

## إعداد الحسابات اللازمة لتشكيل سبيكة من الحديد الصب الأبيض عالي الكروم والمضاف له معدني

### المنغنيز والنيوبيوم

أ د علي هتره \* ، د م احمد سلامة \*\* م نسيم احمد الزاهر \*\*\*

( الإيداع: 16 نيسان 2025، القبول: 1 تموز 2025 )

#### الملخص:

تمت إضافة معدني النيوبيوم والمنغنيز إلى سبيكة الحديد الصب الأبيض عالي الكروم المصنوعة منها أسنان الحفارات ومطارق الكسارات وذلك لاختبار السبيكة الناتجة في التطبيقات الصعبة، وتم بيان أهم التفاعلات الكيميائية التي تحدث أثناء الصهر وكميات الحرارة المنطلقة من هذه التفاعلات بالإضافة لإجراء الحسابات اللازمة لهذه الإضافات لضبط النسب الناتجة وفق ما هو مخطط له.

بيّنت النتائج احتراق كمية من المكونات بفعل الصهر ووجود أكاسيد معدنية متعددة ضمن الخبث كما تم حساب نسب الغازات في المصهور خاصة النتروجين والأكسجين حيث نتج عن الحسابات أن التفاعلات تلقائية بنسبة قليلة جداً من الأكسجين وحد ذوبان النتروجين منخفض جداً في المصهور. ونتيجة الحسابات حددنا التفاعلات بنوعها التلقائية وغير التلقائية وطرائق تنشيطها وضبطها للحصول على التركيب الكيميائي المحدد للسبيكة المطلوبة.

**الكلمات المفتاحية:** السبيكة، الحديد الصب الأبيض عالي الكروم، احتراق، منغنيز، نيوبيوم.

\* أستاذ في قسم هندسة التصميم والإنتاج، جامعة اللاذقية ،  
\*\* أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج، جامعة اللاذقية  
\*\*\* طالب دكتوراه في قسم هندسة التصميم والإنتاج، جامعة اللاذقية،

## Preparing the necessary calculations to forming an alloy of high-chromium white cast iron to which manganese and niobium are added

Prof. Dr. Ali Hatra \*, Dr. M. Ahmed Salama \*\*, M. Nassim Ahmed Al-Daher\*\*\*

(Received: 16 April 2025, Accepted: 1 July 2025)

### ABSTRACT:

Work was conducted on adding niobium and manganese metals to the high-chromium white cast iron alloy from which excavator teeth and crusher hammers are made, with the aim of testing the resulting alloy in difficult applications. The most important chemical reactions that occur during smelting and the amounts of heat released from these reactions were explained, in addition to performing the necessary calculations for these additions to control. The resulting proportions are according to what was planned.

The results showed the combustion of a quantity of components due to smelting and the presence of multiple metal oxides within the slag. The calculations of the proportions of gases in the melt, especially nitrogen and oxygen, were improved. The calculations resulted in the reactions being spontaneous with a very small percentage of oxygen and the dissolution limit of nitrogen in the melt. As a result of the calculations, we identified the reactions, both spontaneous and non-spontaneous, and methods for activating and controlling them to obtain the specific chemical composition of the required alloy.

**Keywords:** Alloy, high chromium white cast iron, combustion, manganese, niobium.

---

\*Professor in the Department of Design and Production Engineering, University of Latakia.

\*\*Assistant Professor in the Department of Design and Production Engineering, University of Latakia

\*\*\*PhD student in the Department of Design and Production Engineering, University of Latakia.

### 1-المقدمة

يعتبر الحديد الصب الأبيض نوعاً خاصاً من الحديد الصب ويتميز بمقطع أبيض اللون عند انكساره ويحوي على العناصر حسب الجدول (1):

الجدول رقم (1): التركيب الكيميائي للحديد الصب الأبيض (Li, 2011)

C	Si	Mg	P	S
2-2.3%	0.85-1.2%	0.1-0.4%	0.05-0.2	0.12-0.35%

واللون الأبيض للحديد الصب الأبيض نتيجة لوجود الكربون في الحديد بشكل كبريد (سيمنتيت) ويخلو هذا النوع من الغرافيت ويظهر في البنية المجهرية سطح بلوري أبيض مكسر لأن الكسر يحدث على طول صفائح كبريد الحديد، وهو ذو مقاومة شد منخفضة مقارنة مع مقاومة ضغط عالية وهو صعب التشغيل خاصة عند ارتفاع نسبة كبريد الحديد. إن سبائك الحديد والكربون الخالية من الشوائب غير موجودة عملياً لصعوبة التخلص من الكامل من الكبريت والفسفور والسيليكون وغيرها خلال الصهر لكن نسعى دوماً لتقليل كميتها حسب التطبيق المطلوب. تبلغ مقاومة شد الحديد الصب الأبيض 700 Mpa والقساوة حوالي 400-500 HB ويستعمل في التطبيقات ذات الاحتكاك العالي بسبب قساوة سطحه العالية كأغطية عجلات السيارات واسنان الحفر ومطارات الكسارات وغيرها وفي إنتاج الحديد المطاوع.

تستخدم سبيكة الحديد الصب الأبيض **عالي الكروم** في أكثر التطبيقات التي تتطلب قساوة عالية خاصة في اسنان الحفارات ومطارات الكسارات. وقد قامت الجمعية الأمريكية لاختبار المواد بتصنيفها كما غيرها من السبائك والمواد وذلك وفق المواصفة ASTM A532-75a إذ تمّ التصنيف حسب نسبة الكروم ومجموع نسبة الشوائب أقل من 0.15%. تبلغ كثافة الحديد الصب الأبيض عالي الكروم 7.4 gr/cm<sup>3</sup> (ASM Vol 04)

والجدول (2) الخواص الميكانيكية لهذه السبيكة والجدول (3) يبين خواص معدني النيوبيوم والمنغنيز:

الجدول رقم (2): الخواص الميكانيكية للحديد الصب الأبيض عالي الكروم حسب ASTM

1965 - 1380	إجهاد حد الخضوع للضغط Mpa
850	مقاومة الشد Mpa
550 - 775	القساوة HV
120 - 125	طاقة الصدم J
0.985-0.0655	معدل الاهتراء

الجدول رقم (3): خواص كل من النيوبيوم والمنغنيز (ASM Vol 04)

العنصر	درجة حرارة انصهاره	كثافته	تأثيره على الحديد الصب الأبيض
النيوبيوم	2480 مئوية	8.57 gr/cm <sup>3</sup>	يزيد مقاومة التآكل والقساوة وله قابلية عالية جداً لتشكيل الكريبيدات ويزيد الموصلية الحرارية مما يحسن الاستجابة للمعالجة الحرارية
المنغنيز	1244 مئوية	7.21 gr/cm <sup>3</sup>	يزيد متانة الصدم ويخلص الحديد من الأوكسجين ويقلل المرونة

تأتي أهمية البحث من أهمية هذا النوع من الحديد الصب في صناعة التعدين والبنية التحتية والمجالات المختلفة الصناعية والعسكرية وضرورة تبديل أدوات الكسر والحفر بسبب قوة الصدم والاهتراء العالي خلال العمل، لذلك لابد من زيادة العمر الفعلي للأدوات في التطبيقات الشاقّة بتحسين هذه الخواص الميكانيكية للسبيكة ويجب اجراء الحسابات الحرارية اللازمة والتفاعلات الكيميائية ودراسة النسب المضافة بعناية والتي تعتبر أساس جودة التصنيع ومن هنا تتضح أهمية البحث.

الدراسات المرجعية:

Kubaschewski & Alcock (1979) – Metallurgical Thermochemistry

يتناول الحسابات الترموديناميكية اللازمة لفهم التفاعلات المعدنية، بما فيها حسابات الطاقة الحرة ( $\Delta G$ )، حرارة التكوين ( $\Delta H$ )، والانتروبي ( $\Delta S$ ). يحتوي على جداول جاهزة لحساب توازن التفاعلات المختلفة مثل اختزال الأكاسيد بالكربون، ويعتبر مرجعاً أساسياً لفهم التفاعلات التي تجري أثناء الصهر. (Kubaschewski & Alcock, 1979)

Gaskell (2012) – Introduction to the Thermodynamics of Materials

يشرح حسابات الطاقة الحرة، الأنشطة، وتوازن التفاعلات في المواد المعدنية. يُستخدم على نطاق واسع لفهم كيفية حساب الأنشطة (activity) والعلاقات المرتبطة بها مثل  $\mu = \mu^\circ + RT \ln a$ . يفيد بشكل مباشر في حسابات نشاط MnO و SiO<sub>2</sub> في البحث. (Gaskell, 2012)

HSC Chemistry Software – Outotec

برنامج حاسوبي مخصص لحسابات الطاقة الحرة والكمية في التفاعلات المعدنية. يُستخدم في الصناعة والبحث العلمي لتوقع تفاعلات الصهر، حساب حرارة التفاعل، توازن الغازات، وتكوين الأكاسيد، مما يجعله أداة مكملة قوية للحسابات اليدوية. (HSC Chemistry, Outotec)

Mills (2002) – Thermophysical Properties of Alloys

يحتوي على بيانات حرارية فيزيائية موثوقة لعدد من السبائك التجارية، ويشمل أساليب لحساب التوصيل الحراري، حرارة الانصهار، وسلوك التفاعل مع القوالب. مفيد عند حساب الفوائد الحرارية الناتجة عن القالب والتبريد. (Mills, 2002)

Poirier & Geiger (1994) – Transport Phenomena in Materials Processing

يشرح العلاقة بين الحرارة، الكتلة، والانتقال في أثناء صهر المواد المعدنية. يتضمن فصلاً حول تأثير الحرارة والغازات مثل N<sub>2</sub> و H<sub>2</sub> على مصهورات الحديد والسبائك أثناء المعالجة. (Poirier & Geiger, 1994)

عام 2008، طبق Parente معالجة حرارية مناسبة على منتج من حديد الصب الأبيض عالي ومنخفض الكربون للحصول على منتج ذي مقاومة ومتانة كبيرتين ووجد أن سلوك الضغط عند درجة حرارة 500 مئوية ممتاز لهذه المنتجات والتي لديها مقاومة ضغط عالية مع ليونة، وتؤدي زيادة الكروم والكربون للحصول على منتج صلب وقوي مع استتالة منخفضة قليلاً (F. Parente, 2008)

عام 2007، نتج عن بحث Wu ما يأتي: يقوم جزيء الكريد TiC في الحديد الصب عالي الكروم بدور بذور تبلور للكربيدات M7C<sub>3</sub> الأولية من خلال تحديد قيمة التباين بين أبعاد هياكلها الشبكية. فإذا كانت أصغر من 6% فإن قابلية تشكيل بذور تبلور تكون كبيرة، وإذا كانت بين 6-12% فإن القابلية أقل، وتكون ذات قابلية مستحيلة إذا كان التباين أكبر من 12%. (Wu, 2007)

عام 2001، نتج عن بحث Arkan أن إضافة التيتانيوم إلى الحديد الصب الأبيض عالي الكروم تؤدي لتشكيل حبيبات ناعمة والتي تبين أنها كربيدات التيتانيوم ولوحظ ازدياد مقاومة الاهتراء بنسبة 30% للسبيكة عند إضافة Ti بنسبة 0.38% وعملية السقاية، وبعد معالجة المراجعة تتخفف الخصائص المدروسة بالنسبة للسقاية. (Arkan, 2001)

عام 2014، نتج عن بحث Agunsoyer أنه عند تقسية الحديد الصب الأبيض عالي الكروم بالزيت وجد أن متانة الكسر ثابتة بين مجال 2.4-2.6 % كربون، وتتحكم بمتانة الكسر عند نسبة كربون عالية شبكة كبريدات منعزلة تمثل روابط ضعف في البنية المجهرية. وتحفز روابط الضعف هذه الانخلاعات وتضعف من متانة المادة. (Agunsoyer, 2014)

عام 2012، نتج عن بحث Studnicki طريقة جديدة في البحث بعملية التبلور بثلاثة اختبارات ومكنت هذه الطريقة من توصيف حساسية الحديد الصب لحركية التبريد (Studnicki, 2012)

عام 2019 استنتج الباحثان Abaad K, Walaa A أن تسخين الحديد الصب الأبيض عالي الكروم إلى الدرجة 900 مئوية وإبقاء 30 دقيقة ثم التبريد بالزيت والإرجاع عد الدرجة 550 مئوية لمدة 4 ساعات قد حسن القساوة والمتانة ومقاومة الاهتراء (Walaa A, 2019)

عام 2020، استنتج Abaad K, Albetar زيادة متانة الصدم ومقاومة الاهتراء مع إضافة التيتانيوم إلى الحديد الصب الأبيض عالي الكروم عن طريق الصب في القوالب المعدنية. (Albetar, 2020)

عام 2012 قام الدكتور أحمد سلامة والدكتورة ميساء شاش والمهندس حسام شعبان، بالتعرف إلى السلوك الميكانيكي لسبائك حديد الصب المختلفة المستعملة في تبطين مطاحن الاسمنت عن طريق إعداد نموذج رياضي لدراسة السلوك المرن اللدن لهذه السبائك وبشكل خاص المستخدم منها في معمل إسمنت طرطوس. تضمنت الدراسة تحضير العينات بأبعاد محددة وتم قياس قساوة العينات واختبارها على الصدم ثم قياس قساوتها ثانية لمعرفة أثر الصدم فيها.

بسبب صعوبة إجراء اختبار الشد والضغط على العينات المدروسة وصعوبة التنبؤ بتغير خواصها الميكانيكية بفعل التصلد الانفعالي ، تم إعداد نموذج رياضي لدراسة السلوك الميكانيكي معتمدين في اختبار البارامترات الأساس للنموذج على قيم القساوة وبيئت النتائج العملية أن هذا المعدن يتصلد بفعل الصدم وما ينتج عنه من تغير حد الخضوع ومتانة المعدن كما أعطى النموذج نتائج قريبة من النتائج العملية. (Salamah&Chach, 2012)

قامت الدكتورة ميساء شاش والمهندس محمد حرفوش عام 2016 بدراسة تجريبية لمعرفة تأثير تغلغل مادة اللحام على قيمة القساوة السطحية في لحامات التقسية السطحية لمطارق كسارة كلينكر، من خلال تحضير عينات من معدن المطارق X120Mn12 (فولاذ أوستنيتي عالي المنغيز 12%)، تم تقسيته سطحياً باستعمال أنواع مختلفة من قضبان لحام التقسية السطحية، وتم تغيير البارامترات الخاصة باللحام كشدة التيار وجهة القطبية وتم قياس نسبة التغلغل واختبار العينات على القساوة ودراسة العلاقة بين التغلغل والقساوة وأثرها في مقدار التآكل الاحتكاكي.

أظهرت الدراسة أن تخفيض تيار اللحام خفّض من الدخل الحراري الذي أدى إلى تخفيض نسبة تغلغل اللحام كما لوحظ زيادة قيم القساوة السطحية للمعدن المقسى ومقاومة التآكل الاحتكاكي مع انخفاض نسبة التغلغل، في حين أن القطبية الموجبة لنيار اللحام أدت إلى زيادة نسبة التغلغل ومن ثم انخفاض قيم القساوة لكنها أعطت اللحام جودة عالية من ناحية تجانس الشكل وتقليل العيوب كما بيّنت النتائج أن زيادة نسبة الكربون والكروم في قضيب اللحام المستعمل للتقسية تؤثر إيجاباً في قيمة القساوة. (Chach&Harfoush, 2016)

قامت م رولا قراجة، عام 2017 باستنتاج معظم المكونات المستعملة بصناعة القوالب تخضع لمعالجات حرارية تسبب تشوهات بالشكل والأبعاد مما يستدعي التشغيل اللاحق غير المجدي اقتصادياً، عالج البحث مشكلة التغيرات في القيم التصميمية للإزواج بين المحاور والجلب المستعملة في صناعة القوالب، إذ أن اخضاع المنتجات للمعالجة الحرارية سبب تشوهات غيرت حالات الزواج من الانتقالي 96/H7 إلى وضع آخر حسب المعالجة وبأشكال وأبعاد ومعادن المكونات. تشير النتائج لوجود علاقة وثيقة بين متغيرات المعالجة المطبقة والتغيرات الحاصلة على طبيعة الإزواج القائمة بين المحاور والجلب، كما توجد قيم مثالية لمتغيرات المعالجة الحرارية يؤدي الالتزام للحد من التغيرات الحاصلة على الإزواج القائمة (Kraja, 2017)

## 2- الهدف

إنّ هدف البحث هو إضافة النيوبيوم والمنغنيز معاً للحديد الصب الأبيض عالي الكروم وفق كميات وحسابات دقيقة تتعلق بكميات الحرارة المنطلقة لبيان التفاعلات بنوعها التلقائية وغير التلقائية في الفرن ويشكّل وضع النيوبيوم والمنغنيز معاً تحدياً شاقاً في الصناعة كما سنرى، وخياراً غير موجوداً في جداول ASTM.

## 3- المواد طرائق البحث

- فرن صهر بسعة أعظمية 1 طن والاستطاعة القصوى 500 KW.
- الرمل المخلوط بالماء والمادة الرابطة (البتونايت) ضمن قوالب رملية.
- آلة القص لإزالة الزوائد المعدنية.
- جهاز التحليل الطيفي Foundry–Master 01M0026 Optik 01M0026.

## مراحل العمل :

1- صهر العينات ضمن فرن اسطواني وأهم التفاعلات التي تحدث عند صهر الحديد الصب الأبيض عالي الكروم بحيث { للغازات، ( ) للخبث، والتي تحتها خط تتحل في المعدن المصهور .

$2\text{Mn} + (\text{SiO}_2) \rightarrow 2(\text{MnO}) + \text{Si}$ (1)	$\text{Mn} + (\text{FeO}) \rightarrow (\text{MnO}) + \text{Fe}$ (2)
$\text{C} + (\text{FeO}) \rightarrow \{\text{CO}\} + \text{Fe}$ (3)	$2\text{C} + (\text{SiO}_2) \rightarrow \text{Si} + 2\{\text{CO}\}$ (4)
$\text{Mn} + (\text{CO}) \rightarrow \text{C} + (\text{MnO})$ (5)	$\text{Si} + 2(\text{FeO}) \rightarrow (\text{SiO}_2) + 2\text{Fe}$ (6)
$\{\text{N}_2\} \rightarrow 2\text{N}$ (7)	$\{\text{H}_2\text{O}\} \rightarrow 2\text{H} + \text{O}$ (8)
$(\text{Nb}_2\text{O}_3) + 3\text{C} \rightarrow 2\text{Nb} + 3\{\text{CO}\}$ (9)	$2\text{Nb} + 3\text{FeO} \rightarrow 3\text{Fe} + (\text{Nb}_2\text{O}_3)$ (10)
$(\text{Cr}_2\text{O}_3) + 3\text{C} \rightarrow 2\text{Cr} + 3\{\text{CO}\}$ (11)	$\text{MoO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Mo} + \{2\text{CO}\}$ (12)
$2\text{Cr} + 3\text{FeO} \rightarrow 3\text{Fe} + (\text{Cr}_2\text{O}_3)$ (13)	$\text{Mo} + 2(\text{FeO}) \rightarrow (\text{MoO}_2) + 2\text{Fe}$ (14)

الصهرة الأولى: تم وضع قطع من العينات **ASTM A532 class III A** يحوي كروم 25% وهي بشكل مجموعة كرات كتلتها 35 Kg كما الشكل (1) وكمية X Kg من المنغنيز و Y Kg من النيوبيوم حيث أن النسب المراد الحصول عليها هي:

Mn (3% - 2.5) Nb, (0.5-0.35)% وتم اختيار هذه النسب كونها غير مدروسة سابقاً إضافةً لخواص كل من معدني النيوبيوم والمنغنيز وأثرهم على الخواص الميكانيكية وعدم وجود هذه المعادن في جداول ASTM 532

$$m = \frac{M(Mn_0 - Mn)}{0.85 Mn1} \text{ Kg}$$

m الكمية المطلوبة من عينات المنغنيز، M كمية المعدن المصهور، Mn<sub>0</sub> نسبة المنغنيز المطلوبة (2.75%)، Mn كمية المنغنيز بالتحليل قبل إضافة عينات المنغنيز، Mn1 محتوى المنغنيز في عينات المنغنيز. و0.85 هو المرود بسبب الأكاسيد المزالة مع الخبث من على سطح المصهور. [11]

$$m = \frac{35(2.75-1.447)}{0.85 \times 69.995} = 0.7665 \text{ Kg}$$

وبنفس الطريقة بالنسبة للنيوبيوم:

$$m = \frac{35(0.49-0.002)}{0.85 \times 69.081} = 0.2908 \text{ Kg}$$

الصهرة الثانية: تم وضع قطع من العينات ASTM A532 class II A يحوي كروم 12% وهي بشكل مجموعة كرات كتلتها 35 Kg كما الشكل (1) وكمية X Kg من المنغنيز وY Kg من النيوبيوم حيث أن النسب المراد الحصول عليها هي:

(0.75-1.5)% Nb, (3-4)% Mn

$$m = \frac{35(3.5-1.447)}{0.85 \times 69.995} = 1.2077 \text{ Kg}$$

وبنفس الطريقة بالنسبة للنيوبيوم:

$$m = \frac{35(1.1-0.002)}{0.85 \times 69.081} = 0.6544 \text{ Kg}$$



الشكل رقم (1): شكل عينة من الحديد الصب الأبيض عالي الكروم

الجدول رقم (4): تصنيف ASTM A532

التصنيف	النوع	التوصيف حسب ASTM	التركيب الكيميائي والنسب المئوية %						
			كربون C	موليبدينوم Mo	نحاس Cu	كروم Cr	منغنيز Mn	سيليكون Si	نيكل Ni
I	A	12% Cr	Min 2.4 Max 2.8	1.0	1.2	Min 11 Max 14	1.5	1.0	0.5
I	B	15% Cr- Mo-LC	Min 2.4 Max 2.8	3.0	1.2	Min 14 Max 18	1.5	1.0	0.5
II	C	15% Cr- Mo-HC	Min 2.8 Max 3.6	3.0	1.2	Min 14 Max 18	1.5	1.0	0.5
II	D	20% Cr- Mo-LC	Min 2 Max 2.6	1.5	1.2	Min 18 Max 23	1.5	1.0	1.5
II	E	20% Cr- Mo-HC	Min 2.6 Max 3.2	2.0	1.2	Min 18 Max 23	1.5	1.0	1.5
III	A	25% Cr	Min 2.3 Max 3	1.5	1.2	Min 23 Max 25	1.5	1.0	1.5

الجدول رقم (5): التحليل الطيفي

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	66.181	2.802	9870.	1.444	0.001	0.001	24.000
2	66.175	2.798	0.983	1.450	0.001	0.001	24.394
Average	66.178	2.800	0.985	1.447	0.001	0.001	9724.1

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	1.486	1.499	0.111	0.047	1.208	0.001	0.0075
2	1.476	1.503	0.131	0.055	1.200	0.003	0.0074
Average	1.481	1.501	0.121	0.051	1.204	002.0	0.0073

	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
1	0.005	0.001	0000.	0.005	0.002	0.004	0.001
2	0.003	0.001	0.000	0.003	0.002	0.002	0.001
Average	0.004	0.001	0.000	0.004	0.002	0.003	0.001

	As	Bi
1	0.000	0.000
2	0.000	0.000
Average	0.000	0.000

وبحيث الرمل متوسط الرطوبة وبخلط جيد مع المادة الرابطة (البننتونايت)، تم الصهر وتجهيز القوالب الرملية ضمن الريازك. وتجفيف القوالب بوساطة حراقات الغاز المنزلي.

يبين الشكل (2)، (3) عينات من المنغنيز وعينات من النيوبيوم والتحليل الطيفي لكل منهما:



الشكل رقم (2): عينات من المنغنيز

الجدول رقم (6): التحليل الطيفي لعينات المنغنيز

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	25.308	0.240	0.370	70.010	0.001	0.002	0.510
2	25.310	0.200	0.330	69.986	0.001	0.001	0.510
Average	25.309	0.220	0.350	69.998	0.001	0.001	0.510

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	0.003	0.101	0.235	0.070	0.008	0.000	0.000
2	0.002	0.100	3.498	0.007	0.007	0.000	0.000
Average	0.002	0.100	3.500	0.007	0.007	0.000	0.000

	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Average	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	As	Bi
1	0.000	0.000
2	0.000	0.000
Average	0.000	0.000



الشكل رقم (3): عينات من النيوبيوم

الجدول رقم (7): التحليل الطيفي لعينات النيوبيوم

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	25.821	0.280	0.300	0.532	0.001	0.002	0.004
2	25.805	0.300	0.320	0.530	0.001	0.001	0.005
Average	25.813	0.240	0.310	0.531	0.001	0.001	0.004

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	0.000	0.003	4.001	005.0	0.002	69.083	0.002
2	0.000	0.001	4.000	0.003	0.001	69.079	0.001
Average	0.000	0.002	4.001	0.004	0.001	69.081	0.001

	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Average	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	As	Bi
1	0.000	0.000
2	0.000	0.000
Average	0.000	0.000

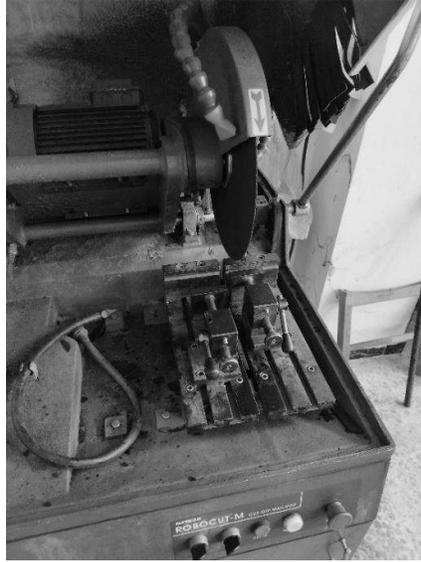
يتواجد في المحلول الصلب للحديد الصب الأبيض عالي الكروم مع المنغنيز والنيوبيوم، كل من {CO}، {N<sub>2</sub>}، {H<sub>2</sub>O} كغازات، وأيضاً كل من أكسيد الحديد، أكسيد المنغنيز، أكسيد الكروم، أكسيد السيليسيوم، أكسيد المولبدنوم، أكسيد النيوبيوم وهي أكاسيد منحلّة في الخبث.

2-تمّت عملية الصب عند الدرجة 1800 مئوية تقريباً من الفرن إلى بوتقة مسخنة ذات ذراعين وتم اختيار هذه الدرجة بناءً على الدراسات المرجعية وبسبب وجود العديد من العناصر السبائكية التي تنصهر بدرجة أعلى من هذه الدرجة وأقل منها لذلك بعد الصهر وتجانس المصهور تم الصب لتأمين السيولة المناسبة للصب. تم صب المصهور المعدني في القوالب الرملية بمساعدة الرافعة الجسرية في المعمل وتوجيه عاملين كل عامل على ذراع، ثم تبريد العينات بالماء العادي بعد التجمّد في كل من الصهرتين. ويبين الشكل (4) قوالب وأفران الصب المستعملة:



الشكل رقم (4): فرن الصهر والصب في احد القوالب الرملية المجهزة

3- تمّ إزالة الزوائد المعدنية باستخدام آلة القص من العينات الناتجة. كما الشكل (5):



الشكل رقم (5): آلة القص

4- تمّ أخذ عينات للتحليل الطيفي.

يبين الجدول (8) و(9) نتائج التحليل الطيفي للصهرتين بوساطة جهاز التحليل الطيفي،

الجدول رقم (8): التحليل الطيفي للعينات المضاف لها معدني المنغنيز 2.75% والنيوبيوم 0.49%

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	64.111	2.800	0.587	2.750	0.001	0.001	24.227
2	64.110	2.799	0.588	2.750	0.001	0.001	24.239
Average	64.110	2.800	0.588	2.750	0.001	0.001	22824.

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	1.478	1.503	0.123	0.052	1.203	0.490	0.0075
2	1.485	1.501	0.117	0.050	1.202	0.492	0.0074
Average	1.479	1.502	0.120	0.051	1.202	0.491	0.0074

	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
1	0.005	0.001	0.000	0.005	0.002	0.004	0.001
2	0.003	0.001	0.000	0.003	0.002	0.002	0.001
Average	0.004	0.001	0.000	0.004	0.002	0.003	0.001

	As	Bi
1	0.000	0.000
2	0.000	0.000
Average	0.000	0.000

الجدول رقم (9): التحليل الطيفي للعينات المضاف لها معدني المنغنيز 3.5% والنيوبيوم 1.1%

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	62.078	2.799	0.987	3.501	0.001	0.001	24.795
2	62.079	2.803	0.986	3.501	0.001	0.001	24.793
Average	62.078	2.801	0.986	3.501	0.001	0.001	24.794

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
1	1.487	1.502	0.148	0.053	1.230	1.195	0.0073
2	1.487	1.503	0.149	0.051	1.226	1.005	0.0074
Average	1.487	1.503	0.149	0.052	1.228	1.100	0.0073

	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
1	0.005	0.001	0.000	0.005	0.002	0.004	0.001
2	0.003	0.001	0.000	0.003	0.002	0.002	0.001
Average	0.004	0.001	0.000	0.004	0.002	0.003	0.001

	As	Bi
1	0.000	0.000
2	0.000	0.000
Average	0.000	0.000

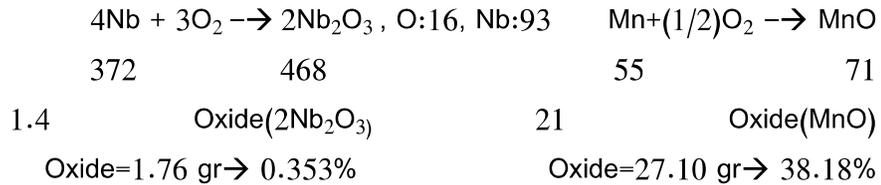
بمقارنة الأوزان المضافة مع النسب الناتجة في التحليل الطيفي حسب الجدول (1)، (2) نلاحظ:  
الصهرة الأولى:

كتلة المنغنيز X وكتلة النيوبيوم Y التي نقصت بالإحتراق والخبث المزال من سطح المصهور:

$$\begin{array}{r} 100 \\ 0.7665 \end{array} \quad X \quad \begin{array}{r} 0.492.75100 \\ 0.2908 \end{array} \quad Y$$

$$X=0.76(2.75)/100=0.021 \text{ Kg} \quad Y=0.2908(0.49)/100=0.0014 \text{ Kg}$$

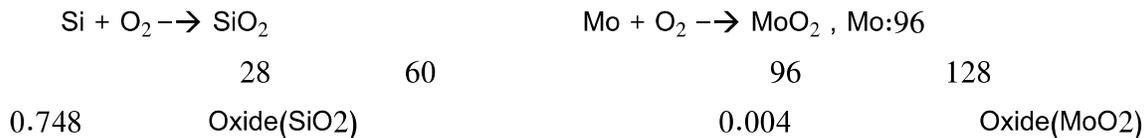
وكتلة أكسيد النيوبيوم هي:



بالنسبة لأكسيد السيليكون:

$$\text{Si in SiO}_2: (0.35 \text{ in Mn specimen}+0.985 \text{ Astm A552})-0.587 \text{ Astm A552 with Mn, Nb} \\ =0.748\%$$

Mo in MoO<sub>2</sub>: (0.002 in Mn specimen+1.481 Astm A552)-1.479 Astm A552 with Mn, Nb  
=0.004%



Oxide=1.602 gr → 2.67%                      Oxide=0.0053 gr → 0.0041%

عند درجة حرارة حوالي 1900 مئوية (2173.15 كلفن) وضغط ثابت 1 atom تكون طاقة جيبس الحرة القياسية هي:

$$\Delta G_i^0 = \Delta H_i^0 + \Delta S.T \dots (*)$$

طاقة جيبس القياسية هي أكبر كمية من الطاقة عند حدوث عملية تحت ضغط ودرجة حرارة ثابتين لكل تفاعل إذ

أن  $\Delta H_i^0$ ,  $\Delta S$  تعطى بجداول خاصة حسب التفاعل، ودرجة الحرارة 2173.15 كلفن في العلاقة (\*)

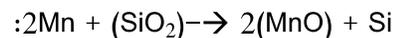
$\Delta G_1^0 = 2900 - 11.18 T = -21395.817$	$\Delta G_2^0 = -40650 + 11.4 T = -15876.09$
$\Delta G_3^0 = 23550 + 21.99 T = 7133.56$	$\Delta G_4^0 = 131300 - 73.96 T = -29426.17$
$\Delta G_5^0 = -64200 + 31.39 T = 4015.178$	$\Delta G_6^0 = 84200 - 29.98 T = 19048.96$
$\Delta G_7^0 = 1721 + 11.4 T = 26494.91$	$\Delta G_8^0 = 15280 + 15.37 T = 48681.31$
$\Delta G_9^0 = 20025 - 150.2T = -306382.13$	$\Delta G_{10}^0 = +16112 - 101.4T = -204245.4$
$\Delta G_{11}^0 = +140013 - 100.23T = -77801.82$	$\Delta G_{12}^0 = +11295 - 85.95T = -175475.64$
$\Delta G_{13}^0 = +10165 - 72.23T = -1468801.6$	$\Delta G_{14}^0 = +192130 - 86.15T = 4913.12$

حيث وطاقة جيبس Cal/mol، درجة الحرارة بالكلفن، S هو الانتروبي مقياس لدرجة العشوائية بين الشوارد أو الجزيئات المكونة لنظام ترموديناميكي وهي أصغر ما يمكن في المعادن وأكبر ما يمكن في الغازات وبقيم متوسطة في السوائل وبالنسبة للتفاعلات فهو مجموع انتروبي مدخلات التفاعل مطروحاً من مجموع انتروبي نواتج التفاعل.

H هي الطاقة اللازمة لتشكيل مول واحد من ذرات العنصر عند درجة حرارة 25 مئوية و ضغط 1 atom.

$$\Delta G = \Delta G^0 + 2T \text{Log} \frac{\text{activities oxides, metals and P gases}}{\text{activities oxides, metals and P gases}} \dots (**)$$

-عند الدرجة 1900 مئوية يكون نشاط عناصر المعادلة



$$A_{\text{Si}}=1.148, A_{\text{Mn}}=0.121, A_{\text{MnO}}=1, A_{\text{SiO}_2}=1$$

حيث يتم حساب نشاط كل أكسيد أو عنصر بالعلاقة:

$$A_i = f_i . (w\%)$$

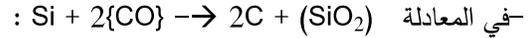
$$\text{Log } f_i = \sum e_j^i (j\%)$$

e هو معامل بين كل عنصرين ويعطى بجداول خاصة عند الصهر. f<sub>i</sub> هو معامل يتم حسابه، W هي النسبة الوزنية

للعنصر أو الأكسيد، وبالتالي المتغير في العلاقة هو فقط النسب الوزنية. وبالتعويض في العلاقة (\*\*)

$$\Delta G_1 = -21395.817 + 2T \text{Log} \frac{(1.148)(1)^2}{(1)(0.121)^2} = -13162.3116 \text{ Cal/mol}$$

علماً أن الحالة القياسية عند التوازن لأكسيد المنغنيز هي الحالة الصلبة والتفاعل يحدث تلقائياً لأن الطاقة الناتجة سالبة ومن الممكن حتى حدود الدرجة 1700 مئوية تفاعل الرمل الذي يحوي سيليكاً مع المعدن المصهور. وبالتالي قد يحوي سطح المسبوكات عند استعمال رمال السيليكاً منغنيز أقل وسيليكون أعلى من مركز المسبوكات. يمكن استعمال الكلس لتجنب ذلك عند الصهر.

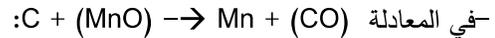


$$A_{\text{Si}}=1.148, A_{\text{C}}=1.374, P_{\text{CO}}=1, A_{\text{SiO}_2}=1$$

وبالتعويض في العلاقة (\*\*)

$$\Delta G_4 = -29426.17 + 2T \text{Log} \frac{(1.148)(1)^2}{(1)(1.374)^2} = -30365.108 \text{ Cal/mol}$$

طالما الطاقة أصغر تماماً من الصفر وحدث التفاعل تلقائياً حسب بدرجة الحرارة. بوساطة الكربون أو الغرافيت الذي ينصهر في الفولاذ يمكن تقليل أكسيد المنغنيز.



$$A_{\text{Mn}}=1.121, A_{\text{C}}=1.374, P_{\text{CO}}=1, A_{\text{MnO}}=0.68$$

$$\Delta G_5 = 4015.178 + 2T \text{Log} \frac{(1)(1.121)}{(0.68)(1.374)} = 4359.013 \text{ Cal/mol}$$

بالتالي طالما درجة الحرارة عالية لا يحدث التفاعل وبنخفاض درجة الحرارة حتى حوالي 1700 مئوية يكون  $A_{\text{MnO}}=0.55$  وبالتالي: 675.828

$$\Delta G_5 = -2262.82 + 2T \text{Log} \frac{(1)(1.121)}{(0.55)(1.374)} = -1586.99 \text{ Cal/mol}$$

أي عندما تنخفض درجة الحرارة إلى 1700 مئوية يحدث التفاعل تلقائياً. لكن عند درجة الحرارة العالية حوالي 1900 الاستعادة الأفضل للمنغنيز مئوية. نتيجة تفاعل أكسيد المنغنيز المحتجز في المعدن والكربون المنصهر يمكن تفسير المسامات في المسبوكات.



$$A_{\text{Cr}}=1.58, A_{\text{C}}=1.374, P_{\text{CO}}=1, A_{\text{Cr}_2\text{O}_3}=0.98$$

$$\Delta G_{11} = -77801.82 + 2T \text{Log} \frac{(1.58 * 1.58)(1)}{(0.98)(1.374)} = -76636.57 \text{ Cal/mol}$$



$$A_{\text{Mo}}=1.5, A_{\text{C}}=1.374, P_{\text{CO}}=1, A_{\text{MoO}_2}=0.88$$

$$\Delta G_{12} = -175475.64 + 2T \text{Log} \frac{(1.5)(1)}{(0.888)(1.374)} = -175068.73 \text{ Cal/mol}$$



$$A_{\text{Nb}}=1.96, A_{\text{C}}=1.374, P_{\text{CO}}=1, A_{\text{Nb}_2\text{O}_3}=1.3$$

$$\Delta G_9 = -306382.13 + 2T \text{Log} \frac{(1.92 * 1.92)(1)}{(1.3)(1.374)^3} = -306213.93 \text{ Cal/mol}$$

تكون نسبة الأوكسجين المذاب منخفضة جداً بسبب ارتفاع نسبة المنغنيز في المصهور.



$$A_{\text{MnO}}=0.86, A_{\text{Mn}}=0.22, A_{\text{O}}=[\%0]$$

$$\Delta G = -58400 + 16.78 T + \text{Log} \frac{0.86}{0001\% \times 0.22} = -21931.95 \text{ Cal/mol}$$

وبذلك بوجود نسبة قليلة جداً من الأوكسجين يكون التفاعل تلقائي.

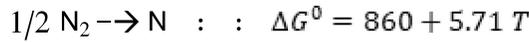
وبنفس الطريقة في التفاعل:



$$P_{CO}=1, A_C=1.37, A_O=\%0$$

$$\Delta G = -5350 - 9.48 T + \text{Log} \frac{1}{0001\% \times 1.37} = -25948.6 \text{ Cal/mol}$$

ونحسب في المصهور انحلالية النتروجين:



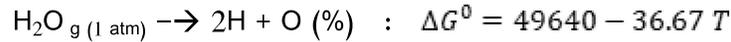
$$\Delta G = -R T \ln \frac{h_N}{\sqrt{P_{N_2}}} ;$$

$h_N=0.832 (\%N)$  :  $N\%$  ونحسب كنسبة من  $N\%$

$$\Delta G^0 = -2T \log \frac{0.832(\%N)}{\sqrt{0.79}} ; P_{N_2} = 0.79 \text{ atm at air}$$

يوضح الحساب أن حد ذوبان النتروجين في المصهور منخفض جداً و سوف تنتج ثقب في المسبوكات عند التصلب وعند إضافة النتروجين بشكل مقصود لأن النتروجين مثبت قوي للأطوار.

بالنسبة للهيدروجين فإنه يتسرب للفرن بسبب تسريبات نظام التبريد أو رطوبة الجو ورطوبة مغارف إزالة الخبث.



حوالي (43 ppm (parts per million) انحلالية الهيدروجين في المصهور وإن هناك خطر لالتقاط الهيدروجين من الإضافات السبائكية أو الشحنة الرطبة أو من القالب الرملي عند الصب بسبب وانصهار الكربون السريع وانخفاض محتوى الأوكسجين.

ويمكن كعامل مرجع في النهاية استعمال الغرافيت لتفعيل استعادة المعادن من الأكاسيد ولتقليل حجم الخبث المزال كما توضح المعادلات (3)، (4)، (5) بحيث C كغرافيت. كما يمكن أثناء الصهر إضافة الألمنيوم عند الصب أو عند شدة غليان المصهور و حدوث فورانه لأنه يهدئ المصهور.

الصورة الثانية:

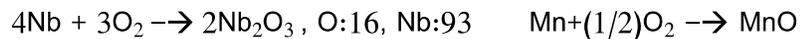
كتلة المنغيز X وكتلة النيوبيوم Y التي نقصت بالإحتراق والخبث المزال من سطح المصهور:

$$100 \quad 3.5 \quad 100 \quad 1.1$$

$$1.207 \quad X \quad 0.654 \quad Y$$

$$X=3.5(1.13)/100=0.042 \text{ Kg} \quad Y=1.1(0.654)/100=0.0072 \text{ Kg}$$

وكتلة أكسيد النيوبيوم هي:



$$372 \quad 468 \quad 55 \quad 71$$

$$7.2 \quad \text{Oxide} \quad 4.2 \quad \text{Oxide}$$

$$\text{Oxide}=9.06 \text{ gr} \rightarrow 1.935\% \quad .. \quad \text{Oxide}=5.42 \text{ gr} \rightarrow 7.63\%$$

بالنسبة لأكسيد السيليكون:

Si in SiO<sub>2</sub>: (0.35 in Mn specimen+0.985 Astm A552)-0.986 Astm A552 with Mn, Nb  
=0.349%

Mo in MoO<sub>2</sub>: (0.002 in Mn specimen+1.481 Astm A552)-1.487 Astm A552 with Mn, Nb  
=0.001%

Si + O <sub>2</sub> → SiO <sub>2</sub>	Mo + O <sub>2</sub> → MoO <sub>2</sub> , Mo:96
28                      60	96                      128
0.349                  Oxide	0.001                  Oxide
-Oxide=0.747 gr → 1.246 %	Oxide=0.0013 gr → 0.0010%

#### دراسة الجدوى الاقتصادية:

1-الكلفة الاستثمارية (دولار أمريكي):

مواد أولية (حديد صب، منغنيز، نيوبيوم) 2,500 – 3,500 / دولار لكل طن سبيكة

طاقة كهربائية للصهر (500 KW × ساعات تشغيل) 300 – 500 / دولار لكل طن

تجهيز قوالب الرمل والبنتونايت 100 – 200 / دولار لكل طن

أدوات تحليل طيفي ومعايرة 2,000 دولار (تجهيز أولي)

أجور تشغيل ومراقبة مخبرية 300 – 500 دولار لكل دفعة صهر

2-الجدوى الفنية والاقتصادية:

-إطالة عمر الأدوات الصناعية حتى 3 أضعاف مقارنة بالسبيكة التقليدية.

-تقليل الفاقد والتوقفات الناتجة عن اهتراء الأدوات.

-إمكانية الإنتاج المحلي وتوفير تكاليف الاستيراد.

-تحسين الخصائص حسب نسبة الإضافة من Mn و Nb.

3-العوائد والمخاطر المحتملة:

\*عوائد تطبيق السبيكة:

-تقديم حلول للصناعات الثقيلة (إسمنت، تعدين، كسارات).

-تقليل الأعطال الناتجة عن اهتراء الأدوات.

\*المخاطر المحتملة والمعالجة المقترحة:

#### المعالجة المقترحة                      الخطر

ارتفاع سعر النيوبيوم                      استخدام نسب دقيقة > 1% وفق البحث

حساسية درجة حرارة الصهر                      التحكم الحراري الدقيق وفق الحسابات

نقص الكادر الفني                      التعاون مع مراكز بحثية وتدريب تقنيين

مما سبق يُتوقع تحقيق عائد استثماري مرتفع خلال سنة واحدة من بدء التطبيق.

#### 5- الاستنتاجات

1- تعبر هذه الحسابات عن أهم التفاعلات التي تجري عند الصهر وتشكيل السبيكة المدروسة تلقائياً والتفاعلات الغير

تلقائية والتي تحتاج لإضافة مكونات للمواد المصهورة أو لتغيير في درجة الحرارة لتحفيز هذه التفاعلات.

2- تمت معرفة كمية المواد المراد صهرها من خلال الحسابات الدقيقة للحصول على نسب معينة من السبيكة المطلوبة.

3- يحدث تفاعل السيليكون مع غاز أول أكسيد الكربون تلقائياً وتكون الطاقة الحرة (-30365.108 Cal/mol).

- 4- يحدث تفاعل المنغنيز مع أكسيد السيليكون تلقائياً وتكون الطاقة الحرة ( $-13162.3116 \text{ Cal/mol}$ ).
- 5- لا يحدث تفاعل الكربون مع أكسيد المنغنيز تلقائياً طالما درجة الحرارة عالية وبتناقص درجة الحرارة حتى حوالي 1700 مئوية يحدث تلقائياً وتكون الطاقة الحرة ( $-1586.99 \text{ Cal/mol}$ ).
- 6- بوجود نسبة قليلة جداً من الأوكسجين، يكون تفاعل تشكل أكسيد المنغنيز تلقائياً.
- 7- انحلالية الهيدروجين في المصهور المدروس حوالي 43 ppm (parts per million)، وبسبب انصهار الكربون السريع و انخفاض محتوى الأوكسجين فإن هناك خطر لالتقاط الهيدروجين من الإضافات السبائكية او الشحنة الرطبة أو في القالب الرملي عند الصب.
- 8- حد ذوبان النتروجين في الحديد الصب الأبيض عالي الكروم منخفض جداً وعند إضافة النتروجين بشكل متعمد سوف تنتج ثقب في المسبوكات عند التصلب.
- 9- بسبب زيادة فعالية النيوبيوم المتعلقة بنسبته الوزنية زادت الطاقة الحرة لتفاعل أكسيد النيوبيوم مع الكربون والذي ينتج النيوبيوم في الصهارة الثانية مقارنة بقيمة الطاقة الحرة لنفس التفاعل في الصهارة الأولى.
- 10- زادت الطاقة الحرة لتفاعل أكسيد الكروم مع الكربون والذي ينتج الكروم في الصهارة الثانية مقارنة بقيمة الطاقة الحرة لنفس التفاعل في الصهارة الأولى بسبب زيادة فعالية الكروم المتعلقة بنسبته الوزنية.
- 11- نقصت الطاقة الحرة لتفاعل أكسيد الموليبدنوم مع الكربون والذي ينتج الكربون في الصهارة الثانية مقارنة بالصهارة الأولى بالرغم من زيادة فعالية الموليبدنوم بسبب  $H$  التي تكون في تفاعل الموليبدنوم أكبر بحوالي 4.3 مرة من قيمتها في تفاعل الكروم.

#### 6- التوصيات:

- 1- إضافة معادن أخرى غير موجودة في جداول ASTM A532 وإجراء الحسابات اللازمة لها.
- 2- يوصى بأخذ الحسابات الدقيقة بعين الاعتبار عند صهر المواد ومعرفة أهم التفاعلات الحاصلة والتي تؤثر على الخواص الميكانيكية للمنتج فيما بعد.
- 3- اختبار الخواص الميكانيكية للسبيكة الناتجة وبنيتها المجهرية ومقارنتها بالسبائك التجارية المستعملة في الأعمال الصعبة خاصة أصناف السبيكة ASTM A532.
- 4- تطبيق المعالجات الحرارية على السبيكة الناتجة وملاحظة تغيرات الخواص الميكانيكية والبنية المجهرية.
- 5- إنتاج السبيكة اقتصادياً مجدٍ بوضوح، خصوصاً في القطاعات الصناعية الثقيلة.

#### 7- المراجع

1. Kubaschewski, O., & Alcock, C. B. (1979). Metallurgical Thermochemistry. Pergamon Press.
2. Gaskell, D. R. (2012). Introduction to the Thermodynamics of Materials (5th ed.). CRC Press.
3. Outotec. HSC Chemistry Software. Retrieved from <https://www.outotec.com>
4. Mills, K. C. (2002). Recommended Values of Thermophysical Properties for Selected Commercial Alloys. Woodhead Publishing.
5. Poirier, D. R., & Geiger, G. H. (1994). Transport Phenomena in Materials Processing. The Minerals, Metals & Materials Society

- 6.Li Shifeng . (2011). A New production technique for wear resistance ring hammers.
- 7.ASM Vol (04), Heat Treating Of Cast Irons (Page 1450), Glossary Of Terms (Page 2134).
- 8.F. Parente, F J Belzunce and C R Y J Riba. (2008). Mechanical strength and fracture toughness of high chromium white cast irons.
- 9.Xiaojun Wu, (2007) Effect of titanium on the morphology of primary M7C3 carbides in hypereutectic high chromium white iron.
- 10.M.M. Arıkan, H. Çimenoglu, E.S. Kayal, (2001). The effect of titanium on the abrasion resistance of 15Cr–3Mo white cast iron.
11. J o Agunsoyer, v s Aıgbodion and O s Sanni. (2014). Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of NF6357A cast alloy for wear resistance application.
- 12.A Studnicki, J Kilarski, M Przybyl, J Suchon, D Bartocha. (2012). Wear resistance of chromium cast iron–research and application
- 13.Abaad K, Walaa A. (2019). Improving the mechanical properties and wear resistance of the high Chromium white cast iron using heat treatment.
- 14.Abaad K, Albetar. (2020). The Effect of Titanium addition on mechanical properties and wear resistant of high Chromium white cast iron.
- 15.Chache, Salamah, Shaaban. (2012). Modeling of Cast Iron Alloys Elasto–Plastic Behavior Used in Lining of Raw Materials Milling Plates in Tartous Cement Plant.
- 16.Chache, Harfoush, (2015). Study The Effect of Dilution on Hardness of Hardfacing Welding on The Hummers of Clinker Hammer Crucher in Tartous Cement Plant.
- 17.karaja, (2017). Experimental Investigation of Dimensional Changes Caused by Heat Treatments of Dowel Pins and Sleeves Used in Moulding Industry
- 18.E 23. (2000) Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials\_ ASTM International\_ P(1–21)