحتكاك.

الكلمات المفتاحية: فولاذ، طلاء بوريدي مركب، معالجة سطحية،احتكاك، اهتراء وتآكل، قساوة ميكروية، خواص تريبولوجية.

[1] أستاذ مساعد– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

مقدمة:

يتطلب التطور التقني الحديث من المصممين دائماً البحث في كيفية تأمين إطالة العمر الزمني للعقد الاحتكاكية ليتساوى مع العمر الزمني للآلات أو الميكانزمات mechanisms، ويتحقق هذا الهدف في الوصول إلى درجة عالية من تطوير تقانة صناعة المواد التقليدية الموجودة، أو تصميم مواد جديدة تختلف عن سابقتها برفع سوية أدائها، من حيث زيادة مستوى الخواص الفيزيائية والميكانيكية وتقانات تصميمها وإنتاجها، أي رفع الجدوى الاقتصادية لها.

تعدُّ المواد ذات الاتحادات الكيميائية المختلفة مثل: الكربيدات carbides، النتريدات nitrides، البوريدات borides، السيليكات silicates، الألومينات aluminates، الأكاسيد oxides والسولفيدات sulfides من المواد ذات الآفاق المستقبلية، غير أن استخدامها في تصنيع أجزاء الآلات المعرضة للاحتكاك صعب جداً، فلذلك غالباً ما يستعاض عنها على شكل طلاء coating أو ما يسمى بالإشباع السطحي بها، للوصول إلى الصلادة السطحية العالية المطلوبة micro hardness للسطح وللعمق matrix، والمطيلية Ductility المنخفضة نسبياً[1,2] .

يعدُّ الطلاء البوريدي boronizing ذا أهمية كبيرة حيث يسمح ليس فقط بزيادة العمر الزمني لعناصر الآلات المعرضة للاحتكاك friction أو أدوات القطع tools، ولكن أيضاً في رفع الجدوى الاقتصادية بتقليل التكلفة value والطاقةenergy اللازمة لإنتاجها[2,6,13,19]. كما يعدُّ البحث في الخواص التريبولوجيةtribological properties للطلاء البوريدي واحدة من أهم الخواص في تقييم عمل أجزاء الآلات المعرضة للاهتراء في الموصلات والمراكز الاحتكاكية المختلفةcenter of friction، سواءً كان الطلاء البوريدي ذا طور واحد Fe_2B أو ذا طورين $FeB+Fe_2B$، وذلك لزيادة القساوة السطحية لعناصر الآلات وأدوات القطع، التي تعمل في ظروف الاحتكاك الجاف مثل الاهتراء الحتي abrasive wear أو التآكل الكيميائي corrosion [3,17,18]. يستخدم

الطلاء البوريدي في الصناعة في أشكال متعددة منها: الانتشار الإشباعي بعنصر البورون في وسط مساحيقي في حاويات محكمة الإغلاق أو الانتشار الإشباعي في وسط غازي محمي أو الانتشار بالبورون في وسط مساحيقي يتم فيه الاختزال الكيميائي بشكل مسبق للخليط المعدني أو الانتشار الكهروليتي بالبورون أو الانتشار في وسط سائلي أو في وسط معجوني[4,11].

لا يوجد في الوقت الحالي طريقة للإشباع السطحي بالبورون boronizing تتميز عن طريقة أخرى، من حيث الجدوى الاقتصادية أو سهولة الاستخدام [3,6]، فلكل طريقة عيوبها وميزاتها، أما اختيار طريقة الإشباع فيجب أن يتم حسب طبيعة القطع المعالجة وحسب ظروف عملها، أو حسب طريقة تصنيعها وتحضيرها. ولذلك يجب مراعاة نشوء الأطوار المختلفة في الطبقة السطحية أي خواص الطبقات البوريدية التي تم الحصول عليها بالطرائق المختلفة[15,16].

ولتحسين خواص الطبقات السطحية يمكن استخدام عملية الإشباع بالبورون boronizing مع عناصر كيميائية أخرى مثل: C, N, Al, Si, P, S, Ti, V, Cr, ...الخ. ويستخدم في الوقت الحالي وبشكل محدود في هندسة السطوح مركبات كثيرة والتي أساسها عنصر البورون عند عملية الطلاء البوريدي، والتي تسمى الطلاء البوريدي المركب composite Boride coating مثل البور– سلكنه boro-siliconizing أو البور– كرومه boro-chromizing أوألومينو– بورو– سلكنه alumino-boro-siliconizing وغيرها، والتي تسمح بتحسين الخواص التريبولوجية للفولاذ tribological properties بشكل ملحوظ. غير أن الخواص التريبولوجية للطلاء البوريدي المركب لم تدرس بشكل كافٍ، مع الإشارة إلى بعض الأعمال التي أجراها الباحثون عن مقاومة الاهتراء للطلاءات المختلفة، لذلك سنسلط الضوء في هذا البحث على دراسة الخواص التريبولوجية للطلاء البوريدي المركب، والذي يسمح

بتشكيل طور واحد أو طورين من بوريدات عناصر الخليط الإشباعي المركب على السطح المعالج.

الطرائق والمواد:

قمنا في هذا البحث باستخدام عينات من الفولاذ متوسط الكربون St.1040 ذي التركيب الكيميائي Chemical composition المبين في الجدول /1/:

Fe, Wt%	C, Wt%	Mn , Wt%	Si , Wt%	P and S, Wt%	Cr and Cu, Wt%
97.5- 98.7	0.42- 0.50	0.4 – 0.7	0.12 – 0.3	0.05 ≤	0.25- 0.3

أما خواصه الميكانيكية فهي: U.T.S = 610 MPa و σy = 360 MPa، وتصل المطيلية فيه إلى EL=20%. وأجريت عملية الطلاء الانتشاري المركب والبسيط بالبورون، في فرن كهربائي عادي وكانت درجة الحرارة المستخدمة (900 -1000°C) وزمن الصمود الحراري Isotherm هو (2 –5 h)، حيث استخدمنا خليطاً من كربيد البورون B_4C بالإضافة إلى مواد أخرى كوسط إشباعي فضلاً عن مواد تنشيط التفاعل Activator مع إغلاق الحاويات بطبقة عازلة من السيليكات عند الطلاء المركب Composite Boride Coating مثل النظام: B - Si و B – Cr و B – Cu و B–Al، واستخدمنا أيضاً وسطاً إشباعياً BKB-2 مكوّناً من خليط من نفايات كربيد البورون وأكسيد البورون وشوائب أخرى عند الطلاء البسيط، ومن ميزاته أنه يستطيع تأمين طبقات الانتشار دون الحاجة لإغلاق الحاويات بطبقة عازلة منصهرة [2].

وأجريت عملية الطلاء الكهروليتي المركب Composite Electrochemical coating (C.E.C) في حوض من مصهور البوراق المائي$Na_2B_4O_7.10H_2O$ بإضافة CrB_2 و Ni، عند درجة حرارة (T= 800°C) وزمن صمود حراري (τ =3 h.) [6,11]. درست القساوة المجهرية Micro-hardness بواسطة المجهر الضوئي ماركة Gallileo Durametria والمزود بجهاز لقياس القساوة المجهرية بطريقة فيكرز عند حمولة قدرها 0.49 N و تكبير X400.

درست الخواص التريبولوجية Tribological Properties للعينات ذات المقطع الاسطواني بقطر $\phi 30$ mm وسماكة 10 mm على آلة الاحتكاك عند سرعة انزلاق تتراوح ما بين ($v = 0.05 - 10$ m/s) وحمولة نوعية تتراوح ما بين (1 – 11 MPa) واستخدم العنصر الحاك من الفولاذ السبائكي المقسى الذي تصل قساوته إلى(62–67 HRC) حسب مقياس روكويل لقياس القساوة، حيث أجري الاختبار بطريقة قرص – قرص في ظروف الاحتكاك الحتي بإضافة مواد حاكه، أو الاحتكاك الجاف (الوسط – هواء) وفي ظروف الاحتكاك المزيت (الوسط – زيت)، واستخدمت العينات المعالجة بالطلاء البوريدي كجسم ثابت في حين القرص المتحرك هو من الفولاذ المقسّى والذي يدور بسرعة منتظمة[8,9,10]. قيسَتْ كمية الاهتراء حجمياً وذلك بقياس عمق حفرة الاحتكاك وعرضها وكذلك وزنياً بحيث وزنت العينة قبل التجربة وبعد التجربة ثم قسّم فارق الوزنين على الوزن النوعي للعينة ثم يقسم الناتج على المساحة التي قطعتها العينة خلال التجربة، وتصل المسافة التي تقطعها العينة إلى 1 km في الاحتكاك الجاف أو المفرّغ من الهواء في حين تصل إلى 10 Km في الاحتكاك المزيت، وقد حددت هذه المسافة تجريبياً وهي المسافة اللازمة لحت طبقة البوريدات [3,5,12]. كما درست مقاومة الاهتراء في أوساط عدائية مثل (5% HCl – 5%NaOH – Sea Water) على آلة الاختبار نفسها، وكانت سرعة الانزلاق $v = 1$ m/s والحمولة النوعية $P = 1$ MPa. كما حُدِّدَتْ نسبة العناصر الداخلة بالتراكيب ونسبة عناصر جزيئات التآكل الاحتكاكي بواسطة جهاز التحليل الطيفي Spectro- Metal.

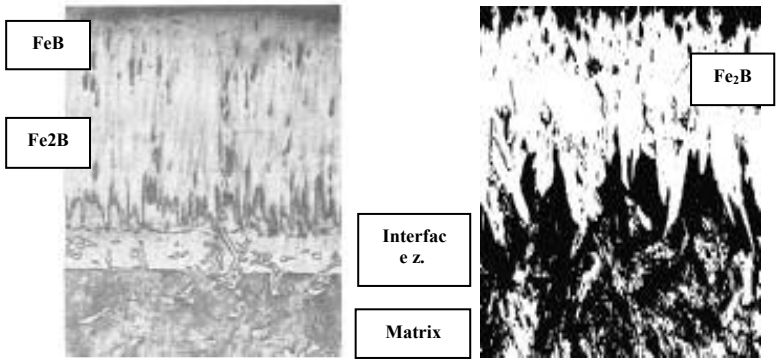
النتائج والمناقشة:

تتألف بنية الطبقة البوريدية عادة من منطقتين: منطقة البوريدات والمنطقة الانتقالية. وتتكون منطقة البوريدات في الفولاذ الكربوني أو الفولاذ قليل الكربون أو متوسطه من طبقتين من بوريدات الحديد /Fe_2B و/FeB/ حيث يتوضع: بوريد الحديد FeB على الطبقة السطحية أما بوريد الحديدي Fe_2B فيتوضع بعده مباشرةً أي تحت الطبقة

السطحية، وفي حالة الطلاء البوريدي المركب، فإنه يتكون على السطح طورين من بوريدات الحديد، أما المنطقة الانتقالية فتتألف من محلول جامد α ذي تركيب معقد مثل محلول (B-Si،أو B-Ni-Cr، أو B-Cr، أو B-Al وغيرها من العناصر في الحديد) كما هو الحال في الفولاذ السبائكي، حيث توجد البوريدات السبائكية حسب العناصر السبائكية الداخلة في تركيب الفولاذ و يرمز لها: (Fe,E)B و $(Fe,E)_2B$ ويعني E العنصر السبائكي الموجود في الفولاذ، أما المنطقة الانتقالية فهي عبارة عن محلول α الجامد لعنصر البورون في الحديد. ويعمل النحاس هنا عمل العنصر المحايد، له تأثير إيجابي هو الحصول على طبقة انتشار أحادية الطور Fe_2B.

تتشكل الطبقات البوريدية ذات الطور الواحد عند عملية الإشباع بالبورون بواسطة الكهروليت electrolyte في مصهور البوراق borax بإضافة CrB_2 و Ni ، و تتم عملية الطلاء البوريدي البسيط أو المركب في وسط مساحيقي ذي أساس عنصر البورون أو كربيد البورون B_4C مع إضافات خاصة مثل مسحوق الحديد أو غيره فضلاً عن المنشطات. حيث تتصف الطبقات البوريدية سواء أحادية الطور أو ثنائية الطور بالشكل الأبري، وتتألف من ثلاث مناطق هي منطقة البوريدات و الطبقة الانتقالية Interface zone والطبقة الأم Matrix، وهي ذات طبيعة خاصة إذ تظهر الحدود بشكل واضح بين المناطق المختلفة، وتتألف منطقة البوريدات ثنائية الطور من قسمين، الأول على السطح FeB وتحته مباشرة Fe_2B، وتتألف منطقة البوريدات أحادية الطور من الطور Fe_2B والمنطقة الانتقالية فقط، كما هو موضح في الشكل (1).

تتعلق مقاومة التآكل الاحتكاكي wear resistance للطبقات البوريدية الثنائية الطور بشكل أساسي بعوامل الاحتكاك المؤثرة في أجزاء الآلات التي تعمل عند الاحتكاك الحتي أو ما يسمى بالاهتراء الحتي abrasive wear، ومن المعروف أن الاهتراء الحتي يؤدي بشكل عام إلى انهيار أجزاء الآلات ذات المراكز الاحتكاكية wear



a) b)

الشكل (1) البنية المجهرية للطلاء البوريدي المركب X400:

a) ثنائي الطور بور– سلكنة (B-Si)، b) أحادية الطور بور– نحاس (B-Cu)

centered و فشلها، لذلك كانت زيادة القساوة السطحية micro hardness واحدة من العوامل الأساسية التي تزيد من مقاومة الاهتراء الحتي، حيث تصل القساوة السطحية في الطلاء البوريدي ذي الطورين إلى 20GPa. مما تؤدي إلى تأمين مقاومة اهتراء حتي عالية abrasive wear سواء الاهتراء الحتي الالتصاقي adhesion wear أو الاهتراء الحتي الحر free abrasive wear للجزيئات الحاكة. تؤثر بنية المادة تأثيراً كبيراً في مقاومة الاهتراء الحتي للمواد المختلفة، غير أن تأثيرها يكون أقل من تأثير القساوة السطحية [5,17,20]. وقد أثبت الباحث [7] أن قساوة المادة تتعلق بطاقة الارتباط في البنية البلورية crystalline Structure وتؤثر –إلى حد كبير– في مقاومة الاهتراء الحتي وذلك بشرط أن قساوة المادة الحاكة abrasive material أعلى بكثير من قساوة المادة المعرضة للاهتراء أي المتآكلة.

وتبين نتائج تحليل معطيات البحث لسطح الاحتكاك المعرض للطلاء البوريدي أن التآكل الحتي يحدث بشكل رئيسي نتيجة لظهور عمليات تآكل مجهرية micro cutting أو ما يسمى قطعاً مجهرياً واقتلاعاً extraction (تقشر) حبيبات الطبقة البوريدية، أي

توجد علاقة تناسب بين قساوة المادة الحاكة (الأكالة) material abrasive /Ha/ / وقساوة المادة المعرضة للاهتراء أي المتآكلة /Hm/.

نميز هنا ثلاثة احتمالات لأنظمة التآكل:

1- نظام التآكل الضعيف: Ha < Hm.

2- نظام التآكل الانتقالي: Ha = Hm.

3- نظام التآكل السريع: Ha > Hm.

ولتخفيف تآكل المواد الحاكة اقترح الباحث [10] أن تكون قساوة المادة المتآكلة أكبر بـ 1.3 مرة من قساوة المادة الحاكة (الأكالة) أي: Hm =1.3Ha ، لأن شدة تآكل المادة الحاكة تكون عندها قليلة التأثير. ولكن حسب نتائج البحث فإن زيادة قساوة المادة المتآكلة أكثر من 1.3 مرة من قساوة المادة الحاكة، لا يؤدي إلى تحسين مقاومة الاحتكاك بشكل ملحوظ، لذلك يجب مراعاة الشرط الأساسي هذا عند التآكل الحتي كعامل من عوامل زيادة مقاومة الاهتراء للطلاء البوريدي.

يبين الجدول (2) أن هناك آفاقاً مستقبلية للطلاء البوريدي المركب Boride Coating الثنائي الطور $FeB + Fe_2B$ عند الاحتكاك الجاف بإضافة مواد حاكة، والذي يبين مقاومة المواد المتلامسة ونوعية البنية الثانوية الناشئة عند سطوح التلامس، كما أثبت الباحثان [3,4] أن مقاومة الاهتراء العالية Wear resistance للمواد وغياب تمركز إجهادات في العقد الاحتكاكية يدل على قدرة هذه المواد على تكيف البنية في مقاومة عوامل الاهتراء الاحتكاكي المختلفة. يفسر الباحث [4] هذه الظاهرة بأنه يتشكل في منطقة التلامس بنية مستقرة تمتلك خواص ذات طاقة انتروبية قليلة، أما الاحتكاك النشيط فيكون ذا طابع ترموديناميكي غير مستقر يتأثر مع الوسط المحيط. تتصف آلية التأثير المتبادل للطبقات السطحية بثوابت سرعة عمليات الاحتكاك التي تكون أكبر مما هو عليه في حالة عدم وجود الاحتكاك.

وبالنتيجة تنشأ نواتج البنية الثانوية Secondary Product بشكل سريع مما يؤدي إلى تشكيل قفزات موضعية في تغير الطاقة الحرة السطحية. إن الشروط الضرورية لتنسيق العمليات الاحتكاكية و الانهيار السطحي هي عبارة عن المعادلة الديناميكية للعمليات الموجبة و السالبة التي تكون عندها الطاقة المؤثرة النشطة في حدود قيم الطاقة الضرورية لتشكيل البنية الثانوية.أما الباحث [7] فيؤكد أن تشكيل البنية الثانوية يمكن أن تكون عبارة عن عملية تشكيل غير متبلورة و عملية خلط ميكانيكي للطبقة السطحية بما

فيها الظواهر الآتية:

- تشتيت المواد في منطقة الاحتكاك على السطح نتيجة لتحطم الروابط الجزيئية المؤثرة في بعضها بعضاً.
- تكسير المواد المتشتتة من أكاسيد وغرافيت وعناصر أخرى داخلة في تركيب المادة على شكل رواسب ونواتج أخرى، مما يؤدي إلى نشوء عملية تلبيد حرارية للخليط على سطح التلامس نتيجة لارتفاع الحرارة الموضعية والضغط على عنصر البنية الجديد، المتكون والمشابه لبنية المادة المقساة.

الجدول رقم (2) يبين مقاومة الاهتراء الحتي النسبية abrasive wear والقساوة السطحية micro hardness للطلاء البوريدي المركب.

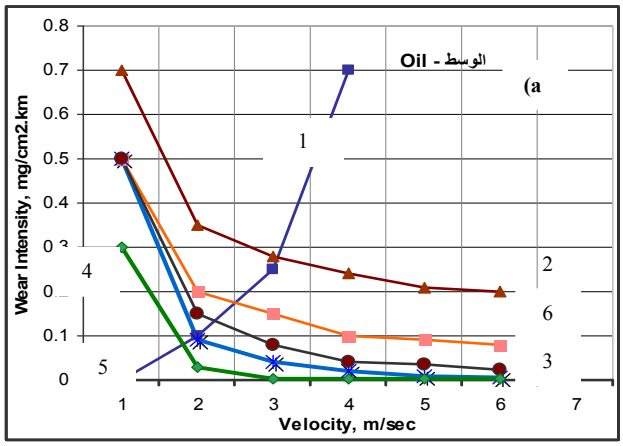
الرقم No.	نوع المعالجة السطحية	الأطوار المتشكلة على السطح Phase contain	القساوة السطحية Hv, [MPa] Micro-hardness	مقاومة الاهتراء النسبية
1	تقسية (سقاية) Hardening	ـــــ	6000	1
2	طلاء بوريدي بسيط boronizing	FeB + Fe_2B	18000 - 19000 15000 - 16000	6.25
3	طلاء كهروليتي مركب C.E.C , (B-Ni-Cr)	Fe_2B	13000 - 22000	4.32
4	بورو – سلكنة (B-Si) Boro - siliconizing	FeB + Fe_2B	20000 - 21000 18000 - 19000	5.44
5	بورو – كرومة (B-Cr) Boro - chromizing	FeB + Fe_2B	21000 - 22000 18500 - 19800	7.83
6	بورو – نحسنة (B-Cu) Boro - copperizing	Fe_2B	17800 - 18000	4.05
7	بورو – ألمنة (B-Al) Boro - aluminizing	FeB + Fe_2B	21000 - 22000 17000 - 18000	7.16

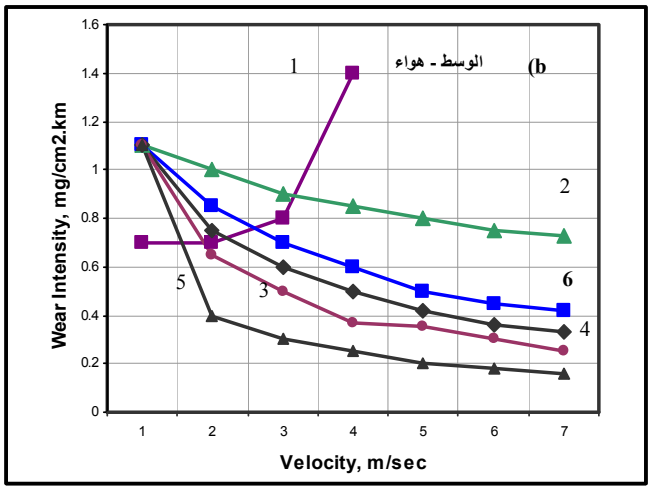
وبالنتيجة تكون عمليات التأثير السطحي المتبادل و الانهيار هي عبارة عن مجمـــوع التنافس المشترك بين الطاقة الحرة وحركة الاحتكاك ومقاومتـــه، وتنظـــيم العمليـــات الثلاث هو طاقة ذات طبيعة واحدة، إما أن تكون متوازنة أي أن حركـــة الاحتكـــاك تتساوى مع مقاومة الاحتكاك عندها يجري تآكل ميكانيكي عادي، أو أن تكون حركـــة الاحتكاك تحطيمية، حيث يظهر على السطح – تآكل سريع تحطيمي وانهيار سريع.

يؤدي الإشباع السطحي للفولاذ بعناصر مختلفة إلـــى تغييـــر العوامـــل الميكانيكيـــة الخارجية المنظمة لعملية الاحتكاك ومقاومته بهدف تأمين الشروط الملائمة للبنية كـــي تتكيف مع زوجي الاحتكاك [12,13].

يبين الشكل (2,a &b) نتائج تأثير عملية الطلاء البوريدي المركب boride coating في الاهتراء الالتصاقي adhesion Wear في الهواء الطلـــق (الوســـط – air)، وفـــي

الزيت (الوسط –oil). إن تغير معامل الاحتكاك والتآكل عند سرعة انزلاق ثابتة V =1 m/s يكون واحداً لجميع أنواع الطلاء coating.





الشكل (2,a &b) علاقة شدة الاهتراء بالسرعة للمواد المختلفة

1) فولاذ St1040 مقسّى، 2) طلاء بوريدي بسيط، 3) ، طلاء بوريدي مركب B-Si

4) طلاء مركب B - Al ، 5) طلاء مركب كهرولتي Ni-Cr-B ، 6) طلاء مركب B-Cu

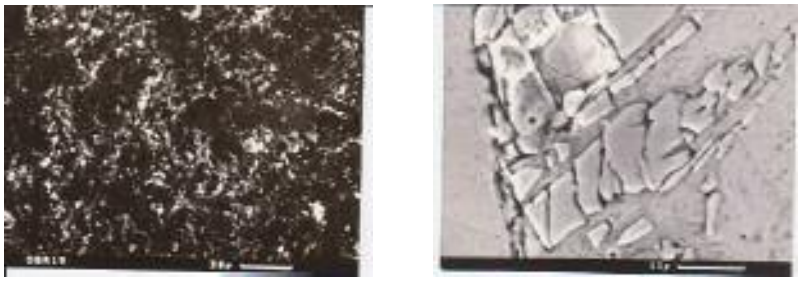
أما الفولاذ المقسى فيكون مختلفاً، وذلك نتيجة لعدم تشكل بنية ثانويةsecondary structure لنواتج الاحتكاك أثناء عملية الاهتراء سواء كان (الوسط– هواء) أو الوسط مزيت، حيث يحصل التشوه اللدن plastic deformation بشكل سريع.

ويمتلك الفولاذ المعالج بالإشباع الانتشاري بالبورون boronizing مقاومة عالية للاهتراء wear resistance في مجال سرعات احتكاك انزلاقي من V= 0.5 – 10 m/s، وحمولة نوعية (P= 1 MPa) خاصة في الهواء (الوسط – هواء)، و يحدث الانهيار Failure هنا من النوع الهش Brittle، حيث يحصل تقشر أو اقتلاع جزيئات كبيرة من طبقة البوريدات عند سرعات احتكاك انزلاقي صغيرة نسبياً – V = 0.05 0.5m/s، كما يحدث تقسية لجزيئات المعدن الأم Matrix مما يؤدي إلى وجود قيم كبيرة للتآكل وذلك نتيجة لعدم الارتفاع الكبير في درجات الحرارة على سطح التلامس.

يبين الشكل /3/ المظهر الخارجي للسطح والبنية المجهرية microstructure للطبقة البوريدية، حيث يمكن تفسير القيم الكبيرة لمعامل الاحتكاك (f = 0.6-0.8) عند سرعات الانزلاق تلك، بالصلادة العالية لطبقة البوريدات boride layers، و بتقسية المعدن الأم و تأثير جزيئات التآكل القاسية. إن زيادة سرعة الانزلاق يساعد في أكسدة الطبقات البوريدية oxidation الظاهرة على السطوح الاحتكاكية للبنية الثانوية لنواتج الاحتكاك secondary structure، التي هي عبارة عن شرائح غير متبلورة amorphous للأكاسيد المعقدة لعناصر البنية، التي تؤدي إلى إنقاص التآكل وقيم معامل الاحتكاكmodule of friction. أما في مجال سرعات الانزلاق (V = 2 – 8 m/s) فإنه يحدث انصهار للأكاسيد المتشكلة على سطح الاحتكاك، ولاسيَّما انصهار أكسيد البورون B_2O_3، الذي يؤدي إلى تشحيم أو تزييته سطح الاحتكاك [9] ، أما معامل الاحتكاك فيتناقص ويستقر عند قيم f = 0.1 – 0.08 ، وبالنتيجة فإن زيادة سرعة الانزلاق تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة على سطح الاحتكاك، وحدوث

انصهار موضعي لمنطقة التلامس، مما يؤدي إلى حدوث ما يسمى التطرية أو التليين الحراري وتشكيل غشاء رقيق من الأكاسيد تعمل كطبقة تزييت تؤدي إلى تحسين مقاومة الاهتراء الجاف (الوسط – هواء).

إن دراسة تأثير الحمولة النوعية في الاحتكاك والتآكل للطبقات البوريدية يبين أن قدرة عملها متعلق بسرعة الانزلاق وبعناصر التسبيك Alloying أو الإشابة الداخلة في البنية. ويبين البحث أن أقل قدرة عمل يمكننا ملاحظتها عند الطلاء البوريدي الثنائي الطور في أثناء التجارب، أي عند سرعات الانزلاق (V = 0.1 m/s)، ويلاحظ تحطم الطبقات البوريدية في الفولاذ عند حمولة نوعية مساويةP = 11MPa) ، لذلك من أجل زيادة مجال قدرة عمل الطلاء البوريدي في الفولاذ من الضروري جدا رفع قساوة مادة القاعدة الأم Matrix لتلافي ضغط الطبقة البوريدية.



a) (b

الشكل (3) :المظهر الخارجي لسطح الاهتراء الجاف (V= 0.1 m/sec, P= 1 MPa) للفولاذ a)– سطح الاحتكاك الكلي X 200 . b)– طبقة البوريدات X800.

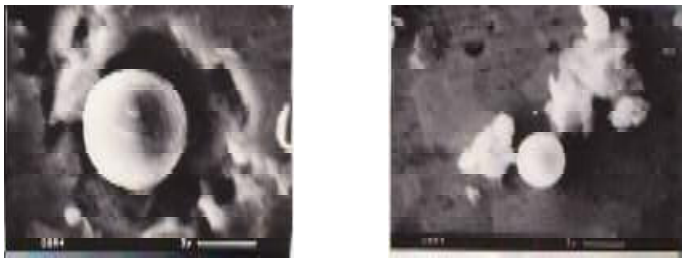
يتصف التأثير المتبادل لسطح الاحتكاك التلاصقي للطبقة الحدودية بمجموع الظواهر المتعلقة ببعضها بعضاً، والناشئة في البنية الجزيئية للطبقة الحدودية وفي الطبقات السطحية للمعدن. تتعلق العمليات الفيزيائية والفيزيا–كيميائية الناشئة في الطبقة العاملة للمعدن بمستوى التشوه اللدن plastic deformation، الذي يظهر عند الاحتكاك وعند الوسط الكيميائي الأكال. يمكن اعتبار الوسط الذي يعمل به زوج الاحتكاك وتشوه طبقاته، من وجهة نظر التأثير الفيزيائي–الكيميائي المتبادل بالنظام الكوانتي الميكانيكي

الواحد Quantum system [10]. إن تغيير خاصية واحدة من هذا النظام المركب، يؤدي إلى تغيير الخواص النوعية و الكمية لعملية التآكل و الاحتكاك. ليس دائماً بالضرورة يؤدي تغير البنية عند عملية الاحتكاك من الطبقة السطحية المقساة إلى الطبقة الداخلية الأم، و كذلك اختلاف الوسط المحيط إلى نشوء عقد أو مراكز احتكاك أو أنواع أخرى من التآكل [4,14]. لهذا تتعرض سطوحها العاملة إلى أنواع تقسية مختلفة، أما مستوى تنشيط الاحتكاك وتحفيزه لسطح التلامس، فإنه يتناقص نظراً إلى زيادة قساوة الطبقة السطحية.

تمتلك البنية الثانوية بنية مثالية قادرة على خفض مستوى تحفيز الاحتكاك السطحي عند التلامس. وهي تكون في حالة لا بلورية Amorphous، على شكل غشاء رقيق من الجزيئات المختلفة الأشكال منها الكروية أو الصفائحية أوالشرائح....الخ.

ويبين الشكل(4) صورة مجهرية Microstructure لجزيئات الاحتكاك ذات الشكل الكروي للفولاذ المعالج بالطلاء البوريدي البسيط أو المركب بعد عملية الاهتراء المزيت، التي لم تلقَ تفسيراً واضحاً لعملية تشكلها حتى الآن، لأنه لا توجد فكرة موحدة عن تشكل جزيئات التآكل الكروية الشكل هذه، ويمكن شرح فرضية تشكلها بالمراحل الآتية:

1. تدوير الحافات المستوية لجزيئات التآكل.
2. التأثير المتبادل بين زيت التزييت وتشققات سطح الاحتكاك التي تنفتح وتنغلق باستمرار.
3. انصهار نواتج الاحتكاك نتيجة لارتفاع درجة الحرارة، وتسخين سطح الاحتكاك.
4. تتشكل جزيئات التآكل الكروية نتيجة للتآكل أو الاهتراء الطبيعي عند الحالة الحرجة للبنية الثانوية (شبه المنصهرة).
5. تتشكل جزيئات التآكل الكروية نتيجة لنمو تشققات التعبCrack propagation.



b) a)

الشكل (4) شكل نواتج الاحتكاك:

a) – بداية تشكل الجزيئات b) – الشكل الكروي بعد التشكل X200

تتألف الجزيئات الكروية بشكل رئيسي من أكاسيد البورون واتحادات أخرى، التي تكون في حالة لا بلورية Amorphous، حيث حددت نسبة عناصر الجزيئات الكروية للتآكل بواسطة جهاز التحليل الطيفي Spectro-metal كما هو مبين في الجدول رقم (3).

جدول رقم (3) يبين النسبة المئوية لعناصر الجزيئات الكروية للتآكل

النسبة المئوية الذرية لعناصر التآكل wt %	C	O_2	Fe	B	S
	47	34	8.7	8.2	1.6

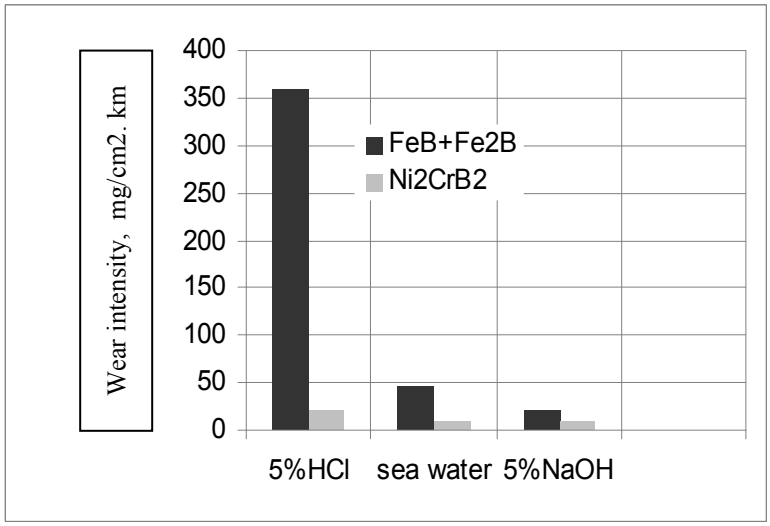
كما درست كمية العناصر الداخلة في التركيب الكيميائي للبنية الثانوية عبر العمق، وبينت أن نمط توزعها يتغير باتجاه العمق بشكل واضح، حيث تتناقص كمية الكربون C على عمق 0.5 – 0.4 µm إلى نحو 6 – 7 مرات، وتتناقص كمية الأكسجين O_2 إلى نحو 2 مرة. بينما تزداد كل من كمية الحديد Fe إلى نحو 2 –3 مرة وكمية البورون B إلى نحو 3 – 3.5 مرة، أما كمية الكبريت S فتبقى تقريباً ثابتة.

ويظهر الشكل /5/ نتائج دراسة الاهتراء في وسط عدائي Corrosion wear للطلاء البوريدي البسيط ذي الطورين والطلاء الكهروليتي المركب ذي الأساس B-Cr-Ni الأحادي الطور، فمن أجل زيادة قساوة اللب Matrix والابتعاد عن العيوب المتعلقة بترسيب الكروم Cr والبورون B، قمنا بإضافة ديبوريد الكروم CrB_2 في تركيب

CEC، لأن لها تأثيراً متبادلاً مع النيكل، وأجرينا عملية التلدين Annealing عند درجة حرارة مرتفعة 1000 °C، بعد عملية الطلاء المركب C.E.C، لزيادة قساوة اللب نظراً إلى تشكيل محلول جامد تبادلي Solid Substitutional Solution مع بوريدات العناصر الداخلة في التركيب. يحتوي ديبوريد الكروم CrB_2 بعد عملية التلدين لـ C.E.C على أكثر من 16.5 Wt.% نسبة وزنية حسب التحليل الطيفي، وتتشكل بنية يوتكتيكية النوع Eutectic مع بلورات $FeNi_2CrB_2$ ذات القساوة المجهرية العالية 22 GPa – 13. حددت مقاومة الاهتراء أو التآكل للطلاء البوريدي المركب على آلة الاهتراء في وسط كيميائي نشيط (5%HCl , Sea Water, 5%NaOH)، وأجري الاختبار عند سرعة انزلاق V = 1 m/s وحمولة نوعية P = 1 MPa، وقورنت النتائج بعينات معالجة بالبورنة البسيطة ذات الطورين، كما هو مبين في الشكل /5/. نلاحظ من الشكل /5/ أن شدة الاهتراء عند الفولاذ المعالج بـ CEC أقل بكثير من شدة الاهتراء عند الفولاذ المعالج بالبورنة البسيطة، ونلاحظ أيضاً أنه تناقصت درجة حموضة الوسط، كلما تناقصت شدة التآكل لكلتا طريقتي الطلاء.

ويظهر معامل التآكل الكيميائي Factor of Corrosion للطلاء البوريدي البسيط، بنسبة أكبر مما هو عليه عند عملية الطلاء البوريدي المركب B-Ni-Cr. لذلك من الضروري مراعاة مقاومة التآكل الكيميائي،عند اختيار طريقة المعالجة أو الحماية بالطلاء لأجزاء الآلات المعرضة للاهتراء في وسط كيميائي عدائي.

يمتلك الطلاء البوريدي المركب اهتماماً علمياً كبيراً، نظراً إلى قيمته التطبيقية الواسعة، وقد أثبتت ذلك نتائج البحث، من حيث دراسة البنية والتراكيب الطورية والخواص التريبولوجية، أن الطلاء البوريدي المركب يمتلك قدرة عالية على العمل



الشكل (5) مقارنة شدة الاهتراء بين عملية الطلاء البوريدي البسيط والطلاء البوريدي المركب B-Ni-Cr في أوساط كيميائية أكالة مختلفة

في ظروف الاحتكاك ذات التأثير المتبادل، لأنه يعمل كمواد مركبة ذات تسليح ليفي أو حبيبي ذي حبيبات ناعمة وقاسية.

الاستنتاجات:

1. إن استخدام عملية الطلاء البوريدي المركب في الفولاذ يؤدي إلى زيادة القساوة السطحية بمقدار 4 – 3 مرات عن الفولاذ المعالج بالتقسية فقط.
2. تزداد مقاومة الاهتراء والتآكل بعد عملية الطلاء البوريدي المركب للفولاذ، عدة مرات على مقاومة الاهتراء والتآكل للفولاذ المعالج بالبورنة البسيطة أو بالتقسية فقط.
3. وُضِعَ تصور عن طبيعة الجزيئات المتآكلة وكيفية تشكلها، والتي تكون ذات شكل كروي، ناتجة عن تشققات التعب.
4. تتكون جزيئات الاهتراء من أكاسيد البورون واتحادات أخرى، تكون البنية لا بلورية، تعمل على تزييت سطح الاحتكاك نتيجة لانصهارها، مما تؤدي إلى تحسين

مقاومة الاحتكاك و الاهتراء الجاف سواء كان (الوسط – هواء) أو كان (الوسط – خلاء).

5. أظهرت نتائج البحث قدرة الطلاء البوريدي المركب على العمل في ظروف التآكل والاهتراء المختلفة، سواء كان وسط التآكل عدائياً، مثل الوسط الحمضي أو القلوي، أو وسطاً غير عدائي أي معتدلاً.

6. أثبتت نتائج البحث أن الطلاء البوريدي المركب يمتلك قدرة عمل عالية في ظروف الاحتكاك ذات التأثير المتبادل، لأنه يعمل كمواد مركبة ذات تسليح Reinforcement ليفي أو حبيبي ذي حبيبات ناعمة و قاسية.

النتيجة:

يمكن التوصية باستخدام الطلاء البوريدي المركب كبديل عن الطرائق التقليدية المستخدمة في معالجة الأجزاء المصنعة من الفولاذ، مثل الكربنة أو النتردة أو الكربونتردة أو البورنة البسيطة، لأنه يحسّن الخواص الميكانيكية والكيميائية والتريبولوجية المختلفة، ويعمل كمواد مركبة ذات تسليح ليفي أو حبيبي، ولها القدرة على العمل في ظروف التشغيل المختلفة. مما يؤدي إلى رفع الجدوى الاقتصادية، من حيث تقليل التكلفة و زيادة الوثوقية والعمر الزمني لعناصر الآلات والعدد القاطعة المعرضة للتآكل و الاهتراء.

المراجع العلمية

1.فورشنين ل.غ، لياخوفيتش ل. س،" بورنة الفولاذ".– موسكو 1978.

2.مجيد ع.ي، إيبيك أ.ب،" المعالجة الكيميا–حرارية للمساحيق المعدنية ذات الأساس الحديدي." مجلة ميتالورجيا المساحيق، ع8.– كييف 1993.

3.لابونتس ف. ف، فوروشنين ل.غ، كيندروتشوك م.ف،" مقاومة الاهتراء في الطلاء البوريدي".– كييف 1989.

4.سمسونوف غ.ف، إيبيك أ.ب،" الطرق الحديثة في المعالجة الكيميا–حرارية للمعادن وسبائكها".– كييف 1991.

5.ريباكوف ل.م، كوكسينوفا ل.ن،"بنية و مقاومة الاحتكاك للمواد المختلفة".– موسكو1985.

6.مجيد ع.ي، لابونتس ف. ف،" طرق التقسية السطحية المختلفة لمواد المساحيق".// المؤتمر الدولي للعلوم والتكنولوجيا، AVIA2003 .– كييف2003.

7.كونيتسكي يو.أ، كورجيك ف.ن، بور يسوف يو. س،" المواد غير المتبلورة والطلاء في الصناعة".– كييف 1988.

8.زوزوليا ف.د وغيره،"المساعد في الاحتكاك و الاهتراء وتزييت لعناصر الآلات".– كييف 1990.

9.مجيد ع.ي،" دراسة الصلادة السطحية ومقاومة التآكل لطبقة البوريد المتكونة على الفولاذ". مجلة جامعة الملك خالد، ع1.– أبها 2004

10. تشيخوس خ."النظام التحليلي في التريبولوجيا".– موسكو 1982.

11. أنتروبوف ل.ي،لبدنسكي يو.ن."الطلاء الكهروليتي المركب".– كييف1986.

12. K. David, K.G. Anthymidis, P. Agrianidis, G. Petropoulos," Characterization and tribological properties of boride coating of steel in a fluidized bed reactor". Journal: industrial lubrication and tribology, vol.60,pp 31-36,2008

13. G. Stergioudis," Formation of boride layers on steel substrates".- Greece 2006.
14. R. Chattopadhyay," SURFACE WEAR: Analysis, Treatment and Prevention".- Ohio.ASM International 2001.
15. B.M. Caruta," Thin films and coatings".- Nova puplishers 2005.
16. M. Kulka, A. Pertek, "The importance of carbon content beneath iron borides after boronizing of chromium and nickel-based low-carbon steel", Appl. Surf. Sci. 214 (2003) 161–171.
17. M.A. B´ejar , E. Moreno," Abrasive wear resistance of boronized carbon and low-alloy steels". Journal of materials processing technology, N3, vol.173, 2006.
18. U.Er, B. Par "The Abrasive Wear Behavior of Boronized and Untreated AISI1008 and AISI1045 Steels".Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül. Türkiye 2004
19. Maria Hudakov, Martin Kus, Viktoria Sedlick, Peter Grga,"Analysis of the boronized layer on k190 PM tool steel". Mtaes 9, 41(2)81. Slovakia 2007
20. C. Martini, G. Palombarini, G. poli and D. Prandstaller, "Sliding and abrasive wear behavior of boride coating". Journal Coden wearah, vol.256. N6, pp608-613. Italy 2004.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2009/4/28.