

تحسين الخواص الميكانيكية (متانة الصدم ومقاومة الاهتراء) لفولاذ أسنان الحفارات ومطارق الكسارات

د. علي هترة *

د. أحمد سلامة **

نسيم الضاهر ***

(تاريخ الإيداع 19 / 10 / 2020. قُبِلَ للنشر في 19 / 4 / 2021)

□ ملخص □

تعتبر أسنان الحفارات ومطارق الكسارات أدوات صناعية هامة جداً في التطبيقات الصناعية ومن المهم أن تكون المعادن المصنوعة منها هذه الأسنان والمطارق مقاومة للاهتراء والصدم بشكل جيد، ومن أهم المعادن فولاذ هادفيلد العالي المنغنيز، والذي يحوي نسبة كربون تؤدي لتشكّل كربيدات على حدود الحبيبات البلورية، وبالتالي الكسر السريع كما أنه يمتاز بالتصلد الإنفعالي. لذلك لا يُدَّ من إيجاد حل سواء بالمعالجة الحرارية أو العناصر السبائكية أو التقسية أو غيرها. تمّت عملية صب العينات في القوالب الرملية والمعالجة الحرارية (متغيرة الزمن ودرجة الحرارة) لعدد من العينات بالإضافة لتطبيق تغييرات في طريقة التبريد قبل المعالجة الحرارية وقياس القساوة ومتانة الصدم ومقاومة الاهتراء للعينات قبل وبعد المعالجة الحرارية.

بيّنت النتائج زيادة في القساوة وبالتالي زيادة مقاومة الاهتراء كما ازدادت متانة الصدم نتيجة المعالجة الحرارية، وتغيير طريقة التبريد بعد الصب وقبل المعالجة الحرارية، وبالتالي أصبح الفولاذ الناتج أكثر تحملاً لظروف الخدمة مما يعطي جدوى اقتصادية للبحث بالإضافة لأهميته العلمية.

الكلمات المفتاحية: أسنان، مطارق، اهتراء، معالجة حرارية، السبك أو الخطأ، فولاذ هادفيلد عالي المنغنيز، التبريد، حدود الحبيبات البلورية.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الميكانيك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Improving Mechanical Properties (Impact Strength and Wear Resistance) of Drilling Teeth Steel and Breakers Hammers

Dr. Ali Hatra*
Dr. Ahmad Salamah**
Nassim Aldaher***

(Received 19 / 10 / 2020. Accepted 19 / 4 / 2021)

□ ABSTRACT □

The teeth of drill and crushing hammers are very important industrial tools in industrial applications, and it is important that the material from which these teeth and hammers are resistant to wear and shock is good, one of the most important materials is Hadfield high manganese steel, which contains a percentage of carbon that leads to the formation of carbides on the boundaries of crystalline grains, and thus the rapid breakage as it is characterized by strain hardening. Therefore, a solution must be found, whether by heat treatment, alloying, hardening, or other elements. The process of casting samples was done in sand molds and heat treatment (time and temperature variable) for a number of samples in addition to applying changes in the method of cooling before heat treatment and measuring the hardness, impact strength and wear resistance of the samples before and after heat treatment.

The results showed an increase in hardness and consequently resistance to wear, as well as increased strength of impact as a result of heat treatment and change of the method of cooling after casting and before heat treatment, and thus the resulting steel became more durable for service conditions, which gives an economic feasibility to research in addition to its scientific importance

Keywords: teeth, hammers, wear, heat treatment, alloying, Hadfield high manganese steel, hardness, cooling, boundaries of crystalline grains.

* Associate Professor, Department Of Production & Design Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Tishreen, Lattakia, Syria

**Associate Professor, Department Of Production & Design Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Tishreen, Lattakia, Syria

***Postgraduate Student, Department of Mechanics, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Tishreen, Lattakia, Syria

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. سمي فولاذ هادفيلد بهذا الاسم نسبةً إلى الباحث روبرت هادفيلد الذي قام بابتكاره، وهو فولاذ أوستنيتي عالي المنغنيز يحتوي حسب المواصفة ASTM-A128 على :
 (10-14) Mn% - (1-1.4) C% أي بمعدل 1/10 لمحتوى الكربون بالنسبة لمحتوى المنغنيز، وذلك لضمان الحصول على بنية أوستنيتية بعد التقسية. يعمل محتوى المنغنيز العالي بوجود الكربون، كمثبت للطور الأوستنيتي، ويؤخر التحوّل الحراري إلى مارتنيسيت، مما يعطي هذا الفولاذ متانة ومرونة عاليتين، ومعدل عالي في التقسية الإنفعالية (التصلد الإنفعالي) بسبب مقاومة عالية للاهتراء.

أهمية البحث وأهدافه:**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 الاهتراء العالي وقوة الصدم أثناء العمل، وبالتالي فإنّ تحسين 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.

هدف البحث :

إنّ هدف البحث هو زيادة مقاومة الاهتراء وتحسين متانة الصدم لفولاذ هادفيلد المصنوعة منه أسنان الحفارات ومطارق الكسارات عن طريق المعالجة الحرارية.

1- الدراسات المرجعية :

4-1- قدم الباحث Yoshinori Ono وآخرون عام 2000 دراسة لآلية التقصف في فولاذ هادفيلد، حيث تخضع العينات المقساء بالماء للتحوّل من الحالة المرنة إلى القصفة (Ductile to Brittle Transformed, DBT) فقط في الفولاذ الفيريتي ذو البنية المكعبية متمركزة الوجوه FCC . تبلغ درجة حرارة التحوّل (DBT) حوالي 210 كلفن (-63.15 مئوية). [1]

4-2- قدمت المدرسة الهندسية عام 2017 بحثاً عن أهمية نزع الأوكسجين من فولاذ هادفيلد وبيّنت في البحث أنّ تقليل حجم الحبيبات يزيد قوة المادة ويقلل خطر المسامية أثناء التبلور بيّنت أنّ الهدف الرئيسي من هذا العمل هو البحث في الخواص النوعية والكمية لنزع الأوكسجين من فولاذ هادفيلد التي تبقى بعد التجمّد والتأثير السلبي والإيجابي على خشونة البنية النهائية الناتجة. وصل هذا البحث إلى نتائج مهمة منها أنّ عملية إزالة الأوكسجين التقليدية لفولاذ هادفيلد مع الألمنيوم والتيتانيوم لها تأثير سلبي فعّال على البنية المجهرية للمادة. [5]

4-3- قدم الباحث Agunsoye J O وآخرون عام 2015 دراسة لخواص الاهتراء في فولاذ هادفيلد وتمّ شرح تأثير الكرييدات وحجمها وكيفية توزيعها على مقاومة الاهتراء وتوصل البحث لنتائج منها أنّ المعالجة الحرارية (التسخين

لدرجة 1050 مئوية وإبقاء في هذه الدرجة 24 دقيقة للسماح للكربيدات المنفصلة بالإنحلال بشكل كامل) زاد من مقاومة الاهتراء. [2]

4-4- درس الباحث Balogun وآخرون عام 2008 تأثير درجة حرارة الإنصهار على خواص اهتراء فولاذ هادفيلد. تم تعريض الفولاذ الأوستنيتي المنغنيزي لدرجات حرارة مختلفة من 1380 إلى 1550 مئوية في فرن صهر تحريضي بسعة 10 طن. تشير النتائج إلى انفصال كبير للعناصر السبائكية عند درجات الصهر العالية. تمت ملاحظة التوزيع العشوائي لجزيئات الكربيد في حبيبات الأوستنيت الأساسية عند درجة حرارة بين 1400-1500 مئوية. تم التوصل لمجموعة نتائج هي أنه يجب عدم الصب فوق الدرجة 1450 مئوية وذلك لأنها تسبب انفصال الجزيئات عن بعضها مما يؤدي لمعدل اهتراء غير ثابت. عند الصب في درجة حرارة بين 1400 إلى 1450 مئوية ستفصل الكربيدات داخل البنية وبذلك تتحسن خواص الاهتراء لأسنان الكسارات. تقلل درجة حرارة الصب المنخفضة من سيولة المعدن المصهور وتؤدي لعيوب في المسبوكات، وتكاليف تشغيل عالية. [10]

4-5- بين الباحث Shabnam Hosseine وآخرون عام 2011 تأثير وسط التبريد على القساوة ومثانة الصدم وتبين زيادة كل منهما مع زيادة نسبة NaCl في الماء كوسط تقسية. [3]

4-6- قدم الباحث Weilin Yan وآخرون عام 2007 بحثاً عن تأثير القساوة السطحية على إهتراء فولاذ هادفيلد حيث تمت التقسية بالسفع (الضرب) بالكرات تمت ملاحظة تشكّل طبقة سطحية غير بلورية. وتم تحسّن وازدياد القساوة السطحية مع زيادة مدة السفع حيث ارتفعت من 256 HV إلى 774 HV خلال مدة 120 دقيقة. [4]

4-7- درس الباحث Youn-Soo Ham وآخرون عام 2010 تأثير معدل التبريد الحرج على ترسيب الكربيدات خلال تقسية الفولاذ المنغنيزي الأوستنيتي، وذلك بمقارنة الطريقة التجريبية التقليدية، بالطريقة العددية التحليلية. تم تجهيز العينات التجريبية بطريقة السباكة الرملية وبعد التحليل الطيفي لها تبين أنها توافق ASTM 128 grade C وتمت المعالجة الحرارية بالتسخين إلى 1050 مئوية وإبقاء 21 ساعة ثم التقسية بالماء، تم تصميم البرنامج للتحليل الحراري بحيث يظهر الخواص الحرارية كالكتافة وكمية الحرارة والموصلية الحرارية. من مقارنة النتائج التجريبية مع العددية تبين أن الكربيدات المترسبة تظهر على عمق 45 mm من السطح علماً أن أبعاد العينات 150 X 250 X 150 mm ويعتبر معدل التبريد عند هذا العمق حرجاً لترسيب الكربيدات. تبين توافق الطريقة العددية المتبعة لمعرفة احتمالية ترسب الكربيدات مع الطريقة التجريبية بالاعتماد على معامل النقل الحراري. [6]

4-8- قدم الباحث S Aribو وآخرون عام 2010 بحثاً عن تأثير التقسية على القساوة والبنية المجهرية للفولاذ الأوستنيتي المنغنيزي حيث تم تسخين العينات للدرجة 1000 مئوية وحفظها لمدة ساعة ثم التبريد بالماء وحفظها عند درجات حرارة مختلفة وأزمنة مختلفة. تم حفظ العينات في الدرجات 600 و 700 مئوية ولمدة ساعة وثلاثة ساعات.

4-9- قدم الباحث Olawale J o و Ibitoye عام 2013 بحثاً عن سلوك تقسية فولاذ هادفيلد في أسنان الكسارات وأخذوا عدة عينات منها تعرض للكسر الهش بسبب وجود الكربيدات الكبيرة في حدود الحبيبات للبلورات الأوستنيتية ويعود سبب الكسر الهش القصف لترسب الكربيدات كونها غير قادرة على امتصاص الصدم. تلعب الكربيدات المترسبة دوراً هاماً في القساوة ومقاومة الحك، كما تؤثر في البنية المجهرية للفولاذ الأوستنيتي المنغنيزي. إن وجود كمية من الكربيدات المتفرقة يؤثر على مقاومة الاهتراء ويقلل من مثانة الصدم. حسب الباحث Allahkaram فإن ترسب الكربيدات على طول حدود الحبيبات ينشط تولد التشقق مما يؤدي للكسر في النهاية. [8]

10-4- درس الباحث A chojeeki عام 2009 التشققات في الفولاذ المسكوب الاوستنتي عالي المنغنيز حيث نُسبت التشققات أثناء الخدمة إلى المسامات الميكروية المتشكلة أثناء تصلب المسبوكات. يتميز تصلب الفولاذ عالي المنغنيز بتشكّل الدندريت (البنية العنصرية) للأوستنتيت بحجم كبير. يصعب نمو الدندريت من تدفق المصهور ويُضعف الدندريت التغذية الصحيحة للمسبوكة. حتى في حالة وجود الشروط المناسبة لتوجيه التصلب فإنّ الدندريت المتزايد والمسامية يمكن ان يؤديان لكسر العينة. نتيجةً لذلك تظهر الهشاشية في الفولاذ المسكوب في نهاية عملية التصلب. [9]

طرائق البحث ومواده:

- فرن صهر سعته العظمى 1.2 طن والاستطاعة العظمة 500 KW.
- قوالب رملية حيث الرمل مخلوط بالماء والمادة الرابطة (البننتونايت).
- المنشار الكهربائي لقص الزوائد المعدنية.
- جهاز التحليل الطيفي.
- آلة اختبار القساوة (فيكرز) واختبار الصدم (شاربي) لاختبار العينات قبل وبعد المعالجة الحرارية.
- آلة اختبار الاهتراء لاختبار العينات قبل وبعد المعالجة الحرارية.
- فرن المعالجة الحرارية والمجهر الضوئي.

2- مراحل العمل :

1- صهر العينات في الشركة الدولية لدرفلة الحديد في المدينة الصناعية في حسياء ضمن فرن بسعة عظمى 1.2 ton واستطاعة عظمى 500 KW.

تم وضع 700 Kg خردة فولاذ و 93 Kg منغنيز أي بنسبة منغنيز تقريباً 13.28% وتم الصهر وتجهيز القوالب الرملية ضمن الريازك بحيث الرمل متوسط الرطوبة ويخلط جيد مع المادة الرابطة (البننتونايت). تم تجفيف القوالب بواسطة حراقات الغاز المنزلي العادي.

2- تمّت عملية الصب من الفرن إلى بوتقة مسخنة ذات ذراعين عند الدرجة 1600 مئوية تقريباً. بمساعدة الرافعة الجسرية في المعمل وتوجيه عاملين كل عامل على ذراع، تمّ صب المصهور المعدني في القوالب الرملية وترك العينات بحيث الحالة (1) اثنا عشر عينة ضمن الرمل مدة ساعة، الحالة (2) اثنا عشر عينة تم تبريدها بالهواء بعد ازالة الرمل المحيط، والحالة (3) اثنا عشر عينة تم تبريدها بالماء بعد التجمّد، ومن كل حالة تمّ أخذ ست عينات بدون إجراء المعالجة الحرارية (3 عينات صدم و3 عينات اهتراء وقساوة)، وست عينات لإجراء المعالجة الحرارية (3 عينات صدم و3 عينات اهتراء وقساوة).

الجدول (1) عدد العينات التجريبية

الحالة 3	الحالة 2	الحالة 1	الخاصية	
3 عينات	3 عينات	3 عينات	القساوة والاهتراء	قبل المعالجة الحرارية
3 عينات	3 عينات	3 عينات	الصدم	
منها 3 عينات للفحص المجهرى	منها 3 عينات للفحص المجهرى	منها 3 عينات للفحص المجهرى		
3 عينات	3 عينات	3 عينات	القساوة والاهتراء	

3 عينات	3 عينات	3 عينات	الصدوم	بعد المعالجة الحرارية
منها 3 عينات تتعرض لدرجات تسخين مختلفة وازمنة ابقاء مختلفة	منها 3 عينات تتعرض لدرجات تسخين مختلفة وازمنة ابقاء مختلفة	منها 3 عينات تتعرض لدرجات تسخين مختلفة وازمنة ابقاء مختلفة		

ويبين الشكل (1) أفران وقوالب الصب المستعملة في البحث :





الشكل (1) أفران الصهر و B القوالب الرملية المجهزة للصب وترتيبها مع الأوزان الإضافية في الشركة الدولية لدرفلة الحديد في المدينة الصناعية بحسياء

3- باستخدام المنشار الكهربائي تم إزالة الزوائد المعدنية من المسبوكة. يبين الشكل (2) آلة القص بالمنشار الكهربائي :





الشكل (2) A القص بالمنشار الكهربائي و B شكل العينة بعد إزالة الزوائد والمرضعات

4-تم أخذ عينات وتجهيزها للفحص المجهرى والتحليل الطيفي.

يبين الجدول (2) نتائج التحليل الطيفي بواسطة جهاز التحليل الطيفي في الشركة الدولية لدرفلة الحديد في حسياء:

الجدول (2) نتائج التحليل الطيفي حيث قمنا بتحليلين ثم أخذنا المتوسط الحسابي من البرنامج

Foundry-Master 01M0026 Optik 01M0026
Sample :
Alloy : FE-100 Mode : PA_7/25/2019 5:02:28 PM

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	82.200	1.150	0.301	12.150	0.001	0.001	0.500
2	82.668	1.175	0.265	12.001	0.002	0.001	0.600
Average	82.434	1.083	0.283	12.075	0.015	0.001	0.550

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	0.052	2.855	0.101	0.020	0.010	0.005	0.001
2	0.031	3.334	0.556	0.090	0.021	0.001	0.003
Average	0.041	3.094	0.328	0.055	0.015	0.003	0.002

	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
1	0.003	0.001	0.002	0.010	0.001	0.002	0.003
2	0.007	0.001	0.001	0.009	0.001	0.001	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

صنفت الجمعية الامريكية لإختبار المواد فولاذ هادفيلد إلى عدّة أصناف حسب تركيبه الكيميائي وفقاً للمواصفة ASTM-A128 كما يبين الجدول (3) :

الجدول (3) التركيب الكيميائي لفولاذ هادفيلد حسب المواصفة 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	

من خلال جهاز التحليل الطيفي في الشركة الدولية لدرفلة الحديد في حسياء ومعرفة نسبة العناصر السبائكية الداخلة في تركيب فولاذ هادفيلد تبين لنا أنّ صنفة D بسبب نسبة النيكل.

المجهر الضوئي :

نستطيع معرفة قوة التكبير، بضرب الرقم الموجود على العدسة العينية والذي يدل على قوة التكبير، بالرقم الموجود على العدسة الجسمية. فإذا كانت قوة تكبير العدسة العينية 10 وقوة تكبير العدسة الشيئية 40، كانت قوة تكبير المجهر في هذه الحالة $40 \times 10 = 400$ مرة



الشكل (3) المجهر الضوئي ماركة carl zeiss الألمانية

5-خطوات دراسة وفحص البنية المجهرية :

1-قص العينات : تمّ القص بواسطة المنشار الكهربائي للحصول على عينات بشكل اسطواني وذات مقطع دائري وعملية القص تمت مع مراعاة أن السطحين العلوي والسفلي متوازيين تماماً لأنه تحت المجهر يجب أن يكونا مستويين افقيين تماماً وعند الشدّ ينتج لدينا مستويان عموديان تماماً على محور العينة.

2-شحن العينات : وهو على نوعين إما يدوي (جاف او رطب) او آلي (جاف او رطب) وتم استخدام الشحن اليدوي الجاف ثم الرطب بالماء في البحث للحصول على مرحلة انعم حيث يساعد تيار الماء على التنظيف وإزالة برادة المعدن.

3-تلميع العينات : يتم باستخدام قالب نضع ورقة صنفرة درجة خشونتها 1200 تركيبها مختلف ونضع مادة كالألماس على العينة أو نضع اكسيد الالمنيوم Al_2O_3 على لبادة خشنة على القرص (وهي الطريقة التي اتبعناها). يتم التلميع بهدف ازالة الخدوش المتبقية على سطح العينة باستعمال قرص دوار مماثل للقرص في الشحن الآلي لكن هنا يكون مغطى بقطعة لباد أو قماش نايلون ذو خيوط ناعمة بعد تبليل اللباد أو القماش بمستحلب يحوي حبيبات ناعمة من اوكسيد الألمنيوم (الألومينا وهو بودرة لها قليل من الماء كمادة رابطة ومزلفة) مما يجعل المادة النهائية لزجة ويتم تحريك العينة من الخارج نحو المركز وليس العكس.

4-تتميش العينات : وهو تخريش سطح العينة بمحلول مخرش غالبا ما يكون حمض مخفف بالماء أو الكحول (مركب كيميائي) حسب تركيب العينات وهنا لدينا فولاذ سبائك نسبة العناصر السبائكية فيه مرتفعة والمحلول المخرش حمض آزوت مخفض جداً حيث 3% حمض آزوت و 97% كحول.

عند وضع العينات تحت المجهر بعد التلميع تكون جميع البلورات بمستوي واحد فينعكس الضوء عن سطحها ضمن مستوي واحد وبنفس الشدة عندها نرى سطح وحيد للبلورة ولانميز شيئ بسبب التلميع لذلك نلجأ للتميش أو التخريش الذي يؤدي لتآكل سطوح البلورات وتصبح كل بلورة بمستوي ولها سطحها الخاص الذي يميل عن الأصلي بزوايا تختلف عن ميل سطح البلورة المجاورة عندها فقط يمكننا تمييز حدود البلورات لأن :

A-شدة الأشعة المنعكسة عن سطح كل بلورة تختلف باختلاف زاوية ميل سطحها عن السطح الأفقي.

B-الذوبان في المحاليل يكون أعظماً عند الحدود الفاصلة بين البلورات وفي البنية المتعددة الأطوار يكون الطور الأكثر تأثراً هو الطور الأكثر ذوباناً وسطوح بلوراته سوف تصبح أكثر ميلاً عن السطح الأصلي من الطور الأقل تأثراً وهكذا يكمننا التمييز بين الأطوار المختلفة. يتم التتميش من خلال وضع العينات الفولاذية في الحمض لمدة لاتتجاوز 7 ثواني مع التحريك المستمر مع الأخذ بعين الاعتبار أنه كلما طاللة فترة وجود العينات في الحمض لأكثر من بضع ثوان في كل مرة يؤدي الى حرق العينات وعودتنا للخطوات السابقة من شحن وتلميع و...

يجب الانتباه جيداً لوضع الكحول أولاً ثم الحمض وليس العكس وسبب ذلك هو أنه ان تم وضع الحمض ثم الكحول سيؤدي لتفاعل كيميائي وانفجار الوعاء. من الملاحظ أن سطح العينة بعد التتميش يصبح عليه غباشة وبذلك تكون عملية التتميش قد أدت لانحراف سطوح البلورات وتآكل حدودها وبالتالي ظهور البنية المجهرية ومعرفتها وبالتالي تحقيق الهدف المرجو.

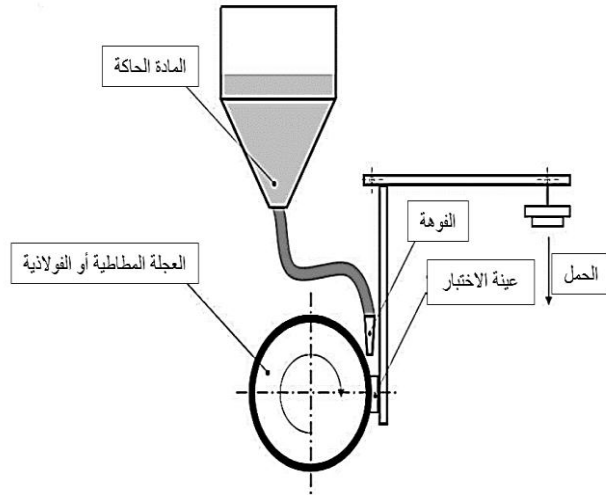
3- إجراء اختبار القساوة واختبار الاهتراء :

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 التتليم ويطبق الحمل 30 kg تدريجياً على أداة التتليم ثم يُزال، تقاس القساوة من خلال مساحة الأثر والذي هو مربع فتكون القساوة حاصل قسمة حمل الاختبار مقدراً ب kg على مساحة الأثر مقدراً ب mm^2 .



الشكل (4) 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 التالي :



الشكل (5) آلة 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، فإنّ طريقة الاختبار هذه تتطلب أن يتم تحديد مقدار الخسارة في الحجم الناتجة عن الاهتراء وفق نظام القياس المتري مليمتر مكعب (mm^3).
العينة النموذجية :

لها شكل مستطيل ذات أبعاد ($25 \times 76 \text{ mm}^2$) وذات سماكة بين : $12,7 \div 3,2 \text{ (mm)}$. [15]

4- مناقشة نتائج اختبار الاهتراء والقساوة دون معالجة حرارية

يوضح الجدول (4) أنماط الإختبار حسب مواصفة الجمعية الامريكية لاختبار المواد ASTM G65-94 وذلك وفقاً لمقاومة الاهتراء وسماكة العينات حيث أنّ محيط الاهتراء هو محيط خدش الاهتراء من أجل عدد محدد من الدورات،

علماً أنّ الاحتكاك محيطي باستخدام رمل الكوارتز الذي لا تتجاوز رطوبته 5%. أما الجدول (5) فيبيّن مقارنة بين العينات من حيث الحجم المفقود بعد اختبار الاهتراء حيث أنّ معدّل الاهتراء الأقل يعني مقاومة اهتراء عالية، كما يبيّن قيم القساوة للعينات وكل حالة 3 عينات للاهتراء والقساوة. تمّ استعمال النمط B المخصص للمواد عالية القساوة ومقاومة الاهتراء، حيث باقي الأنماط لأنواع متفاوتة من السباتك منخفضة ومتوسطة القساوة.

الجدول (4) أنماط اختبار الاهتراء حسب مقاومة الاهتراء

الاختبار المحدد	القوة المؤثرة على عينة الاختبار * N (lb)	عدد دورات القرص	محيط التآكل	
			m	(ft)
A	130 (30)	6000	4309	(14138)
B	130 (30)	2000	1436	(4711)
C	130 (30)	100	71.8	(236)
D	45 (10.1)	6000	4309	(14138)
E	130 (30)	1000	718	(2360)

الجدول (5) اختبار الاهتراء والقساوة للعينات وفي كل حالة 3 عينات أي 9 عينات دون معالجة حرارية

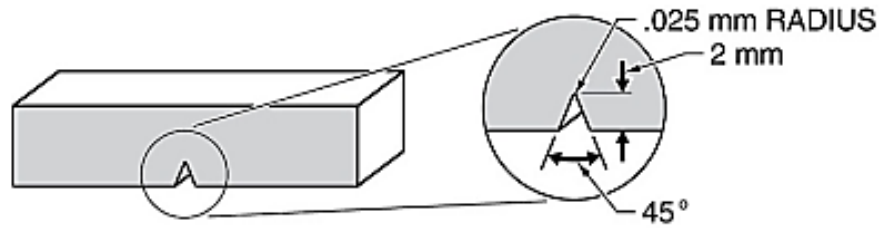
جهاز القياس : اختبار الاهتراء (الرمل الجاف-قرص مطاطي قطره 20 cm) - محيط الاهتراء : 1436 m			
التاريخ : 5/9/2020 - 1.30 PM : نمط الاختبار B			
معطيات الاختبار (زمن الاختبار 7 دقائق)			
وصف المادة : فولاذ هادفيلد تم تشكيله بالسباكة الرملية - الحالة (1) تمّ إزالة الرمل عنها بعد ساعة وكل العينات دون معالجة حرارية بالفرن			
درجة الحرارة : درجة حرارة الغرفة 25 مئوية			
قساوة المادة : الحالة (1) ثلاثة عينات قساوتها على الترتيب HV 450-457-455 متوسطها HV 454 ومتوسط معدل الاهتراء فيها 0.010241			
رقم العينة :	1	2	3
حمل الاختبار :	130N	130N	130N
عدد الدورات :	2000	2000	2000
تدفق الرمل gr/min	300-400	300-400	300-400
الكتلة الابتدائية gr	99.1699	102.2210	101.0013
الكتلة النهائية gr	99.0551	102.1200	101.8891
الخسارة بالكتلة gr	0.1148	0.1010	0.1122
الكثافة gr/cm ³	7.43	7.43	7.43
خسارة الحجم 1000 X mm ³	15.4508	13.5935	15.1009
معدّل الاهتراء = خسارة الحجم / 1436	0.01075	0.00946	0.010515
متوسط معدل الاهتراء	0.010241		

وصف المادة : فولاذ هادفيلد تم تشكيله بالسباكة الرملية - الحالة (2) تم إزالة الرمل عنها وتبريدها بالهواء بدون معالجة حرارية بالفرن			
درجة الحرارة : درجة حرارة الغرفة 25 مئوية متوسط معدل الاهتراء فيها 0.0101			
قساوة المادة : الحالة (2) ثلاثة عينات قساوتها HV 485-489-486 ومتوسط القساوة HV 486.			
رقم العينة :	1	2	3
الكتلة الابتدائية gr	100.2005	101.0011	100.3300
الكتلة النهائية gr	100.0873	100.901	100.1896
الخسارة بالكتلة gr	0.11311	0.09975	0.1104
خسارة الحجم $1000 \times mm^3$	15.2246	13.4266	14.8626
معدل الاهتراء = خسارة الحجم / 1436	0.01060	0.00935	0.01035
متوسط معدل الاهتراء	0.0101		
وصف المادة : فولاذ هادفيلد تم تشكيله بالسباكة الرملية - الحالة (3) تم تبريدها بالماء وكل العينات دون معالجة حرارية بالفرن			
درجة الحرارة : درجة حرارة الغرفة 25 مئوية معدل الاهتراء فيها 0.00982			
قساوة المادة : الحالة (3) ثلاثة عينات قساوتها HV 551-554-550 ومتوسطها HV 552			
رقم العينة :	1	2	3
الكتلة الابتدائية gr	100.2222	100.1996	101.1033
الكتلة النهائية gr	100.1132	100.1036	100.994
الخسارة بالكتلة gr	0.1090	0.0960	0.1093
خسارة الحجم $1000 \times mm^3$	14.6615	12.924	14.719
معدل الاهتراء = خسارة الحجم / 1436	0.01021	0.00900	0.01025
متوسط معدل الاهتراء	0.00982		

5- اختبار الصدم ونتائجه دون اجراء المعالجة الحرارية

تم 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. تبين من اختبار الصدم النتائج التالية :

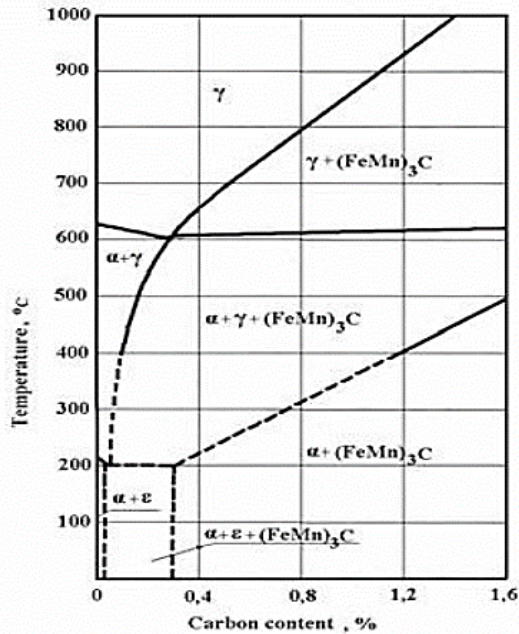
- الحالة (1): ثلاثة عينات متانتها الصدمية على الترتيب 40 جول، 36 جول، 35 جول وبالتالي المتوسط الحسابي هو 37 جول.
 الحالة (2) : ثلاثة عينات متانتها الصدمية على الترتيب 30 جول ، 33 جول ، 39 جول فالمتوسط الحسابي هو 34 جول.
 الحالة (3) : ثلاثة عينات متانتها الصدمية على الترتيب 45 جول ، 31 جول ، 30 جول فالمتوسط الحسابي هو 35 جول.



الشكل (6) إحدى عينات الصدم 55 X 10 X 10 mm

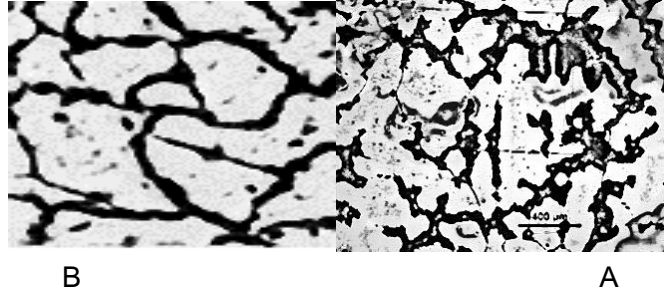
6- المعالجة الحرارية :

تم أخذ 6 عينات بعد الصب من كل حالة (3 عينات للصدم و 3 عينات للاهتراء والقساوة) أي 18 عينة ونعالجها حرارياً. تتم المعالجة الحرارية لثلاثة عينات من الحالة (1) (مسكوبة وتم تركها بالرمل مدة ساعة) بالتسخين للدرجة 1150 - 1075 مئوية والإبقاء فترة من الزمن في الفرن (30-45-60) دقيقة على الترتيب ثم التبريد في الماء. تتم المعالجة الحرارية لثلاثة عينات من الحالة (2) (مسكوبة وتم تبريدها بالهواء) بالتسخين للدرجة 1150-1075-1000 مئوية والإبقاء فترة من الزمن في الفرن (30-45-60) دقيقة على الترتيب ثم التبريد في الماء. تتم المعالجة الحرارية لثلاثة عينات من الحالة (3) (مسكوبة وتم تبريدها بالماء) بالتسخين للدرجة 1150-1075-1000 مئوية والإبقاء فترة من الزمن في الفرن (30-45-60) دقيقة على الترتيب ثم التبريد في الماء.

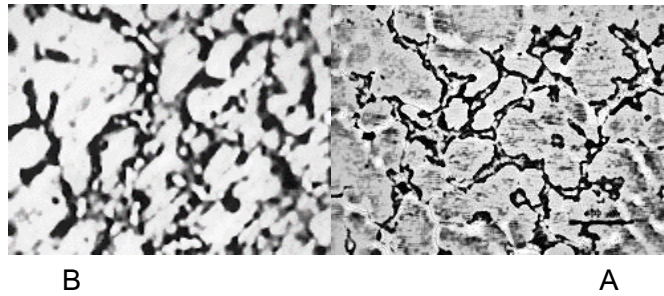


الشكل (7) مخطط الطور للفولاذ الذي يحوي 13% منغنيز وفرن المعالجة الحرارية

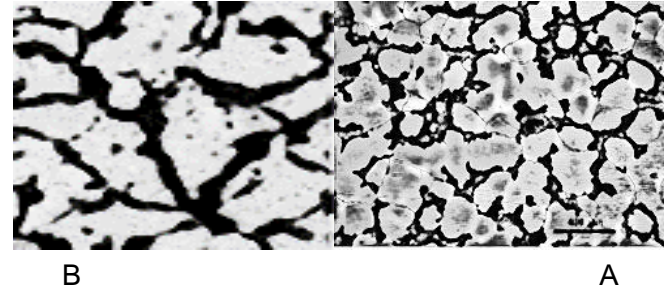
- تبيّن الأشكال المجهرية للعينات قبل وبعد المعالجة الحرارية بنسبة تكبير 200 ثم شرح هذه البنى:



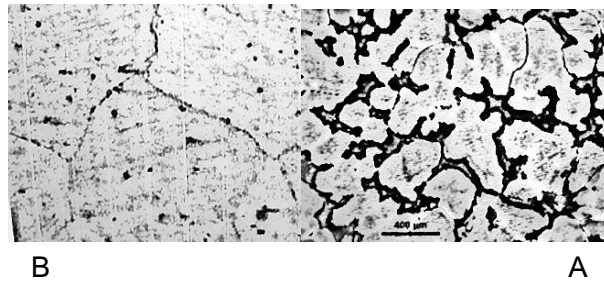
الشكل (8) (A) البنية المجهرية للعينه دون معالجة من الحالة الأولى، (B) البنية المجهرية للعينه المسخنة للدرجة 1000 مئوية من الحالة الأولى بفترة إبقاء 60 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكريبيدات 40% تنفصل في حدود الحبيبات



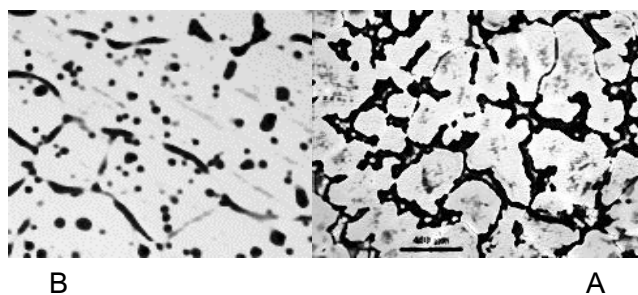
الشكل (9) (A) البنية المجهرية للعينه دون معالجة من الحالة الأولى، (B) البنية المجهرية للعينه المسخنة للدرجة 1075 مئوية من الحالة الأولى بفترة إبقاء 45 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكريبيدات 35% تنفصل في حدود الحبيبات



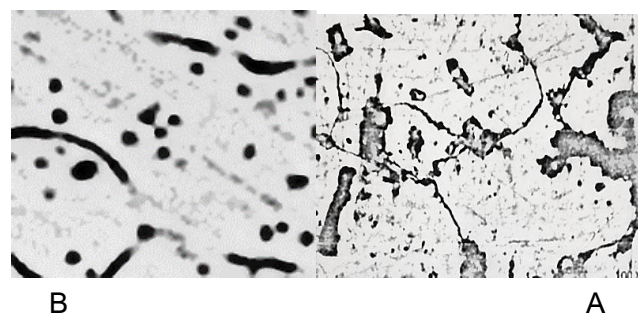
الشكل (10) (A) البنية المجهرية للعينه دون معالجة من الحالة الأولى، (B) البنية المجهرية للعينه المسخنة للدرجة 1150 مئوية من الحالة الأولى بفترة إبقاء 15 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكريبيدات 30% تنفصل في حدود الحبيبات



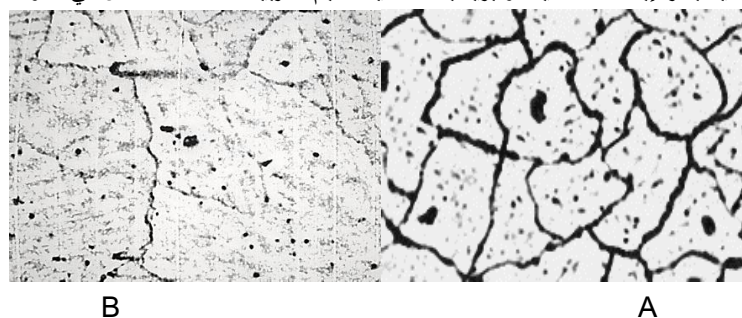
الشكل (11) (A) البنية المجهرية للعينه دون معالجة من الحالة الثانية، (B) البنية المجهرية للعينه المسخنة للدرجة 1000 مئوية من الحالة الثانية بفترة إبقاء 60 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكريبيدات 20% تنفصل في حدود الحبيبات



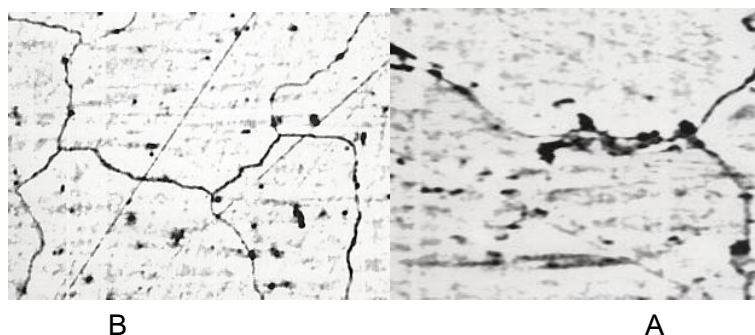
الشكل (12) (A) البنية المجهرية للعينة دون معالجة من الحالة الثانية، (B) البنية المجهرية للعينة المسخنة للدرجة 1075 مئوية من الحالة الثانية بفترة إبقاء 45 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكرييدات 17% تنفصل في حدود الحبيبات



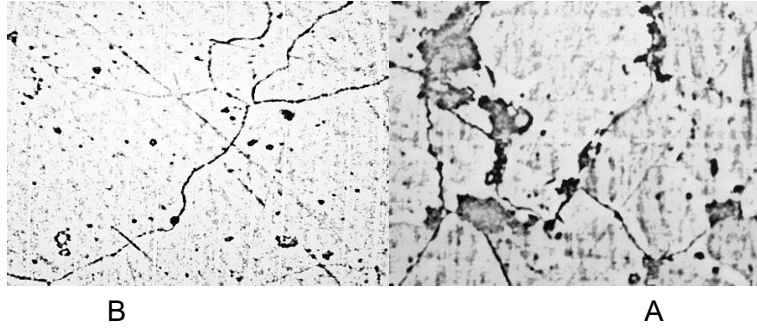
الشكل (13) (A) البنية المجهرية للعينة دون معالجة من الحالة الثانية، (B) البنية المجهرية للعينة المسخنة للدرجة 1150 مئوية من الحالة الثانية بفترة إبقاء 30 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكرييدات 15% تنفصل في حدود الحبيبات



الشكل (14) (A) البنية المجهرية للعينة دون معالجة من الحالة الثالثة، (B) البنية المجهرية للعينة المسخنة للدرجة 1000 مئوية من الحالة الثانية بفترة إبقاء 60 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكرييدات 12% تنفصل في حدود الحبيبات



الشكل (15) (A) البنية المجهرية للعينة دون معالجة من الحالة الثالثة، (B) البنية المجهرية للعينة المسخنة للدرجة 1075 مئوية من الحالة الثانية بفترة إبقاء 45 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكرييدات 10% تنفصل في حدود الحبيبات



الشكل (16) (A) البنية المجهرية للعينة دون معالجة من الحالة الثالثة، (B) البنية المجهرية للعينة المسخنة للدرجة 1150 مئوية من الحالة الثانية بفترة إبقاء 30 دقيقة وتبريد بالماء حيث حجم الكريبيدات 5% تفصل في حدود الحبيبات

• شرح البنى المجهرية

من أهم خواص الفولاذ أنه يتبلور أثناء التجمّد بحيث تنتظم ذراته بشبكة بلورية مكعبية متمركزة حجماً (حديد دلتا δ)، وعند انخفاض درجة حرارته إلى حوالي 1400 مئوية يتحول انتظام الذرات إلى الشكل المكعب المتمركز وجهياً ويسمى حديد غاما γ أو الأوستنيت والذي يتحول من جديد إلى الشبكة البلورية المتمركزة حجماً عند الدرجة 910 مئوية ويسمى حديد الفا α أو الفريت. تختلف الأشكال الثلاثة بقدرتها على إذابة الكربون والعناصر الأخرى لتشكيل المحاليل الصلبة، والجدير بالذكر أنّ الأوستنيت يمكن أن يتواجد في درجة الحرارة العادية في أنواع من الفولاذ السبائكي كالفولاذ الغني بالمنغنيز.

إنّ البنية المجهرية للعينة دون معالجة حرارية من الحالة الأولى هي بنية أوستنيتية غير متجانسة فيها العديد من الكريبيدات بشكل شبكة في المادة الحاضنة وعلى حدود الحبيبات مما يجعل الفولاذ قاسٍ جداً لكنّه أكثر عرضةً للكسر. والبنية المجهرية للعينة دون معالجة حرارية من الحالة الثانية تحوي شبكة من الكريبيدات أيضاً كما الحالة الأولى لكن بحجم كريبيدات أقل من الحالة الأولى.

البنية المجهرية للعينة دون معالجة حرارية من الحالة الثالثة حيث نلاحظ أنّ البنية دون معالجة حرارية أيضاً أوستنيتية غير متجانسة وتحوي شبكة من الكريبيدات في المادة الحاضنة الأوستنيتية وعلى حدود الحبيبات لكن بكمية أقل من الحالة الأولى والثانية وهذا مؤذي جداً للفولاذ حيث يصبح بدرجة عالية من المساواة لكنّه أكثر عرضةً للكسر كما ذكرنا سابقاً. تهدف المعالجة الحرارية لإذابة الكريبيدات وتنعيمها وتنظيم توزعها في البنية المجهرية للحصول على خواص ميكانيكية أفضل. إنّ البنية المجهرية للعينات المعالجة حرارياً تحوي كريبيدات بحجم أقل من العينات غير المعالجة حرارياً تفصل في حدود الحبيبات ونلاحظ انخفاض تركيز الكريبيدات في المادة الحاضنة الأوستنيتية وزيادتها على حدود الحبيبات مما يجعل فولاذ هادفيدل المعالج أفضل من غير المعالج لكنّه يبقى حاوياً على كمية من الكريبيدات والتي تسيء للفولاذ وتجعله أكثر عرضةً للكسر (متانة صدم منخفضة).

7- اختبار العينات الخاضعة للمعالجة الحرارية :

الجدول (6) القساوة ومعدل الاهتراء للحالات الثلاثة (كل حالة 3 عينات) بعد المعالجة الحرارية أي 9 عينات

جهاز القياس : اختبار الاهتراء (الرمال الجاف-قرص مطاطي قطره 20 cm) محيط الاهتراء : 1436 m			
التاريخ : 6/6/2020 2.00 PM نمط الاختبار B			
معطيات الاختبار (زمن الاختبار 7 دقائق)			
وصف المادة : فولاذ هادفيلد تم تشكيله بالسباكة الرملية (حالة 1) تم إبقاء العينات بالرمال لمدة ساعة) ثم إجراء المعالجة الحرارية.			
درجة الحرارة : درجة حرارة الغرفة 25 مئوية			
قساوة المادة : 462 HV – 464 HV – 463 HV			
3	2	1	رقم العينة من الحالة الاولى
130 N	130 N	130 N	حمل الاختبار :
2000	2000	2000	عدد الدورات :
300-400	300-400	300-400	تدفق الرمل gr/min
100.3096	99.6373	95.4535	الكتلة الابتدائية gr
100.203	99.5285	95.3458	الكتلة النهائية gr
0.10669	0.10882	0.10776	الخسارة بالكتلة gr
7.43	7.43	7.43	الكثافة gr/cm ³
14.3600	14.6472	14.5036	خسارة الحجم 1000 X mm ³
0.0100	0.0102	0.0101	معدل الاهتراء = خسارة الحجم / 1436
0.0101			متوسط معدل الاهتراء
وصف المادة : فولاذ هادفيلد تم تشكيله بالسباكة الرملية (حالة 2) تبريد العينات في الهواء) ثم إجراء المعالجة الحرارية.			
درجة الحرارة : درجة حرارة الغرفة 25 مئوية			
قساوة المادة : 498 HV – 503 HV – 500 HV			
3	2	1	رقم العينة من الحالة الثانية
97.4300	96.6472	94.68779	الكتلة الابتدائية gr
97.3223	96.5411	94.5843	الكتلة النهائية gr
0.10776	0.10562	0.10349	الخسارة بالكتلة gr
14.5036	14.2164	13.9292	خسارة الحجم 1000 X mm ³
0.0101	0.0099	0.0097	معدل الاهتراء = خسارة الحجم / 1436
0.0099			متوسط معدل الاهتراء
وصف المادة : فولاذ هادفيلد تم تشكيله بالسباكة الرملية (حالة 3) تبريد العينات بشكل سريع في الماء) ثم إجراء المعالجة الحرارية.			
درجة الحرارة : درجة حرارة الغرفة 25 مئوية			

قساوة المادة : 612 HV – 610 HV – 608 HV			
3	2	1	رقم العينة من الحالة الثالثة :
100.1025	99.6034	100.2014	الكتلة الابتدائية gr
100.0033	99.5000	100.1001	الكتلة النهائية gr
0.09922	0.10349	0.10136	الخسارة بالكتلة gr
13.3548	13.9292	13.642	خسارة الحجم $1000 \times mm^3$
0.0093	0.0097	0.0095	معدل الاهتراء = خسارة الحجم / 1436
0.0095			متوسط معدل الاهتراء

نلاحظ زيادة مقاومة الاهتراء مع زيادة القساوة وعلى الرغم من أن وجود الكرييدات يزيد القساوة إلا أنه بالمعالجة الحرارية زادت القساوة مع نقصان الكرييدات كون الكرييدات تنقص متانة الصدم. يزيد الحمل المطبق وسرعة الاحتكاك من معدل الاهتراء.

8- اختبار متانة الصدم ونتائجه بعد المعالجة الحرارية

باختبار الصدم حسب شاربي وتلم بشكل حرف V (سبق شرحه) تبين لنا أن متانة الصدم للعينات (كل حالة 3 عينات) بعد المعالجة الحرارية أي 9 عينات كما يلي :

- الحالة (1) : 132 جول - 134 جول - 133 جول والمتوسط الحسابي 133 جول.
 الحالة (2) : 140 جول - 143 جول - 137 جول والمتوسط الحسابي 140 جول.
 الحالة (3) : 143 جول - 147 جول - 146 جول والمتوسط الحسابي 146 جول.

الجدول (7) مقارنة خواص العينات قبل وبعد المعالجة الحرارية

القيم المرجعية في الدراسات المرجعية و ASM Metals Handbook Desk Edition 2001 بعد المعالجة الحرارية	المتوسط الحسابي للعينات الثلاثة بعد المعالجة الحرارية	المتوسط الحسابي للعينات الثلاثة قبل المعالجة الحرارية	الخاصية	الحالة
تتراوح قيم القساوة عند التبريد بالماء بعد المعالجة الحرارية بين 400-700 HV	463	454	القساوة HV	1 تبريد في الرمل لمدة ساعة بعد الصب
	0.0101	0.1024	معدل الاهتراء mm^3	
	133	37	متانة الصدم J	
تتراوح قيم متانة الصدم عند التبريد بالماء بعد المعالجة الحرارية بين 120-150 J	500	486	القساوة HV	2 تبريد في الهواء بعد الصب
	0.0099	0.0101	معدل الاهتراء mm^3	
	140	34	متانة الصدم J	
تتراوح قيم متانة الصدم عند التبريد بالماء بعد المعالجة الحرارية بين 120-150 J	610	552	القساوة HV	3 تبريد في الماء بعد الصب
	0.0095	0.00982	معدل الاهتراء mm^3	
	146	35	متانة الصدم J	

النتائج والمناقشة:

- 1- تزداد قساوة فولاذ هادفيلد كلما كانت سرعة التبريد اكبر بعد عملية الصب وبالتالي زادت مقاومة الاهتراء مع انخفاض في المتانة الصدمية أما بإجراء المعالجة الحرارية فارتفعت المقاومة الصدمية والقساوة (مقاومة الاهتراء) خاصة في الحالة الثالثة حيث التبريد بالماء بعد الصب وتمت المعالجة الحرارية حيث وسط التبريد الماء وسبب ذلك هو أنّ التبريد السريع في الماء يؤدي لتحلل الكربون وتوزع الكريبيدات بشكل منسق ومنتظم ضمن المادة الحاضنة الأوستنيتية ويمنع تشكلها على حدود الحبيبات، كما يزيد من سرعة التجمد.
- 2- إنّ وجود الكريبيدات على حدود الحبيبات والناجمة عن صب فولاذ هادفيلد يؤدي لزيادة الهشاشة وقابلية الكسر نظراً لترسب الكربون بسبب سرعة التبريد المرتفعة ولذلك تهدف المعالجة الحرارية لإذابة هذه الكريبيدات وبالتالي صلاحية فولاذ هادفيلد للعمل.
- 3- أدى تطبيق ظروف تبريد متنوعة بعد الصب (الإبقاء في الرمل لمدة محددة أو نزع المسبوكة من الرمل مباشرةً أو التبريد الفوري في الماء) إلى توفير في زمن المعالجة الحرارية في الفرن إلى أقل من ساعة لكل حالة وبالتالي توفير في التكلفة الإقتصادية.
- 4- مقارنة نتائج البحث مع ملخص الدراسات المرجعية :

الجدول (6) مقارنة نتائج البحث مع الدراسات المرجعية

الدراسات المرجعية	البحث
الدراسة 3 تزداد مقاومة الاهتراء عند المعالجة الحرارية بالتسخين للدرجة 1050 مئوية والإبقاء 24 دقيقة ثم التبريد بالماء.	زادت مقاومة الاهتراء بتغيير بارامترات المعالجة الحرارية (درجة حرارة التسخين 1000-1075-1150 وزمن الإبقاء 60-45-30 دقيقة على الترتيب)
الدراسة 8 تمّ التسخين للدرجة 1000 مئوية والإبقاء 120 دقيقة في الدرجة 700 مئوية ثم التبريد بالماء فازدادت مقاومة الاهتراء.	تحسّنت خواص القساوة (مقاومة الاهتراء) والصدم مع نقصان حجم الكريبيدات
الدراسة 7 زيادة حجم الكريبيدات يقلل القساوة ومقاومة الاهتراء.	
الدراسة 2 إزالة الأوكسجين لفولاذ هادفيلد مع الألمنيوم والتيتانيوم شكلت بنية خشنة وبحجم حبيبية ثلاث أضعاف من العينات غير مزالة الأوكسجين.	
الدراسة 5 كلما زاد محتوى الملح في محلول النقسية زاد معدل التبريد وقُيّد تشكل الكريبيدات في حدود الحبيبات.	تمّ استخدام محلول نقسية واحد وهو الماء (تبريد سريع) لأنّ سرعة تبريد الفولاذ في الماء هي الأعلى 1300 درجة بالثانية في درجة الحرارة العادية 25 مئوية
الدراسة 4 تتحسن السيولة برفع درجة الحرارة فوق 1500 مئوية بمراعاة بطانة الفرن وعند الصب في درجة حرارة بين 1400 إلى 1450 مئوية ستفصل الكريبيدات داخل البنية وتحسن خواص الاهتراء لأسنان الكسارات لكن تقلل درجة حرارة الصب المنخفضة من سيولة المعدن المصهور وتؤدي لعيوب، وتكاليف تشغيل عالية.	تمّ الصب عند الدرجة 1600 مئوية تقريباً وقياس درجة الحرارة بجهاز الأشعة تحت الحمراء بخطأ 1.5%

البحرث	الدراسات المرجعية
تم اعتماد المعالجة الحرارية والتقسية في وسط التبريد الماء	الدراسة 6 تتحسن مقاومة الاهتراء عند سفع (ضرب) العينات بالكرات مع زيادة زمن السفع عن طريق التصلد الانفعالي والطبقة البلوية النانوية السطحية.
تم الصب في القوالب الرملية ولم يلاحظ تشققات عند المعالجة الحرارية	الدراسة 10 يمكن تشكل التشققات خلال المعالجة الحرارية وليس فقط أثناء التصلب. ويمكن لنوى بدء الكسر أن تتشكل في المسبوكات المستثمرة، كما ازداد معامل التصلب عن الصب في القالب المعزول مما زاد زمن التصلب وحجم الكرييدات.
تمت المعالجة الحرارية لتحسين خواص القساوة ومتانة الصدم	الدراسة 9 أثبتت فشل فولاذ هادفيلد أثناء التصنيع بسبب التقسية الجزئية مما سبب الهشاشة وقلة تحمل الصدمات أثناء التصلد الانفعالي

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- يُنصح بإجراء المعالجات الحرارية لتحسين الخواص الميكانيكية وهي مقاومة الاهتراء ومتانة الصدم حيث ازدادت القساوة (مقاومة الاهتراء) وازدادت المتانة الصدمية.
- 2- تغيير بارامترات المعالجة الحرارية (درجة حرارة التسخين - زمن الإبقاء - وسط التبريد) ومقارنة النتائج.
- 3- إدخال عناصر سبائكية على فولاذ هادفيلد أثناء تشكيله بالصهر لتحسين الخواص دون الحاجة إلى المعالجة الحرارية.
- 4- استخدام برامج حاسوبية لمعرفة أماكن تركيز الإجهادات الحرارية، أو تغيير شكل سن الحفر أو مطرقة الكسر بما يحقق خواصاً وعمراً أفضل.

References:

- [1] Y. ono, and S. takaki. Mechanism of embrittlement in hadfield steel, 2000.
- [2] Agunsoye, J.O. , Talabi, S.I., Bello, O. Wear characteristics of heat-treated Hadfield austenitic manganese steel for engineering application, 2015.
- [3] S. Hosseini and M. Bagher Limooei. Optimization of Heat Treatment to Obtain Desired Mechanical Properties of High Carbon Hadfield Steels, , 2011.
- [4] Welin and Liang. effect of surface work hardening on wear behavior of hatfield steel, 2007.
- [5] School of engineering. On deoxidation practice and grain size of austenitic manganese steel, 2017.
- [6] Youn-Soo Ham,†Jeong-Tae KimSi-Young KwakJeong-Kil. Critical cooling rate on carbide precipitation during quenching of austenitic manganese steel, 2010.
- [7] S. Aribo, K.K. Alaneme, D.O. Folorunso and F.O. Aramide. Effect of Precipitation Hardening on Hardness and Microstructure of Austenitic Manganese Steel , 2010.
- [8] Olawale J. O.*, Ibitoye S. A., Shittu M. D. Workhardening Behaviour and Microstructural Analysis of Failed Austenitic Manganese Steel Crusher Jaws, 2013.
- [9] A. Chojecki I. Telejko. Cracks in high-manganese cast steel, 2009.
- [10] S.A. Balogun, D.E. Esezobor, J.O. Agunsoye. Effect of Melting Temperature on the Wear Characteristics of Austenitic Manganese Steel, 2008.
- [11] Marcel Dekker, Mechanical Wear Fundamentals and Testing. Raymond G. Bayer, Copyright 2004, Inc. All Rights Reserved.

[12] ASM Vol 18. Friction, Lubrication and Wear Technology.

[13] ASM Handbook, Volume 1 Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloy ,01 Sep 2005 .

[14] *Trans Tech Publications, Switzerland* Wear behavior of hardfacing deposits on Hadfield steel *Key Engineering Materials Vol. 658 (2015) pp 172-176 (2015)*.

[15] American Society For Testing And Materials: Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. Copyright 2007.