مجلة الهندسة والتنمية المجلد التاسع/العدد الأول - آذار ٢٠٠٥ ISSN
1813-7822

دراسة تاثير المتضمنات اللامعدنية على مطروقات الفولاذ واطئ التسبيك

Study the Influence of Non-Metallic Inclusions on Wrought Low Alloy Steel

أ.م.د.علي حسين عتيوي
قسم هندسة المواد
الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق

د. ستار عبود عباس
دكتوراه علوم - فيزياء
وزارة العلوم والتكنولوجيا، بغداد، العراق

صباح عجيب كاصد
ماجستير علوم - فيزياء
وزارة العلوم والتكنولوجيا، بغداد، العراق

الخلاصة

توجد المتضمنات اللامعدنية في الفولاذ كنتيجة لتواجد الاوكسجين والكبريت على شكل اكاسيد وكبريتيدات قابلية ذوبانها واطئة نسبيا. ان شكل وعدد وحجم وطريقة توزيع هذه المتضمنات يؤثر على نوعية الفولاذ وسلوكه في التطبيقات الهندسية.

ان الغاية من البحث هو دراسة اشكال وانواع هذه المتضمنات باستخدام محاليل كيميائية ولايجاد الدليلين k_0 و k_1 واللذان يمثلان النسبة المئوية للمتضمنات داخل البنية التركيبية للفولاذ. وكذلك دراسة العلاقة بين هذين الدليلين والخواص الميكانيكية للفولاذ المطروق الواطئ التسبيك ($32Ni\ Cr\ MoV_{12.3}$).

لقد تم التوصل الى نتائج تبين وجود علاقة عكسية بين الاستطالة ومقاومة الصدمة مع الدليلين k_0 و k_1 والى وجود علاقة طردية بينهما وبين مقاومة الشد.

Abstract

The non-metallic inclusions can be found in steel as a result of existence of oxygen and sulpher in form of oxides and sulphides which they have relative low solubility. The shape, number, size and distribution of these inclusions have a significant influence on the type and comportment of steel in various engineering applications.

The object of this study is to examine the shape and type of the non-metallic inclusions by using chemical reagents and to determine the indices k_0 and k_1 which give the percentage amount of these inclusions in the structure of wrought low alloy steel($32Ni\ Cr\ MoV_{12.3}$), then to investigate the relation between these indices and mechanical properties.

It is concluded that ductility and shock resistance are inversely proportional to the indices, while tensile strength is proportional directly with these indices.

١ . أنواع المتضمنات اللامعدنية

المتضمنات اللامعدنية هي اطوار غيرمعدنية في اساس معدني ولايوجد ترابط بينها وبين المعدن الاساس وغيرذائبة فيه [١] وتصنف المتضمنات اللامعدنية الى نوعين رئيسيين هما [٢]:

١-١ المتضمنات الخارجية ***Exogenous Inclusions***

هي المتضمنات التي تنتج من مصادر خارجية مثل الخبث او المواد التي تلتصق بالمعدن خلال عملية الصهر والصب وغالباً مايكون هذا النوع من المتضمنات مرئيا على سطح المصبوبة ويمكن معالجته مباشرة.

١-٢ المتضمنات المتوطنة ***Indigenous Inclusions***

هي المتضمنات التي تكون على شكل مركبات اغلبها من الاوكسيدات والكبريتيدات وتتكون نتيجة التفاعلات الكيميائية بين الالمنيوم والاوكسجين، والسليكون والاوكسجين، والمنغنيز والكبريت. وهذا النوع من المتضمنات عادة تكون صغيرة جداً وتحتاج الى تكبير مجهري لرؤيتها وتميزها ويكون توزيعها منتظم داخل التركيب المجهري بعد عمليات الطرق والتنقية واحياناً توجد على الحدود الحبيبية.

وقد صنف هذا النوع من المتضمنات الى عدة انواع، حيث صنفها الباحثان سميز وداهل (Sims & Dahle) الى ثلاثة انواع حسب شكلها وحجمها وطريقة توزيعها [٣].

اما المواصفة الالمانية القياسية DIN 50602 فقد صنفت هذا النوع من المتضمنات الى اربعة انواع هي [٤]:

١- المتضمنات الكبريتيدية المستطالة ***Sulphide elongated inclusions*** ويرمز لها بالرمز SS .
٢- المتضمنات الاوكسيدية المبعثرة ***Oxide fragmented inclusions*** ويرمز لها بالرمز OA (الومينا).
٣- المتضمنات الاوكسيدية المستطالة ***Oxide elongated inclusions*** ويرمز لها بالرمز OS(سليكات).
٤- المتضمنات الاوكسيدية المكورة ***Oxide globular inclusions*** ويرمز لها بالرمز OG

وقد تتكون متضمنات مختلطة مثل الاوكسي-كبريتيدية، او مزيج مختلط من الالومينا وكبريتيد المنغنيز.

٢ . درجة النقاوة

هي قيمة تبين محتوى المتضمنات اللامعدنية التي تكون على شكل اكاسيد اوكبريتيدات في البنية التركيبية، ويوظف دليل يتناسب مع محتوى المتضمنات يرمز له بالحرف (k) ويعنى هذا الدليل على انه النسبة المئوية لمساحة المتضمنات اللامعدنية في البنية التركيبية ونحصل عليه من حاصل جمع عدد المتضمنات على ضوء مساحتها وابتداءً من حجم محدد وصاعداً. وهناك اعداد تسمى اعداد تتابع (rating number) وهي من صفر الى ثمانية توزع عليها المتضمنات حسب طولها اوعرضها اوقطرها حيث ان كل مدى معين من الطول والعرض للمتضمنات يوضع تحت عدد تتابعي.

ويعتمد حساب المتضمنات على العامل المحسوب على اساس المتوالية الهندسية (2^{n-4}) حيث n هو عدد التتابع ويتم اعتماد عدد التتابع المعين حسب طريقة تصنيع الفولاذ ونوعه. فمثلاً في طرق الصهر بالهواء وفولاذ التركيب والعدد يستخدم عدد التتابع رقم (٤) وصاعداً اي نبدأ بحساب المتضمنات التي تكون ابعادها تحت العدد التتابعي رقم (٤) وصاعداً اي المتضمنات التي تكون بعرض ٠.٥ مايكرون وطول يتراوح بين(2200-4400) مايكرون ونهمل المتضمنات التي تكون اصغر من ذلك وفي هذه الحالة يضاف الرقم (٤) الى الحرف (k) السابق فيسمى الدليل (k_4) . اما الفولاذ المصنع عن طريق الصهر بالفراغ او في طريقة اعادة الصهر كهربة الخبث (ESR) فيتم استخدام عدد التتابع رقم (١) وصاعداً ويسمى الدليل في هذه الحالة (k_1) . اما الدليل (k_0) فيعني حساب جميع المتضمنات دون استثناء اي نبدأ بالمتضمنات التي تكون تحت العدد التتابعي رقم صفر وهي التي تكون بعرض ٠.٥ مايكرون وطول يتراوح بين (150-290) مايكرون اي ان الرقم الذي يلي الحرف (k) يشير الى اصغر عدد تتابعي مستخدم [٤].

٣. طريقة اعادة الصهر بكهربة الخبث

وهي من الطرق المهمة والشائعة في انتاج فولاذ وبمواصفات ونوعية عالية ويرمز لها اختصاراً بالرمز (ESR) .وتتلخص هذه الطريقة باعادة صهر قطب من الفولاذ منتج بعملية صهراولي ويغمر هذا القطب في خبث ساخن جداً. فعند ارتفاع درجة الحرارة الى اعلى من درجة حرارة السيولة للمعدن فان رأس القطب سينصهر ويمرخلال هذا الخبث السائل وخلال مروره فانه ينقى وينظف من الملوثات كالاكاسيد والكبريتيدات من خلال التفاعل بين مكونات الخبث والمنصهرالمعدني.وان المتضمنات المتبقية ستكون صغيرة الحجم وموزعة خلال المصبوبة وتكون متجانسة وخالية من الانعزالية (segregation) والفجوات مما يؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية بشكل كبير [٥].

اما الخبث المستخدم فهو على عدة انواع ومنه النوع الذي يتكون من ٦٠% فلوريد الكالسيوم CaF_2 و٢٠% اوكسيد الكالسيوم CaO و٢٠% الومينا Al_2O_3 .وانه يجب ان يمتلك خواص معينة مثل درجة انصهاره اوطأ من درجة انصهار المعدن وان يكون كفوء كهربائياً وذو تركيب كيميائي ملائم لحدوث التفاعلات الكيميائية المرغوبة بحيث ان عملية ازالة الكبريت والاوكسجين تكون مؤكدة [٥].

ومن البحوث السابقة الخاصة بموضوع المتضمنات اللامعدنية توصل الويل R. H. El weel (1975) وجماعته الى ان الخواص الميكانيكية للفولاذ يمكن تحسينها بالسيطرة على شكل المتضمنات وذلك بالوصول الى نسبة قليلة جداً من الكبريت من خلال استخدام طريقة ESR [٦].

ويحث لي S. LEE (1989) في العلاقة بين التركيب المجهري والهشاشة واكد ان الفجوات تتكون اولاً حول المتضمنات الكبريتيدية الكبيرة الحجم [٧].

واشار جونهيلو Chunhuluo (2000) الى سلوك المتضمنات والمادة الاساس المحيطة بها خلال عمليات الدرفلة على الحار والطرق للفولاذ واشار الى ان الفجوات تتكون في السطح الفاصل بين المادة الاساس والمتضمنات وتناول الاجهادات المتولدة نتيجة وجود هذه المتضمنات [٨].

٤. الجانب العملي

٤-١ مقدمـــــة

تم العمل في هذا البحث على نماذج من سبيكة فولاذ واطئ التسبيك هي السبيكة $32\ NiCrMoV_{12-3}$ وهذه السبيكة منتجة بطريقة اعادة الصهر بالخبث المكهرب (ESR). يبين الجدول رقم (١) التركيب الكيميائي القياسي لهذه السبيكة [٩].

الجدول رقم (١) التركيب القياسي الكيميائي للسبيكة [٩]

نوع السبيكة	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Al
$32NiCrMoV_{12-3}$	0.25-0.4	0.1-0.35	0.4-0.7	0.015	0.015	0.5-1.5	0.3-0.5	2.7-3.3	0.08-0.25	0.015

٤-٢ تحضـير النمـــاذج

ان الفحوصات التي اجريت خلال هذا البحث تتطلب تهئية خاصة للنماذج ولذلك تطلب اجراء عمليات التحضير التي تشمل:

١) **التقطيع:** حيث يتم تقطيع النماذج من اماكن واتجاهات معينة بواسطة ماكنات القطع المختلفة .

٢) **التشغيل:** حيث تشغل النماذج الخاصة بفحوصات الشد والصدمة بابعاد خاصة بواسطة ماكنات التشغيل المختلفة.

٣) **التنعيم والصقل:** حيث يجري تنعيم وصقل النماذج الخاصة بفحوصات درجة النقاوة والحجم الحبيبي والتركيب المجهري ويتم ذلك باستخدام ورق التجليخ بدرجات مختلفة وعجينة الماس وباحجام حبيبية مختلفة.

٤) **الاظهار الكيميائي:** وهو معاملة النموذج بمحلول حامض النتريك والذي يتكون من (٢-٤%) حامض النتريك و ٩٦-٩٨% كحول (ايثانول اوميثانول). والذي يسمى بالنايتل (Nital)

٤-٣ فحـص التركـيب الكيميـائـــي

تم اجراء فحوصات التركيب الكيميائي بواسطة جهاز الشرارة (spark).

٤-٤ الفحوصات الميكانيكية

تم اجراء فحص الشد على عينات الفحص حسب المواصفة الالمانية القياسية ***DIN 50125*** [10]، وفحص الصدمة حسب المواصفة القياسية ***DIN 50115*** [11] اضافة الى فحص الصلادة بمقياس برينل.

٤-٥ فحص درجة النقاوة

تم اجراء فحص النقاوة على العينات حسب المواصفة الالمانية القياسية ***DIN 50602*** وباستخدام المجهر الضوئي وبتكبير×١٠٠ حيث يتم الفحص بعد اتمام عمليتي الصقل والتنعيم فتظهر المتضمنات بوضوح على سطح النموذج فيتم حسابها حسب الانواع الاربعة الواردة سابقاً [٤].

٤-٦ فحص الحجم الحبيبي

اجري هذا الفحص باستخدام المجهر الضوئي وبتكبير×١٠٠ وباتباع اسلوب الاكسدة وحسب المواصفة القياسية الامريكية ***ASTM E112-96*** حيث يصقل النموذج جيداً ويوضع في الفرن الكهربائي ويسخن الى درجة حرارة ٨٥٧ ±١٤ م° لمدة ساعة ثم يبرد بالماء ويعاد صقله مرة اخرى لاظهار الحدود الحبيبية للاوستنايت [١٢].

٤-٧ النتائج والمناقشة

٤-٧-١ نتائج فحص التركيب الكيميائي

يبين الجدول رقم (٢) نتائج التحليل الكيميائي للنماذج المأخوذة من السبيكة المنتجة محلياً بالاضافة الى نموذج اخر لغرض المقارنة وهو النموذج رقم (١١).

٤-٧-٢ نتائج فحص درجة النقاوة

اختلفت درجة النقاوة للنماذج المفحوصة ضمن مدى واسع نسبياً حيث تراوحت بين ١.٧-٥٤.٣ بالنسبة للدليل k_0 (اي شمول جميع المتضمنات اللامعدنية في الحساب) وبين ١-١٧.٨ بالنسبة للدليل k_1 (اي بعد اهمال المتضمنات الصغيرة) بعرض ٠.٥ مايكرون وبطول يتراوح بين (١٥٠-٢٩٠) مايكرون ومع ان المواصفة تحدد الدليل k_1 في حساب المتضمنات اللامعدنية بالنسبة للفولاذ المصنع بطريقة ESR الا اننا اخذنا بنظر الاعتبار المتضمنات الاصغر اي حساب الدليل k_0 لنرى تاثير ذلك على خواص الفولاذ وهل تتغير علاقة تلك الخواص بمحتوى المتضمنات اللامعدنية في تلك الحالة عن تلك العلاقة في حالة حساب k_1. يتضمن الجدول رقم (٣) النتائج النهائية لدرجة النقاوة بدلالة k_0 وk_1 والحجم الحبيبي، ان اغلب النماذج منتجة بنفس الطريقة ولكننا نلاحظ تفاوت في مقدار محتوى المتضمنات من خلال الدليلين k_0 وk_1 وهذا يعتمد على الدقة في تنفيذ خطوات العمل في عملية الصب والصهر وعلى الدقة في حساب النسب المئوية للعناصر السبائكية المضافة وكذلك على محتوى الكبريت والاوكسجين.

الجدول رقم (٢) نتائج التركيب الكيميائي

رقم النموذج	C %	Si %	S %	P %	Mn %	Ni %	Cr %	Mo %	V %	Al %	Cu %
1	0.32	0.35	0.008	0.01	0.45	3.51	1.6	0.48	0.18	---	---
2	0.36	0.31	0.006	0.009	0.46	3.3	1.62	0.49	0.19	---	---
3	0.3	0.16	0.005	0.009	0.35	3.52	1.48	0.49	0.19	---	---
4	0.28	0.21	0.01	0.009	0.48	3.45	1.85	0.45	0.2	---	---
5	0.3	0.28	0.007	0.014	0.35	3.45	1.57	0.44	0.19	0.01	0.11
6	0.33	0.45	0.005	0.01	0.45	3.51	1.5	0.45	0.19	---	---
7	0.35	0.15	0.013	0.017	0.6	3.53	1.71	0.4	0.12	0.005	0.12
8	0.3	0.24	0.021	0.01	0.33	3.54	1.41	0.49	0.15	---	---
9	0.23	0.34	0.009	0.004	0.38	3.18	1.46	0.31	0.19	---	0.14
10	0.34	0.13	0.023	0.013	0.59	3.35	1.8	0.5	0.21	---	---
11	0.35	0. 3	0.005	0.016	0.4	3.44	1.52	0.46	0.19	0.006	0.26

الجدول رقم (٣) النتائج النهائية لمحتوى المتضمنات بدلالة k_0 وk_1 والحجم الحبيبي

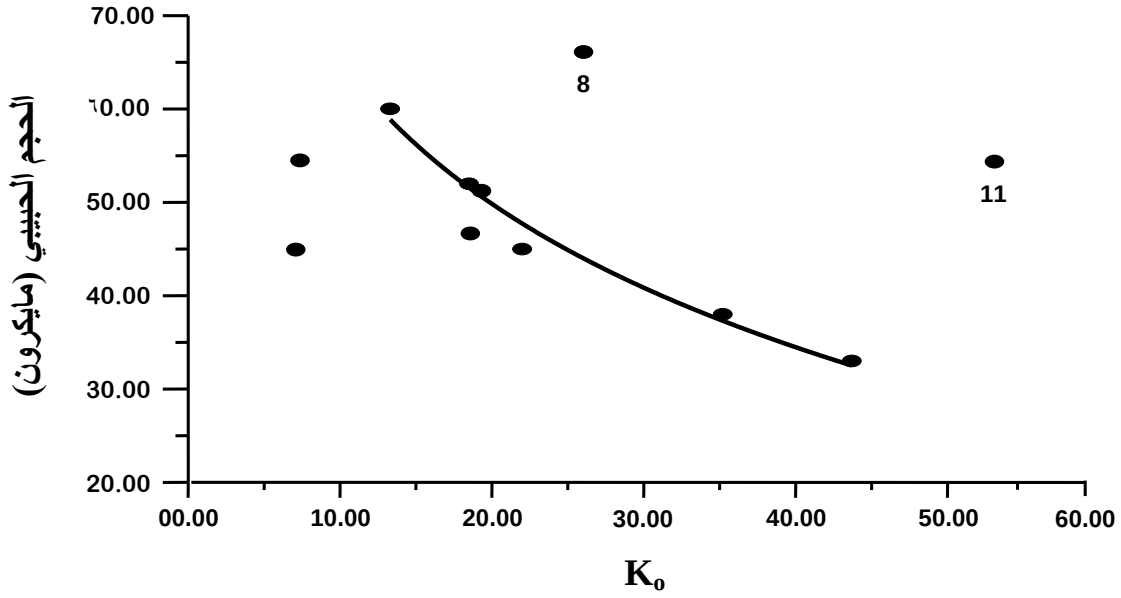
رقم النموذج	K_O	K_1	الحجم الحبيبي مايكرون	رقم الحجم الحبيبيG
1	7.1	1	50	5.7
2	11	2.7	45	6
3	13.3	5	60	5.2
4	18.5	4.3	52	5.6
5	20	3.5	47	5.8
6	20	7	50	5.7
7	22	8.4	45	6
8	27.4	9.3	65	4.9
9	35.2	14.2	38	6.5
10	43.7	17.8	33	6.8
11	54.3	5	55	5.3

٤-٧-٣ نتائج فحص الحجم الحبيبي

لقد ذكرنا سابقاً بان للمتضمنات تاثير على حجم الحبيبات المتكونة من خلال كونها تعتبر اجنة او نويات يبدأ عندها التبلور وان العلاقة عكسية بين عدد المتضمنات والحجم الحبيبي مع ان هناك عوامل عديدة تؤثر على الحجم الحبيبي مثل بعض عناصر التسبيك ومعدل التبريد ودرجة حرارة المنصهر. نتائج فحص الحجم الحبيبي موجودة ضمن الجدول رقم (٣) مع نتائج فحوصات النقاوة.

يمثل الشكل رقم (١) العلاقة البيانية بين الحجم الحبيبي ومحتوى المتضمنات بدلالة k_0 حيث نلاحظ من الشكل المذكور التناسب العكسي غيرالخطي بينهما مع انحراف بعض النقاط مثل النقطة التي تمثل النموذج رقم (١١) حيث نلاحظ ازدياد الحجم الحبيبي مع زيادة محتوى المتضمنات ونعتقد ان السبب هو ان المتضمنات الموجودة هي متضمنات اوكسيدية مكورة والتي تكون معظمها من سليكات الحديد والمنغنيز التي تمتلك درجة انصهار بين ١١٠٠-١٣٠٠ م^{o} اي اقل من درجة انصهار الفولاذ لذلك فانها تنصهر عند التسخين ولاتلعب دور الاجنة الذي يساعد على تصغير الحجم الحبيبي، وكذلك النقطة التي تعود للنموذج رقم (٨) حيث تكون المتضمنات من نوع الكبريتيدات التي تمتلك درجة انصهار مقاربة اواقل من درجة انصهار الفولاذ لذلك ازداد حجم الحبيبات لانها ستنصهر ايضاً [١٣].

وبقيت العلاقة متشابهة عند الرسم بين الحجم الحبيبي وk_1 اي التناسب العكسي غيرالخطي اي ان تاثير المتضمنات بقي متشابهاً في الحالتين k_0 وk_1 .

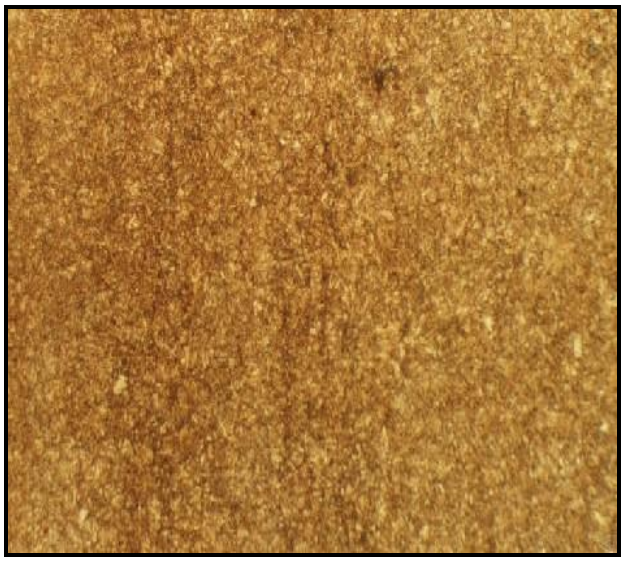


الشكل رقم (١) العلاقة بين الحجم الحبيبي ودرجة النقاوة ***Ko***

٤-٨ فحص التركيب المجهري

تبين من هذا الفحص ان التركيب المجهري لجميع النماذج هو المارتنسايت لانها تعرضت لعملية الاصلاد نفسها لذا فانها تمتلك نفس التركيب المجهري حيث ان هذا الطور يتكون عند تسخين الفولاذ الى منطقة الاوستينات ثم التبريد بالماء.في مرحلة تصنيع المسبوكة.

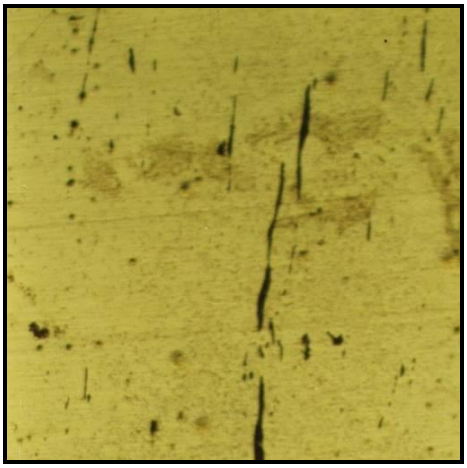
ويمثل الشكل رقم (٢) صورة فوتوغرافية لتركيب المارتنسايت للنموذج رقم (٤).

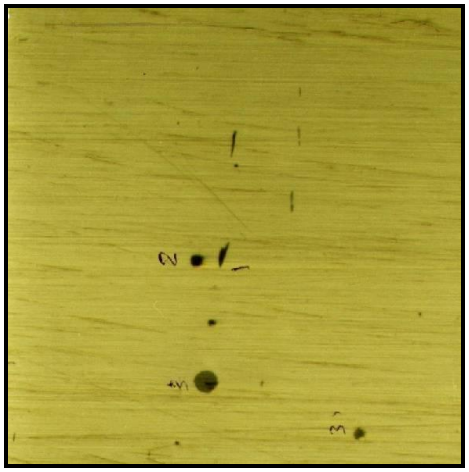


الشكل رقم (٢) تركيب المارتنسايت للنموذج رقم (٤) × ١٠٠

٤-٩ المعاملـــة الكيميائيـــة

عند استخدام محلول ١% من حامض الاوكزاليك على مجموعة مستطالة من المتضمنات اللامعدنية لم تتاثر بهذا المحلول مما يدل على انها ليست كبريتيدات حديدية، بل تاثرت بمحول ١٠% من حامض الكروميك واصبح لونها داكن مما دل على انها كبريتيدات منغنيزية كما في الشكل رقم (٣). وتاثرت بعض المتضمنات بمحلول الاوكزاليك مما دل على انها كبريتيدات حديدية (١) وكذلك تاثرت متضمنات اخرى بمحلول ١% من حامض الهيدروفلوريك مما دل على انها سليكات (٢) وهناك متضمنات لم تتاثر باي من هذه المحاليل (٣)، كما في الشكل رقم (٤).





الشكل رقم (٣) متضمنات مستطالة بعد المعاملة الكيميائية x ١٠٠

الشكل رقم (٤) متضمنات من كبريتيد الحديد وسليكات الحديد x١٠٠

٤-٩-١ نتائج الفحوصات الميكانيكية

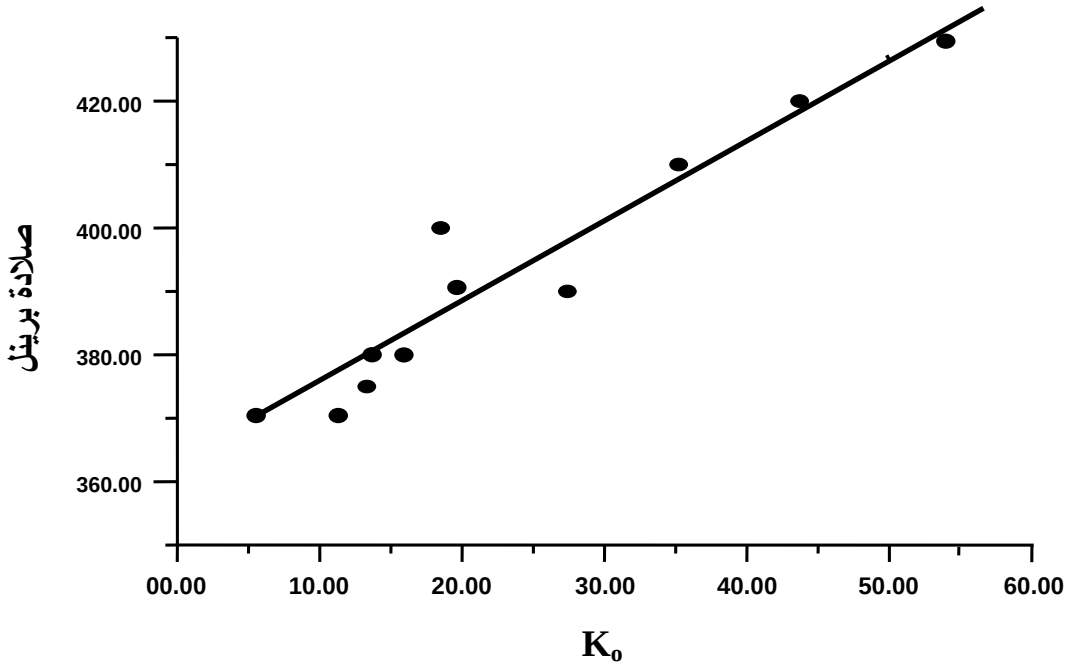
يتضمن الجدول رقم (٤) نتائج الفحوصات الميكانيكية ودرجة النقاوة

الجدول رقم (٤) نتائج الفحوصات الميكانيكة ودرجة النقاوة

رقم النموذج	مقاومة الخضوع σ_y N/mm^2	مقاومة الشد القصوى σ_u N/mm^2	الاستطالة %	صلادة برينل HB	الصدمة J	K_o	K_1
1	1250	1430	15	370	90	7.1	1
2	1190	1300	14	370	55	11	2.7
3	1190	1300	11	375	45	13.3	5
4	1210	1310	10	400	35	18.5	4.3
5	1200	1310	11	380	45	20	3.5
6	1240	1400	12	390	60	20	7
7	1150	1220	9	380	28	22	8.4
8	1170	1240	9	390	27	27.4	9.3
9	1280	1370	8.5	410	25	35.2	14.2
10	1330	1430	8	420	20	43.7	17.8

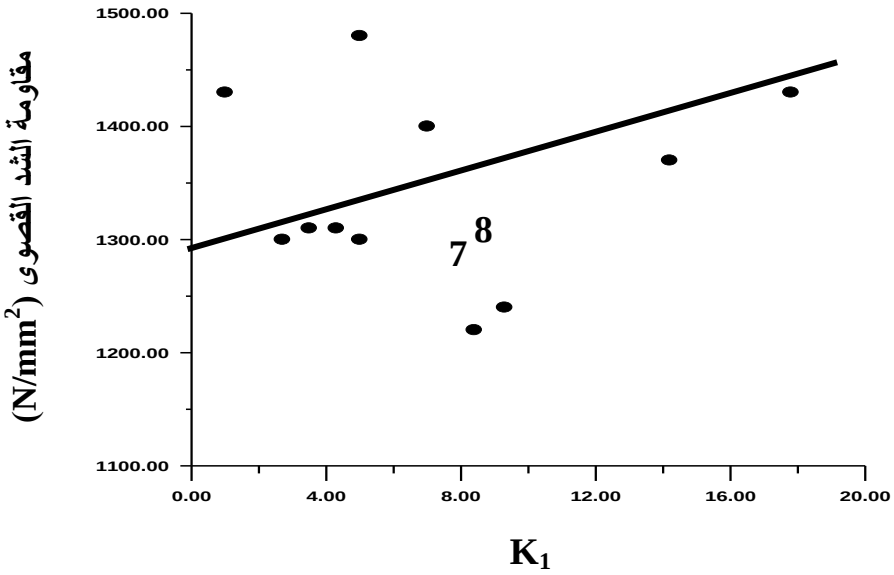
11	1350	1480	10	430	40	54.3	5

ويمثل الشكل رقم (٥) العلاقة بين الصلادة ومحتوى المتضمنات بدلالة k_0 حيث نلاحظ التناسب الطردي بينهما لان المتضمنات هي اطوار صلدة لذا فانها من البديهي ان تؤدي الى زيادة صلادة المادة سواء كانت بدلالة k_0 او k_1 .



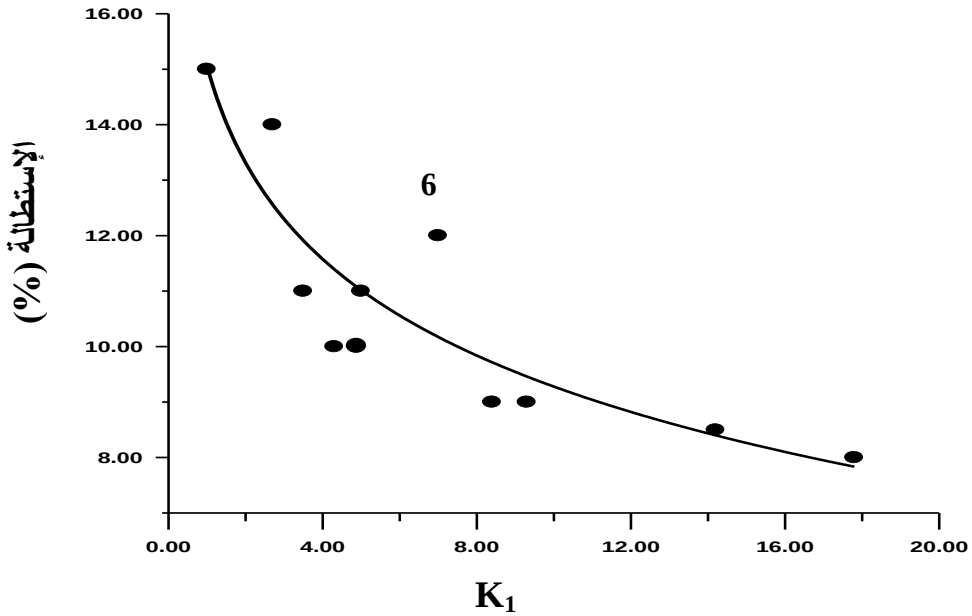
الشكل(٥) العلاقة بين الصلادة ودرجة النقاوة K_o

اما الشكل رقم (٦) فيمثل العلاقة بين مقاومة الشد ومحتوى المتضمنات k_1 حيث نلاحظ التناسب الطردي ايضاً مع وجود نقطتين تنخفض فيهما مقاومة الشد حيث ذكرنا سابقاً بان المتضمنات تعتبر احياناً من عوامل الضعف في تركيب المادة النقطتان اللتان تعودان للنموذجين (٧ و٨).



الشكل(٦) العلاقة بين مقاومة الشد القصوى ودرجة النقاوة K_1

والعلاقة بين الاستطالة ومحتوى المتضمنات بدلالة k_1 فيمثلها الشكل رقم (٧) حيث نلاحظ التناسب العكسي بينهما مع ابتعاد نقطة واحدة هي النقطة التي تعود للنموذج رقم (٦) حيث ان المتضمنات في هذا النموذج تكون كروية الشكل وصغيرة الحجم مما قلل من تاثيرها على الاستطالة ومن نوع الاوكسيدات.

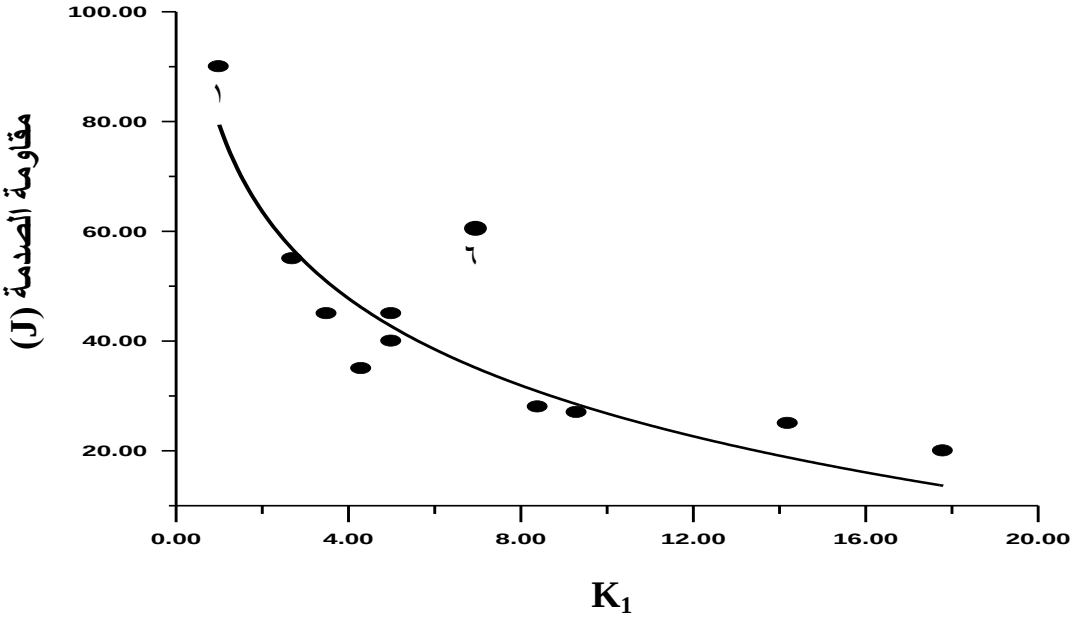


الشكل رقم (٧) العلاقة البيانية بين الاستطالة ودرجة النقاوة K_1

ويمثل الشكل رقم (٨) العلاقة بين مقاومة الصدمة و k_1 ونلاحظ كذلك التناسب العكسي غير الخطي بينهما لان زيادة المتضمنات تؤدي الى تحول تصرف المادة من المطيلي الى الهش اي قلة مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة المتضمنات اللامعدنية.

ومن الشكلين (٨,٧) نلاحظ التاثير الواضح للمتضمنات على الاستطالة ومقاومة الصدمة لان هاتين الخاصيتين الميكانيكيتين من الخواص الحساسة جداً لوجود المتضمنات اللامعدنية .

وهما مشابهين تقريباً للعلاقة التي حصل عليها الباحثان L.E.wagner و B.B.seth بين كل من الاستطالة ومقاومة الصدمة وبين نسبة الكبريت الذي يمثل العنصر الرئيسي لتكوين المتضمنات [٦].



الشكل رقم (٨) العلاقة البيانية بين مقاومة الصدمة ودرجة النقاوة k_1

٥. *الاستنتاجات*

تم التوصل من خلال هذا البحث الى الاستنتاجات التالية:

١. تطبيق المواصفة القياسية الالمانية DIN 50602 عملياً لايجاد درجة النقاوة بدلالة k_0 وk_1 .
٢. يبقى تاثير المتضمنات اللامعدنية متشابها في حالة حساب k_0 أوk_1 .
٣. تتاثر مقاومة الصدمة والاستطالة عكسياً وبشكل غير خطي مع المتضمنات اللامعدنية.
٤. تتاثر مقاومة الشد القصوى والخضوع والصلادة طردياً مع محتوى المتضمنات.

٥. المتضمنات اللامعدنية التي تكون كروية الشكل وصغيرة الحجم اقل ضرراً من المتضمنات المستطالة والكبيرة الحجم.

٦. *المصـــــادر*

1. Metal Handbook, ***"Metallugraphy and Microstructure"***, 9th Edition Vol. 9, 1985.

2. P. R., Beeley, ***"Foundry Technology"***, 1972.

3. Richardw Heince, and R., Loper, ***"Principle of Metal Casting"***, 2nd Edition, 1967.

4. DIN Standard 50602, 1985.

5. Metal Handbook, ***"Casting"***, 9th Edition, Vol. 15, 1988.

6. George V., Smith, ***"Effect of Melting and Processing Variables on the Mechanical Properties of Steel"***, 1977.

7. S., Lee, ***"Correlation of Microstructure and Tempered Martensite Embrittlement"*** Metal Trans., Vol. 20A, June 1989.

8. Chunhuiuo, ***"Behavior of Non-Metallic Inclusion Plastic Deformation of Steel"***, 2000 (internet).

9. ***"key to Steel"***, 2001.

10. DIN Standard 50125, 1985.

11. DIN Standard 50115, 1966.

12. ASTM Standard E 112, 1996.

13. Colin J., Smithells, ***"Metals Reference Book"***, Vol. 1, 1967.