

تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية محضرة بطريقة تعدين المساحيق

د. جلال عبود³

م. قيس ابراهيم²

د. م. ميساء شاش¹

ملخص

تم في هذا البحث دراسة تأثير نسب مختلفة من الكروم (% 5 , 10 , 15) و المنغنيز (0.5 , 6) , 1.5 , 4 , على عينات فولاذية محضرة بطريقة تعدين المساحيق، تم كبس مزيج المساحيق بمكبس احادي المحور بضغط قدره 686.7 MPa، تم تلييد العينات داخل فرن كتييم بوجود غاز الأرغون، بمعدل تسخين 7°C/min حتى الدرجة 1150°C لمدة ساعتين وبمعدل تبريد 7°C/min، تم قياس قساوة روكويل السطحية HRC للعينات الملبدة، تم تنفيذ اختبار الاهتراء بالبري بالرمل الجاف والعجلة المطاطية ASTM G65 باستخدام حمل ناظمي 130N وبسرعة دوران للعجلة المطاطية 200 rpm ويعدد دورات 1000 و 6000 دورة، حيث تم حساب الفقد في الحجم ومعاملات الاهتراء. يمكن الحصول على عينات محضرة بطريقة تعدين المساحيق محلياً والتحكم بكامل بارامترات التحضير والتشغيل للحصول على الخواص المطلوبة. تؤثر نسب الكروم والمنغنيز بشكل مباشر على القساوة السطحية ومقاومة الاهتراء بالبري لعينات محضرة بطريقة تعدين المساحيق. ويمكن الحصول على عينات ملبدة ذات قساوة سطحية قد تصل حتى 71 HRC ومقاومة عالية للاهتراء بالبري بقيم معاملات اهتراء لم تتجاوز $3.4 \times 10^{-14} \text{ mm}^2/\text{N}$ ، أظهرت النتائج زيادة في قيم القساوة والاهتراء بزيادة نسبة الموليبيديوم والكروم .

الكلمات المفتاحية: اهتراء بالبري، تعدين المساحيق، تقنية التلييد ، منغنيز ، فولاذ ، كروم، قساوة

1 أستاذ - قسم هندسة المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سوريا.

2 طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سوريا / مساعد باحث - الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية - دمشق - سوريا.

3 باحث - الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية - الحجاز - دمشق - سوريا

Effect of chromium and manganese content on the wear resistance of steel samples prepared by the powder metallurgy method

Dr. Mayssa Shash ¹

Eng. Kaysse Kamel Ibrahim ²

Dr. Jalal Abboud ³

Abstract

In this research, the effect of different amounts of chromium (5, 10, 15)% and manganese (0.5, 1.5, 4, 6)% were studied on steel samples prepared by the method of powder metallurgy. The powder mixture was pressed with a uniaxial press at a pressure of 686.7 MPa, the samples were sintered inside a furnace in the presence of argon gas, at a heating rate of 7°C/min to 1150°C for two hours and at a cooling rate of 7°C/min, the Rockwell surface hardness HRC was measured for sintered samples, a rubber wheel and dry sand wear test ASTM G65 was using a 130 N load, with a rotational speed of the rubber wheel 200 rpm, with a number of revolutions of 1000 and 6000. Chromium and

¹ professor – department of equipment and machinery Engineering – faculty of technical engineering - Tartus University - Tartus – Syria.

² PhD student – applied material engineering - department of equipment and machinery Engineering - Tartus University - Tartus – Syria. \ Assistant researcher – general commission for scientific research - Damascus – Syria.

³ Reseacher – The general commission for scientific agricultural researches – Al Hijaz - Damascus

molybdenum contents directly affect the surface hardness and wear resistance of samples prepared by powder metallurgy method. It is possible to obtain sintered samples with a surface hardness of up to 71 HRC and a high abrasive wear resistance with values of wear coefficients that did not exceed $3.4 \times 10^{-14} \text{ mm}^2/\text{N}$. The results showed an increase in the hardness and wear values with an increase in the of molybdenum and chromium content.

Keywords: abrasive wear , powder metallurgy , sintering technology , manganese , steel , chromium , hardness.

1. مقدمة:

تعتبر تقنية تعدين المساحيق تقنية جذابة بشكل خاص لأنها تمزج بين مزايا توفير التكاليف والمواد مقارنة بالمسبوكات والمطروقات التقليدية من خلال التحكم الأفضل بالأبعاد والوزن، تستخدم خلائط المساحيق من الحديد والكربون والمنغنيز في التطبيقات مثل المحامل المقاوم للحرارة، أقراص الفرامل، المحامل ذاتية التزييت، الفلنجات، والاجزاء الأخرى المقاومة للاهتراء والتآكل [1]. يعتبر المنغنيز عنصراً مهماً جداً لمنتجات الصلب، حيث يزيد المنغنيز (1% وزناً) من قساوة ومتانة الفولاذ، عندما يحتوي الفولاذ على أكثر من 10% وزناً من المنغنيز فإن ذلك سيعطي مقاومة اهتراء أعلى [2]. يتميز الفولاذ الأوستينيبي عالي المنغنيز بمتانة ومقاومة اهتراء كبيرين تحت ظروف الصدم الكبيرة [3]. بالرغم من ذلك فإن الفولاذ الذي يحتوي على منغنيز أكثر من 14% وزناً يعطي مقاومة اهتراء أكبر من الفولاذ الذي يحتوي على منغنيز أقل من 14% ، لذلك من الضروري تحسين خصائص النوع الثاني فيما يتعلق بمقاومة الاهتراء [4]. في مركب Fe-C-Mn يحسن المنغنيز صفات الدرفلة والطرق، فضلاً عن المتانة والصلابة والجساءة ومقاومة الاهتراء والقساوة [5]. على الرغم من أن الكربون والمنغنيز يحسنان من الخصائص المذكورة أعلاه بشكل عام، فإن أهداف هذا البحث هو إيجاد التركيبة الامثل بين الكروم والمنغنيز والموليبيدوم للحصول على مقاومة اهتراء أكبر. عندما يزداد محتوى المنغنيز من 0.31% إلى 1.71% في الفولاذ الصب الرمادي، تنخفض قيمة معامل الاهتراء بزيادة محتوى المنغنيز، بالإضافة إلى ذلك، تنخفض قيمة معامل الاهتراء في حالة زمن التماس القصير [6]. بزيادة نسبة المنغنيز في الحديد الزهر الرمادي، تنخفض قيمة معامل الاهتراء وقيمة القساوة وتزداد مقاومة الصدم [1]. وهذا الأمر بحاجة للمزيد من الدراسات وخاصة فيما يخص العلاقة بين معامل الاهتراء والقساوة.

يقوم المنغنيز في الفولاذ المنغنيزي بتوسيع منطقة الأوستنيت وزيادة استقرار الأوستنيت. تحت تأثير الصدم في الفولاذ عالي المنغنيز يمكن أن تظهر آثار التصلب على سطحه بشكل متسارع مما يجعله أكثر قدرة على مقاومة الاهتراء [7]. كما يلعب الفولاذ عالي

المنغنيز دوراً مهماً في المواد التقليدية المقاومة للاهتراء نظراً لتكلفة إنتاجه المنخفضة ومثابته الجيدة وقدرته الممتازة على التصلب الناتج عن التثوية [8]. أظهرت الدراسات إن إضافة المنغنيز إلى الحديد الزهر يجعل الكرييدات مشتتة ضمن مصفوفة الأوستنيت، ويتم الاعتماد على خاصية التصلب أثناء العمل لتحسين مقاومة الاهتراء الناتج عن الصدمات [9, 10]. يطلق على الفولاذ المنغنيزي اسم (Hadfield steel) وهو فولاذ حديدي يحتوي على حوالي 1.4% كربون و 14% منغنيز وله خصائص جذابة مثل المتانة العالية، المرونة، والتصلب العالي أثناء العمل. ومقاومة اهتراء للبري كبيرة جداً مما يجعله على صلة بالمجالات الهندسية مثل المقالع، حفر الآبار النفطية، المناجم ومنشآت سحق المعادن [11, 12].

2. أهمية البحث وأهدافه:

درس بعض الباحثين خصائص الاهتراء الجاف لعينات ملبدة وغير ملبدة للفولاذ المنخفض والمتوسط الكربون، وقد وجد ان سلوك الاهتراء لكل من العينات الملبدة وغير الملبدة متشابه [13].

بالرغم من ذلك يبقى سلوك الاهتراء لعينات محضرة بطريقة تليبد المساحيق في موقع مزيد من الدراسة، كون عملية التليبد ترتبط بعوامل مختلفة أهمها التركيب الكيميائي لخليط المسحوق، وذلك لأن عملية التليبد هي عملية تفاعل كيميائي أكثر منها عملية تشكيل للمعدن، على عكس ما هو عليه في طرق التشكيل التقليدية كالسباكة وغيرها. مما سبق أعلاه نلاحظ أهمية المنغنيز في تحسين خصائص مقاومة الاهتراء والقساوة والمتانة، رغم ذلك ما زالت الأبحاث التي تتحدث عن سلوك الفولاذ المنغنيزي أثناء عملية التليبد وتأثير نسبة المنغنيز على خصائص الفولاذ الكرومي المشكل بطريقة تعدين المساحيق أمراً لم يتم دراسته من قبل. وعلى ذلك سيتم دراسته في هذا البحث لتحديد مدى هذا التأثير على خصائص مقاومة الاهتراء و على القساوة السطحية.

3. مواد وطرائق البحث:

1.3. المواد:

في هذا البحث. تم استخدام مساحيق الحديد من نوع (AVONCHEM iron powder) (99.5% مسحوق أساس، ومسحوق الغرافيت من نوع (Lobachemie graphite) (fine powder (size of 50 μm)، ومسحوق الكروم من نوع (Titanblotechtd) (99.0%)، ومسحوق المنغنيز من نوع (Chem-Lab NV 99.9%)، ومسحوق الموليبدنيوم من نوع (Riedel-de Haën 99.7%)، ومسحوق النحاس من نوع (AVONCHEM 99.7%)، ومسحوق النيكل من نوع (AVONCHEM 99.9%)، مسحوق السيليكون من نوع (Riedel-de Haën 97%)، ومسحوق ستيرات الزنك كمادة مزيتة من نوع (AVONCHEM).

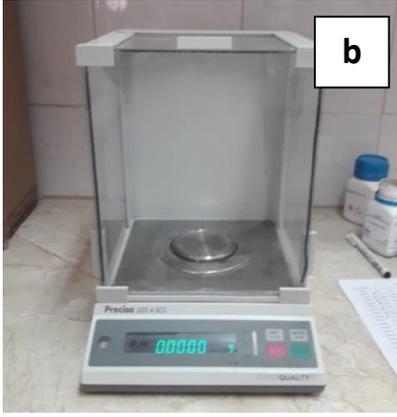
توضح النسب المئوية للعناصر في العينات المدروسة بالجدول (1)، حيث سيتم دراسة تأثير المنغنيز (% 0.5 - 1.5 - 1.5 - 4 - 6) وزناً، بالتداخل مع نسب مختلفة للكروم (% 5 - 10 - 15) على بعض الخصائص الميكانيكية لعينات الملبدة.

الجدول (1): التركيب الكيميائي (نسب وزنية) للعينات المدروسة:

zinc stearate%	Fe%	Cu%	C%	Ni%	Si%	Mo%	Mn%	Cr%	sample
1.5	91.5	0.2	0.5	1	0.8	0.5	0.5	5	A0
1.5	90.5	0.2	0.5	1	0.8	0.5	1.5	5	A1
1.5	88	0.2	0.5	1	0.8	0.5	4	5	A2
1.5	86	0.2	0.5	1	0.8	0.5	6	5	A3
1.5	85.65	0.2	0.5	1	1.65	0.5	0.5	10	B0
1.5	84.65	0.2	0.5	1	1.65	0.5	1.5	10	B1
1.5	82.15	0.2	0.5	1	1.65	0.5	4	10	B2
1.5	80.15	0.2	0.5	1	1.65	0.5	6	10	B3
1.5	80.65	0.2	0.5	1	1.65	0.5	0.5	15	C0
1.5	79.65	0.2	0.5	1	1.65	0.5	1.5	15	C1
1.5	77.15	0.2	0.5	1	1.65	0.5	4	15	C2
1.5	75.15	0.2	0.5	1	1.65	0.5	6	15	C3

2.3. طرائق البحث:

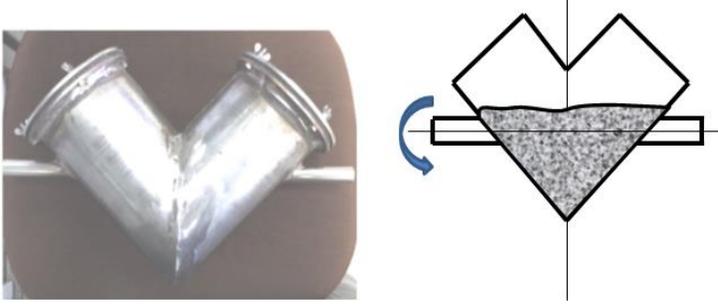
تم تجفيف مسحوق الغرافيت للتخلص من الرطوبة المتبقية فيه على درجة 120°C لمدة ساعتين. ومن ثم تم تحديد الأوزان الخاصة بكل عنصر وفق النسب المئوية للعناصر السبائكية لكل جرعة وفق الجدول (1). تم وزن العينات بالميزان حساس بدقة 0.0001g نوع (Precisa 205 A SCS) صيني المنشأ مع إمكانية المعايرة والتصفير عند العمل، الشكل (1). تم إضافة 1.5% من ستيرات الزنك كمادة مزيتة لتحسين انضغاطية المساحيق أثناء الكبس.



الشكل (1): a: عبوات المساحيق المعدنية. b: الميزان الحساس من نوع Precisa 205 A SCS

بعد تشكيل كل جرعة وفق النسب المئوية للعناصر تم وضع كل جرعة ضمن خلاط على شكل حرف V كما هو موضح بالشكل (2) حيث تم تركيبها على محور دوار لمدة 30 دقيقة بسرعة دوران 90 rpm.

تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق

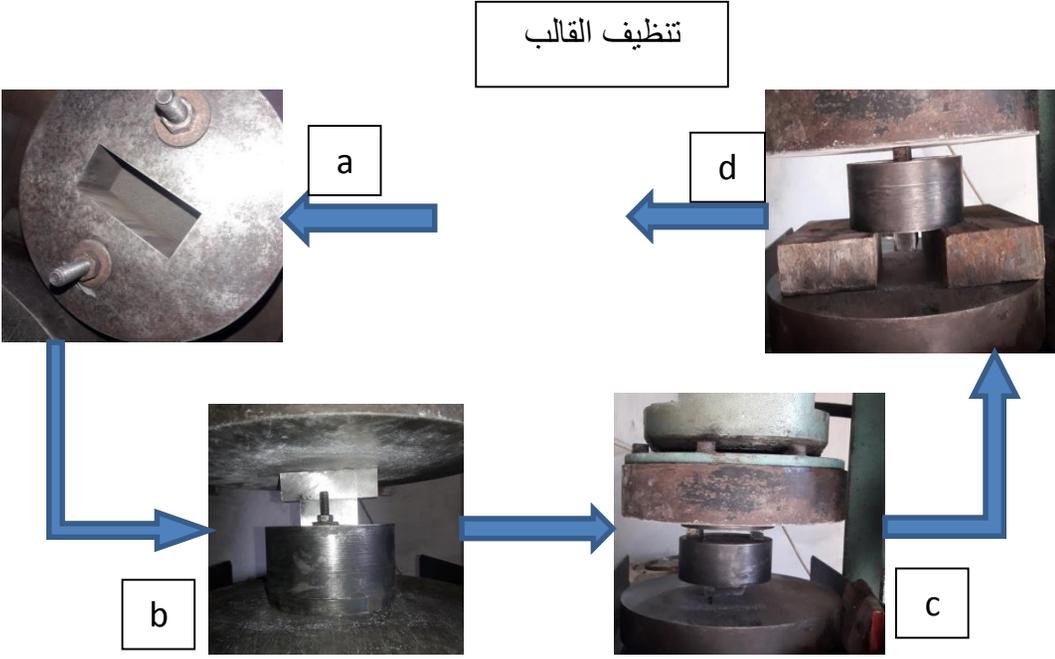


الشكل (2): خلاط المساحيق المعدنية المستخدم

يتم قياس الكثافة الظاهرية (g/cm^3) لعوامل مختلفة منها: تحديد حركة المكبس اللازمة لضغط وتكثيف المسحوق، والتحكم بسلوك المضغوطات أثناء عملية التلييد. لم يكن هنالك انحراف كبير في متوسط الكثافة الظاهرية لجميع الخلطات المستخدمة والتي بلغت 1.988 g/cm^3 .

بعد الانتهاء من عملية الخلط، تم تشكيل العينات باستخدام تقنية الكبس أحادي المحور ووحيد الاتجاه (uniaxial) في قالب فولاذي مقسى حتى رقم قساوة 60 HRC، تم تصنيع القوالب وفق المواصفات القياسية الأمريكية ASTM B925 - 03، تم وضع المسحوق في القالب بعناية فائقة لمنع أية حركة لأجزاء القالب، ومن ثم كبس العينات باستخدام مكبس هيدروليكي باستطاعة (2000 KN) والموجود في مخبر الشركة السورية للبناء والتعمير - فرع طرطوس من نوع PERRIER، لتطبيق ضغط مقداره 686.7 MPa وهو يقابل 105T لعينات الاهتراء بسرعة كبس 0.127 mm/sec ومن ثم تثبيت الضغط لمدة 30 ثانية لنقادي الإرجاع المرن. يتم رفع الضغط بعد ذلك وإزالة العينة الخضراء (بعد الكبس) وتنظيف القالب من البقايا بشكل جيد، ومن ثم ملئه من جديد بالجرعة التالية، وبذلك نحصل على العينات الخضراء. يبين الشكل (3) مراحل كبس العينة الخضراء وإخراجها وإخراج وتد الكبس.

تنظيف القالب



الشكل (3): مراحل كبس العينات، a: وضع المسحوق داخل تجويف القالب b: مرحلة الكبس

d: إخراج لقمة الكبس.

c: لفظ العينة خارج القالب

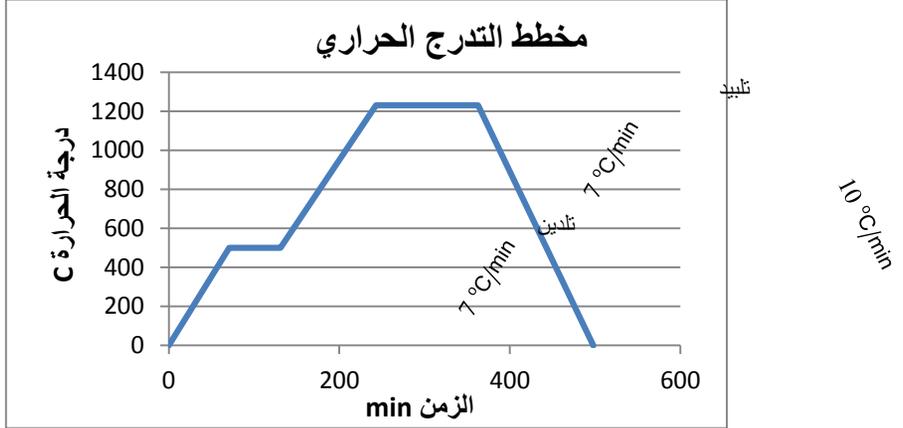
بعد إجراء عملية الكبس تتشكل العينات الخضراء، الشكل (4)، وهي ذات خصائص ميكانيكية ضعيفة نسبياً لذلك يجب أخذ الحرص عند نقلها أو تخزينها ريثما تتم عملية التليد، تم قياس الكثافة الخضراء (green density) باستخدام ميزان حساس، حيث بلغت الكثافة الخضراء 4.3 g/cm^3 .

تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق



الشكل (4) : العينة الخضراء (الاهتراء) قبل عملية التليد

جرت عملية التليد بوضع العينات في فرن كتيتم من نوع Linn HT 1600 M ألماني المنشأ ضمن جو من غاز الأرجون والموجود في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، الشكل (5)، تتضمن عملية التليد وضع العينات داخل الفرن قبل التشغيل مع ضمان مسافة فاصلة كافية بين العينات، ثم تسخين الفرن بمعدل $7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ حتى درجة حرارة 500°C وإبقاؤها لمدة ساعة كاملة على هذه الدرجة حتى يتم تليد الحبيبات والتخلص من الآزوت والأوكسجين المتبقي منعاً لتشكل الفقاعات الغازية أو حدوث تشوهات في شكل العينات ومن ثم استمرار رفع الدرجة حتى درجة التليد النهائية 1150°C ، ومن ثم تثبيت درجة الحرارة لمدة ساعتين، ثم التبريد ضمن الفرن بمعدل تبريد $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$.



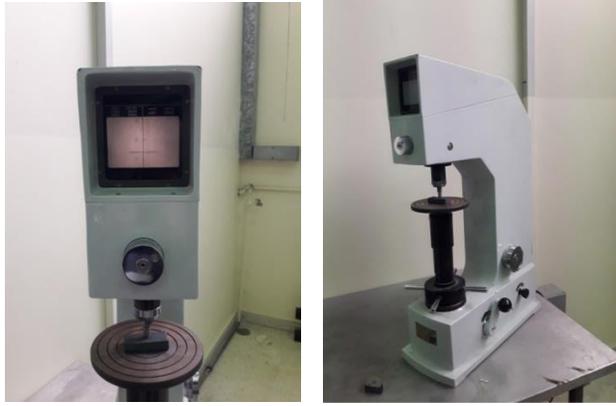
الشكل (5): فرن التليد الكتيم من نوع HT 1600 M مع وحدة التغذية الكهربائية والتحكم الخاصة به

ومخطط التدرج الحراري الخاص بالبحث

جرى اختبار القساوة للعينات المدروسة وفق ASTM E18-15 لقياس قساوة روكويل C على عينات مستطيلة بأبعاد 6x2.5x0.8 cm، الشكل (7)، باستخدام جهاز قياس عمومي موديل 5 HBRV-187 والموجود في المعهد العالي للعلوم التطبيقية

تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق

والتكنولوجيا. تم تطبيق الحمل بواسطة مخروط برأس ماسي (diamond spheroconical) بنصف قطر رأس 0.2 mm، تم تطبيق الحمل الأولي بقيمة 10 kgf وتثبيتته لمدة 4 ثواني ومن ثم زيادة الحمل حتى 150 kgf بسرعة رأس 2.5 mm/s وتثبيت الحمل الأعظمي لمدة 20 ثانية لتفادي الإرجاع المرن ومن ثم اخذ القراءات من على شاشة الجهاز. عدد القراءات 5 قراءات وأخذ المتوسط الحسابي لها.



الشكل (7): جهاز اختبار القساوة HBRV-187 5

تم تنفيذ الاختبار بواسطة جهاز اختبار الاهتراء بالبري بواسطة الرمل الجاف/العجلة المطاطية المعتمد وفق المواصفات القياسية ASTM G65-04، والذي تم تصميمه وتصنيعه بغرض تنفيذ هذا البحث، المواد الكاشطة هي عبارة عن رمل السيليكا من نوع AFS 50/70 برطوبة وزنية لا تتجاوز 0.5%، وبعجلة فولاذية مغطاة بطبقة مطاطية من الكلوروبوتيل المتشكل بالقولبة، الجهاز مزود بحساس لعدد الدورات يعطي الأمر لوحدة PLC مرفقة بالجهاز لتوقف عمل المحرك عم طريق الكبح. جرى الاختبار على سرعة 200 rpm على عينات بأبعاد 6x2.5x0.8 cm، بمعدل تدفق للرمال 300-400 g/min بعد تجفيف الرمال داخل فرن حراري على الدرجة 105°C حتى ثبات الوزن للتخلص من الرطوبة، خشونة سطح العينات لا تتجاوز $Ra = 2 \mu m$ ، جرى الاختبار باستخدام الإجراء A والمتضمن تطبيق حمل بقيمة 130 N وعدد دورات للعجلة المطاطية تبلغ 6000 rpm والتي تقابل مسافة مقطوعة تبلغ 4309 m، والإجراء E والمتضمن تطبيق نفس الحمل بعدد دورات 1000 rpm والتي تقابل مسافة

718 m تم حساب الفقد في الوزن بعد وزن العينات قبل وبعد الاختبار بميزان حساس 0.0001 g من نوع (Precisa 205 A SCS) ومن ثم تحويل الفقد في الوزن إلى فقد في الحجم من خلال العلاقة:

$$(1) \quad \text{الفقد في الحجم (mm}^3\text{)} = \frac{\text{الفقد في الوزن (g)}}{\text{الكثافة (} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\text{)}} \times 1000$$

يتم حساب الفقد المضبوط في الحجم وهو القيمة الحقيقية للفقد في الحجم نتيجة تعرض العجلة المطاطية للاهتراء بشكل مستمر فيجب تحويل قيمة الفقد إلى قيمة مضبوطة. جرى الاختبار في درجة حرارة المختبر وعلى ثلاثة مكررات لكل عينة اختبار، تم أخذ قيمة المتوسط الحسابي كقيمة نهائية.

$$(2) \quad \text{الفقد المقاس في الحجم} \times \frac{228.6 \text{ mm}}{\text{قطر العجلة بعد الاستعمال}} = \text{الفقد المضبوط في الحجم } AVL$$



الشكل (10): جهاز اختبار الاهتراء بالرمل الجاف والعجلة المطاطية المستخدم مع وحدة التحكم والفرملة

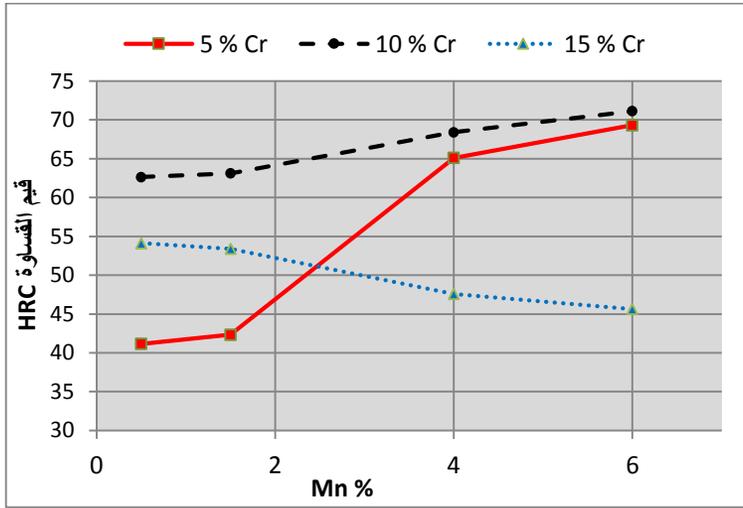
تحسب قيمة معامل الاهتراء ($K [m^2/N]$) من خلال العلاقة بين كل من حجم الاهتراء الحاصل ($V [m^3]$) والمسافة المقطوعة ($L [m]$) والحمل الناظمي المطبق على العينة ($N_p [N]$) وفق نموذج أركارد في الاهتراء (Archard) من العلاقة التالية [14]:

$$(3) \quad K = \frac{V}{L \times N_p}$$

تمت معاينة سطوح الاهتراء تحت المجهر الضوئي ومجهر متحد البؤر وقياس الخشونة السطحية.

4. النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (11) نتائج اختبار قساوة روكويل C على العينات المحضرة بطريقة تعدين المساحيق، نلاحظ أن قيم القساوة تتغير بتغير نسب المنغنيز عند كل معاملة للكروم، وهذا التغير يسلك سلوكاً مميزاً عن الآخر عند كل نسبة من نسب الكروم المدروسة. بالنسبة للعينات التي تحوي على نسب كروم 5% زادت قيم القساوة من HRC 41.2 حتى HRC 71.126 بزيادة نسبة المنغنيز. بالنسبة للعينات التي تحوي على نسب كروم 10% زادت قيم القساوة حتى بلوغ قيم أعظمية HRC 71.126. لم يكن التغير كبيراً في قيم القساوة للعينات التي تحتوي على كروم بنسبة 15% حيث انخفضت قيم القساوة من HRC 54.2 إلى HRC 45.6 بزيادة نسبة المنغنيز من 0.5% وحتى 6%، على التوالي.



الشكل (11): تأثير نسبة المنغنيز و الكروم على القساوة السطحية لعينات محضرة بطريقة تعدين المساحيق.

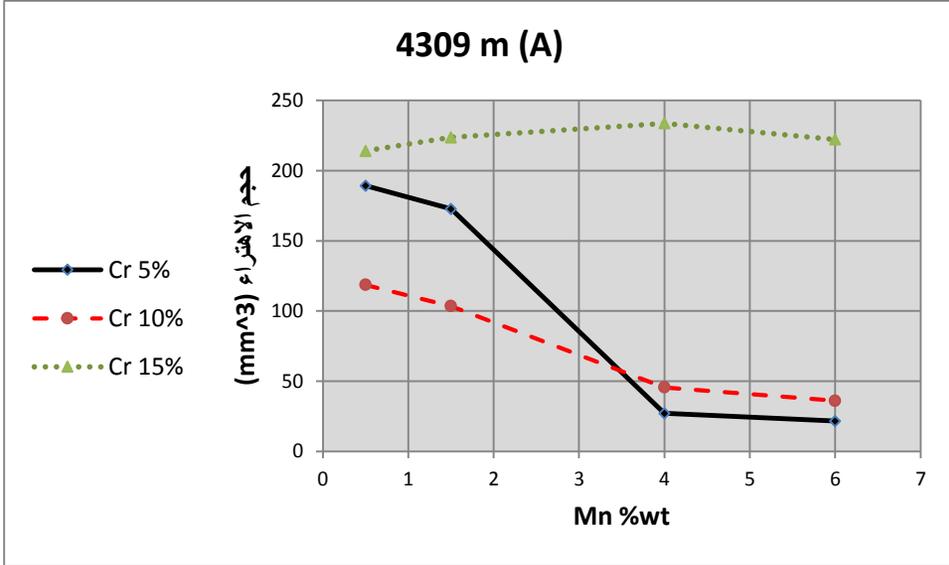
هذا السلوك المتباين يمكن تفسيره على أنه عند نسب كروم 5% تزداد انحلالية المنغنيز داخل مصفوفة الحديد (α)، الأمر الذي يزيد من قساوة الفولاذ، كما أن زيادة نسبة المنغنيز يؤدي إلى تقليل حجم الحبيبات في الفولاذ متوسط الكروم، هذا الأمر يؤدي إلى إعاقة حركة الانزلاق أثناء التشوه [15].

عند وجود الكروم بنسبة مرتفعة نسبياً (15 %wt) تم ملاحظة انخفاض طفيف في قيم القساوة والذي يمكن تفسيره على أن المنغنيز ينحل في الطور الأوستنيتي ويزيد من استقرار هذا الطور الأمر الذي يؤثر عكساً على قيم القساوة [16].

يوضح الشكل (12) تأثير نسبة المنغنيز والكروم على حجم الاهتراء عند تنفيذ الإجراء A (مسافة انزلاق 4309 m) والذي يعتبر إجراءً مناسباً لحساب مقاومة الاهتراء للفولاذ عالي القساوة والذي قد يتعرض لإجهاد كبيرة تعمل على بري المعدن بشدة. تتخفف قيمة حجم الاهتراء بشكل كبير بزيادة نسبة المنغنيز عند محتوى كروم 5%، وهذا يؤكد ما ذكرة [6] حيث ان وجود المنغنيز والكروم مجتمعين في الفولاذ يعمل على زيادة مقاومة الاهتراء، وهذا مرتبط أيضاً بقيم القساوة السطحية ومدى تأثيره أثناء اختبار اهتراء البري [17].

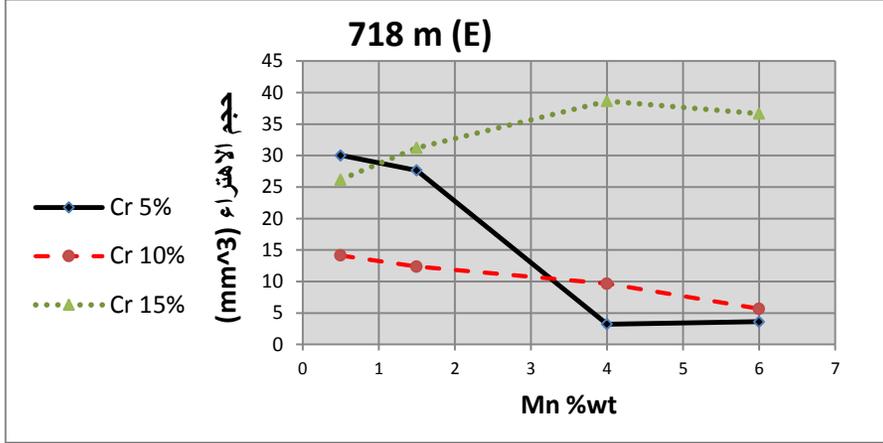
لكن هذا التأثير بدأ يظهر بشكل عكسي عند زيادة نسبة الكروم فعند نسبة 15% للكروم، والسبب هو أن وجود المنغنيز في الفولاذ الأوستنيتي يزيد من استقرار طور الأوستنيت المنخفض القساوة نسبياً الأمر الذي ينعكس سلباً على قيم القساوة وبالتالي على حجم الاهتراء كما أظهر [16,15].

أقل القيم لحجم الاهتراء كانت للعينات A2 و A3 بقيم لم تتجاوز 27.15 mm^3 و 21.68 mm^3 ، على التوالي. بينما تدهورت مقاومة الاهتراء بشكل كبير عند نسب مرتفعة للمنغنيز و الكروم حيث بلغ حجم الاهتراء 223.6 mm^3 و 233.65 mm^3 و 222.15 mm^3 للعينات C1 و C2 و C3.



الشكل (12): حجم الاهتراء الناتج عن تنفيذ الإجراء A

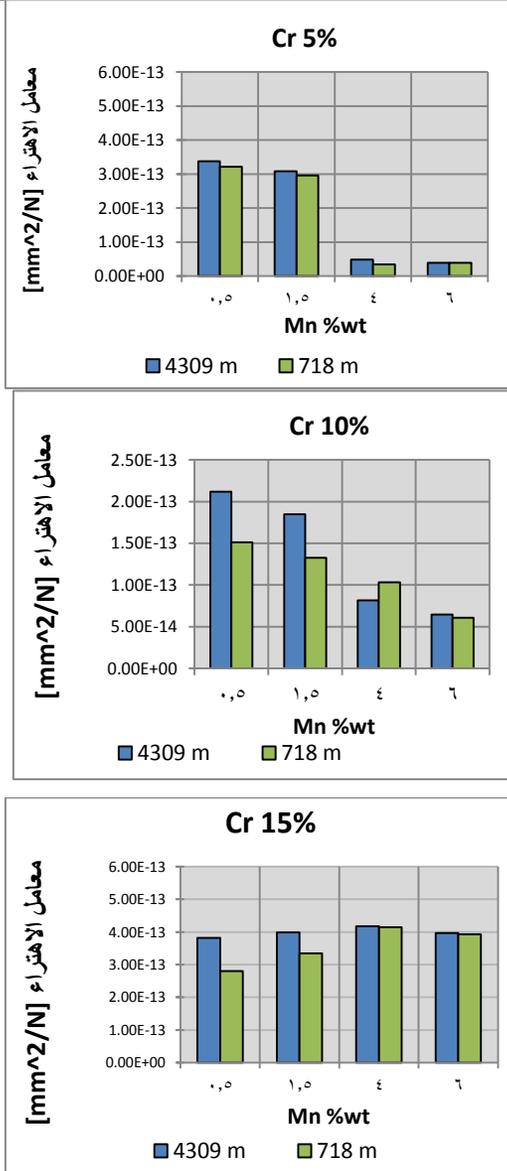
نلاحظ سلوكاً مشابهاً لما سبق بالنسبة للإجراء E كما هو موضح بالشكل (13)،
تتخفض قيم حجم الاهتراء عند زيادة نسبة المنغنيز من 0.5% وحتى 6% عند كل من
نسب كروم 5% و 10%، و يحدث تغير طفيف في قيمة حجم الاهتراء عند زيادة نسبة
المنغنيز بوجود الكروم بنسبة 15%. أقل قيم لحجم الاهتراء كانت 3.215
mm³ و 3.61 mm³ لكل من العينات A2 و A3، على التوالي. يمكن تفسير هذا
السلوك بارتباط حجم الاهتراء بشكل مباشر بقيم القساوة أيضاً، ومن الشكلين (12) و
(13) يمكن الاستنتاج بان سلوك الاهتراء يبقى ثابتاً مع زيادة المسافة المقطوعة.



الشكل (13): حجم الاهتراء الناتج عن تنفيذ الإجراء E

يوضح الشكل (14) تأثير نسبة المنغنيز عند نسب مختلفة للكروم على قيم معامل الاهتراء عند تنفيذ كل من الإجراءين A و E. عملياً لا يوجد فروقات كبيرة في قيم معامل الاهتراء عند نسبة 5%، لكن هذا التغير يظهر بشكل واضح عند نسب كروم 10% حيث تنخفض قيم معامل الاهتراء بشكل نسبي بزيادة نسبة المنغنيز عند تنفيذ الإجراء E بينما يزداد عند تنفيذ الإجراء A، ويعود هذا الأمر إلى أن سلوك الاهتراء يتغير مع استمرار العجلة المطاطية بالدوران (زيادة المسافة المقطوعة) حيث يبدو أقل شدة في البداية ومن ثم تزداد شدته مع زيادة الخشونة السطحية وتتغير الحالة التريبولوجية للعينات، يتم ربط هذه الزيادة بين الاهتراء بزيادة قيمة معامل الاحتكاك بين السطح المعدني الخشن وبين الطبقة المطاطية، تعود قيم معاملات الاهتراء لتصبح متقاربة جداً مع زيادة نسبة الكروم 15% والمنغنيز.

تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق

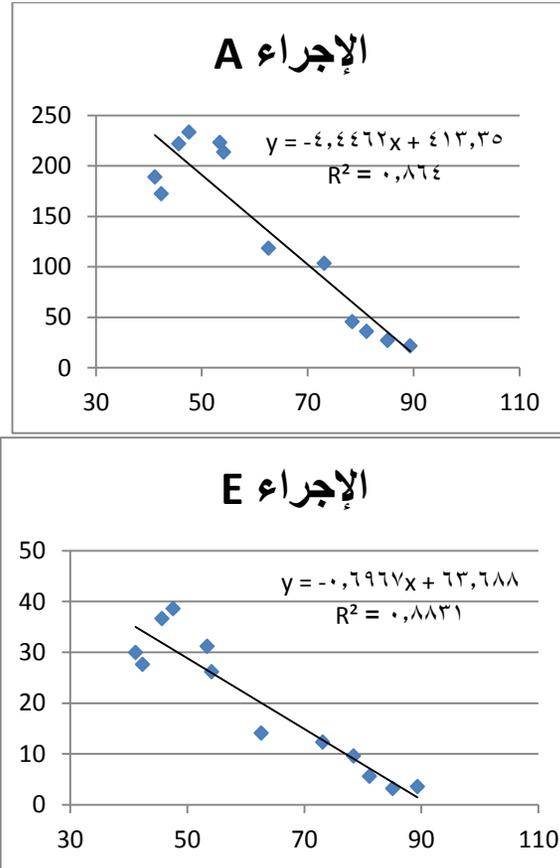


الشكل (14): تأثير نسبة الكروم والمنغنيز على قيم معاملات الاهتراء

أقل قيمة لمعامل الاهتراء كانت للعينات A2 و A3 حيث بلغت 4.84×10^{-14} mm^2/N و 3.87×10^{-14} mm^2/N ، للعينات A2 و A3 على التوالي بالنسبة للإجراء A وبقيم مقاربة تقريباً لها عند الإجراء E ، كانت قيم معامل الاهتراء أقل ما يمكن أيضاً عند وجود الكروم بنسبة 10% بالنسبة للعينات B3 حيث بلغت

بشكل خطي تقريباً مع زيادة المسافة المقطوعة وبالتالي هو اهتراء منتظم، وذلك لعدم وجود فروقات عملية كبيرة بين الإجراءين A و E.

يبين الشكل (15) العلاقة بين القساوة ومقاومة الاهتراء لعينات محضرة بطريقة تعدين المساحيق ذات أساس حديدي وبنسب مختلفة من الكروم والمنغنيز، حيث نلاحظ وجود علاقة وثيقة في قيم القساوة السطحية وقيمة مقاومة الاهتراء حيث تزداد مقاومة الاهتراء (انخفاض حجم الاهتراء) مع زيادة القساوة السطحية وهذا ما تم تأكيده من قبل من مجموعة من الأبحاث السابقة [15, 17].

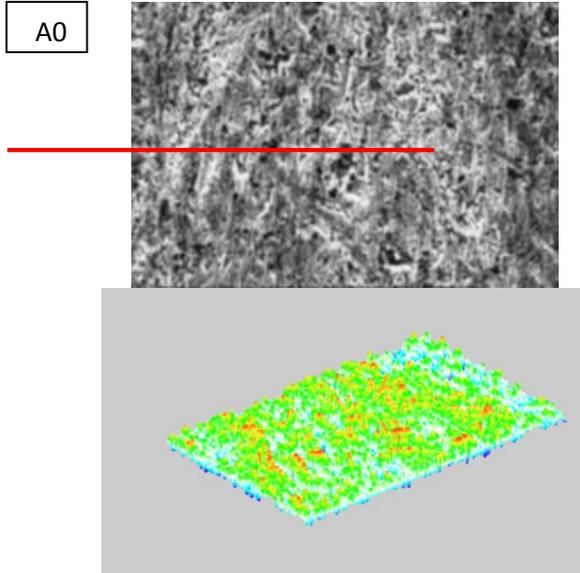


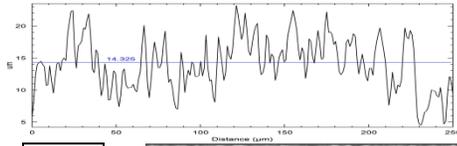
الشكل(15): العلاقة بين قيم القساوة وحجم الاهتراء

تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق

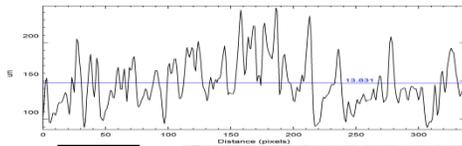
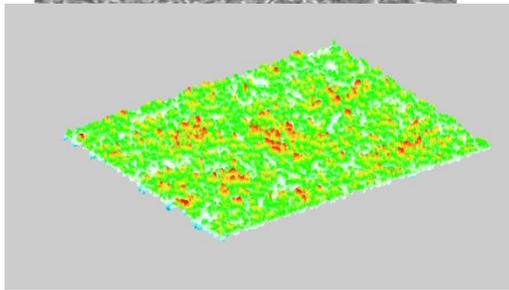
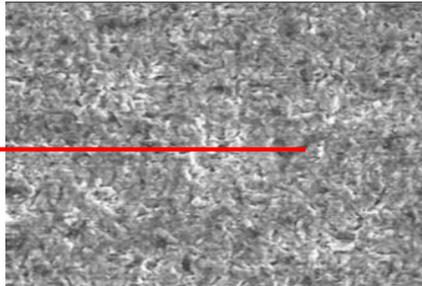
يوضح الشكل (16) والشكل (17) شكل سطح الاهتراء لعينات المحضرة عند تنفيذ الإجراءين E و A، كما هو ملاحظ بالشكل فإن شدة الاهتراء تكون كبيرة عند تنفيذ الإجراء A مقارنة بالإجراء E، كما نلاحظ ان شكل التشوه الناتج عن الاهتراء بالبري بالرمال الجاف يكون عبارة عن خدوش ناعمة (scratching) على سطح الاهتراء ناتجة عن قطع ميكروي، كما لوحظ أنه عند زمن الاهتراء الطويل تظهر تشوهات أكبر على حواف المناطق المسامية ناتجة عن نشوء ظاهرة الجرف (ploughing) مشكلة حطام اهترائي [18].

كما نلاحظ أن التشوهات الحاصلة جميعها تشوهات قصفة وليست لدنة، وعدم وجود أي تضمين لرمال الاهتراء عند تنفيذ الإجراء E، لكن عند الإجراء A تمت ملاحظة وجود حطام اهترائي، هذا الأمر يؤدي إلى مشاركة هذا الحطام في تشكيل مناطق تركز إجهادات وبالتالي زيادة شدة الاهتراء وهذا ما تم ملاحظته في قيم معاملات الاهتراء، يفسر وجود هذا الحطام بانغماس حطام الاهتراء ببعض المسامات الداخلية لسطح العينات الملبدة، بجميع الاحوال كان شكل الاهتراء تقليدياً بالنسبة للاهتراء بالبري.

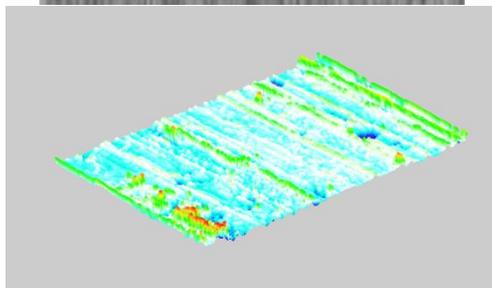
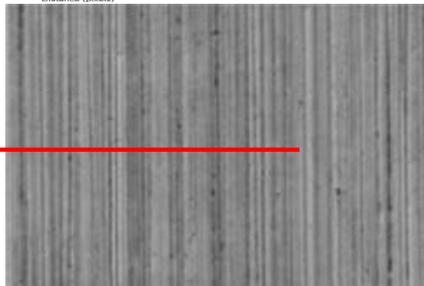




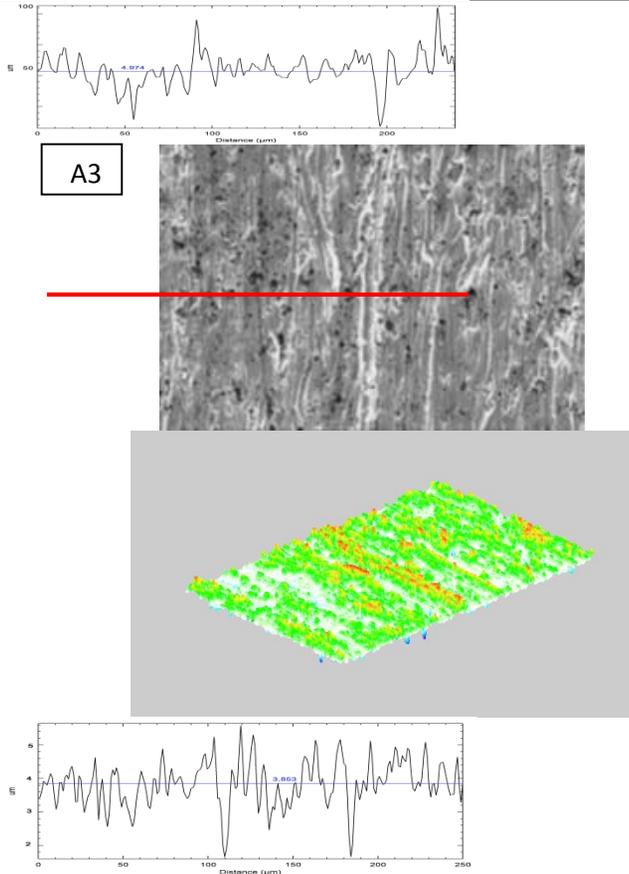
A1



A2



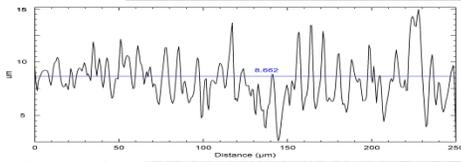
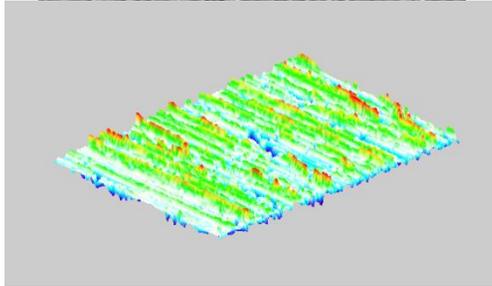
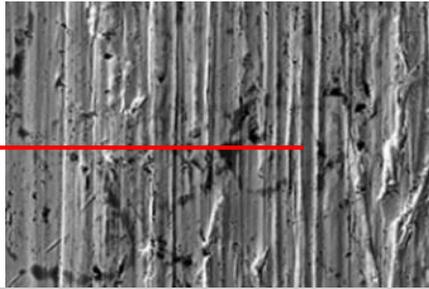
تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولادية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق



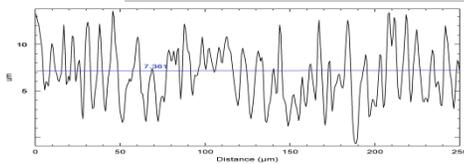
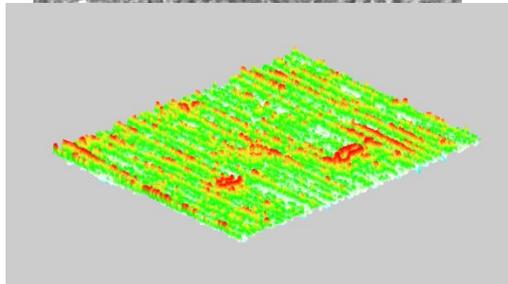
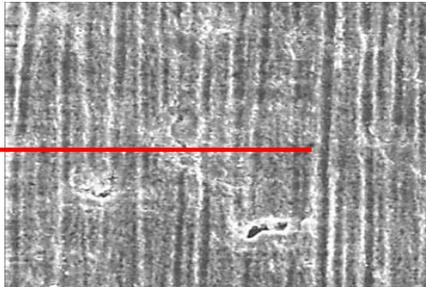
A3

الشكل (16) الصور المجهرية والمسح ثلاثي الأبعاد والخشونة لسطح الاهتراء بعد 6000 دورة (أبعاد الصور $250 \times 167 \mu\text{m}$)

B0

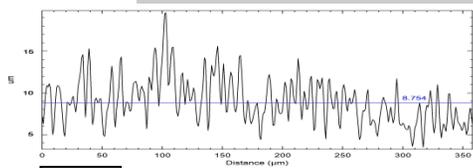
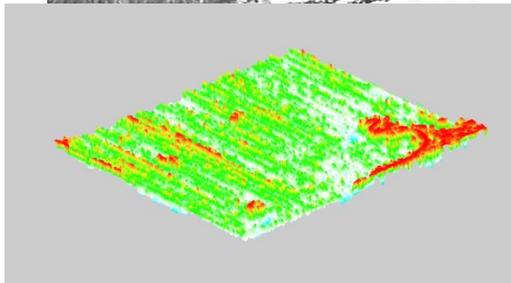
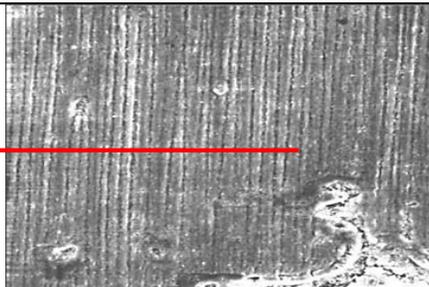


B1

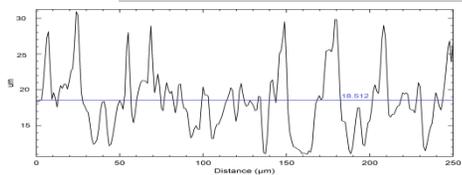
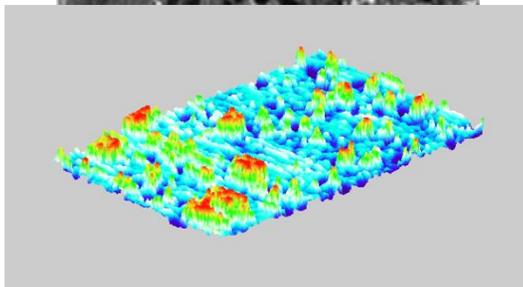
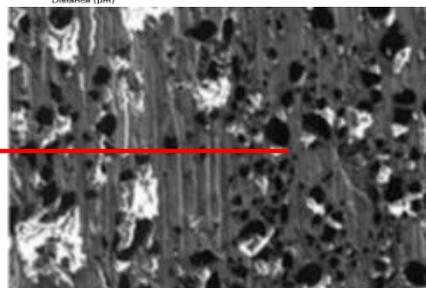


تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق

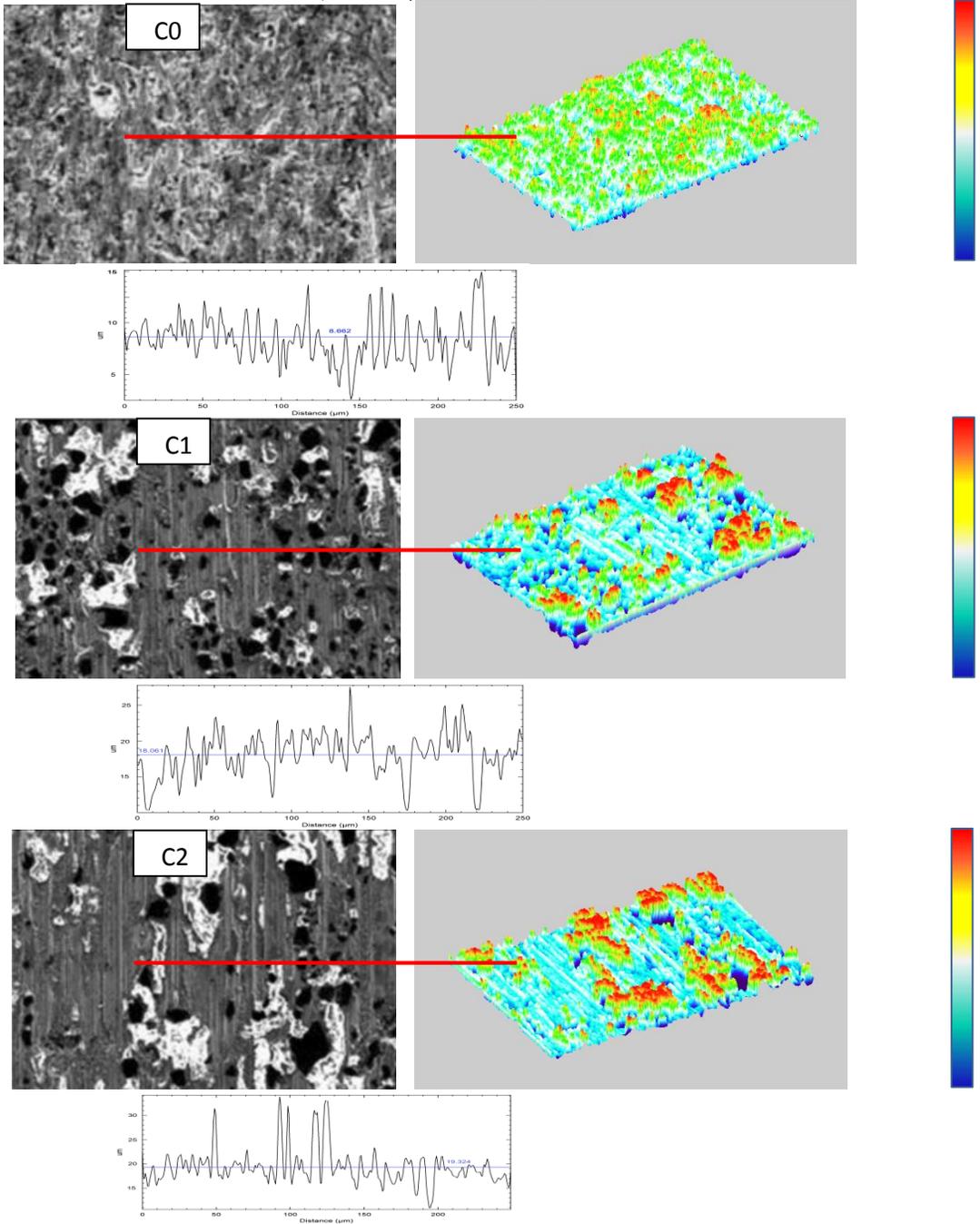
B2



B3

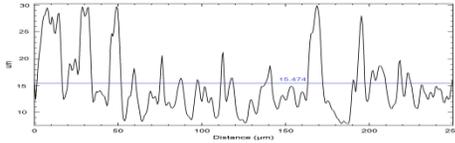
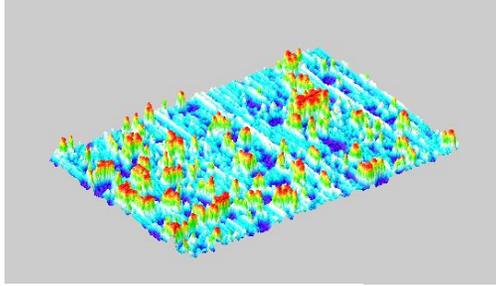
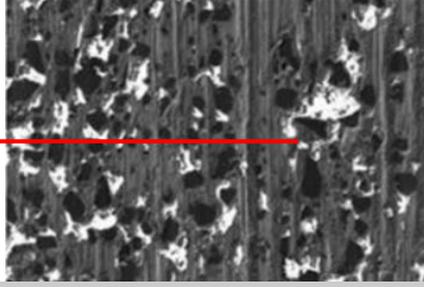


تابع للشكل (16) الصور المجهرية والمسح ثلاثي الأبعاد والخشونة لسطح الاهتراء بعد 6000 دورة
(أبعاد الصور $250 \times 167 \mu\text{m}$)



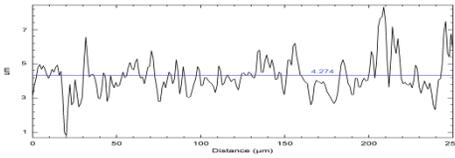
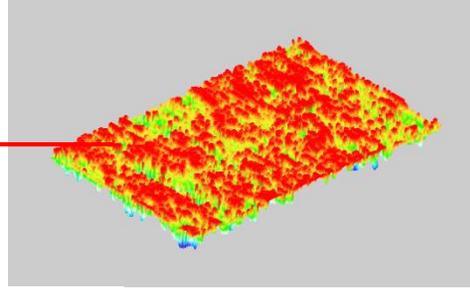
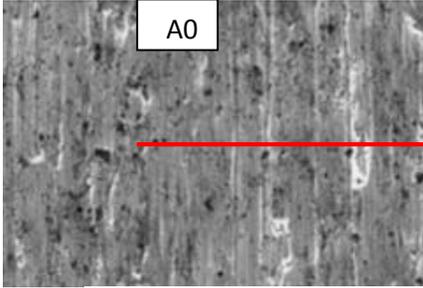
تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق

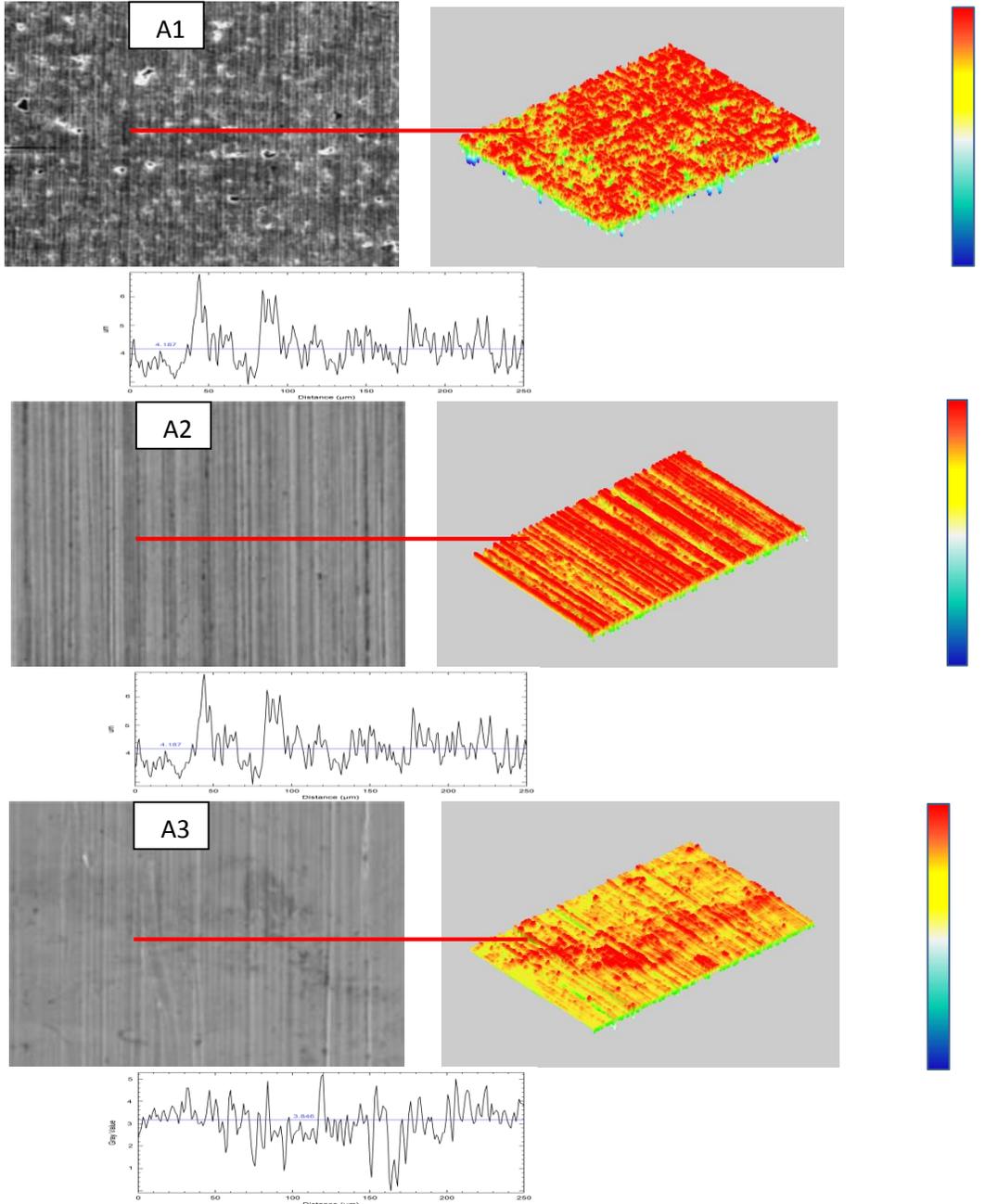
C3



تابع للشكل (16) الصور المجهرية والمسح ثلاثي الأبعاد والخشونة لسطح الاهتراء بعد 6000 دورة
(أبعاد الصور $250 \times 167 \mu\text{m}$)

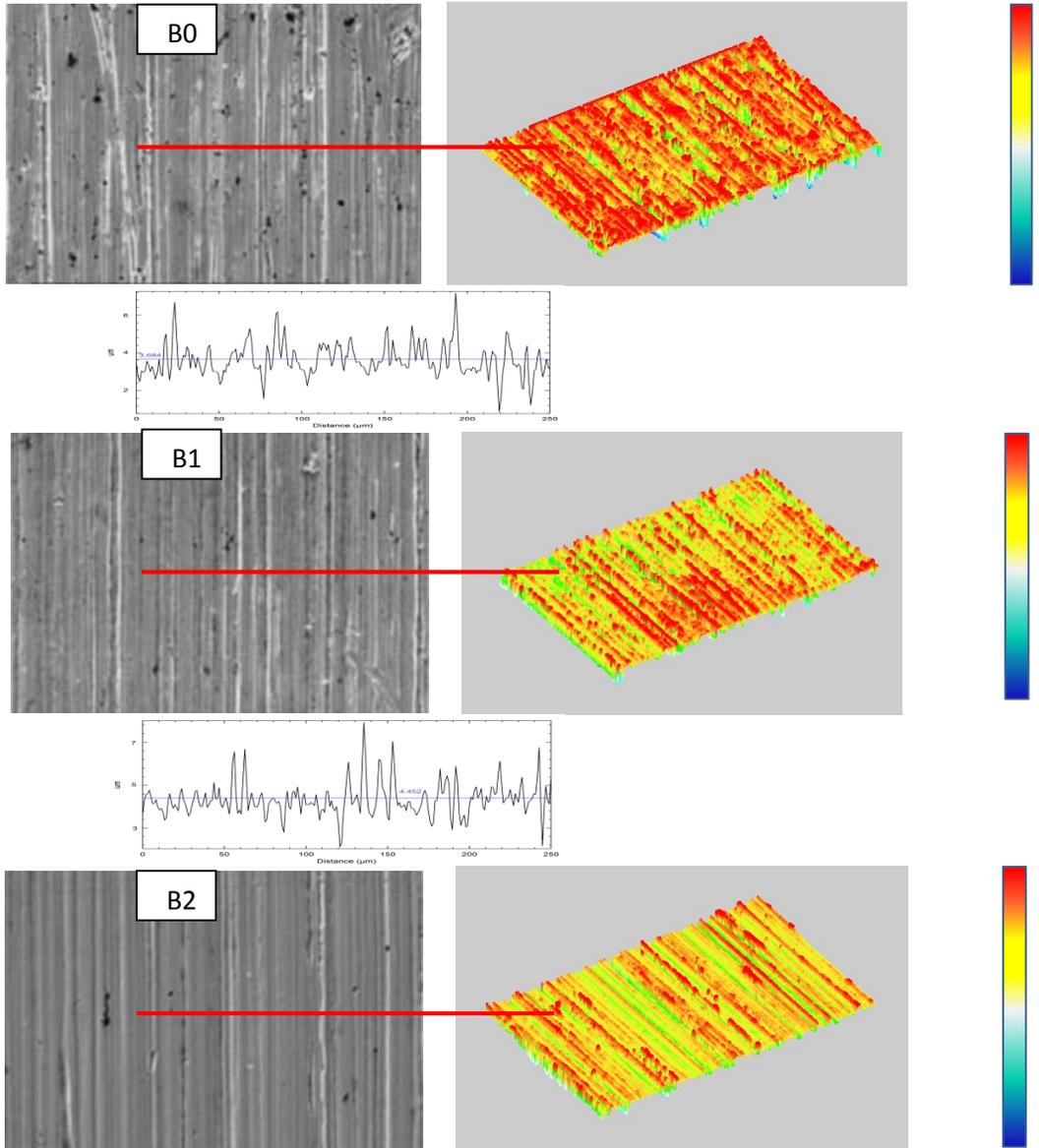
A0

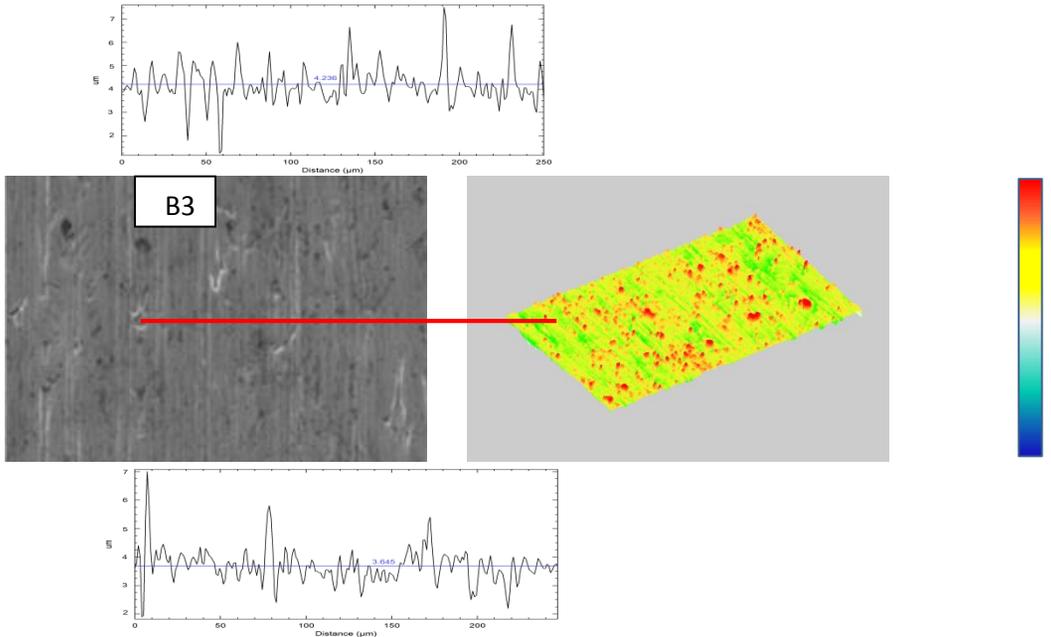




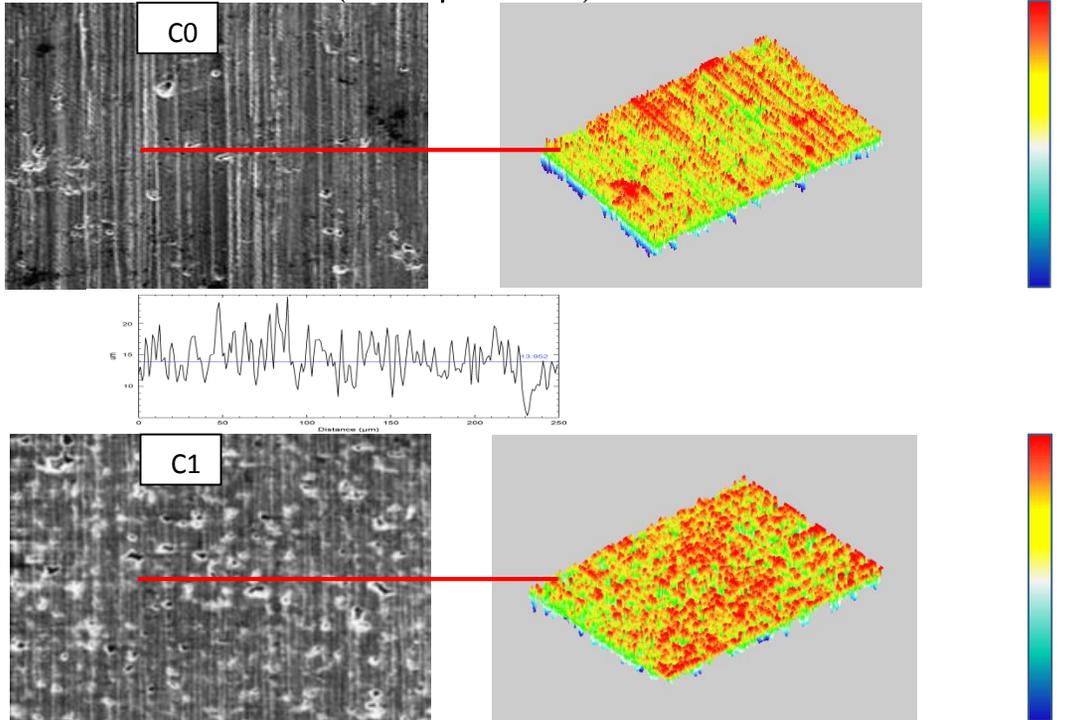
الشكل (17): الصور المجهرية والمسح ثلاثي الأبعاد والخشونة لسطح الاهتراء بعد 1000 دورة (أبعاد الصور $250 \times 167 \mu\text{m}$).

تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق

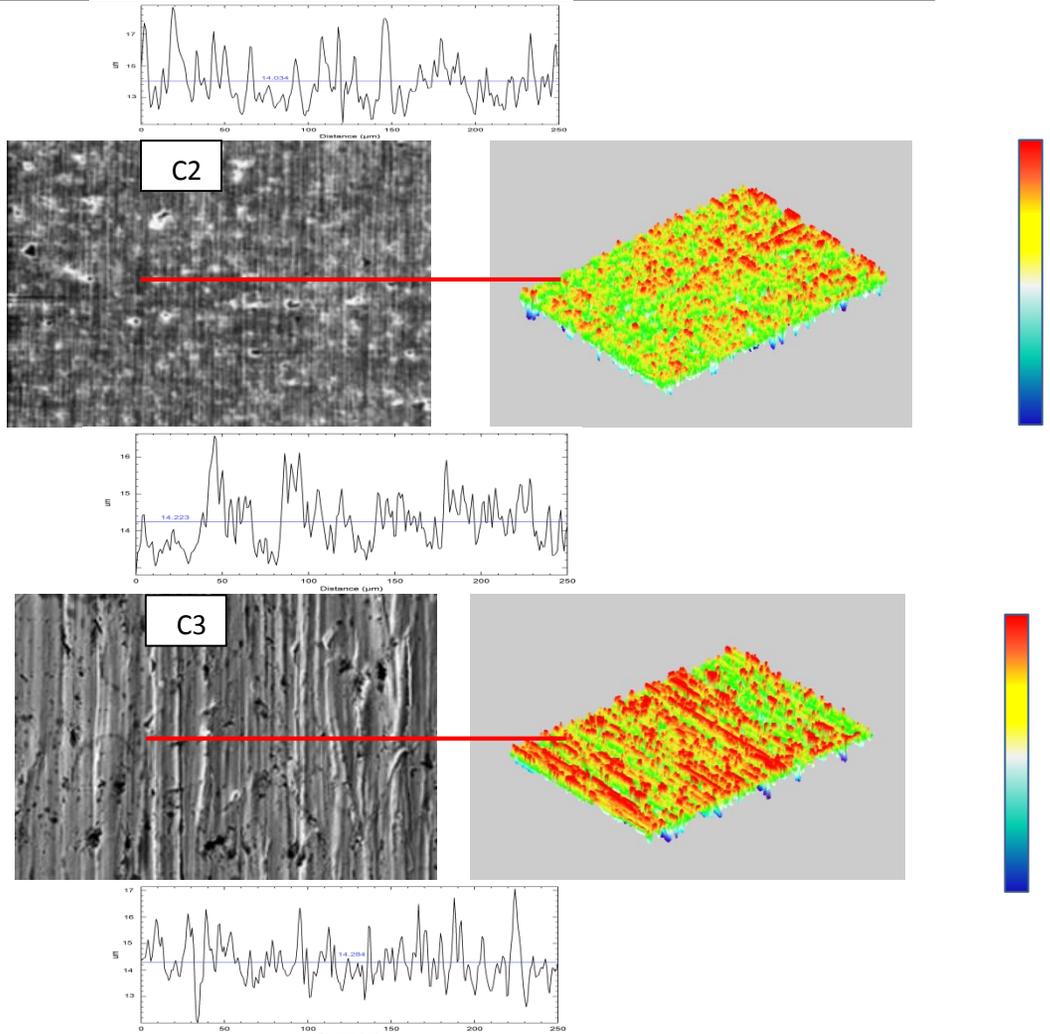




تابع للشكل (17): الصور المجهرية والمسح ثلاثي الأبعاد والخشونة لسطح الاهتراء بعد 1000 دورة (أبعاد الصور $250 \times 167 \mu\text{m}$)



تأثير نسب مختلفة من الكروم والمنغنيز على خصائص مقاومة الاهتراء بالبري لعينات فولاذية
محضرة بطريقة تعدين المساحيق



تابع للشكل (17): الصور المجهرية والمسح ثلاثي الأبعاد والخشونة لسطح الاهتراء بعد 1000 دورة
(أبعاد الصور $250 \times 167 \mu\text{m}$).

الاستنتاجات والتوصيات:

تعتبر تقنية تلييد المساحيق تقنية نظيفة وسريعة وتقلل من التكاليف وتعطي سبائك معنية بنسب عناصر متحكم بها بدقة، تتعلق تقنية التلييد ببارامترات مختلفة تبدأ من طريقة الخلط، ونسبة العناصر المكونة، درجة حرارة التلييد، التدرج الحراري، زمن التلييد، جو التلييد، طريقة كبس المساحيق، قيم الضغط المطبق لتشكيل المضغوطات (العينات الخضراء)، وتعتبر عملية تفاعل كيميائي أكثر منها طريقة تشكيل، لذلك كل عامل من العوامل المذكورة أعلاه يؤثر بشكل مباشر على النتائج النهائية للعينات الملبدة. بناءً على ما سبق يمكن استنتاج مجموعة من النقاط يمكن وضوحها كما يلي:

- يمكن الحصول على عينات محضرة بطريقة تعدين المساحيق محلياً والتحكم بكامل بارامترات التحضير والتشغيل للحصول على الخواص المطلوبة.
- تؤثر نسب الكروم والمنغنيز بشكل مباشر على القساوة السطحية ومقاومة الاهتراء بالبري لعينات محضرة بطريقة تعدين المساحيق.
- يمكن الحصول على عينات ملبدة ذات قساوة سطحية قد تصل حتى 71 HRC ومقاومة عالية للاهتراء بالبري بقيم معاملات اهتراء لم تتجاوز 3.4×10^{-14} mm²/N وهي قيم جيدة جداً فيما يتعلق بمقاومة الاهتراء بالبري.
- يتعلق تأثير نسب المنغنيز على خصائص العينات الملبدة بشكل مباشر بنسبة الكروم.
- تزداد قيمة القساوة السطحية بزيادة نسبة المنغنيز والكروم حتى الوصول إلى حد معين حيث تبدأ بالانخفاض عند زيادة نسبة المنغنيز.
- أظهرت النتائج مقاومة اهتراء قصوى عند نسب كروم 5% مع نسب منغنيز تتراوح بين 4-6%.
- تكون شدة الاهتراء منخفضة عند بداية ظهور الاهتراء بالبري في العينات الملبدة لكن تزداد هذه الشدة بشكل مضطرب مع استمرار الاهتراء.
- بداية الاهتراء بالبري يظهر التشوه اللدن على شكل قطع ميكروي ومع تطور الاهتراء تبدأ ظاهرة الجرف بالحدوث.

- تلعب المسامات في العينات الملبدة دوراً في تطور ظاهرة الاهتراء بالبري. كما يمكن تسجيل مجموعة من التوصيات يمكن تلخيصها فيما يلي:
- إجراء المزيد من الدراسات المستقبلية عن تأثير بارامترات التليبد الأخرى على خصائص العينات الملبدة.
- دراسة تأثير نسب المنغنيز والكروم على خصائص مقاومة الشد والصدم والضغط لعينات فولاذية محضرة بطريقة تليبد المساحيق.
- دراسة تأثير بارامترات اختبار الاهتراء بالبري بالرمل الجاف والعجلة المطاطية على خصائص مقاومة الاهتراء وآلية تطور الاهتراء.
- دراسات موسعة أكثر عن العلاقة بين قيم معامل الاحتكاك والاهتراء بالبري ثلاثي الأجسام.

5. كلمة شكر:

يشكر الباحثون الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية على تكفلها بكامل مصاريف البحث وعلى الدعم المقدم من قبلها في تأمين جميع المواد وتسهيل تنفيذ البحث. كما ويشكرون المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا على تأمين الظروف المناسبة لاستخدام بعض التجهيزات المخبرية لديهم لتسهيل تنفيذ البحث.

المراجع:

1. MOHAN RAJ, A.P; SELVAKUMAR, N; NARAYANASAMY, R; KAILASANATHAN, C. 2013- **Experimental investigation on workability and strain hardening behaviour of Fe–C–Mn sintered composites with different percentage of carbon and manganese content**. Materials & Design, Vol. 49, 791–801.
[doi:10.1016/j.matdes.2013.02.002](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.002)
2. DENG, W; LI, Y. 2018- **Electrochemical sensor for determining the manganese content in molten iron**. Electrochimica Acta, Vol. 265, 265–274.
3. CHEN, X; XIONG, W; YAO, Z; ZHANG, G; CHEN, S; YANG, Q. 2014- **Characterization of Tibased solid solution cermets prepared by mechanically induced selfsustained reaction and subsequent pressureless sintering**, J. Alloys Compd. Vol. 583 523-529.
4. HU, S.W; ZHAO, Y.G; WANG, Z; LI, Y.G; JIANG, Q.C. 2013- **Fabrication of in situ TiC locally reinforced manganese steel matrix composite via combustion synthesis during casting**. Mater. Des. Vol. 44 .340-345.
5. HAO. D; HUA, D; CHUN-LIN, Q; ZHENG-YOU, T; JIAN-MIN, Z; PING. Y. 2011- **Formability of trip/twip steel containing manganese of 18.8%. J Iron Steel**. Res Int, Vol. 18, No. 1, 36–40.
6. PEREIRA, A.A; BOEHS, L; GUESSER, W.L. 2006- **The influence of sulfur on the machinability of gray cast iron FC25**, J. Mater. Process. Technol. Vol. 179, 165–171.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.100>.
7. LI ,P; GAO, J; GONG, M; SHEN, D; TONG, W. 2020- **Effects of manganese on diffusion and wear behavior of ZTA particles reinforced iron matrix composites in vacuum**. Vcuum, Vol. **177,109408**.
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109408>
8. HUTCHINSON, B; RIDLEY, N. 2006- **On dislocation accumulation and work hardening in Hadfield steel**, Scripta Mater. Vol. 55, 299–302.
9. SAMPATHKUMARAN, P; RANGANATHAIAH, C; SEETHARAMU, S. 2008- **Effect of increased manganese addition and mould type on the slurry erosion characteristics of Cr-Mn iron systems**, Bull. Mater. Sci. Vol. 31, 1001–1006.
10. SAMPATHKUMARAN, P; RANGANATHAIAH, C; SEETHARAMU, S. 2009- **The effects of manganese content and**

mould size on abrasion and slurry erosion behaviour of chromium-manganese iron systems investigated by positron lifetime spectroscopy, Wear, Vol. 267, 1558–1565.

11. CUIEL-REYNA, E; CONTRERAS, J; RANGEL-ORTIS, T; HERRERA, A; BAÑOS, L; REAL, A.D; RODRÍGUEZ, M. 2007- **Effect of carbide precipitation on the structure and hardness in the heat-affected zone of Hadfield steel after post-cooling treatments**, Mater. Manuf. Processes, Vol. 23, 14–20.

12. OWEN, W; GRUJICIC, M.1998- **Strain aging of austenitic Hadfield manganese steel**, Acta Mater. Vol. 47, 111–126.

13. LIM, S. C; ISAACS, D. C; MCCLEAN, R. H; BRUNTONT, J. H. 1987- **The unlubricated wear of sintered steels**. Tribol Int, Vol. 20, No. 3, 144–9.

14. ARCHARD, J.F. 1953- **Contact and Rubbing of Flat Surfaces**. Journal of Applied Physics. Vol. 24, 981–988.

15. RENUJAVA, D; SIDDHARTHA, D; KARABI, D. 2018- **Effect of thermo-mechanical processing on the low impact abrasion and low stress sliding wear resistance of austenitic high manganese steels**. Wear, Vol. 420-421, 176-183. doi:10.1016/j.wear.2018.10.013

16. PING, L; YUHAO, Y; DEPING, S; MENG Ying, G; CHEN, T; TONG, W. 2020- **Mechanical behavior and microstructure of hypereutectic high chromium cast iron: the combined effects of tungsten, manganese and molybdenum additions**. Journal of Materials Research and Technology, Vol. 9, No. 3, 5735–5748.
doi:10.1016/j.jmrt.2020.03.098

17. EL-MAHALLAWI, I; ABDEL-KARIM, R; NAGUIB, A. 2001- **Evaluation of effect of chromium on wear performance of high manganese steel**, Mater. Sci. Technol. Vol. 17, 1385–1390.

18. HOKKIRIGAWA, K; KATO, K. 1988. **An Experimental and Theoretical Investigation of Ploughing, Cutting and Wedge Formation During Abrasive Wear**. Tribology International. Vol: 21, No. 1, 51–57.

[https://doi.org/10.1016/0301-679X\(88\)90128-4](https://doi.org/10.1016/0301-679X(88)90128-4)