دراسة تأثير الحجم الحبيبي والمتضمنات اللامعدنية على سبيكة الفولاذ

غازي كمال سعيد

جامعة واسط/ كلية التربية الاساسية – قسم العلوم

الخلاصة:

يتواجد عدد من العناصر كلأوكسجين والكبريت على شكل أكاسيد وكبريتيدات في الفولاذ ,ولكون قابلية ذوبانهما واطئة ,فأنهما يكونان متضمنات لامعدنية في الفولاذ. أن شكل وعدد وحجم وطريقة توزيع هذه المتضمنات يؤثر على نوعية الفولاذ وسلوكه في التطبيقات الهندسية.

تم في هذا البحث دراسة حجم وشكل وأنواع هذه المتضمنات بأستخدام محاليل كيميائية لأظهارها ولأيجاد الدليل K_0 والذي يمثل النسبه المئويه للمتضمنات داخل البنية التركيبية للفولاذ. وكذلك دراسة العلاقة بين هذا الدليل والخواص الميكانيكية للفولاذ المطروق .

لقد تم التوصل الى نتائج تبين وجود علاقة عكسية بين الأستطالة ومقاومة الصدمة مع الدليل K_0 والى وجود علاقة طردية بينهما وبين مقاومة الشد.

الكلمات المفتاحية: الحجم الحبيبي ، متضمنات لامعدنية ، سبيكة الفولاذ ، الدليل K_0

المقدمة:

أنواع المتضمنات اللامعدنية:

يكون الاوكسجين والكبريت وبعض العناصر الاخرى كالسليكون والمنغنيز متضمنات لامعدنية كأطوار غير معدنية في اساس معدني ولايوجد ترابط بينها وبين المعدن الاساس وغير ذائبة فيه[1] , وتصنف المتضمنات اللامعدنية الى نوعين رئيسيين هما [2-4] .

المتضمنات الخارجية :

وهي التي تنتج من مصادر خارجية مثل الخبث أو المواد التي تلتصق بالمعدن خلال عملية الصهر والصب وغالبا ما يكون هذا النوع من المتضمنات عيانياً على سطح المصبوبة ويمكن معالجته مباشرةً.

المتضمنات الداخلية :

وهي التي تكون على شكل مركبات اغلبها من الاوكسيدات والكبريتات وتتكــون نتيجة التفاعلات الكيميائية بين الالمنيوم والاوكسجين ،والسيليكون والاوكسجين, والمنغنيز والكبريت . وهذا النوع من المتضمنات عادةً ما تكون صغيرة جداً وتحتاج الــى تكبيــر مجهري لرؤيتها وتمييزها ويكون توزيعها منتظم داخل التركيب المجهري واحياناً توجــد على الحدود الحبيبية .

وقد صنف هذا النوع من المتضمنات الى عدة أنواع , حيث صنفها الباحثان سميز وداهل الى ثلاثة أنواع حسب شكلها وحجمها وطريقة توزيعها [5] .

اما المواصفة اللالمانية القياسية DIN-50602 فقد صنفت هذا النوع من المتضمنات الى اربعة انواع هي[6] : .

1- المتضمنات الكبريتية المستطالة sulphide elongated inclusions ويرمزلها SS.

2- المتضمنات الأوكسيدية المبعثرة oxide forgmented inclusions ويرمز لها بــالرمز OA (الومينا).

3- المتضمنات الأوكسيدية المستطالة oxide elongated inclusions ويرمز لها بــالرمز OS (سيليكات)

4- المتضمنات الأوكسيدية المدورة oxide globular inclusions ويرمز لها بالرمز,OG.

وقد تتكون متضمنات مختلفة مثل الأوكسي – كبريتيدية ، أو مزيج مختلط من الالومينا وكبريتيد المنغنيز.

درجة النقاوة:

قيمة تبين محتوى المتضمنات اللامعدنية التي تكون على شكل أكاسيد أو كبريتيدات في البنية التركيبية ، ويوظف دليل يتناسب مع محتوى المتضمنات يرمز له بــالحرف (K) ويعرف هذا الدليل على انه النسبة المئوية لمساحة المتضمنات اللامعدنيــة فــي البنيــة التركيبية ونحصل عليه من حاصل جمع عدد المتضمنات على ضوء مساحتها وأبتداءاً من حجم محدد وصاعداً .وهناك أعداد تسمى أعداد تتابع rating numbers وهي من صــفر الى ثمانية توزع عليها المتضمنات حسب طولها أو عرضها أو قطرها حيث أن كل مدى معين من الطول أو العرض للمتضمنات يوضع تحت عدد تتابعي.

ويعتمد حساب المتضمنات على العامل المحسوب على أساس 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 الهياكل والعدد يستخدم عدد التتابع رقم (4) وصاعداً أي نبدأ بحساب المتضمنات التي تكون أبعادها من العدد التتابعي رقم (4) وصاعداً أي المتضمنات التي بعرض 0.5 ميكرون وطول يتراوح بين (2200-4400) ميكرون ، ونهمل المتضمنات التي تكون اصغر من ذلك وفي هذه الحالة يضاف الرقم (4) الى الحرف (K) السابق فيسمى الدليل (K_4). اما الفولاذ المصنع عن طريق الصهر بالفراغ او في طريقة اعادة الصهر بكهربة الخبث (ESR) فيتم استخدام عدد التتابع رقم (1) 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 0.5 ميكرون وطول يتراوح بين (150-290) ميكرون أي ان الرقم الذي يلي الحرف (K) يشير الى اصغر عدد تتابعي مستخدم [6]. وقد تم أستخدام العدد التتابعي (K_0) في هذا البحث .

طريقة اعادة الصهر بكهربة الخبث :

تستخدم تقنية اعادة الصهر بكهربة الخبث لانتاج فولاذ وبمواصفات ونوعية عالية ويرمز لها اختصاراً بالرمز (ESR) . وتتلخص هذه الطريقة بإعادة صهر قطب من الفولاذ منتج بعملية صهر اولي ويغمر هذا القطب في خبث ساخن جداً فعند ارتفاع درجة الحرارة الى أعلى من درجة حرارة السيولة للمعدن فأن رأس القطب سينصهر ويمر خلال هذا الخبث السائل وخلال مروره فأنه ينقى وينظف من الملوثات كالأكاسيد والكبريتيدات من خلال التفاعل بين مكونات الخبث والمنصهر المعدني وأن المتضمنات المتبقية ستكون صغيرة الحجم وموزعة خلال المصبوبة وتكون متجانسه وخاليه من الانعزالية (segregation) والفجوات مما يؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية بشكل كبير[7] .

ومن البحوث السابقة الخاصة بموضوع المتضمنات اللامعدنية أي استخدام نفس هذه الطريقة, توصل (R.H.Elweel(1975) وجماعته الى أن الخواص الميكانيكية للفولاذ يمكن تحسينها بالسيطرة على شكل المتضمنات وذلك بالوصول الى نسبة قليلة جداً من الكبريت من خلال استخدام طريقة الـ (ESR) [8].

وبحث لي (S.LEE(1989 في العلاقة بين التركيب المجهري والهشاشة وأكد أن الفجوات تتكون أولاً حول المتضمنات الكبريتيدية الكبيرة الحجم [9].

وأشار جونهن يو Chunhn,iuo(2000) الى سلوك المتضمنات والمادة الاساس المحيطة بها خلال عمليات الدرفلة على الحار والطرق للفولاذ, وأشار الى أن الفجوات تتكون في السطح الفاصل بين المادة الأساس والمتضمنات وتناول الاجهادات المتولدة نتيجة وجود هذه المتضمنات [10].

الجانب العملي :

مقدمة: تم في هذا البحث أستخدام نماذج من سبيكة الفولاذ واطئ التسبيك هي السبيكة (30NiCrMo16-6) وهذه السبيكة منتجة بطريقة أعادة الصهر بكهربة الخبث (ESR). والجدول رقم (1) يبين التركيب الكيميائي القياسي لهذه السبيكة [11].

جدول رقم (1) التركيب القياسي الكيميائي للسبيكة .

Alloy type	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
$30NiCrMo_{16-6}$	0.27-0.33	0.15-0.35	0.4-0.6	0.035	0.035	1.3-1.5	0.4-0.5	3.8-4.2

تحضير النماذج :

أن الفحوصات التي أجريت خلال هذا البحث تتطلب تهيئة خاصة للنماذج ولذلك تطلب أجراء عمليات عديدة تشمل :

أ- التقطيع : حيث يتم تقطيع النماذج من أماكن وأتجاهات معينة بوسطة آلة القطع.

ب-التشغيل : يتم تشغيل نماذج خاصة لفحوصات الشد والصدمة وبأبعاد معينة بواسطة المخرطة والفريزه .

ج- التنعيم والصقل : جرى تنعيم وصقل النماذج الخاصة بفحوصات درجة النقاوة والحجم والتركيب المجهري وذلك باستخدام ورق التجليخ بدرجات مختلفة وعجينة الماس وباحجام حبيبية مختلفة .

د- الأظهار الكيميائي : يتم معاملة النموذج بمحلول حامض النتريك والذي يتكون من (2-4%) حامض النتريك و (96-98%) كحول أيثانول أو ميثانول.

الأجهزة المستخدمة :

أ- التركيب الكيميائي : لغرض فحص التركيب الكيميائي تم أستخدام جهاز تألق الأشعة السينية X-Ray Fluorescence(XRF) .

ب- الفحوصات الميكانيكية:

تمت فحوصات الشد حسب المواصفة الألمانية القياسية DIN50125 [12] ، بجهاز فحص الشد Shimadzo Servo ياباني الصنع.

أما فحص الصدمة فتمت حسب المواصفة الألمانية القياسية DIN50115 [13] بجهاز فحص الصدمة (Impact) أنكليزي الصنع ,أضافة الى فحص الصلادة بمقياس برينل حيث تم أستخدام جهاز (Willson Rockwell-500) أمريكي الصنع.

جـ–فحص درجة النقاوة :

تم الفحص حسب المواصفة الألمانية القياسية DIN50602 وبأستخدام المجهر الضوئي وبتكبير 100X حيث أجري الفحص بعد أتمام عمليتي الصقل والتنعيم فتظهر المتضمنات بوضوح على سطح النموذج فيتم حسابها حسب الأنواع الأربعة الواردة سابقاً[6].

د- فحص الحجم الحبيبي :

أستخدم المجهر الضوئي وبتكبير 100X وبأتباع أسلوب الأكسدة وحسب المواصفة القياسية الأمريكية ASTM E112-96 حيث يصقل النموذج جيداً ويوضع في الفرن ويسخن الى درجة حرارة $14^oC\pm875^oC$ لمدة ساعة ثم يبرد بالماء ويعاد صقله مرة اخرى لإظهار الحدود الحبيبة للاوستنايت [14] .

النتائج والمناقشة :

نتائج فحص التركيب الكيميائي :

يبين الجدول رقم(2) نتائج التحليل الكيميائي للنماذج المأخوذة من السبيكة المنتجة محلياً.

الجدول رقم (2) يبين نتائج التركيب الكيميائي

Sample number	C%	Si%	S%	P%	Mn%	Cr%	Mo%	Ni%	V%
1	0.2	0.02	0.007	0.007	0.42	1.27	0.44	2.63	0.1
2	0.37	0.34	0.006	0.011	0.46	1.62	0.49	3.3	0.13
3	0.36	0.33	0.007	0.009	0.46	1.58	0.49	3.25	0.09
4	0.28	0.21	0.01	0.009	0.48	1.58	0.45	3.45	0.08
5	0.29	0.23	0.011	0.012	0.47	1.56	0.43	3.42	0.1
6	0.28	0.21	0.014	0.008	0.47	1.54	0.45	3.45	0.09
7	0.3	0.32	0.009	0.009	0.43	1.52	0.44	3.43	0.07
8	0.3	0.3	0.01	0.026	0.58	1.67	0.51	3.45	0.12
9	0.29	0.22	0.01	0.008	0.48	1.85	0.45	3.46	0.08
10	0.31	0.24	0.009	0.011	0.43	1.51	0.44	3.5	0.06

نتائج فحوص درجة النقاوة :

اختلفت درجة النقاوة للنماذج المفحوصة ضمن مديات متوسطة نسبياً حيث تراوحت بين 7.0-25 بالنسبة للدليل K_o (أي شمول جميع المتضمنات اللامعدنية في

الحساب)، أي بعرض 0.5 مايكرون وبطول يتراوح بين (150-290) مايكرون ومع أن المواصفة تحدد الدليل K_1 في حساب المتضمنات اللامعدنية بالنسبة للفولاذ المصنع بطريقة ESR الا أننا اخذنا بنظر الاعتبار المتضمنات الأصغر أي حساب الدليل K_0 لنرى تأثير ذلك على خواص الفولاذ وهل تتغير علاقة تلك الخواص بمحتوى المتضمنات اللامعدنية في تلك الحالة عن تلك العلاقة في حالة حساب K_1 [15] . يتضمن الجدول رقم (3) النتائج النهائية لدرجة النقاوة بدلالة الدليل K_0 والحجم الحبيبي , ان أغلب النماذج منتجة بنفس الطريقة ولكننا نلاحظ تفاوت في مقدار محتوى المتضمنات من خلال الدليل K_0 , وهذا يعتمد على الدقة في تنفيذ خطوات العمل في عملية الصب والصهر وعلى الدقة في حساب النسبة المئوية للعناصر السبائكية المضافة وكذلك على محتوى الكبريت والاوكسجين .

الجدول رقم (3) النتائج النهائية لمحتوى المتضمنات بدلالةK_0, والحجم الحبيبي

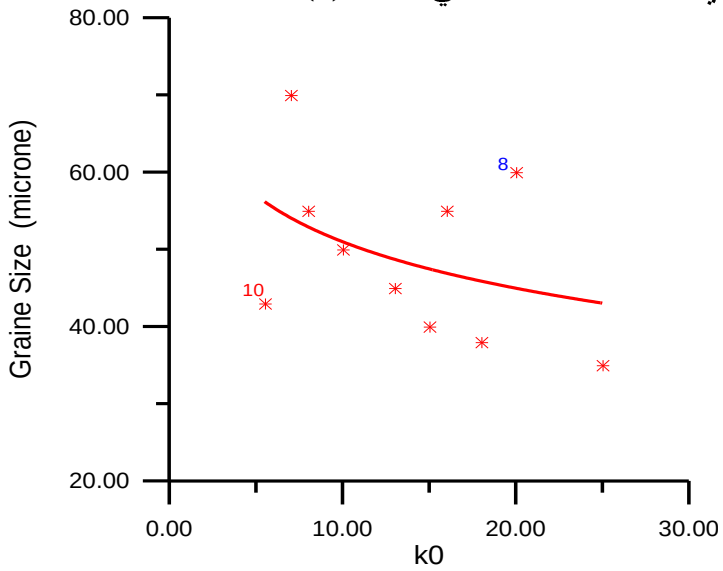
Sample number	K_0	Particle size (µm)	Particle size number ASTM(G)
1	8	55	5.4
2	10	50	5.7
3	7	70	4.7
4	15	40	6.3
5	18	38	6.5
6	13	45	6
7	25	35	6.8
8	20	60	5.2
9	16	55	5.4
10	5.5	43	6.2

فحص الحجم الحبيبي :

بينا سابقاً بأن للمتضمنات تأثير على حجم الحبيبات المتكونة من خلال كونها تعتبر أجنة يبدأ عندها التبلور وأن العلاقة بين عدد المتضمنات والحجم الحبيبي موضحة ضمن الجدول رقم(3) مع نتائج فحوصات النقاوة .

يمثل الشكل رقم(1) العلاقة البيانية بين الحجم الحبيبي ومحتوى المتضمنات بدلالة K_0 حيث نلاحظ من الشكل المذكور التناسب العكسي غير الخطي بينهما مع انحراف بعض النقاط مثل النقاط 8 و 10 على الشكل والتي تمثل النماذج 8 و 10 على التوالي حيث يلاحظ من الجدول رقم(2) ان النموذج رقم 10 يمتلك نسبة عالية من النيكل لذا كان

الحجم الحبيبي صغيراً أما النموذج 8 فيمتلك نسبة عالية من الكروم والذي يساعد على نمو الحجم الحبيبي أي النقطتين 8 و 10 في الشكل(1).

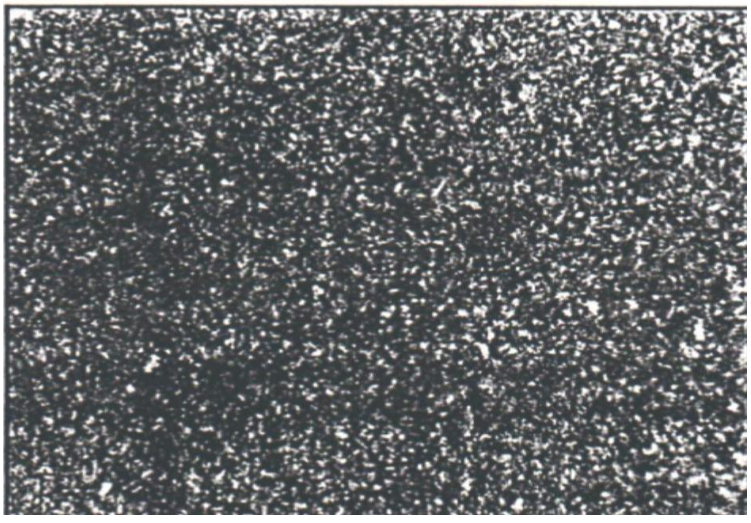


شكل رقم (1) العلاقة بين الحجم الحبيبي ودرجة النقاوة K_0.

فحص التركيب المجهري :

وجد من الواضح في هذا الفحص أن التركيب المجهري لجميع النماذج هو المارتنسايت لأنها تعرضت لعملية الأصلاد نفسها لذا فأنها تمتلك نفس التركيب المجهري حيث أن الطور يتكون عند تسخين الفولاذ الى منطقة الأوستينات ثم يبرد بالماء في مرحلة تصنيع المسبوكة .

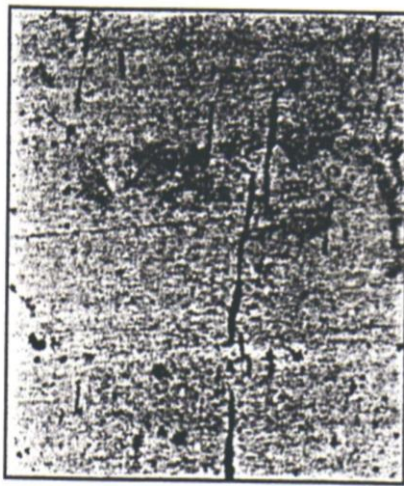
ويمثل الشكل رقم (2) صورة فوتوغرافية لتركيب المارتنسايت للنموذج رقم (1) .



الشكل رقم (2) تركيب المارتنسايت للنموذج رقم (1) 100X

المعاملة الكيميائية :

عند استخدام محلول 1% من حامض الأوكزاليك على مجموعة مستطالة من المتضمنات اللامعدنية لم تتأثر بهذا المحلول مما يدل على أنها ليست كبريتيدات حديدية, بل تأثرت بمحلول 10% من حامض الكروميك وأصبح لونها داكن مما دل على أنها كبريتيدات منغنيزية كما في الشكل رقم (3) .وتأثرت بعض المتضمنات بمحلول الأوكزاليك مما دل على أنها كبريتيدات حديدية وكذلك تأثرت متضمنات أخرى بمحلول 1% من حامض الهيدروفلوريك مما دل على أنها سليكات وهناك متضمنات لم تتأثر بأي من هذه المحاليل, كما في الشكل رقم (4).



الشكل(3) متضمنات مستطالة بعد المعاملة الكيمياوية 100x

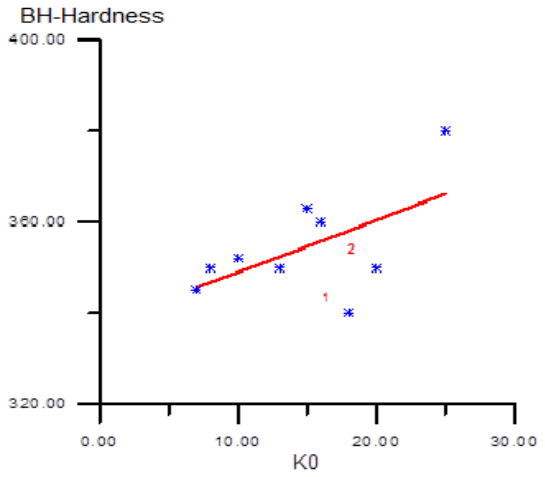
الشكل (4) متضمنات من كبريتيد الحديد وسليكات الحديد 100x

نتائج الفحوصات الميكانيكية : يتضمن الجدول (4) نتائج الفحوصات الميكانيكية ودرجة النقاوة.

الجدول رقم (4) يبين نتائج الفحوصات الميكانيكية ودرجة النقاوة

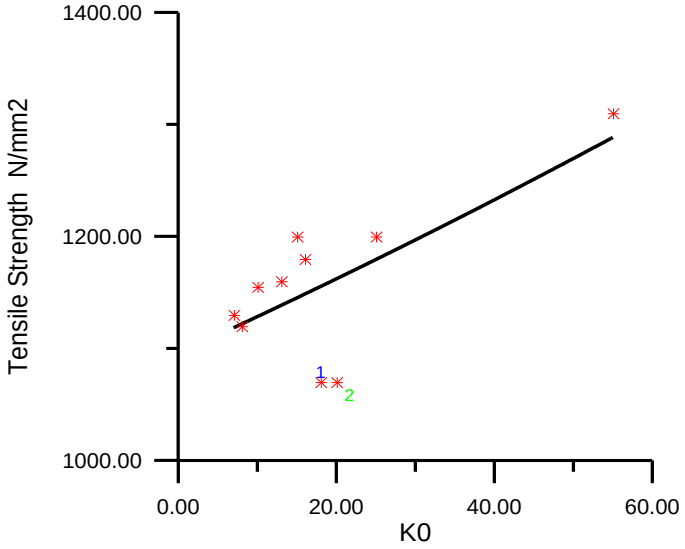
Sample number	Yield strength (N/mm)	Maximum tensile strength (N/mm)	Brinell Hardness (HB)	Shock resistance (J)	Elongation (%)	K_0
1	1020	1120	350	170	15.5	8
2	1055	1155	352	160	15	10
3	1030	1130	345	180	16	7
4	1090	1200	363	140	14	15
5	990	1070	340	135	12.5	18
6	1040	1160	350	150	14.5	13
7	1110	1200	380	110	11	25
8	980	1070	350	120	12	20
9	1100	1180	360	140	14	16
10	1120	1310	365	200	17	5.5

ويمثل الشكل(5) العلاقة بين الصلادة ومحتوى المتضمنات بدلالة K_o حيث نلاحظ التناسب الطردي بينهما لأن المتضمنات هي اطوار صلدة لذا فأنها من البديهي ان تـــؤدي الى زيادة صلادة المادة سواء كانت بدلالة K_o او K_1 [16] مع ملاحظة انخفاض القيمة التي تقل فيها صلادة المادة مع ازدياد المتضمنات أي القيمة التي تسبب ضعف فـــي تركيـــب المادة حيث نلاحظ هبوط الصلادة عند قيمتي K_o تساوي 18 و20 فهـــي قيمـــة محتـــوى المتضمنات الموضحة في النقطتين (1 و2) الشكل رقم(5).



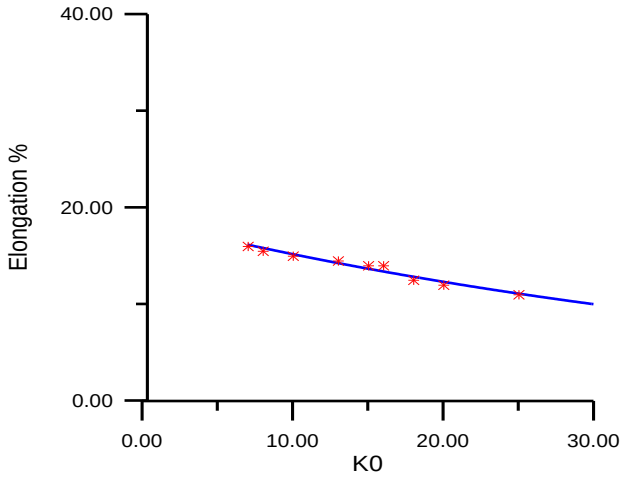
الشكل رقم (5) يبين العلاقة بين الصلادة والدليل K_0 .

أما الشكل رقم (6) فيمثل العلاقة بين مقاومة الشد ومحتوى المتضمنات K_0 حيث نلاحـــظ التناسب الطردي أيضاً مع وجود نقطتين تنخفض فيهما مقاومة الشد حيث ذكرنا سابقاً بأن المتضمنات تعتبر أحياناً من عوامل الضعف في تركيب المادة (النقطة 1 و 2) .



الشكل رقم (6) يبين العلاقة بين مقاومة الشد القصوى و K_0.

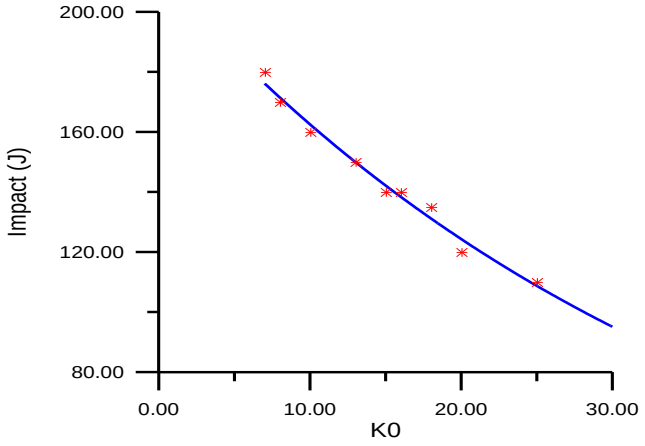
أما العلاقة بين الاستطالة ومحتوى المتضمنات بدلالة K_0 فيمثلها الشكل رقم (7) حيث نلاحظ التناسب العكسي بينهما مع ملاحظة امتلاك هذه السبيكة نسبة استطالة جيدة حيث تصل الى 17% أي امتلاكها نسبة جيدة من المطيلية .



الشكل رقم (7) العلاقة البيانية بين الأستطالة ودرجة النقاوة K_0.

ويمثل الشكل رقم (8) العلاقة بين مقاومة الصدمة و K_0 , ونلاحظ كذلك التناسب العكسي غير الخطي بينهما لأن زيادة المتضمنات تؤدي الى تحول تصرف المادة من المطيلي الى الهش أي قلة مقاومة الصدمة مع زيادة نسبة المتضمنات اللامعدنية .

ومن الشكلين (7 و8) نلاحظ التأثير الواضح للمتضمنات اللامعدنية على الاستطالة ومقاومة الصدمة لأن هاتين الخاصيتين الميكانيكيتين من الخواص الحساسة جداً وهما مشابهين تقريباً للعلاقة التي حصل عليها الباحثان L.E.Wagner & B.BSeth بين كل من الاستطالة ومقاومة الصدمة وبين نسبة الكبريت الذي يمثل العنصر الرئيسي لتكوين المتضمنات[8] .



الشكل رقم (8) العلاقة البيانية بين مقاومة الصدمة ودرجة النقاوة K_0.

الاستنتاجات :

من خلال المعطيات التي حصلنا عليها في هذا البحث نستطيع أن نلخص الاستنتاجات التالية:

1- للمتضمنات اللامعدنية تأثير واضح في حالة حساب الدليل K_0 .

2- للمتضمنات اللامعدنية تأثيراً عكسياً وبشكل غير خطي على كل من الاستطالة ومقاومة الصدمة .

3- للمتضمنات اللامعدنية تأثيراً طردياً بالنسبة لمقاومة الشد القصوى والخضوع .

4- المتضمنات المستطالة والكبيرة الحجم لها تأثير أكبر من المتضمنات كروية الشكل وصغيرة الحجم .

المصادر :

[1] Metal Handbook 9th edition Vol.9 "Metallography and Microsructure",1985.
[2] P.R.Beeley " foundry technology",1972.
[3] V.Voort and George F,"Metallographic: Principles and Practice". McGraw- Hill,1984.
[4] D. Kopeliovich , "Non-Metallic inclusions in steel.txt", 2012.
[5] Richardw.Heince and R.Loper, "Principle of metal casting", 2nd edition, 1967.
[6] DIN Standard 50602, 1985.
[7] Metal Handbook 9th edition Vol. 15 " Casting " , 1988.
[8] G.V.Smith, " effect of melting and processing variables on the mechanical properties of steel " ,1977.
[9] S.LEE, " Correlation of microstructure and tempered martensite embrittlement", Metal Trans. Vol. 20A.June, 1989.
[10] Chunhn. Iuo, "behavior of non-metallic inclusion plastic deformation of steel" 2000 (internet).
[11] Key to steel, 2001.
[12] DIN Standard 50125, 1985.
[13] DIN Standard 50115, 1966.
[10] ASTM Standard E112,1996.
[15] S.A. Abass, A.H.Atawi,S.A.Gaced, "Study the influence of non-metallic inclusions on wrought low alloy steel", مجلة الهندسة والتنمية ,المجلد التاسع/العدد الأول – آذار 2005.
[16] S.A.Abass, "(30NiCrMo$_{16-6}$) دراسة تأثير المتضمنات اللامعدنية على السبيكة " مجلة واسط للعلوم والطب , 2014 7(2) : 50-58

Study Influence of Particle Size and Non-metallic Inclusions on the Steel Alloy

Ghazi Kamal Saeed
Wasit University- College of Basic Education -Science Department

Abstract:

Number of elements as Sulpher and Oxygen can be found as sulphides and oxides in steel, and as they have low solubility in steel, they are presented as non-metallic inclusions. The shape, number, size and distribution of these inclusions have a significant influence on the comportment of steel in various engineering applications.
The object of this study is to examine the shape and type of non-metallic inclusions by using chemical reagents and to determine the indices K_0 which give the percentage amount of these inclusions in the structure of steel. 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, which tensile strength is proportional directly with these indices.

Key words: particle size , non-metallic inclusions , steel alloy, indices K_0