تأثير الشوائب في خواص الفولاذ منخفض السبائكية

الدكتور فؤاد ضحية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

الملخص

يهدف الموضوع إلى دراسة تأثير الشوائب والبحث في الطرائق النظرية والتجريبية للحد من تشكل هذه الشوائب في أثناء تصنيع الفولاذ . لقد قسمت الشوائب إلى الأكاسيد والكبريتات والشوائب المركبة من كلا النوعين .من المعروف التأثير السيئ لهذه الشوائب في الخواص الميكانيكية الفولاذ . لقد أثبتت التجارب أن لشوائب الكبريت تأثيراً أسوأ من الأكاسيد ، وخاصة كبريت الحديد FeS ، إذ إنَّ درجة حرارة انصهاره 880°C ، لذلك عند القيام بتشكيل الفولاذ على الساخن والذي يتم عادة عند درجة الحرارة 1200°C تتشكل من هذه الشوائب أقنية شعرية ضمن الفولاذ الذي تم تشكيله ، ومن ثَمَّ تكون كتشققات مكروية داخلية ونقاط تركيز للإجهادات تسبب انهيار المعدن وتحطمه عند تعرضه لإجهادات أقل من حد الانسياب والتي تعدُّ ضمن قيم الإجهادات المسموح بها.

لقد تم اختيار نوع من الفولاذ الإنشائي منخفض السبائكية، والذي يستخدم على نطاق واسع في تصنيع أجزاء الآلات كالمحاور والمسننات والتروس والجزوع المعقوفة وغيرها . وأُجْرِيَت الدراسة علىمجموعة طبخات من هذا الفولاذ ، حيث استخدمت كميات مختلفة من المواد المرجعة لكل طبخة؛ وذلك للحصول على الفولاذ بأقل كمية من الشوائب وخاصة الكبريتات .وتضمنت الدراسة مجموعة من الاختبارات الستاتيكية والديناميكية تبعها إجراء التحاليل المجهرية والطيفية لكل نوع، وتمت المقارنة بين النتائج التي أظهرت تأثير الشوائب في هذا الفولاذ ،وتم بموجب ذلك تحديد المواد المرجعة وكميتها المثالية .

مقدمة :

ترتبط جودة أجزاء الآلات والإنشاءات المعدنية بالخواص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المستخدمة في تصنيع هذه المواد . من هذا المنطلق يجب أن نأخذ بالحسبان تأثير العوامل الخارجية والداخلية التي تتعرض لها هذه الإنشاءات نتيجة للحمولات المطبقة عليها . إنَّ لشكل وحجم الشوائب وطريقة توزعها في الفولاذ تأثيراً كبيراً في خواصه ، حيث يمكن

أن يكون تأثيرها في المقاطع الحرجة المعرضة للحمولات الديناميكية معادلا لتأثير التلوم؛ أي تكون بمنزلة نقاط تركيز الإجهادات [8] .

يمكن تقسيم الشوائب إلى :

ا- شوائب خارجية المنشأ، وتنتج عن التفاعل بين المعدن المنصهر وأوعية نظام الصب.

ب- شوائب داخلية المنشأ، وهي مكونة من الأكاسيد غير المعدنية والكبريتات والنتريدات.

شوائب الأكاسيد غير المعدنية :

تتشكل الأكاسيد نتيجة لانتزاع الأكسجين من الفولاذ (عملية الإرجاعdeoxidize) . يتعلق حجم ومقدار هذه الشوائب وتركيبها الكيميائي بنوعية الفولاذ مهدأ أو غير مهدأ ، وبنوعية المواد المرجعة المستخدمة لانتزاع الأكسجين وكميتها ،كما أنّها تتعلق بشكل خاص بكمية الأكسجين الموجود في الفولاذ المنصهر، وبكمية العوامل الكيميائية المساعدة deoxidizing agent والمكونة في أغلب الأحيان من العناصر الآتية: Zr , Ti , Al , Si , Mn . لقد أكد الباحثون أنّ المنغنيز يستخدم مع الفولاذ كمرجع :

$$Fe\,O + Mn \rightarrow Mn\,O + Fe$$

كما أنّ المنغنيز يخفض من التأثير السلبي للكبريت، وذلك لأن علاقته بالكبريت كبيرة لذلك ينتزعه من الفولاذ كما هو موضح بالمعادلة الآتية:

$$Fe\,S + Mn \rightarrow Mn\,S + Fe$$

أمّا السيليسيوم فإنّه يوجد بشكل دائم مع الفولاذ ويعدُّ عنصراً مرجعاً فعالاً:

$$2FeO + Si \rightarrow Fe + Si\,O_2$$

من أجل عملية الإرجاع يضاف السيليسيوم بنسبة 0,25 – 0,35 % Si وهذه النسبة كافية من أجل ربط الغازات الموجودة في الفولاذ . عند استخدام الألمنيوم مع السيليسيوم بنسبة 1:1 في عمليات الإرجاع فإنّ الكمية المطلقة للشوائب تتناقص في المسبوكة ، ويعود السبب في ذلك إلى إزدياد كمية المركب $Al_2\,O_3$ الذي يطفو على سطح المعدن المنصهر وينطلق مع خبث الحديد في حوض الفصل؛ بعكس الشوائب الغنية بالمركب SiO_2 التي تطفو ببطئ فلا يكون لديها متسع من الوقت حتى تنطلق مع الخبث فيتصلب الفولاذ المنصهر حولها [1].

يمكننا تقسيم الأكاسيد حسب المركبات المستخدمة في الإرجاع إلى :

- الألومينات : مركبها الأساسي $Al_2\,O_3$ و يمكن أن توجد في المحلول الصلب وتحتوي على نسب مختلفة من الأكاسيد مثل : $Mn\,O$, $Fe\,O$, $Si\,O_2$.

- الأكاسيد السيليسية : مركبها الأساسي $Si\ O_2$. يمكنها أن تحتوي على نسب مختلفة من الأكاسيد مثل : $Al_2\ O_3$, $Fe\ O$, $Mn\ O$ ونتيجة لاستخدام Si في الإرجاع تتشكل الشوائب المركبة بشكل $(Fe, Mn , O)\ Si\ O_2$ أو تتكون شوائب SiO_2 النقية .

تتشكل الأكاسيد خلال كل مراحل انصهار الفولاذ وسكبه، ولكن أكبر كمية من هذه الشوائب تتشكل خلال عملية الإرجاع . ويتعلق شكل هذه الأكاسيد بنوع الفائض وكميته من المواد المرجعة [4] .

- إذا كانت كمية الألمنيوم الفائضة أقل من 0,01% فإن الشوائب تنفصل في الحالة السائلة وتتحلل هذه الجزيئات الكروية المركبة خلال التجمد أو استمرار التبريد إلى عدة أطوار . تتكون هذه الشوائب بشكل رئيسي من النوع :

$$n\ Mn\ O\ .\ m\ Si\ O_2\ .\ p\ Al_2\ O_3$$

والتي يمكن اعتبارها تمثل النوع I من شوائب الأكاسيد(الشكل 1a)

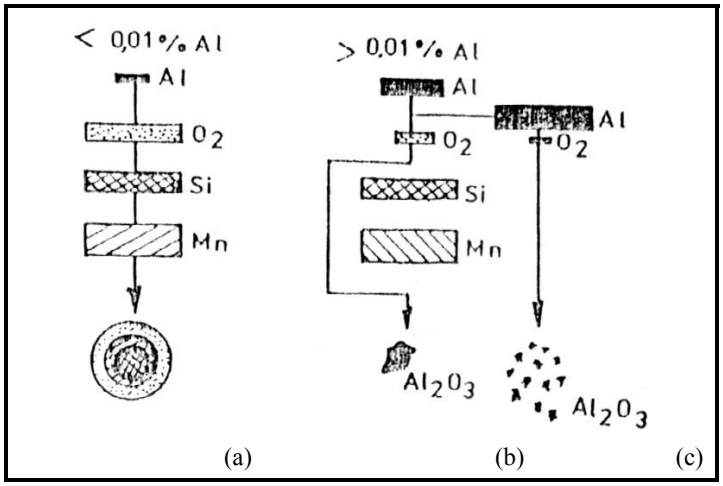
- إذا كان فائض الألمنيوم أكبر من 0 ,01 % فإن نسب الأكسجين والألمنيوم لاتشكل شوائب مركبة كروية الشكل ، وإنما تتشكل في الفولاذ أجزاء صغيرة من بلورات Al_2O_3 شكلها غصني (dendrite) (الشكل1b) . أما إذا كان الفائض كبيراً فإن بلورات Al_2O_3 تنفصل بشكل تجمعات (الشكل 1c) .

عند إجراء عمليات التشكيل على الفولاذ فإن الأكاسيد من النوع a والنوع b لاتتشوه بل تبقى محافظة على شكلها ، أمَّا الأكاسيد من النوع c فتستطيل باتجاه التشكيل نفسه، ومن ثَمَّ تصبح مصدرا لنشوء التشققات في المعدن [3] .

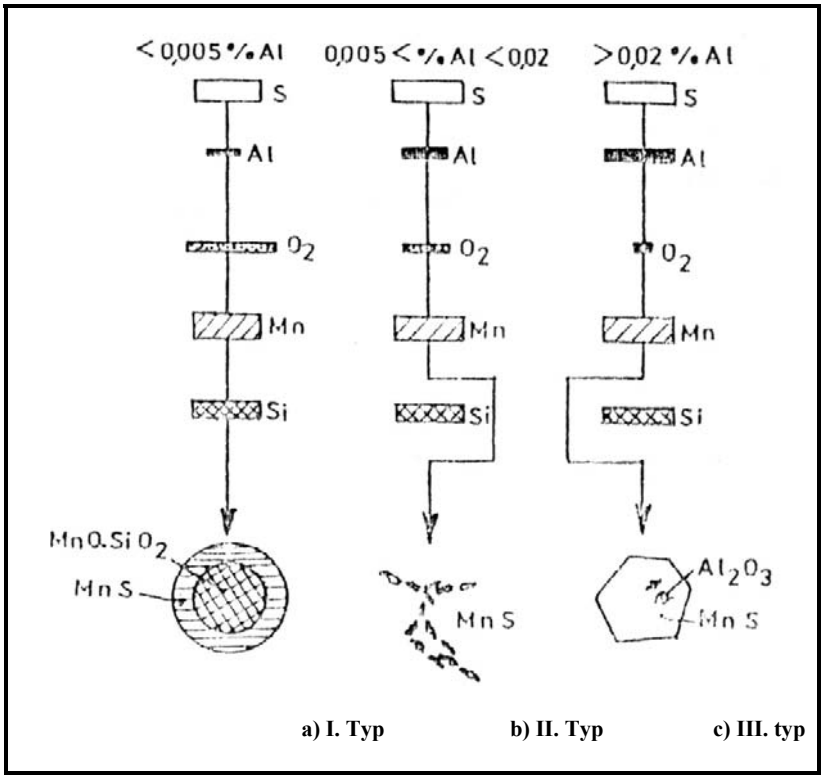
الشوائب الكبريتية :

إن المجموعة الثانية من الشوائب غير المعدنية التي تتشكل في الفولاذ هي الكبريتات التي تعرف بتأثيرها السيئ على الخواص الميكانيكية للفولاذ . لذلك نجد أن الجهود متواصلة لأن تكون كمية الكبريت أقل مايمكن في الفولاذ ، وعلى الرغم من ذلك توجد صعوبة في تخفيف هذه الكمية إلى أقل من 0,005% وربما يعود ذلك لأسباب اقتصادية ، و تكون عادة نسبة الكبريت في الفولاذ نحو 0,02% [6,7] .

إن للكبريت شراهة كبيرة للتفاعل مع كل من الحديد والمنغنيز ، حيث إنَّه يشكل مع الحديد مركب FeS درجة حرارة انصهاره منخفضة 988 °C وقد تصل بوجود الأكسجين إلى 925 °C .



الشكل رقم 1.



الشكل رقم 2.

ويشكل الكبريت مع المنغنيز المركب MnS ودرجة حرارة انصهاره 1610 °C . عند تحول الفولاذ من حالة الانصهار إلى الطور الصلب ، يمكن أن تنشأ أشكال مختلفة من الكبريتات قسمها الباحثون إلى ثلاثة أنواع (الشكل 2) .

النوع I : هي شوائب كروية مكونةمن طور واحد عبارة عن أكاسيد فقط ، أو مكونة من طورين أكاسيد وكبريتات (أوكسي سولفيد) . إن الشرط الأساسي لتشكل هذا النوع من الكبريتات هو وجود الأكسجين في المعدن المنصهر. إذا كانت نسبة الأكسجين في الفولاذ كبيرة (فوق0,02%) تترسب الكبريتات MnS ذات الشكل الكروي glubular وتكون موزعة بشكل عشوائي ،وتتشكل أحياناً شوائب ثنائية الطور وهي عبارة عن Mn S مع نسبة محدودة من $Mn\,O\,,\,SiO_2\,,$

Al_2O_3 . إن الشكل الكروي لهذه الشوائب يؤكد أنَّها تتشكل كطور سائل في الفولاذ المنصهر ثم لاتلبث أن تتخثر متحولة إلى الحالة الصلبة [2] .

النوع II : وهي شوائب كبريتية تنفصل بين الفروع الغصنية للفولاذ dendrite وتتشكل عند الإرجاع بالألمنيوم Alأو بالسيليسيوم Si . إذا زادت نسبة الألمنيوم عن 0,02% تتشكل شوائب صغيرة من MnS بشكل مستعمرات واسعة بين اليوتكتيك الغصني . يزداد التأثير السلبي لهذا النوع من الشوائب في خواص الفولاذ الميكانيكية عند تشكيله على الساخن، وذلك لأن Mn S ذو قابلية كبيرة للتشكيل.

النوع III : وهي شوائب أحادية الطور حافاها حادة وغالباً ماتكون موزعة بشكل عشوائي في المعدن الأساسي . يتشكل هذا النوع من الكبريتات إذا كانت كمية الأكسجين أقل من0,01% وكمية الألمنيوم المستخدمة فائضة عن عن الكمية اللازمة للارتباط مع الأكسجين . لقد أظهرت التحاليل أنَّ هذه الشوائب مكونة من MnSالنقية ، وقد درس الباحثون تأثير سرعة التبريد في كمية وحجم الأكاسيد، وأكدوا أنَّه بازدياد سرعة التبريد يزداد حجم هذه الشوائب [5, 4] .

مواد الاختبار وطريقة العمل :

يعدُّ الفولاذ الهيبويوتكتويدي الذي تتكون بنيته من الفريت والبرليت من أكثر أنواع الفولاذ الإنشائي استخداماً . لقد تمت الدراسة والتجارب على فولاذ إنشائي منخفض السبائكية بحيث تكون قابليته للتكريم كبيرة وملائماً للتقسية السطحية ، وقد تم تصنيعه في الأفران القوسية . يوضح الجدول (1) تركيبه الكيميائي.

الجدول رقم 1.

C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cr %	V %
0,24 – 0,34	0,4 – 0,8	0,17-0,37	Max. 0,037	Max. 0.035	2,2 – 2,5	0,1 – 0,2

حسب معطيات المعمل عند الانتهاء من تصنيع الفولاذ في الفرن القوسي الكهربائي يتم سكبه في قوالب التماسيح (ingot) ، كتلة القالب 1300 kg . تتم بعد ذلك دررفلتها إلى بيليت مختلفة المقاطع .

خلال عملية التصنيع تم تنفيذ العديد من التجارب وتغيير كمية المواد المستخدمة في الإرجاع بهدف التخلص من الشوائب . تتضمن الدراسة اختبار أربعة أنواع من الطبخات لهذا الفولاذ :

النوع A : تمت إضافة 350 g من الألمنيوم إلى كلِّ طن من الفولاذ في فرن الصهر ، وبعد ذلك تم استخدام خليط من مسحوق Fe Mn Si Ca كمرجع نهائي في حوض الصهر .

النوع B : أضيف 1,7 kg من الألمنيوم إلى كلِّ طن من الفولاذ ، والمرجع النهائي الذي استخدم عبارة عن خليط من مسحوق Fe Si Ca Al في حوض الصهر .

النوع C : أضيف 1,5 kg من الألمنيوم إلى كلّ طن من الفولاذ ، واستخدم كمرجع نهائي من خليط المسحوق Ca Si بمقدار 3,35 kg لكل طن من الفولاذ في حوض الصهر .

النوع D : أضيف 2,0 kg من الألمنيوم لكل طن من الفولاذ في نهاية غليانه ، واستخدم 3,6 kg من خليط المسحوق Ca Si لكل طن من الفولاذ كمرجع نهائي في حوض الصهر .

لقد تم أخذ عينات مختلفة من المقاطع الطولية والمقاطع العرضية من المعدن نصف المصنّع (البيليت) من كل نوع من الأنواع السالفة الذكر ، حيث تم إجراء اختبارات الشد والصدم والتعب عليها .

تم إجراء المعالجات الحرارية على عينات اختبار التعب بحيث يكون حد المتانة في الشد لهذا الفولاذ: $\sigma ut = 920 \pm 30$ Mpa وذلك كما يأتي:

- التنسيق : / 1 h / 900 C ثم تبريد في الهواء الساكن .
- السقاية : / 40 min / 860 C ± 10 C تبريد بالماء
- الإرجاع : / 2,5 h / 610 °C ± 10 °C تبريد في الهواء .

تم بعد ذلك شحذ العينات وصقلها .

يوضح الجدول رقم 2 متوسط قيم نتائج الاختبارات الميكانيكية وحد الصمود في التعب لكل نوع من أنواع الطبخات .

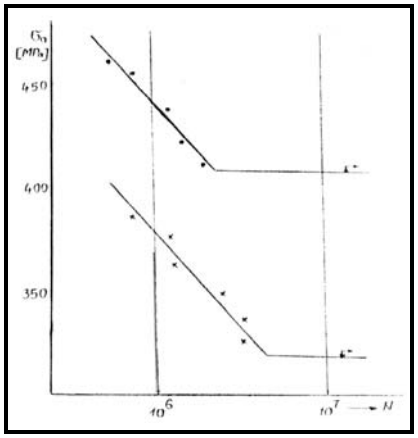
الجدول رقم 2

القيم المستنتجة	أنواع الطبخات			
	A	B	C	D
σ_{ut} [Mpa]	921	918	928	986
σy [MPa]	828	821	838	882
δ [%]	18, 2	17, 4	18, 0	19, 5
ψ [%]	62	60, 9	62	61
σ_y / σ_{ut}	0, 89	0, 89	0, 90	0, 89
∥KCU [J/cm^2]	69, 5	69	50,2	59, 1
⊥KCU [J/ cm^2]	30	24	33	34
∥ σ [MPa]	410	440	480	490
⊥ σ_C [Mpa]	320	400	430	440

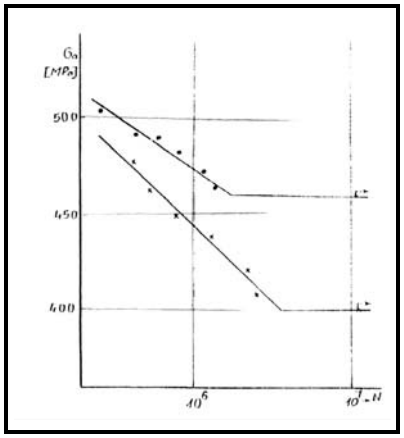
∥ عينات من المقطع الطولي ⊥ عينات من المقطع العرضي

تم توضيح نتائج إختبارات التعب في الأشكال (3, 4, 5,6) بمنحنيات التعب(منحنيات فولر) التي أجريت على العينات التي أخذت من كل نوع من أنواع الطبخات الواردة الذكر.

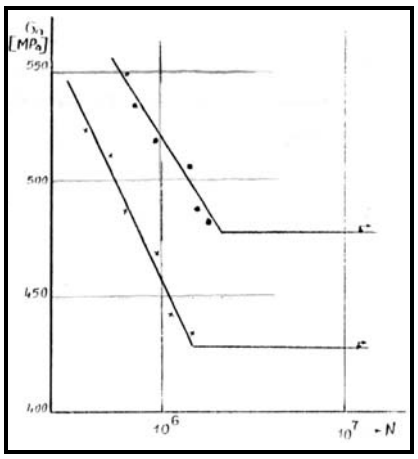
لقد كانت الخطوة التالية إجراء تحاليل مجهرية لتحديد نوعية الشوائب الموجودة في عينات الفولاذ . أظهرت الصور التي أخذت بالمجهر الضوئي لعينات تم صقلها دون أن تتعرض لعملية التخريش (المعالجة بالحمض) وجود شوائب حادة الحافات كبيرة نسبياً يتوقع من لونها الفاتح أنَّها مركبات كبريتية ، وشوائب صغيرة كروية الشكل سوداء تعطي ملامح الأكاسيد . كانت هذه الشوائب موزعة عشوائياً (الشكل 7) .



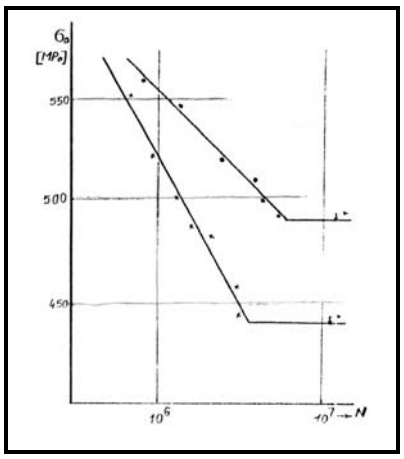
الشكل رقم 3. منحنى التعب للخلطة A



الشكل رقم 4. منحنى التعب للخلطة B



الشكل رقم5. منحنى التعب للخلطة C

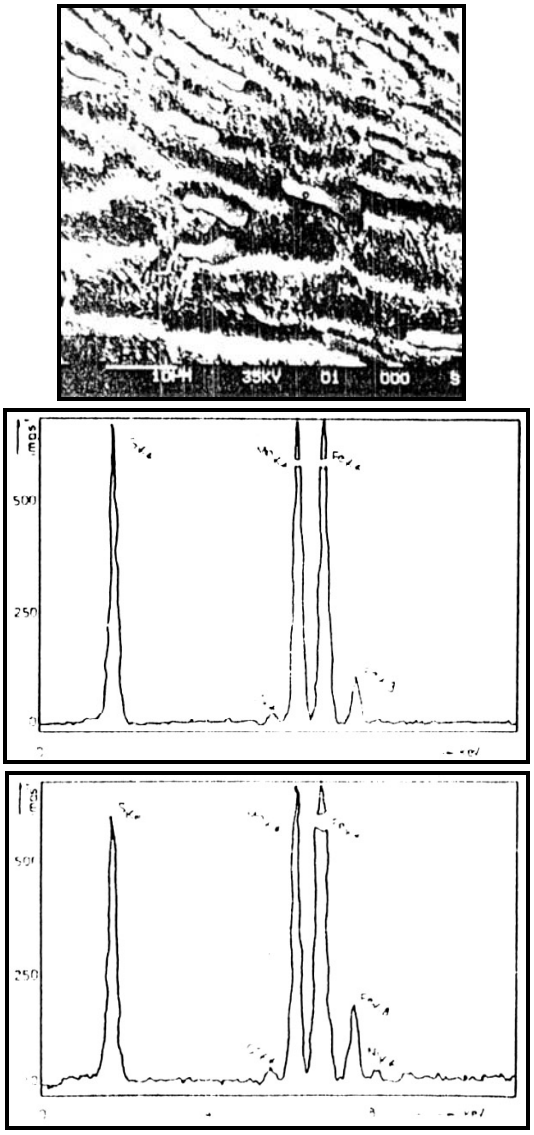


الشكل رقم 6. منحنى التعب للخلطة D

الشكل 7 توزع وأشكال الشوائب (تكبير X 200)

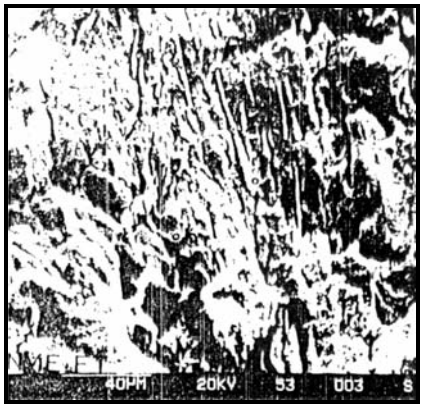
للتأكد من نوعية هذه الشوائب تم إجراء دراسة بالمجهر الإلكتروني على سطوح عينات تحطمت باختبار الشد، وتحليل تركيب الشوائب الموجودة على هذه السطوح، وكانت النتائج كما يأتي:

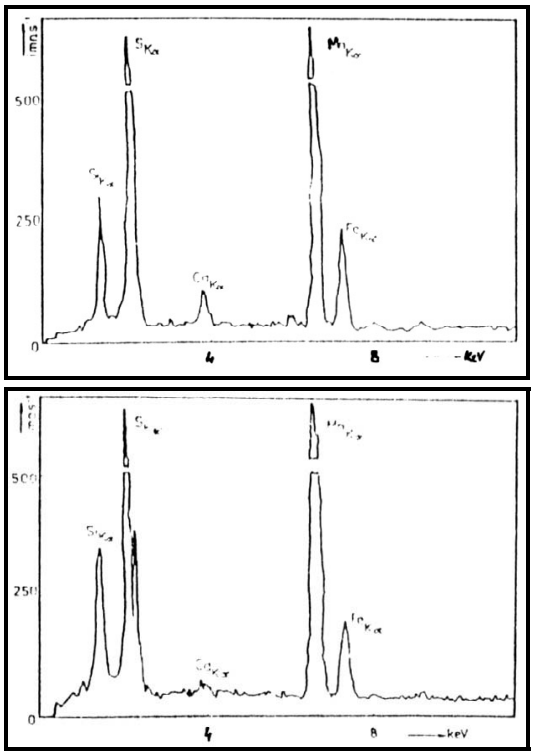
النوع A: أظهر التحليل النقطي لشائبة على السطح المتحطم بأنها تحتوي العناصر الآتية:, Mn , Fe , S (الشكل 8) وهذا يعني أنَّ الشوائب تحوي كبريت الحديد FeS الذي له تأثير سيئ في خواص الفولاذ، أو يمكن أن يكون وجود الحديد من تأثير المعدن الأساسي ، ولذلك كان لابد من اقتلاع بعض الشوائب وتحليله بشكل منفصل . لذلك تم تخريش السطح في محلول متيل الكحول يحوي B % 5 لمدة دقيقة واحدة تؤدي إلى تعرية الشوائب، ثم إجراء الطبعة الأولى من مادة colodion وتركها فترة قصيرة ثم اقتلاعها . تم تحليل الشوائب (الشكل 9) ووجد أنَّها تحتوي على S , Mn, Fe , Ca , Si .



الشكل رقم 8.

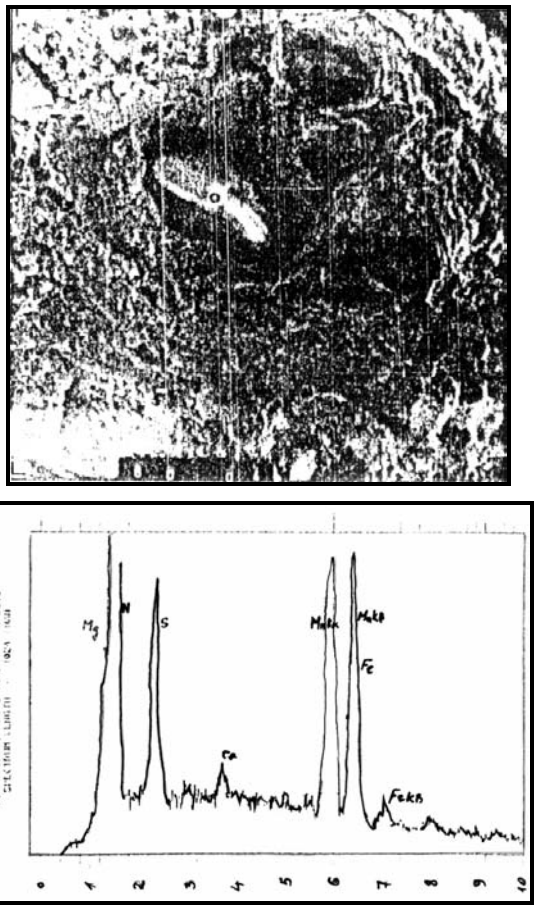
صورة بالمجهر الإلكتروني لمنطقة متحطمة من عينة تمت معالجتها بمحلول 5% Br في متيل الكحول. وفي الأسفل مخطط التحليل النقطي للشائبة.





الشكل رقم 9.
صورة لشوائب مقتلعة ، وفي الأسفل مخطط تحليل الشوائب

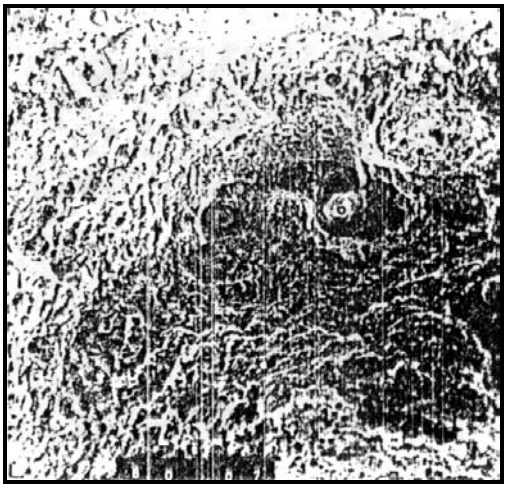
النوع B : لقد أثبت الكشف بواسطة المجهر الإلكتروني والتحليل النقطي الطيفي وجود شوائب من الأكاسيد ومن الكبريتات ، كما هو موضح (بالشكل10) . والعناصر الموجودة فيها : Fe , Ca , Mg , Mn , S , Al .

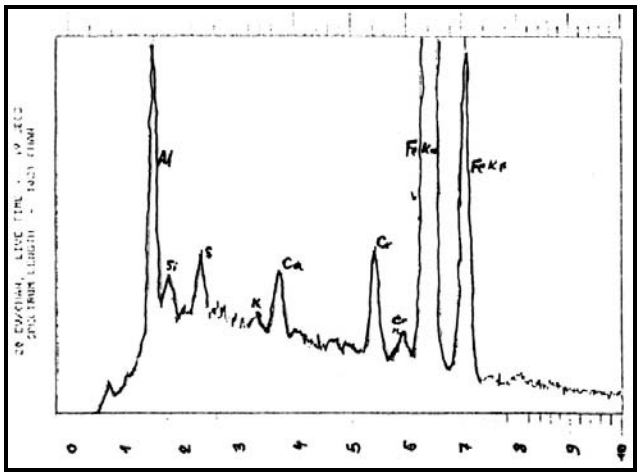


الشكل رقم 10. صورة لشوائب مركبة من الأكاسيد والكبريتات من عينة مأخوذة من النوع B وفي الأسفل مخطط تحليل الشوائب

النوع C : لقد وجد أنَّ هذه الطبخة أكثرنقاوةمن سابقاتها وللشوائب شكل كروي ، كما يوضح (الشكل 11

) والعناصر الموجودة فيها : Fe , Cr , Ca , S , Si , A l .

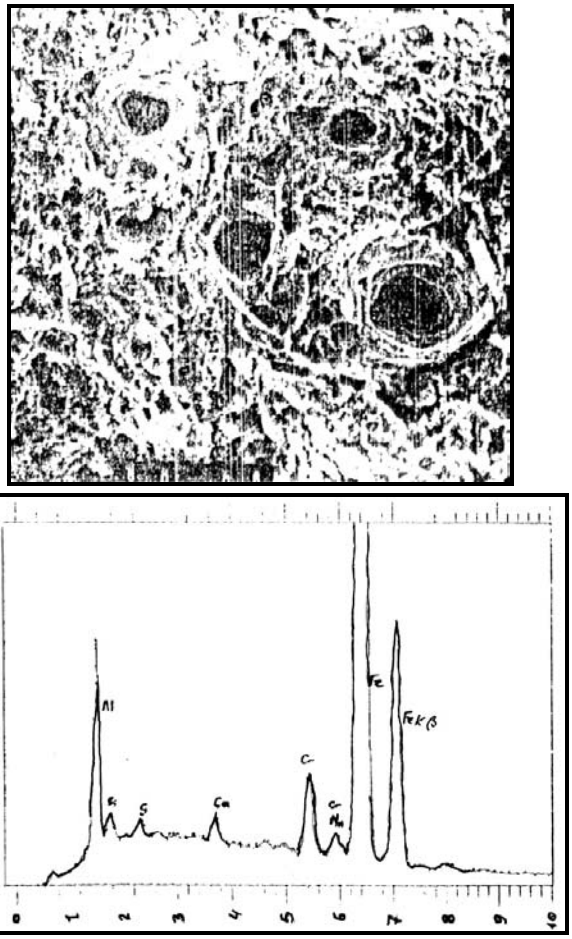




الشكل رقم 11. صورة للشوائب الموجودة في النوع C وفي الأسفل مخطط التحليل النقطي

النوع D : لقد كانت هذه الطبخة عالية الجودة والشوائب الموجودة عبارة عن أكاسيد كروية الشكل وذلك واضح من خلال (الشكل 12) . العناصر الموجودة فيها : Al , Ca , Fe , Cr وكمية

صغيرة جدا من الكبريت S .



الشكل رقم 12. صورة للشوائب الموجودة في النوع D، شكلها الكروي يدل على أنها أكاسيد؛ ويؤكد ذلك مخطط التحليل النقطي في الأسفل .

الخاتمة ومناقشة النتائج :

من نتائج الفحوص بالمجهر الإلكتروني والتحاليل النقطية التي أجريت على أنواع من الفولاذ مختلفة من

حيث كمية المواد المرجعة أن الأنواع A و B تحتوي على كميات كبيرة من الكبريتات كبيرة الحجم . وقد أثبت التحليل أنها تحتوي كبريت الحديد FeS الذي درجة حرارة إنصهاره منخفضة (988 C) ،وهذا له تأثير سيئ في خواص الفولاذ، وخاصة عند تشكيله على الساخن ، حيث إنَّ هذا النوع من الشوائب يشكل أقنية دقيقة في داخل المعدن فتكون بمنزلة شقوق جاهزة ونقاط تركيز للإجهادات. إن النوع C يحتوي على شوائب كروية صغيرة من الأكاسيد وعلى نسبة صغيرة من الكريتات كما أظهر مخطط التحليل . ويعدُّ النوع D الأفضل حيث أظهرت النتائج أنَّ كمية الشوائب الكبريتية الموجودة فيه قليلة جداً ، ويحتوي على أكاسيد كروية صغيرة .

أظهرت نتائج الاختبارات الستاتيكية تقارباً في النتائج وتحسناً بسيطاً في قيمة حد المتانة وحد الخضوع بالنسبة للنوع D . ولكن كانت الفروق كبيرة في نتائج اختبارات التعب ، حيث كانت قيم حد الصمود في التعب متدنية في الأنواع A و B، في حين زادت هذه القيم زيادة كبيرة في النوعين الآخرين وخاصة النوع D أيضاً. تؤكد هذه النتائج مقدار التأثير السلبي للشوائب الكبريتية ، وسبب اختلاف القيم للفولاذ نفسه من حيث تركيبه الكيميائي ناتج عن أنواع وأشكال الشوائب الموجودة فيه ،والتي تتعلق بدورها بنوع ومقدار المواد المستخدمة في عمليات الإرجاع .

المراجع

1- BAKER ,T.J. – CHARLES , J.A. : Effect of second phase particles On mechanical properties of steel , ISI London 1971

2- BAKER , T.J. – CHARLES , J. A. :Iron steel Inst. 1973

3- BUZEK , Z . : Hutnik c. 3 1981

4- KOUTSKY , E : Hutnicke listy c. 7 1970

5- MYSLIVEC , T. : Fyzikalne- chemicke zaklady ocelarstvi SNTL Praha 1971 .

6- PISEK , F. – JENICEK , L. – RYS , P. : Nauka o materialu I. Praha 1983 .

7- RYS , M. – CENEK , K. – MAZANEC , A. – HRBEK , A. : Zelezo a jeho Slitiny Praha 1975 .

8- الدكتور محمد عز الدهشان: الحديد والفولاذ – الاتزان الحراري والسبائك 1991 المملكة العربية السعودية.

The Influence of Low Cast Steel of Gangue on the Characteristics

Fouad Dahia
Faculty of Mechanical and Electrical Engineering
Damascus University

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2001/3/14.

Abstract

This paper aims at studying the influence of gangue aiid researching in the theoretical empirical methods in order to limit the formation of such gangue during the manufacture of steel. Gangues are divided to acids, sulfate and compound gangue. Such gangues are known for their bad influence on the mechanical characteristics of steel. Experiments have proved that the influence of Sulfur gangue especially FeS is worse than that of acids, as the melting point is 880t. Such gangue form capillary ducts within steel, thus there will be internal micro cleaves and stress points that will lead to collapse and break when the metal is exposed to stress less than the flowing point which is considered within the allowed stress values.

Low cast construction steel has been selected. Such steel is widely used in the manufacture of machine parts such as axles, gears, cogwheels, hooked axles etc. The study is carried out on several steel alloys where different reduction substances were added in order to achieve steel with minimum gangue especially sulfate. The study includes several static and dynamic experiments followed by microscopic and spectroscopic analysis for each type. Results showing the influence of gangue on this steel are compared, accordimigly, reducing substances and optimum quantities are specified.