

Increasing the Impact Strength and Wear Resistance of Hadfield Steel used in Excavator Teeth and Crusher Hammers by Adding Chromium and Molybdenum

Dr. Ali Hatra*
Dr. Ahmad Salamah**
Naseem Daher***

(Received 30 / 5 / 2023. Accepted 26 / 11 / 2023)

□ ABSTRACT □

Work has been done on adding chromium and molybdenum to Hadfield steel, from which crusher hammers and excavator teeth are made. The process of smelting the metals required to form Hadfield steel with chromium and molybdenum in different proportions was carried out according to two meltings, then casting the samples in sand molds and performing rapid cooling in water after casting, then testing the impact, wear and hardness of the samples.

The results showed an increase in hardness and thus an increase in wear resistance. The impact toughness also increased as a result of the addition of chromium and molybdenum. Thus, the resulting steel became more tolerant of heavy service conditions, which leads to economic cost savings in addition to the scientific aspect..

Keywords: grain boundaries, teeth, quenching, hammers, wear, high manganese Hadfield steel.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Associate Professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: alihatra@gmail.com

** Associate Professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: ahmadsalamah@gmail.com

*** PhD Student, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: naseemdaher@gmail.com

زيادة متانة الصدم ومقاومة الإهتراء لفولاذ هادفيلد المستعمل في أسنان الحفارات ومطارق الكسارات بإضافة الكروم والموليبيدينوم

د. علي هترة*

د. احمد سلامة**

نسيم ضاهر***

تاريخ الإيداع 2023 / 5 / 30. قُبِلَ للنشر في 2023 / 11 / 26

□ ملخّص □

تم العمل على إضافة معدني الكروم والموليبيدينوم إلى فولاذ هادفيلد المصنوعة منه مطارق الكسارات وأسنان الحفارات. تمّت عملية صهر المعادن اللازمة لتشكيل فولاذ هادفيلد مع كروم وموليبيدينوم بنسب مختلفة وفق صهرتين ثم صب العينات في القوالب الرملية والقيام بالتبريد السريع في الماء بعد الصب، ثم اختبار الصدم والاهتراء والقساوة على العينات. بيّنت النتائج زيادة في القساوة وبالتالي زيادة مقاومة الإهتراء كما ازدادت متانة الصدم نتيجة إضافة الكروم والموليبيدينوم وبالتالي أصبح الفولاذ الناتج أكثر تحملاً لظروف الخدمة الشاقّة مما يؤدي لتوفير في الكلفة الاقتصادية إضافةً للجانب العلمي.

الكلمات المفتاحية: حدود الحبيبات البلورية، أسنان، التبريد، مطارق، اهتراء، فولاذ هادفيلد عالي المنغيز.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. alihatra@gmail.com

** أستاذ مساعد - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. ahmadsalamah@gmail.com

*** طالب دكتوراه - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. naseemdaher@gmail.com

مقدمة:

تعتبر أسنان الحفارات من أهم أجزاء أدوات الحفر المستخدمة في الحفر والجرف ونقل الأتربة والصخور، وتستخدم في المناجم والمقالع للحفر كما تستخدم مطارق الكسارات في إعادة تدوير هياكل السيارات وطحن الحجارة وتحويلها إلى حصى ورمال. وتأخذ أسنان الحفارات ومطارق الكسارات أشكالاً عديدة حسب الوسط الذي تعمل فيه. ومن أهم سبائك أسنان الحفارات ومطارق الكسارات فولاذ هادفيلد عالي المنغنيز. وهو فولاذ أوستنيتي عالي المنغنيز يحتوي حسب المواصفة ASTM-A128 على :

(10-14) Mn% - (1-1.4) C% ويتميز ببنية أوستنيتية بعد التقسية. يعمل محتوى المنغنيز العالي بوجود الكربون، كمثبت للطور الأوستنيتي، ويؤخر التحول الحراري إلى مارتنيت، مما يعطي هذا الفولاذ متانة ومرونة عاليتين، ومعدل عالي في التقسية الإنفعالية (التصلد الإنفعالي) بسبب مقاومة عالية للإهتراء. بالنسبة لمعدن الكروم فهو موجود في جداول تصنيف فولاذ هادفيلد بنسبة بين 1.5-2.5% بعدم وجود الموليبيدنيوم ويعتبر الكروم مسؤول عن تشكيل كربيدات بحجم كبير على حدود الحبيبات مما ينقص طاقة الصدم عند إضافته بنسب أكبر من 0.09% ولذلك عندها لابد من إزالة تلك الكربيدات ومحاولة تشكيلها ضمن الأرضية الأوستنيتية وليس على حدود الحبيبات في طور الانتقال من الحالة السائلة إلى الصلبة عند التصلب (التجمد). بالنسبة لمعدن الموليبيدنيوم فهو أيضاً غير موجود عند وجود الكروم في جداول ASTM لسبيكة هادفيلد ويتواجد الموليبيدنيوم بنسب (0.9-2.1%) ويتميز بخواص فريدة من نوعها خاصة للتطبيقات الشاقة إذ يحسن المتانة ومقاومة التشققات ويشكل كربيد عقدي بدلاً من وجوده على حدود الحبيبات.

أهمية البحث وأهدافه:**1- أهمية البحث :**

تتبع أهمية البحث من أهمية الكسارات وأدوات الحفر في عملية إعادة الإعمار والتطبيقات المختلفة العسكرية والصناعية والحاجة إلى تبديل أدوات الحفر والكسر بسبب معدل الإهتراء العالي وقوة الصدم أثناء العمل، وبالتالي فإن زيادة هذه الخواص الميكانيكية لفولاذ أسنان الكسارات له جدوى اقتصادية من خلال زيادة العمر الاستثماري لأسنان الحفارات ومطارق الكسارات وبالتالي توفير في زمن العمل ومن هنا تأتي أهمية البحث وتبذل الآن جهود كبيرة في هذا المجال.

2- هدف البحث :

إن هدف البحث هو زيادة مقاومة الإهتراء وتحسين متانة الصدم لفولاذ هادفيلد المصنوعة منه أسنان الحفارات ومطارق الكسارات عن طريق إضافة الكروم والموليبيدنيوم معاً.

إن وضع هذين المعدنين معاً (كروم وموليبيدنيوم) في الصنف D يشكل تحدياً صعباً في الصناعة كما سنرى، وخياراً غير موجوداً في جداول ASTM A128. خاصة أن الكروم يخفض المتانة بزيادة نسبته فوق 0.09% والموليبيدنيوم يزيد بها.

3- مشكلة البحث:

تتبع مشكلة البحث من الكلفة العالية لصيانة وتبديل أسنان الحفارات ومطارق الكسارات نظراً لتشكيل الكربيدات على حدود الحبيبات البلورية وبالتالي الكسر السريع بالإضافة لميزة التصلد الإنفعالي. ولذلك تم التوجه لمحاولة حل هذه المشكلة بإضافة معدني الكروم والموليبيدنيوم وبأن أهم التغيرات في متانة الصدم والقساوة ومقاومة الإهتراء.

4- الدراسات المرجعية :

- 1- في العام 2011، قام Li Shifeng بمقارنة نتائج الفحص المجهرى وخواص هادفيلد عند صب المصهور في قوالب معدنية وبطريقة النموذج المتبخر وتبين أن مقاومة الاهتراء تحسنت بنحو 1.6 مرة من طريقة الصب في القوالب الرملية حيث تم انقاص المتضمنات والكربيدات وتحسين شكلها والحصول على أرضية معززة وبحجم حبيبات ناعم وتحسنت القساوة الأولية [1].
- 2- في العام 2013، بين Olawale J. O أن فشل فولاذ هادفيلد يحدث كنتيجة عن التقسية الجزئية خلال التصنيع والتي تؤدي لتشكيل الكربيدات المترسبة مما يسبب الهشاشة في أسنان الكسارات، تقليل قابلية امتصاص وتحمل الصدمات ونشوء تدفق لدن غير ثابت أثناء التصلد الانفعالي [2].
- 3- في العام 2015، قام Agunsoye بالمعالجة الحرارية لفولاذ هادفيلد (التسخين ل 1050 مئوية والإبقاء لمدة 24 دقيقة للسماح للكربيدات المنفصلة بالإنحلال بشكل كامل ثم التقسية بالماء) مما زاد من مقاومة الاهتراء [3].
- 4- في العام 2016، قام Guanqiao Su بدراسة أثر المنغيز على التآكل الكيميائي للفولاذ المنغيزي في الظروف الجافة والرطبة وتبين وجود التآكل بشدة بسبب المركب $MnFe_2O_4$ في طبقة الصدأ [4].
- 5- في العام 2017، نتج عن البحث أن عملية إزالة الأوكسجين التقليدية لفولاذ هادفيلد مع الألمنيوم والتيتانيوم تشكل بنية خشنة للعينات مزالة الأوكسجين وبحجم حبيبة ثلاث أضعاف من العينات غير مزالة الأوكسجين [5].
- 6- في العام 2017، قام Abaad, Arbash, Aoad بدراسة مقاومة الاهتراء ومثانة الصدم لانواع من الفولاذ منخفض السبائكية مقارنة مع فولاذ هادفيلد وتبين تفوق فولاذ هادفيلد في الخواص وكلما ازدادت نسبة الكروم والكربون في الفولاذ منخفض السبائكية تحسنت خواص مثانة الصدم ومقاومة الاهتراء [6].
- 7- في العام 2018، قام Chen Chen بدراسة سلوك التقسية الانفعالية للفولاذ الأوستنيتي وفشل مطارق الكسارات، وعند التشوه اللدن نشأت طبقة نانوية بلورية بسماكة بضع ميليمترات نتيجة السرعة العالية على السطح (سرعة الحك) مما زاد القساوة [7].
- 8- في العام 2019، قام Robert A بتشكيل فولاذ هادفيلد بالصب في القوالب الرملية بالتفريغ واختبار خواصه مما قلل عيوب الفولاذ بسبب نفاذية الغازات لعدم وجود اضافات للرمل وحصل على ابعاد دقيقة وسطح ناعم بكلفة أقل [8].
- 9- في العام 2019، درس Rawad, Abaad سرعة التصلب في مسبوكات هادفيلد صنف C يحوي نسبة من الكروم حيث تبين أن الصب في القوالب المعدنية يعطي خواصاً ميكانيكية أفضل من القوالب الرملية والمعالجة بالتسخين للدرجة 1050 مئوية والإبقاء 24 ساعة ثم التبريد بالماء [9].
- 10- في العام 2021، استنتج Hatra, Salamah, Aldaher أن القيام بالتبريد السريع لفولاذ هادفيلد صنف D يحوي نسبة من النيكل بالماء العادي بعد الصب والقيام بالمعالجة الحرارية واستخدام الماء العادي كوسط تبريد قد حسن مقاومة الاهتراء ومثانة الصدم أكثر من حالة التبريد في الهواء والرمل [10].

طرائق البحث ومواده:

- فرن صهر تحريضي سعته العظمى 1.2 طن واستطاعته العظمى 500 KW تصنيع China, Foshan Hengyang Furance Manufacturing Co, Ltd (Heng Yang)
- جهاز التحليل الطيفي Foundry-Master 01M0026 Optik 01M0026

- آلة اختبار القساوة (فيكرز) Gnehm HartepUfer واختبار الصدم (شاربي) ASTM E23 لاختبار العينات.
- آلة اختبار الاهتراء لاختبار العينات ASTM G65-94.

5- مراحل العمل :

تم تشكيل العينات وصهر المكونات (فولاذ أوستنيتي صنف D وكمية من معدن الكروم وكمية من معدن الموليبدنيوم) في فرن تحريضي بسعة عظمى حوالي 1 ton واستطاعة عظمى 500 KW ثم أخذ العينات وتجهيزها للتحليل الطيفي وفق صهرتين.

الصهرة الأولى: 0.55 Kg Cr + 0.503 Kg Mo + 34.4 Kg Hadfield Steel D

الصهرة الثانية: 1.13 Kg Cr + 0.105 Kg Mo + 34.4 Kg Hadfield Steel D

يبين الجدول (1) و(2) نتائج التحليل الطيفي للصهرتين بواسطة جهاز التحليل الطيفي،

الجدول (1) التحليل الطيفي لعينات فولاذ هادفيلد صنف D والمضاف لها معدني الكروم 1.5% والموليبيوم 0.9% صهرة أولى

Foundry-Master 01M0026 Optik 01M0026
Sample :
Alloy : FE-100 Mode : PA 20/1/2023 10:02:28 AM

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	80.522	1.170	0.251	12.130	0.001	0.001	1.375
2	82.516	1.165	0.275	12.151	0.002	0.001	1.635
Average	80.519	1.167	0.263	12.140	0.015	0.001	1.505

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	0.912	2.845	0.111	0.010	0.012	0.004	0.001
2	0.868	3.324	0.546	0.090	0.020	0.002	0.003
Average	0.890	3.084	0.328	0.05	0.016	0.003	0.002

	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
1	0.002	0.001	0.002	0.010	0.001	0.001	0.003
2	0.008	0.001	0.001	0.009	0.001	0.002	0.003
Average	0.005	0.001	0.001	0.009	0.001	0.001	0.003

	As	Bi
1	0.000	0.000
2	0.000	0.000
Average	0.000	0.000

الجدول (2) التحليل الطيفي لعينات فولاذ هادفيلد صنف D والمضاف لها معدني الكروم 2.5% والموليبديوم 2.1% صهرة ثانية

Foundry-Master 01M0026 Optik 01M0026
Sample :
Alloy : FE-100 Mode : PA 27/1/2023 1:30:45 PM

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	78.305	1.165	0.257	12.171	0.001	0.001	2.501
2	78.311	1.169	0.258	12.169	0.002	0.001	2.497
Average	78.308	1.167	0.257	12.170	0.015	0.001	2.499

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	2.111	2.845	0.111	0.010	0.016	0.001	0.002
2	2.091	3.325	0.546	0.090	0.016	0.005	0.002
Average	2.101	3.085	0.328	0.05	0.016	0.003	0.002

	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
1	0.002	0.001	0.001	0.010	0.001	0.002	0.003
2	0.008	0.002	0.001	0.009	0.002	0.002	0.002
Average	0.005	0.001	0.001	0.009	0.001	0.002	0.002

	As	Bi
1	0.000	0.000
2	0.000	0.000
Average	0.000	0.000

إن سبب الفارق الزمني بين الصهرة الأولى والثانية هو إجراءات عمرة بطانة الفرن والصيانة نظراً لأن صهر الكروم والموليبديوم قد أثر بشكل كبير على بطانة الفرن وسعته.

يبين الشكل (1) تصنيفات ASTM A128:

Identification		Chemistry						
Spec.	Grade	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	P
ASTM A128	A	1.05-1.35	11.0 min	1.00 max				0.07 max
	B1	0.90-1.05	11.5-14.0	1.00 max				0.07 max
	B2	1.05-1.20	11.5-14.0	1.00 max				0.07 max
	B3	1.12-1.28	11.5-14.0	1.00 max				0.07 max
	B4	1.20-1.35	11.5-14.0	1.00 max				0.07 max
	C	1.05-1.35	11.5-14.0	1.00 max		1.5-2.5		0.07 max
	D	0.70-1.30	11.5-14.0	1.00 max	3.0-4.0			0.07 max
	E1	0.70-1.30	11.5-14.0	1.00 max			0.9-1.2	0.07 max
	E2	1.05-1.45	11.5-14.0	1.00 max			1.8-2.1	0.07 max
	F	1.05-1.35	6.0-8.0	1.00 max			0.9-1.2	0.07 max

الشكل (1) أصناف فولاذ هادفيلد حسب المواصفات القياسية ASTM A128

6- إجراء اختبار القساوة واختبار الاهتراء :

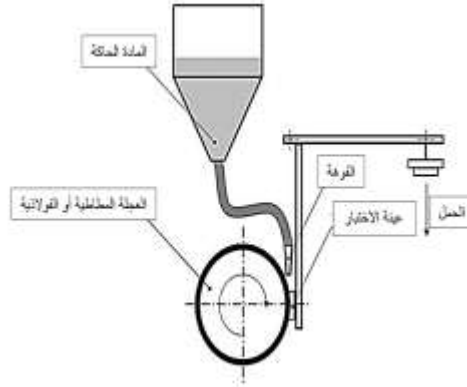
تم إجراء الاختبارات في مخابر جامعة البعث وهي اختبار فيكرز للقساوة واختبار القرص المطاطي/الرمال للاهتراء. 1- اختبار القساوة حسب طريقة فيكرز حيث يتم استعمال هرم ماسي مربع ويجري الاختبار بوضع العينة على سندان وترفع تدريجياً حتى تصبح على تماس مباشر مع نقطة اداة التلقيم ويطبق الحمل 30 kg تدريجياً على أداة التلقيم ثم

يُزال، تقاس القساوة من خلال مساحة الأثر والذي هو مربع فتكون القساوة حاصل قسمة حمل الاختبار مقدراً بـ kg على مساحة الأثر مقدرةً بـ mm^2 . ويبين الشكل (2) جهاز اختبار القساوة.



الشكل (2) جهاز اختبار فيكرز

2-الاهتراء: تعتمد طريقة الاختبار القياسية لقياس الاهتراء تتم باستخدام جهاز (القرص المطاطي -الرمل) وفق المواصفة ASTM G65-94 حيث توضح آلة الاختبار في الشكل (3).



الشكل (3) جهاز اختبار الاهتراء

العينة النموذجية (موضحة في الشكل (4)):

وهي عينة بشكل مستطيل ذات أبعاد $(25 \times 76 \text{ mm}^2)$ وذات سماكة 3.2-12.7 mm [15]



الشكل (4) شكل إحدى العينات في اختبار الاهتراء

إنّ طريقة الاختبار هذه تقوم بتحديد المقاومة للاهتراء عن طريق الحك الناتج عن احتكاك حبيبات الرمل مع سطح المادة، وبالتالي فإن الهدف من طريقة الاختبار هو وضع البيانات التي سترتب على أساسها المواد حسب مقاومتها للاهتراء ضمن ظروف محددة. إنّ نتائج اختبار الاهتراء هي الخسارة في الحجم من أجل اختبار معين، والمواد ذات مقاومة الاهتراء المرتفعة تكون خسارتها في الحجم أقل. من أجل توحيد نتائج الاختبارات، فإن طريقة الاختبار هذه تتطلب أن يتم تحديد مقدار الخسارة في الحجم الناتجة عن الاهتراء وفق نظام القياس المتري (mm^3).



الشكل (5) السطح الناتج عن الإختبار وآلة اختبار الإهتراء

7- مناقشة نتائج اختبار القساوة والاهتراء

يبين الجدول (3) نتائج اختبار القساوة لكل من الصهرتين مع وبدون المعالجات الحرارية، ويوضح الجدول (4) أنماط الإختبار حسب مواصفة الجمعية الأمريكية لاختبار المواد ASTM G65-94 وذلك وفقاً لمقاومة الاهتراء وسماكة العينات حيث أنّ محيط الإهتراء هو مسافة محيط خدش الإهتراء من أجل عدد محدد من الدورات وهو جداء نصف قطر قرص الإهتراء بالزمن بعدد دورات القرص، علماً أنّ الاحتكاك محيطي باستخدام رمل الكوارتز الذي لا تتجاوز رطوبته 5%. تمّ استعمال النمط B المخصص للمواد عالية القساوة ومقاومة الاهتراء، حيث باقي الأنماط لأنواع متفاوتة من السباتك منخفضة ومتوسطة القساوة.

الجدول (3) قيم اختبار القساوة لفولاذ هادفيلد مع كروم ومولبيديوم

المتوسط الحسابي	القيم	الحالة	
549 HV	550-549-548 HV	دون معالجة	1.5% Cr-0.9% Mo
556 HV	555-557-556 HV	دون معالجة	2.5% Cr-2.1% Mo

تعتبر هذه القيم أفضل من الدراسة [10] والتي وصلت إلى قيمة قساوة 500 HV لفولاذ هادفيلد صنف D بالتبريد بالماء العادي بعد الصب،

الجدول (4) أنماط اختبار الإهتراء حسب مقاومة الاهتراء

النمط	القوة المؤثرة N	عدد دورات القرص rpm	محيط الاهتراء m
A	130	6000	4309
B	130	2000	1436
C	130	100	71.8
D	130	6000	4309
E	130	1000	718

الجدول (5) نتائج اختبار اهتراء عينتين من حالة فولاذ هادفيلد مع نسبة كروم 1.5% وموليبيديوم 0.9%

101.3760	101.7463	99.9899	الكتلة قبل الإختبار gr
101.2722	101.6423	99.8865	الكتلة بعد الإختبار gr
0.1037	0.1040	0.1034	الخسارة بالكتلة gr
7.43	7.43	7.43	الكثافة gr/cm^3
13.966	14.0010	13.9292	خسارة الحجم $1000 \times mm^3$
0.009726	0.00975	0.00970	معدّل الاهتراء = خسارة الحجم / 1436
0.009725			متوسط معدل الاهتراء

الجدول (6) نتائج اختبار اهتراء عينتين من حالة فولاذ هادفيلد مع نسبة كروم 2.5% وموليبيديوم 2.1%

100.9103	101.5779	101.3257	الكتلة قبل الإختبار gr
100.8066	101.4733	101.2212	الكتلة بعد الإختبار gr
0.1036	0.1046	0.1045	الخسارة بالكتلة gr
7.43	7.43	7.43	الكثافة gr/cm^3
13.9521	14.0733	14.0728	خسارة الحجم $1000 \times mm^3$
0.009716	0.00963	0.00980	معدّل الاهتراء = خسارة الحجم / 1436
0.009715			متوسط معدل الاهتراء

من الملاحظ تحسّن مقاومة الاهتراء مع إضافة الكروم والموليبيديوم .
تعتبر هذه القيم أفضل من الدراسة [10] والتي وصلت إلى معدل اهتراء 0.00982 بدون معالجة حرارية لفولاذ هادفيلد صنف D لكن بالتبريد بالماء العادي بعد الصب.

10- اختبار الصدم ونتائجه

تمّ تشكيل عينات الصدم حسب اختبار شاربي بثلم له شكل حرف V حيث يتم توجيه صدمة إلى العينة في الوجه المعاكس للوجه الذي يحوي الثلم فتتكسر العينة ويتم قياس المتانة الصدمية وهي متانة الصدم التي انكسرت عندها العينة. تبيّن من اختبار الصدم النتائج التالية :

الجدول (7) قيم اختبار الصدم لفولاذ هادفيلد مع كروم وموليبيديوم

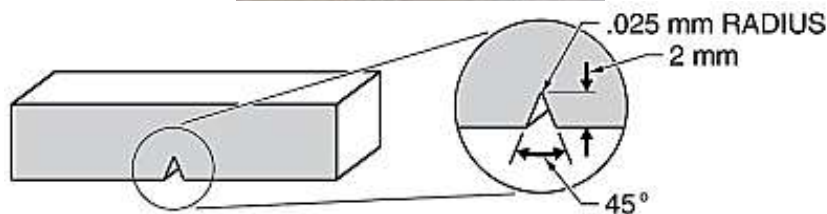
المتوسط الحسابي	القيم	الحالة	
40 J	39-40-41 J	التبريد في الماء بعد الصب	1.5% Cr-0.9% Mo
42 J	41-40-44 J	التبريد في الماء بعد الصب	2.5% Cr-2.1% Mo

من الملاحظ أنّ متانة الصدم أفضل مع زيادة نسبة الموليبيديوم والكروم.

تعتبر هذه القيم أفضل من القيم في الدراسة [10] والتي وصلت إلى متانة صدم ل 34-37 بدون معالجة حرارية لفولاذ هادفيلد صنف D لكن بالتبريد بالماء بعد الصب،
ويبين الشكل (6) عينة الصدم ومقطع الكسر الناتج والشكل (7) أبعاد عينات الصدم حسب اختبار شاربي:



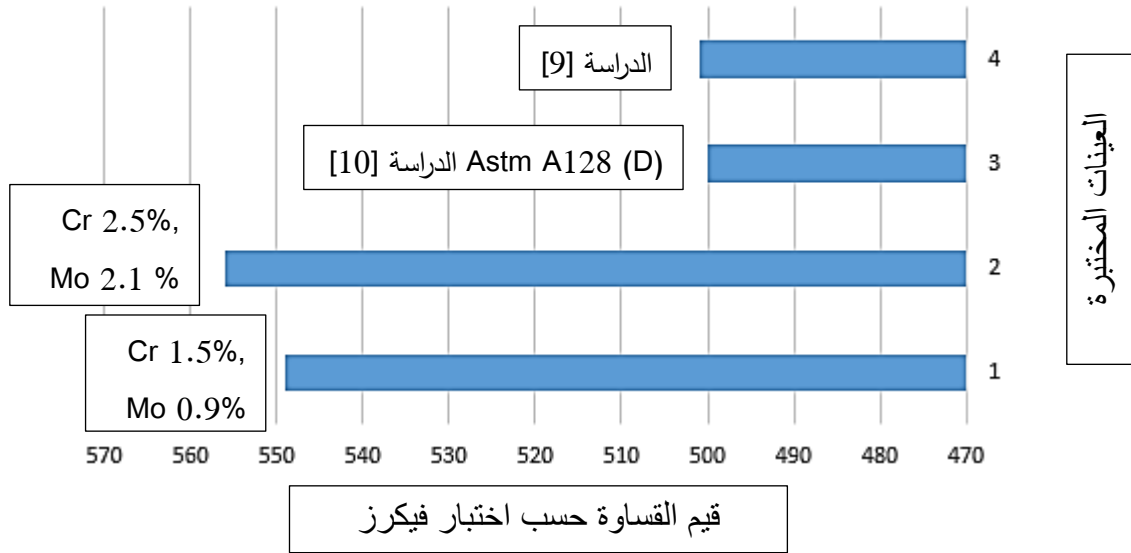
الشكل (6) إحدى عينات الصدم ومقطع الكسر في فولاذ هادفيلد D مع Cr, Mo



الشكل (7) إحدى عينات الصدم 55 X 10 X 10 mm حسب اختبار شاربي بثلم له شكل حرف V في مخابر جامعة البعث
تبيين الأشكال (8)، (9)، (10) مخططات أعمدة لمقارنة خواص السبيكتين الناتجتين مع خواص فولاذ هادفيلد حسب
المواصفة ASTM A128، بحيث:

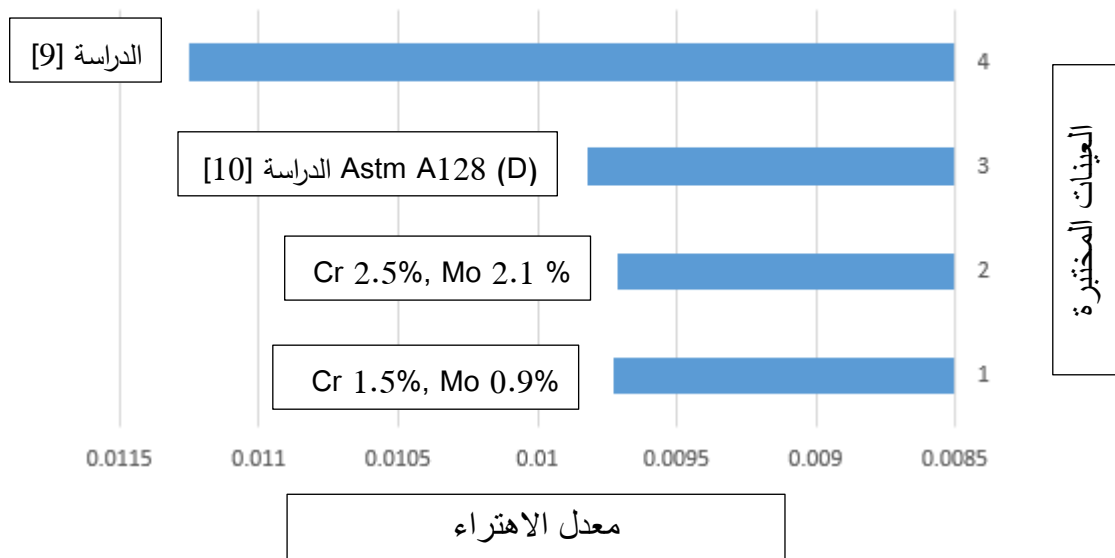
1. السبيكة 1: العينات المضاف لها كروم 1.5% وموليبيدينوم 0.9%.
2. السبيكة 2: العينات المضاف لها كروم 2.5% وموليبيدينوم 2.1%.
3. سبائك عينات الدراسة [10] وهي فولاذ هادفيلد صنف D حسب ASTM A128 في الشكل (1).
4. سبائك عينات الدراسات المرجعية خاصة الدراسة [9].

مقارنة القساوة حسب فيكرز

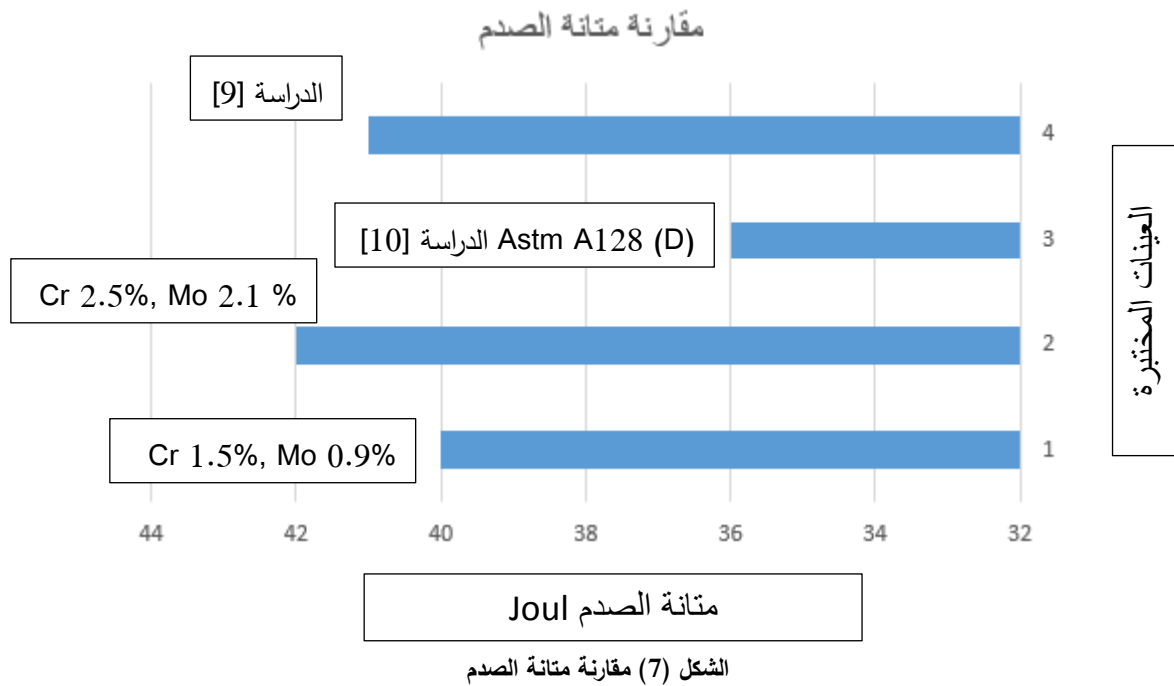


الشكل (5) مقارنة القساوة

مقارنة معدل الإهتراء



الشكل (6) مقارنة معدل الإهتراء



النتائج والمناقشة:

- 1- ازدادت قساوة فولاذ هادفيلد صنف D (يحتوي نيكيل) بإضافة الكروم والموليبدنوم وبالتالي زادت مقاومة الإهتراء مع زيادة في المتانة الصدمية، وقد يعود ذلك لتشكيل الكربيدات ضمن الأرضية والحبيبات وليس على حدود الحبيبات.
- 2- في الصهورة الأولى وصلنا لقيم ممتازة للقساوة ومقاومة الإهتراء ومتانة الصدم، بينما في الصهورة الثانية كانت أفضل قيم للقساوة ومقاومة الإهتراء ومتانة الصدم.
- 3- إنّ وجود الكربيدات على حدود الحبيبات والنتيجة عن صب فولاذ هادفيلد يؤدي لزيادة الهشاشة وقابلية الكسر نظراً لترسب الكربون بسبب سرعة التبريد المرتفعة ولذلك تهدف إضافة العناصر السبائكية والتبريد بالماء بعد الصب لإذابة هذه الكربيدات وتنعيم البنية المجهرية قدر الإمكان وبالتالي صلاحية فولاذ هادفيلد.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- دراسة البنية المجهرية للسبائك الناتجة في هذا البحث للتحقق من تفسير النتيجة 1 و 2، ومقارنتها مع البنى المجهرية بعد اجراء المعالجات الحرارية المناسبة.
- 2- يُنصح بإضافة الكروم والموليبدنوم لتحسين الخواص الميكانيكية وهي مقاومة الإهتراء ومتانة الصدم حيث ازدادت القساوة (مقاومة الإهتراء) وازدادت المتانة الصدمية.
- 3- ينصح بتجربة إضافة عناصر سبائكية أخرى لمعرفة أثر ذلك على الخواص الميكانيكية لفولاذ هادفيلد.
- 4- يُنصح باستخدام برامج حاسوبية لمعرفة أماكن تركّز الإجهادات الميكانيكية والحرارية بسبب الاحتكاك، أو تغيير شكل سن الحفر أو مطرقة الكسر بما يحقق خواصاً وعمراً أفضل.

References:

- [1] Li Shifeng . A New production technique for wear resistance ring hammers, 2011.
- [2] Olawale J. O.*, Ibitoye S. A., Shittu M. D. Workhardening Behaviour and Microstructural Analysis of Failed Austenitic Manganese Steel Crusher Jaws, 2013
- [3] Agunsoye, J.O. , Talabi, S.I., Bello, O. Wear characteristics of heat-treated Hadfield austenitic manganese steel for engineering application, 2015.
- [4] Guanqiao Su, influence of mn on the corrosion behavior of manganese steel, 2016.
- [5] School of engineering. On deoxidation practice and grain size of austenitic manganese steel, 2017.
- [6] Arbash, Impact toughness and wear resistance of low alloy steel, Al-Baath University 2017.
- [7] Chen Chen, Strain hardening and nanocrystallization behaviors in Hadfield steel subjected to surface severe plastic deformation, 2018.
- [8] Robert A, Vacuum sand casting hammer casting alloys, 2019
- [9] Rawad Y Jabr, Abaad Kasoha, Studing the influence of solidification speed on the resulting microstructure of Hadfield steel casting, Al-Baath University 2019.
- [10] Hatra, Salamah, Aldaher, Improving mechanical properties (impact strength and wear resistance) of drilling teeth steel and breakers hammers, Tishreen University 2021.
- [11] Hatra Ali, Aktaa Samir, Jadeed Ali, Manufacturing flexible cast iron in Syria with modern scientific methods and techniques, Tishreen University.
- [12] Chang, line, Hadfield manganese steel melting practices.
- [13] Jinchen X.Ecodesign for wear resistant ductile cast iron with medium manganese content.Mater Des 2018;24:63 –68.
- [14] Chenje TW.Results of survey on the Zimbabwean mining industry.Zimbabwe: SIRDC, 2017.
- [15] Repas PE.Microstructures and mechanical properties of API 2Y plate steels.Processing, microstructure and properties of HSIA steels.Pittsburgh: TMS, 2015.
- [16] Chenje TW.A study of relationships between microstructure, hardness, impact toughness and performance of mill balls in operation, M.Phil. Thesis, University of Zimbabwe, 2011.
- [17] Evans JG.A critical review of grinding media.Proceedings of the Cement Group Technical Conference, October 2014.

