مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (1) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (29) No. (1) 2007

إنتاج الفونت عالي المتانة باستخدام سبائك من الفروسيليكو مغنيزيوم

الدكتور علي هترة*
الدكتور سمير أكتع**
علي جديد ***

(تاريخ الإيداع 7 / 12 / 2006. قبل للنشر في 2007/3/18)

□ الملخّص □

يقوم هذا البحث بدراسة خطوات عملية إنتاج الفونت عالي المتانة كتطبيق تكنولوجي، وذلك من خلال التعريف بالمواد والمعدات اللازمة، الكميات الدقيقة للشحنة والمواد المضافة وكذلك العوامل والتقنيات التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند التطبيق والتنفيذ العملي لعملية الصهر والسكب، كما يتطرق البحث إلى تأثير العوامل المختلفة على تكور الغرافيت في جميع مراحل الإنتاج.

ولذلك في هذا العمل تم دراسة شروط إضافة واستعادة المغنيزيوم في أثناء صب المصهور في البوتقة التي تحتوي على المغنيزيوم ، كضبط كمية الكبريت والأوكسجين في المصهور، المحافظة على حرارة صب المعدن المنصهر، فصل الخبث عن المصهور قبل السكب في البوتقة، تصميم بوتقة المعدن المنصهر، غطاء المغنيزيوم الموجود على شكل سبيكة، زمن سكب المصهور من الفرن إلى البوتقة، تركيز المغنيزيوم الموجود في البوتقة.

كلمات مفتاحية: الفونت عالي المتانة، إنتاج، كوري، غرافيت، كبريت، مغنيزيوم، حديد الزهر الحبيبي.

* مدرس . قسم الإنتاج . كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية . جامعة تشرين . سورية.
** أستاذ مساعد . قسم الإنتاج . كلية الهندسة الميكانيكية _ جامعة حلب . سورية.
*** طالب دراسات عليا . ماجستير . قسم الإنتاج . كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية . جامعة تشرين . سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (1) 2007
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (29) No. (1) 2007

.

Production of Ductile Iron Using Ferrosilico Magnesium Alloys

Dr. Ali Hatra [*]
Dr. Samir Akta**
Ali Jded***

(Received 7 / 12 / 2006. Accepted 18/3/2007)

□ ABSTRACT □

This research studies the steps of ductile iron production as a technological application through having knowledge of the necessary materials and structures, the appropriate quantities and the additive materials as well of the factors and the technique that must considered when applying and carrying out the casting and melting processes. The research gets into the influence of the different factors of the spherical graphite in all stages of the process.

So in this work, a study has been made for adding and recovering the magnesium conditions during pouring the melted cast in the crucible that contains the magnesium holding up the quantity of sulphur and oxygen in the molten, seizing the temperature of melted cast iron, separating the slag from the molten before casting in the crucible, designing the ladle of the molten metal, covering the exiting magnesium as the shape of alloy, the time of pouring the molten from the furnace to the crucible, and the concentration of the existing magnesium in the crucible

Keywords: Ductile iron, Production, Spheroidal, graphite, Sulphur, Magnesium, Nodular cast iron.

[*]**Assistant Professor, Design And Production Department of Design and Production, Faculty of Mechanic and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
****Associate Professor Design And Production Department of Design and Production, Faculty of Mechanic and Electrical Engineering, Aleppo University , Aleppo, Syria.**
*****Postgraduate Student, Design And Production Department of Design and Production, Faculty of Mechanic and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

1 . مقدمة:

رغم أن صناعة الحديد واستعمالاته من الصناعات القديمة التي ترجع إلى عصور ما قبل الميلاد، إلا أن أهم تطور في هذه الصناعة هو التوصل إلى إنتاج حديد صب عالي المقاومة الميكانيكية إضافة إلى مرونته العالية. ولقد أطلق عليه (الفونت عالي المتانة، ductile iron) هذا الأسم نظراً لمرونته غير العادية ويطلق عليه أحياناً حديد الصب التكوري (nodular cast iron) وأحياناً يعرف باسم حديد الصب ذي الغرافيت المكور SGI(Spheroidal Graphite Cast Iron) ويرجع هذا إلى شكل الغرافيت وطبيعته، فهو يوجد على شكل عقد أو كريات ميكروسكوبية مقارنة بالشرائح الغرافيتية التي تتشكل في حديد الصب الرمادي .

توجد عدة أسباب لتنامي ظاهرة استخدام سبائك الفونت عالي المتانة، من أهمها الأداء العالي مقابل السعر المقبول الذي يقدم إلى المصمم والمستثمر النهائي، وتأتي هذه الخواص الجيدة نتيجة *التحكم بالبنية البلورية بدون تكلفة عالية من جراء المعالجة الحرارية*.

تتنوع في الوقت الحالي استعمالات الفونت عالي المتانة حيث يمكن استعماله في صناعة الأجزاء ذات المقاطع قليلة السماكة أي الأجزاء ذات الأوزان الخفيفة، ونظراً لإمكانية الحصول على المتانة والمرونة في الأجزاء الكبيرة الحجم والتي لا يمكن الحصول عليها في حديد الصب الطروق Moleable cast Iron بسبب عملية التطويع فلقد حل الفونت عالي المتانة في كثير من الحالات محل استعمالات مسبوكات الفولاذ و الفولاذ المصنع بالتشكيل على الساخن ويستعمل الفونت عالي المتانة، كذلك في صناعة الأعمدة المرفقية المسبوكة، والأدوات الزراعية والبحرية المسبوكة والعدد اليدوية، ولا سيما في صناعة الأنابيب لنقل مياه الشرب والغاز.

عند إنتاج الفونت عالي المتانة تضاف كمية قليلة من المغنيزيوم أو السيريوم إلى مصهور الحديد (المحتوي على 3-4%من الكربون و1.8-2% SI من السيليكون) على أن تكون نسبة المغنيزيوم في المزيج الحاصل0.45% تحت ظروف يمكن التحكم بها بشكل أكبر ويعتبر المغنيزيوم مكلفاً وذا تفاعل خطير حيث يسبب التهيج الشديد للمعدن، يظهر ذلك من خلال الشرارات النارية والتناثر غير المرغوب بهما، كما يلاحظ استعادة منخفضة للمادة الكيميائية المضافة ودرجة حرارة غليان منخفضة وذلك بسبب تبخّر المغنيزيوم. لتجنب تلك الظواهر، تبين أن استخدام الفرو سيليكو مغنيزيوم (سبيكة حديد ثنائي التكافؤ مطعمة بالمغنيزيوم) يقلل إلى حد كبير هذه الظواهر الخطرة والغير مرغوبة.، إذ إنّ تواجد المغنيزيوم متوزعاً بين ذرات الحديد ثنائي التكافؤ يقلل من سطح التماس المباشر مع المصهور ذي الحرارة العالية، وذلك بفعل الحجب الذي تقوم به ذرات الحديد المرافقة. يتم عادة إنتاج الفونت عالي المتانة بواحدة من ثلاث طرق، الطريقة الأولى تعتمد التحكم في التركيب المجهري للبنية، الطريقة الثانية تأخذ من بعض الإضافات الكيميائية أسلوباً لتغيير في التركيب البنيوي، أما الطريقة الثالثة فهي تقوم على تعديل في طريقة السكب للحصول على التركيب المجهري المطلوب. [1]

يعتبر استخدام الفونت عالي المتانة أكثر ملائمة من حيث الخواص الحالة الاقتصادية مكان الفولاذ في السبائك ذات الأجزاء القليلة الثّخانة المعقدة الشكل، يملك الفونت سيولة مصهور أكبر بـ 2-1.5 مرة من الفولاذ ولا يميل إلى تشكيل شقوق ساخنة ويؤمن الحصول على معدن كثيف في المقاطع الصغيرة بدون الحاجة إلى استخدام الملء، بالإضافة إلى أن ثمن الفونت عالي المتانة أقل بـ 25 . 30 % من ثمن الفولاذ. [2]. تعتبر إضافة المغنيزيوم والسيطرة عليه عاملاً أساسياً ومفصلاً مهماً في حدوث تكور الغرافيت الذي يؤدي إلى تحسين في الخواص الميكانيكية للفونت وجعله مطيلياً.

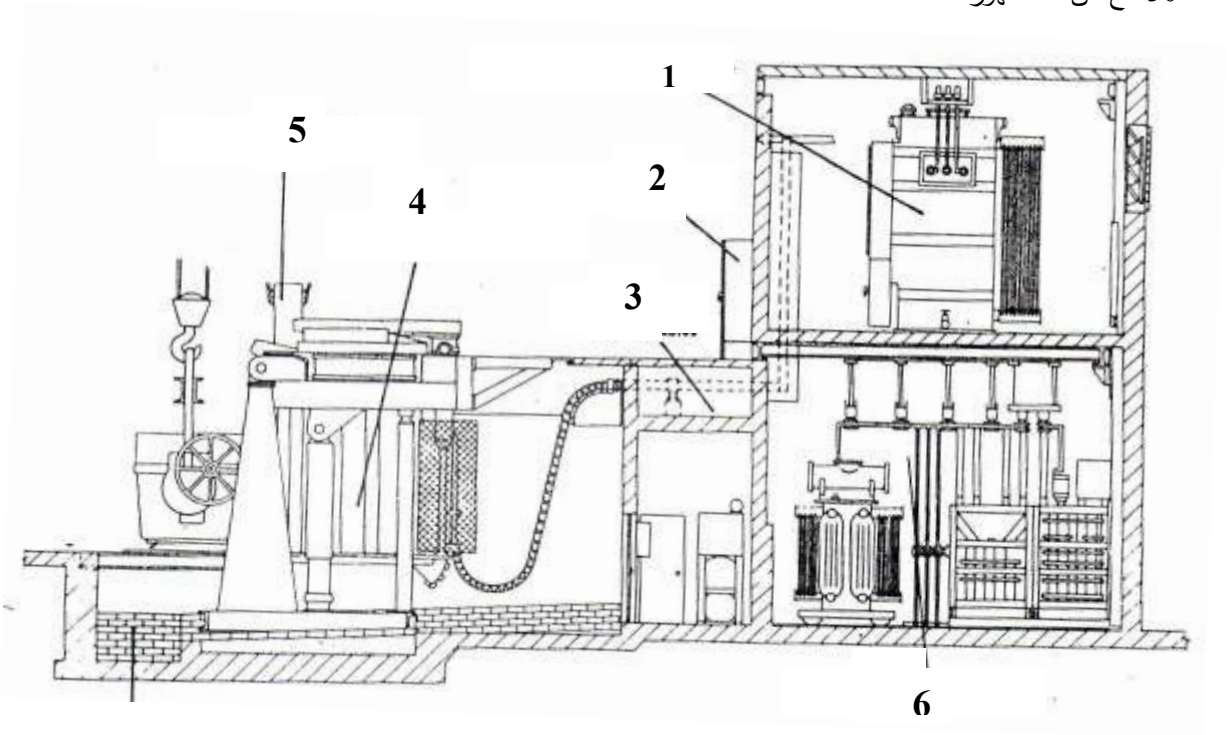
2_ هدف البحث:

دراسة إمكانية تحويل الكربون الصفائحي إلى كروي في بنية الفونت الرمادي وتاثير ذلك على خواصه الميكانيكية.

3. الإجراءات العملية:

3-1 المعدات والمواد المستخدمة في البحث:

- فرن الصهر: وعاء يتسع لحوالى 1 – 1.5 طن شحنة ويبطن من الداخل بالآجر، يعمل بالطاقة الكهربائية أي بالتحريض حيث تعتبر هذه الطريقة متطورة نسبياً وهي تعتمد على المجال المغناطيسي الذي يتكون عند مرور التيار المتقطع في ملف،كما في الشكل رقم (1)
- بوتقة نقل ومعالجة المصهور بالمغنيزيوم وهي عبارة عن وعاء من الآجر الشديد التحمل للحرارة، تُنقل يدوياً وتتسع لـ 50 كغ من المصهور



الشكل (1): رسم تخطيطي لفرن تحريضي عالي التردد

1 . عقدة التحويل والمحول

2 . لوحة تحكم بالفرن

3 . كوابل الطاقة

4 . الفرن والقاعدة

5 . خزانة التشغيل

6 . غرفة القطع والوصل للدارة الكهربائية والمكثفات

7 . مستودع

الشكل (2) بوتقة المعالجة

– المواد الأولية التي تم استخدامها: وهي عبارة حديد زهر (حديد تماسيح) ، جدول (1)

الجدول 1: التركيب الكيميائي لحديد الزهر المستخدم

C	Si	P	Mn	S	Cr	Ni	Mo	Mg	Nb	Fe
6.00	1.52	0.034	0.065	0.081	0.005	<0.001	<0.002	<0.001	<0.002	~ 92.42

ويشكل 650 كغ لكل طن من الشحنة، أما الجزء المتبقي من الشحنة فيكون عبارة عن خردة فولاذية يجب أن تكون خالية من الشوائب مؤلفة بشكل أساسي من بقايا صناعية وأجزاء سيارات وتشكل 350 كغ لكل طن من الشحنة، يضاف إلى كل طن من الشحنة المذكورة 1.5-2% فرو سيليكون على شكل قطع صغيرة (2-7mm) وكربون على شكل حبيبات أو بودرة 3-4%. بينما يشكل معدل الصهر(inocullant) 15 كغ لكل طن من الشحنة وهذا الجزء يكون على شكل حبيبات بقطر من 2-6mm حيث يلعب الدور الأساسي في بناء الشحنة والمحافظة على سيولتها وينألف من عدد من العناصر المعدنية موزعة ضمن النسب الموضحة في الجدول 2.

الجدول 2: التركيب الكيميائي لمعدل الصهر، * قيم عظمى – ** قيم تقريبية

Ca*	Mn**	Al*	Zn**	Si**
1.07	6.53	0.97	0.97	44.98

تصب الشحنة المنصهرة على الفروسيليكو مغنيزيوم المغطى بطبقة من قطع فولاذية رقيقة وفي الجدول (3) نبين التركيب الكيميائي للفروسيليكو مغنيزيوم.

الجدول 3: التركيب الكيميائي للفروسيليكو مغنيزيوم

Ca	Mg	Al	Re	Si	Fe
1.07	6.53	0.97	0.97	44.98	45.48

3-2 مراحل الإنتاج:

1- تم تهيئة الفرن من خلال تحميته للوصول إلى درجة حرارة مناسبة ومن ثم تضاف مواد الشحنة المذكورة سابقاً بدءاً من حديد الزهر انتهاءاً بالخردة بشكل تدريجي وبكميات منفصلة بهدف المحافظة على درجة حرارة عالية للفرن بحيث يضمن استمرار عملية الصهر، بعد ذلك يتم رفع درجة حرارة الفرن إلى (1500-1550C^{o})لاتمام عملية الصهر.

2 - تؤخذ عينة صغيرة من المعدن المنصهر في الفرن، وذلك من خلال مغرفة خاصة وتوضع في كأس مخبري (كمية المعدن المصهور المأخوذة لا تتجاوز 0.5 كغ)، وذلك بهدف التأكد من نسبة الكبريت والكربون الموجودة في المصهور حيث إنّ نسبة الكبريت يجب أن تكون منخفضة جداً أما نسبة الكربون يجب أن تكون بحدود 3.5 – 3.8 % من المصهور، ليصار بعد ذلك إلى إضافة مقدار 1.5 كغ من معديلات الصهر لكل طن مصهور في الفرن.

3- نضع في الجيب الموجود في أسفل البوتقة، الشكل (2) مقدار 1.6%من خليطة الفيرو سيليكو مغنيزيوم بعد ذلك يتم وضع حوالى 10كغ من قطع فولاذية رقيقة لتغطية الخليطة بهدف التقليل من تناثر وتطابر المغنيزيوم والذي يلعب الدور الأساسي في عملية التكور.

4- بعد التأكد من إتمام عملية الصهر أي الحصول على السيولة المطلوبة وتكون عند ذلك درجة الحرارة بحدود 1550C^{o}، ينقل المصهور إلى البوتقة المجهزة بشكل مسبق، ليصار بعد ذلك إلى سكب المصهور في قوالب الصب وتجدر الإشارة إلى أنه يجب إكمال تكرار عملية إضافة معديلات الصهر في أثناء السكب في القوالب، وذلك من خلال تذريته بواسطة وعاء مثقوب لأن مفعول المعدل ينتهي خلال عشر دقائق ويمكن أن تكون هذه المدة قد استنفذت أثناء عملية الإضافة الابتدائية، أما قوالب الصب هذه فقد جهزت أيضاً بشكل مسبق وهي مؤلفة من ثلاثة قوالب يحتوي كل قالب على أربع عينات اسطوانية متطابقة تم اختيارها لتكون نماذج للدراسة وإجراء الاختبارات الميكانيكية عليها.

وتجدر الإشارة إلى أن شكل وطبيعة القوالب تلعب دوراً أساسياً في الحصول على سبائك ذات مواصفات ميكانيكية عالية، حيث قمنا بتحضير سبائك مختلفة الأشكال والحجوم وقد كانت الخواص الميكانيكية مختلفة فيما بينها، هذا بالإضافة إلى طبيعة المصهور وظروف السكب.

- قمنا بدراسة تأثير درجة حرارة التبريد على الخواص الميكانيكية على السبائك، وذلك من خلال تركها لتبرد بشكل طبيعي إلى اليوم الثاني حيث تنزع من قوالبها وتشغّل لإزالة زوائد الصب.
- كما قمنا بدراسة جميع العوامل التي من الممكن أن تقودنا إلى منتج ذي مواصفات ميكانيكية عالية ومن هذه العوامل: نسبة كل من الكبريت والأوكسجين الموجودين في حديد الأساس، حرارة صب المعدن المنصهر، تكور سبيكة الفروسيليكو مغنيزيوم، الخبث، تصميم بوتقة السكب، غطاء السبيكة (ندف الحديد)، التركيب الكيميائي للعقد الغرافيتية، حجم السبيكة، زمن السكب، الخبث في بوتقة نقل المعدن المنصهر، خزن سبائك الصهر.

4. النتائج ومناقشتها:

4. 1 . كمرحلة أولية تم تحليل العينات المسبوكة في مخابر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين باستخدام جهاز تحليل طيفي نوع Foundry Master وكانت النتائج متقاربة نوعاً ما كما هو واضح من الجدول رقم (4):

جدول رقم (4) نتائج التحليل الطيفي

رقم العينة	التركيب الكيميائي %							
	C	SI	Mn	S	P	Mo	Cu	Mg
1	3.68	2.71	0.27	0.014	0.03	0.02	0.06	0.046
2	3.5	2.8	0.3	0.015	0.04	0.03	0.07	0.045
3	3.6	2.27	0.26	0.014	0.03	0.03	0.05	0.045
4	3.4	2.4	0.23	0.013	0.04	0.04	0.06	0.044

كما يلاحظ من نتائج التحليل الطيفي بأن كمية المغنيزيوم تقع ضمن المجال (0.046% -0.044) وهذه الكمية في رأينا تعتبر كافية للحصول على تكور كامل للغرافيت في بنية الفونت، وذلك وفق ASTM بحيث يجب أن يكون ضمن المجال (0.08% – 0.02) وهذا يتوقف على محتوى الكبريت في الفونت حيث إنّه عند إضافة المغنيزيوم إلى المصهور سوف يستهلك قسماً منه يتحد مع الأكسجين والكبريت من أجل تغيير شكل الغرافيت ويجب التحكم في كمية الأوكسجين والكبريت بحيث تكون كميتهما منخفضة وإلا سوف تستهلك كمية المغنيزيوم المضاف نتيجة اتحاده مع الأوكسجين والكبريت، ممّا يجعل الكمية الباقية منه غير كافية لتكور الغرافيت علاوةً على ذلك كون المغنيزيوم عنصراً سريع التبخر والتطاير حيث إنّ درجة غليانه 1107 درجة مئوية وهذه الدرجة من الحرارة هي أخفض بكثير من درجة حرارة المصهور في أثناء المعالجة، ممّا يؤدي إلى انخفاض محتوى المغنيزيوم كلما ازدادت درجة حرارة المعالجة.

4. 2 . فحص البنية البلورية: (Examination of micro structure):

تم فحص البنية البلورية وذلك بأخذ عينات صغيرة أخذت من العينات التي سكبت بهدف دراسة البنية البلورية ومعرفة مدى تكور الغرافيت حيث تم شحذ العينات وتلميعها ومن ثم تم معالجتها بمحلول يحتوي على 2 % حمض الآزوت HNO_3، وذلك لإظهار البنية البلورية للفونت ودراستها باستخدام مجهر ضوئي بتكبير 50 . 100 . 400 وتم أخذ صور فوتوغرافية كما هو واضح في الأشكال ذات الرقم (3، 4، 5، 6) كما يلاحظ من الأشكال المعطاة بأن البنية تتألف من كريات الغرافيت موزعة على أرضية فريتية . برليتية الشكل رقم (4) في حين أن بنية العينات 1 و 3 تضم البنية جزر من البرليت والذي يمكن أن يعزى لتأثير سرعة التبريد بعد عملية السكب كما يلاحظ في الشكل رقم (5) بأن كريات الغرافيت محاطة بطور الفريت وهذا يعود إلى حدوث انخفاض في نسبة الكربون (decarburized) حول كريات الغرافيت نتيجة لترسب الكربون على كريات الغرافيت وتجدر الإشارة هنا على الصورة المجهرية في الشكل رقم (6) تم أخذها في موضع توضع فيه الفريت فقط.

4. 3 . التحليل الكمي لنسب مكونات البنية (quantitative metallogrphy):

لقد تم الحصول على نسبة التكور وكل من نسبة البرليت والفريت باستخدام تقنية عد النقاط (Point counting technologic) وذلك بوضع شبكة نقاط على شاشة المجهر بحيث يتم إجراء القياس يتم في مواضع غير محددة أي بشكل عشوائي على كامل سطح العينات التي تم شحذها وتلميعها ومعالجتها بوسيط المعالجة (etching) هذا وقد تم تدوين القيم كافة التي تم الحصول عليها في الجدول رقم (5).

الجدول(5) يبين التحليل المجهري

البنية المجهرية / رقم العينة	نسبة التكور %	برليت %	فريت %	سمنتيت %
1	85	65	33	2
2	90	67	33	-
3	90	65	35	-
4	85	65	35	-

4. 4 . الخواص الميكانيكية (mechanical properties):

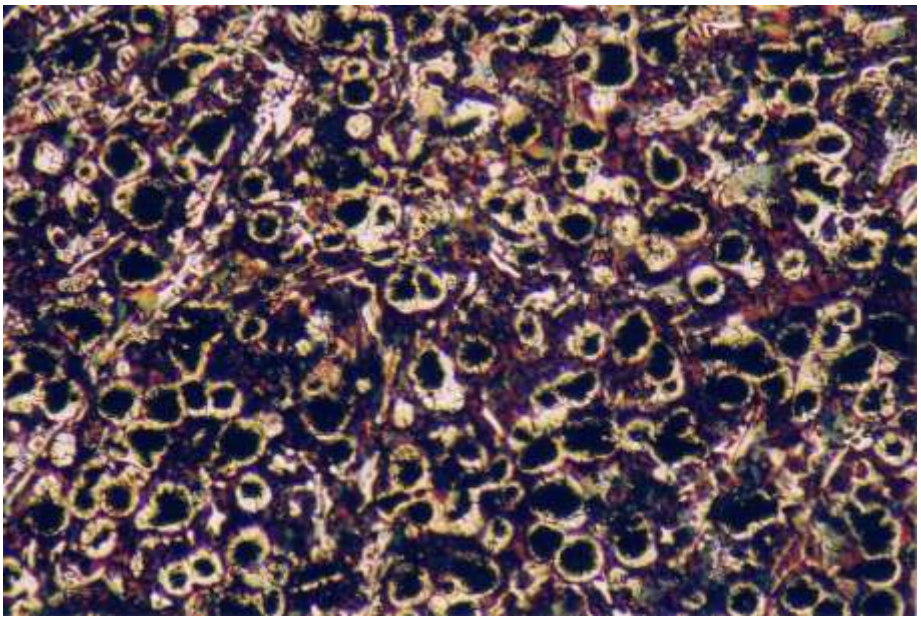
لتحديد الخواص الميكانيكية للفونت عالي المتانة الذي تم إنتاجه فقد تم تحضير عينات لإجراء اختباري الشد والقساوة وفق المواصفات الدولية الخاصة بالفونت عالي المتانة وقد تم تدوين النتائج التي تم الحصول عليها وفق الجدول رقم (6)

الجدول(6) يبين الاختبارات الميكانيكية

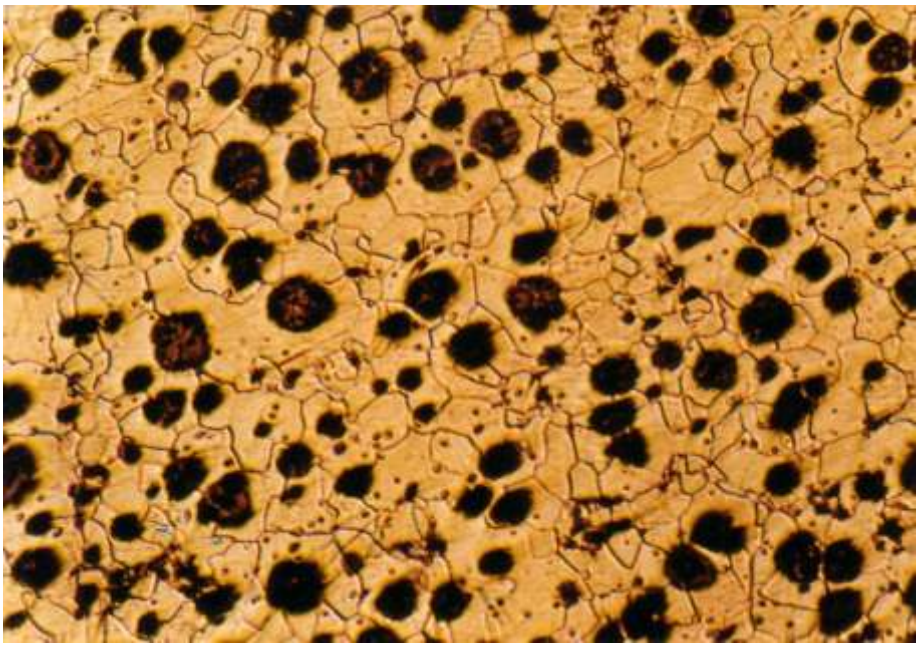
الاختبارات / رقم العينة	اجهاد الشد كغ/مم^2	اجهادالخضوع كغ/مم^2	الاستطالة %	القساوة برينل
1	53.18	33	19	205
2	50.4	30.1	18	211
3	52.5	37	11	229
4	54.2	34	17	206

كما يلاحظ من الجدول رقم (6) بأن الخواص الميكانيكية للفونت عالي المتانة تتوقف على بنية الأرضية المعدنية وعلى درجة نعومة كريات الغرافيت وعلى تجانس توزع هذه الكريات وكما يلاحظ من الجدول بأن قيم الخواص الميكانيكية التي تم الحصول عليها قريبة لقيم الفولاذ.

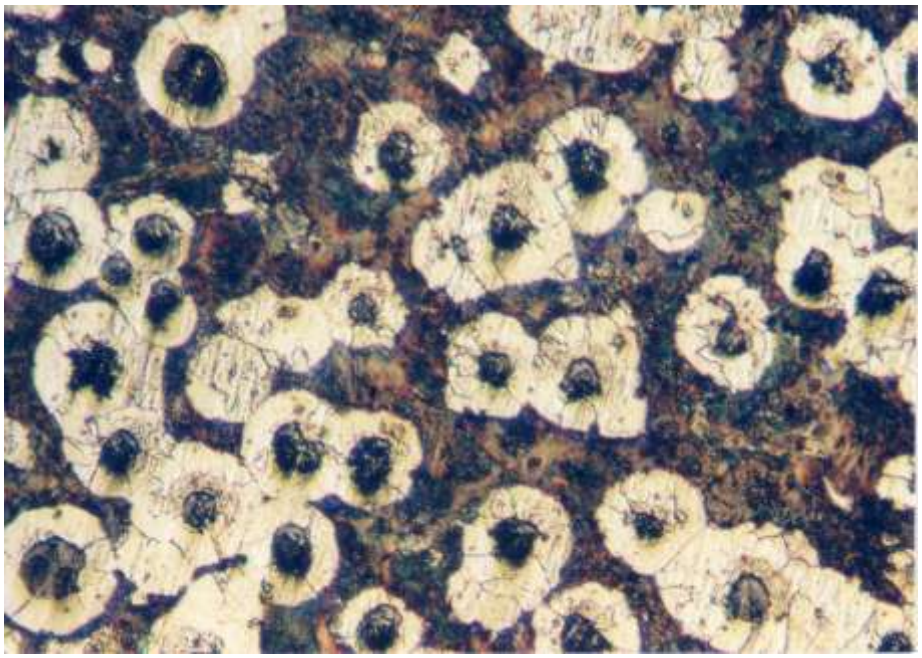
يلاحظ بأن قيم مقاومة الشد وإجهاد الخضوع قريبة لبعضها بعضاً مع العلم أنّه يمكن زيادة هذه القيم بالمعالجة الحرارية لهذه المسبوكات.



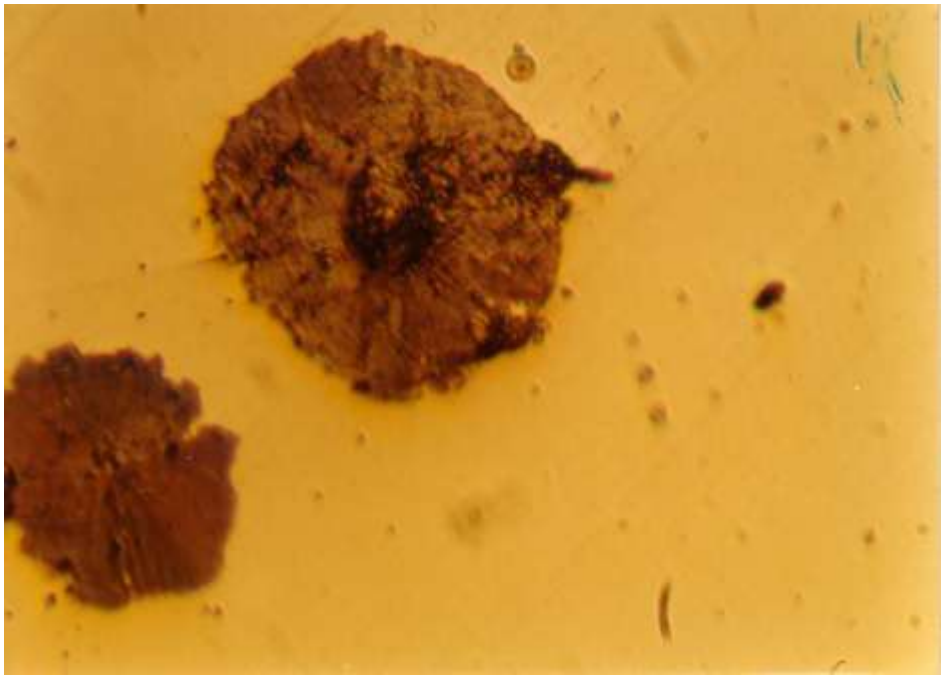
الشكل رقم (3) العينة رقم (1) التكبير x 50، معالجة بالمحلول الكيميائي (حمض الآزوت)



الشكل رقم(4) العينة رقم (2) التكبير x 50



الشكل رقم (5) العينة رقم (3) التكبير x 100، معالجة بالمحلول الكيميائي(حمض الآزوت)



الشكل رقم (6) العينة رقم (4) التكبير x 400

4 . 5 . العمليات التكنولوجية (technology processes):

إن وجود الكبريت والأكسجين بتراكيز عالية ضمن البنية البلورية للفونت عالي المتانة يسبب هشاشة في هذا المنتج ويمنع تكور العقد الغرافيتية حيث ثبت أن وجود الكبريت بنسبة 0.018 % تؤدي إلى تكور بمقدار 50 % بينما عندما

تنخفض نسبة الكبريت إلى 0.010 % يصل التكور إلى 80 %، لذلك يجب تحييد هذين العنصرين قدر الإمكان [3].

وإذا لم تتم إزالة الأكسجين والكبريت من المصهور فإنهما يمتصان عند نقطة التقاء وجهي الغرافيت / الفلز أثناء عملية التجمد وينتج عنهما قشور غرافيتية في الصورة التي يمكن أن يصبح فيها الحديد حديد زهر رمادي[4].

لقد لوحظ أن درجة حرارة صب المعدن المنصهر أو حرارة المعالجة(زمن الصهر والسكب) يجب أن تبقى منخفضة قدر الإمكان وذلك لتجنب ردة الفعل الزائدة والعنيفة، أي إذا كانت الحرارة مرتفعة سيكون التبخر أكثر واستعادة المغنيزيوم أكثر انخفاضاً.

كذلك للخبث تأثير مهم في عملية إنتاج الفونت عالي المتانة لذا يجب أن يراقب خلال عملية الإنتاج حيث يتشكل الخبث من الأكاسيد الناتجة عن أكسدة مواد الشحنة ومن مساعدات الصهر ومن بطانة الفرن المنصهرة حيث يملك وزناً نوعياً أقل من الوزن النوعي للمصهور المعدني لذلك يطفو على سطح المعدن السائل وهو يتألف من عدة عناصر والتي تشكل فيما بينها محاليل ومركبات كيميائية أو معلقات، إن الخبث الذي ينتقل من الفرن إلى بوتقة نقل المعدن المنصهر سوف يتفاعل مع المغنيزيوم وستنخفض فاعلية المعالجة بالمغنيزيوم.

ولكي نحصل على خبث بالحد الأدنى فإنه يجب فصله بالمكان وعادة يقشد الخبث كما ينبغي قبل المعالجة الأولى ولكن المعالجات اللاحقة سوف تعاني من التلوث بالخبث [5].

تصميم بوتقة المعالجة يجب أن يخضع إلى معايير مختلفة تتعلق بجملة من المكونات أولها الارتفاع الداخلي حيث يجب أن يكون الارتفاع الداخلي على الأقل ضعف القطر ويجب أن يكون الجيب مكان السبيكة بشكل يكفي لتغطية السبيكة بالمواد. حيث إنّ المغنيزيوم المستعاد سوف يزداد بزيادة ارتفاع بوتقة المعدن المنصهر لأنه يجب زيادة مقدمة المصهور قبل أن تسيطر ردة الفعل على المكان. ولهذا يجب أن تعزل بوتقة المعدن المنصهر بشكل كافٍ لكي تمنع ضياع الحرارة إلى الحد الأدنى وتمنع ضياع حرارة المعالجة المطلوبة، وهذا لا بد من الإشارة إلى مهمة غطاء السبيكة التي تتجلى في تأخير بدء ردة الفعل في البوتقة وهذا يعطي امتصاص أفضل للمغنيزيوم داخل الحديد السائل ويستخدم غطاء للفرو سيليكو مغنيزيوم بحجم مناسب ويمكن استخدام قطع فولاذية صغيرة أو بقايا التشغيل كغطاء وعليه من الأهمية بمكان هنا أن لا يكون الغطاء كثيف و من أي نوع كان.

أما زمن تعبئة البوتقة من الفرن فيجب أن يكون أقل ما يمكن ولكي نحصل على مقدمة المصهور قبل بدء التأثير الذي سيؤدي إلى تخفيض حرارة الضياع والتبخر، وعليه فإن كمية المغنيزيوم في السبيكة سوف يعطي ردة فعل عنيفة ويخفض الاسترجاع [6].

إن حجم الخليطة العريض يشغل مقداراً كبيراً وكثيفاً في جوف البوتقة وسوف تنصهر الخليطة وتضبط ردة الفعل ببطء مع تحاشي القطع بالحد الأدنى، وتبقى القطع العائمة والمحترقة على السطح على شكل فضلات ومع ذلك يجب تجنب انفصال الحبيبات التي يمكن أن تسبب عدم التجانس في المنتج، وينصح بقياس

قطع السبيكة (1-10 mm) وذلك للبوتقة الصغيرة و (4-32 mm) للمعالجة في البوتقة الأكبر، وهذا يقودنا إلى ملاحظة أن أزمنة السكب الطويلة تحتاج إلى مغنيزيوم أكثر لكي نعوض الضياع خلال الزمن وبهذا يجب زيادة كمية الخليطة المقترحة من الفروسيلكو مغنيزيوم، ولهذا يجب أن يكون زمن السكب أقل ما يمكن أو ما تسمح به تقنيات العمل.

إن تجمع الخبث في البوتقة وفي جيب السبيكة يقود إلى تخفيض كمية المغنيزيوم الفعالة وذلك بسب التفاعل بين الخبث والمغنيزيوم، وإذا كان الجيب يسمح أن يمتلئ بالخبث سوف يؤدي إلى طفو الخليطة.

لذلك يجب أن تحتفظ البواتق بالميلان عندما تمتلئ لتجنب انسداد جيب السبيكة بالخبث وكذلك جدران البوتقة

جميع السبائك تحوي مستوى محدد من العناصر التأثيرية وهذه العناصر ضرورية لكي تعطي التأثير المطلوب، إن الرطوبة ستؤدي إلى تأكسد السبائك المنصهرة.

والسبائك المتأكسدة سوف تعطي أخفض ما يمكن من المواد النقية ويمكن أن تنتج أكسدة ثقيلة تؤدي إلى انخفاض المغنيزيوم المستفاد منه إلى أكثر من 50 %.

بناءاً عليه يجب أن تخزن حاويات السبائك في مكان جاف ويجب أن لا تفتح حتى تتطلب الحاجة إلى ذلك. مع تجنب تغير درجات الحرارة لتقليل المخاطرة في درجة حرارة التكاثف إلى الحد الأدنى وكذلك يجب أن تنقل في وحدات مغلقة ومعزولة.

الاستنتاجات:

1- لوحظ أن المعالجة بالمغنيزيوم النقي غير مجدية ولا يمكن التوصل إلى تكور إلا بحدود 10% بالإضافة إلى أن هذه المعالجة خطرة لأن تفاعل المغنيزيوم مع المصهور يؤدي إلى حدوث انفجار وتناثر للشرر قد يتسبب بالأذى للقائمين بالعمل.

2- تبين بالتجربة العملية أنه يجب المحافظة على حرارة صهر وسكب بين $^{\circ}$C1500-1550.

3- إن عملية السيطرة على الخبث وفصله وقشده للتقليل من تفاعله مع المغنيزيوم وانخفاض فاعلية المعالجة تؤدي إلى الاستفادة من المغنيزيوم بشكل أكبر أي تكور أفضل.

4- إن تقنية وضع غطاء الخليطة (ندف الحديد) يجب أن تتم بدقة حيث إنّ عدم انصهار الغطاء بشكل كامل وبسرعة يؤدي إلى تكتل المصهور وفشل عملية الصهر كلياً.

5- إن مدة إضافة المعدل أثناء الصب وعملية السكب نفسها يجب أن تكون أقصر ما يمكن لنجاح عملية التكور من حيث الشكل والنسبة (نسبة التكور).

6- إن الخواص الميكانيكية التي حصلنا عليها هي قريبة جداً من الخواص الميكانيكية لأنواع الفونت عالي المتانة المنتج عالمياً وبالخصوص المقارنة عالميا مع532 – ASTM الأمريكية.

المراجع:

1- الدهشان محمد عز- *الحديد و الفولاذ*، جامعة الملك سعود،537,1995.

2- كارالييف. س.ب-*أهمية وآفاق تطوير الفونت المرن*، 1998 ،267(باللغة الروسية).

3- OLSEN S.O. andHARTUNG. C- *Elkem foundr products* ,*Kristiansand* ,Norway.

4-Metals Hand book American - Foundrymen's Society, Ins 1979,398p

5-Ductil Iron Hand book- American Foundrymen's Society, Ins1993,270p.

6- شرمانوف.أ.د، جوكوف.أ.أ – *دليل حديد الصب (التعدين)*، 1991 ، 423 (باللغة الروسية).