

تأثير معدل سرعة تبريد الفولاذ نوع (25 Cr Mo4) على صلابته وتركيبه البنيوي

د. جاسم محمد خضير*

تاريخ التسلم: 2009/1/4

تاريخ القبول: 2009/5/7

الخلاصة

في هذا البحث تم صهر الفولاذ الإنشائي واطئ السببكية نوع (25 Cr Mo4) في فرن صهر بالحث الكهربائي سعة (60) كغم فولاذ متوسط الذبذبة (400—600) هيرتز مبطن بمسحوق الالومينا (Al₂O₃) المتعادلة .

وتم صب نماذج بشكل أقراص لفحص التركيب الكيميائي والتحليل الطيفي (Ø25 - Ø 30) ملم وسمك حوالي (10) ملم . كما تم صب أجزاء اسطوانية (Ø 10 × 100) ملم لغرض تصنيع نماذج فحص التمدد (Dilatation) بالتشغيل الميكانيكي .

تم استخدام (12) نموذج لفحص التمدد مصنعة بأبعاد (Ø5.5 × 50) ملم وباستعمال جهاز التمدد الالكتروني نوع (402) وبمعدلات سرعة تبريد مختلفة . أمكن تسجيل نتائج فحص الصلابة والتركيب البنيوي للنماذج المذكورة .

لقد أظهرت نتائج الفحص المجهرية أن التركيب الناتج جراء معدلات التبريد البطيئة (0.1, 0.2, 0.5) م / دقيقة كان فيرايتيا - قبل اليوتكتويدي . في حين بدا ظهور التركيب البرلايتي مع الفيرايت عند معدل التبريد (1.0) م / دقيقة وباستمرار زيادة معدلات التبريد الى (10.0) م / دقيقة أصبح التركيب برلايتي واختفى التركيب الفيرايتي . وعند معدل تبريد (20.0) م / دقيقة ، بدا ظهور التركيب البايينايتي مع البرلايت حتى بلوغ التركيب البايينايتي عند معدل تبريد (100) م / دقيقة واختفاء تركيب البرلايت .

وعند التبريد في الزيت (بمعدل يقارب 120 م / ثا) وكذلك عند التبريد في الماء (بمعدل يقارب 400 م / ثا) ، أصبح التركيب مارتنسايتيا .

لقد رافق هذه التحولات في التركيب البنيوي تزايد قيم الصلابة بمقياس فيكرز من (175) مع معدل تبريد (0.1) م / دقيقة إلى (579) عند التبريد في الماء البارد . أي تضاعفت الصلابة إلى ما يزيد على ثلاثة أضعاف .

وعلى ضوء هذه النتائج يمكن اختيار معدل سرعة التبريد (أو وسط التبريد) المناسب عند المعاملات الحرارية للحصول على الصلابة والتركيب المطلوبين لهذا النوع من الفولاذ .

الغاية من البحث :-

دراسة التغيرات الحاصلة على الصلابة والتركيب البنيوي لهذه السببكية عند التبريد بمعدلات تبريد مختلفة مسيطر عليها للاستفادة من نتائج البحث في تحديد اسلوب المعاملة الحرارية (سرعة التبريد) المناسب للصلابة المطلوبة للأجزاء المراد انتاجها .

Effect of cooling rate of steel (25 Cr Mo4) on its hardness and microstructure

Abstract

In this work , structural low – alloyed steel (25 Cr Mo4) was melted in medium frequency coreless induction furnace of (60) kgs . capacity , lined with high alumina lining powder .

Samples of disc shaped (Ø25- Ø30) mm and about (10) mm thick ,for spectro – analyzing and cylindrical parts (Ø10×100) mm, were poured to manufacture dilatometric specimens by machining to the required standard dimensions of

(Ø5.5×50) mm. Testing of (12) specimens by electronic dilatometer type (402) , using different cooling rates , enable getting results of hardness and microstructures Tests showed that ferritic structure with slow cooling i.e.(0.1 , 0.2 and 0.5) °C /min .was obtained –(hipoeutectoid). While pearlite started with (1.0) °C /min .Cooling rate , and full pearlitic appeared by (10.0) °c /min . Bainitic structure , started with (20.0) °C /min .cooling rate together with pearlite , reaching full bainitic by cooling with (100) °C /min. By oil guenching (i.e about 120 °C / sec .) and by water guenching (i.e about 400 °C/ sec.) [8] martensitic structure was achieved. Those transformations in the structure was accomplished with increasment of Vickers hardness values from (175) HV with (0.1°C /min) cooling rate to (579) HV with water guenching . Those results enable the choosing of suitable cooling rate (cooling medium) to obtain the required hardness and microstructure of this steel

ومن أهم أسباب اضافة هذه العناصر لسبائك الفولاذ هي :-
تحسين قابلية التصليد (Hardenability) .
زيادة الصلادة ومقاومة الشد والقسوة
(Toughness) ومقاومة التآكسد والكلال
(Fatigue) [18, 10,9] . حيث أن الفولاذ المذكور من السبائك متغيرة الخواص والاستعمالات حسب تركيبه لبنيوي الذي يتغير باستخدام المعاملات الحرارية [21, 14,12,11] قبل استعمالها للحصول على التركيب المناسب للخواص المطلوبة ، فقد يحتوي على نسبة عالية من المارتنسايت (90% تقريبا) بعد التصليد وهذا التركيب معروف بصلابته العالية ومثابته [20,13] .
لقد أظهرت الدراسات التي أجريت على العديد من العناصر السبائكية المضافة للفولاذ وخاصة الكروم (Cr) والموليبيدينوم (Mo) إن لهذه العناصر تأثيرا كبيرا على مواقع نقاط التحولات الطورية المهمة - مثل درجة حرارة بداية التحول اليوتكتويدي (Eutectoidal) ، A1 ، ودرجة حرارة بداية التحول المارتنسايتي (Ms) ، حيث أن التحول المارتنسايتي أثناء التبريد إلى الفيراييت - برلايت ويفسح المجال بذلك لتحويله الى البايانايت او المارتنسايت الاكثر متانة وصلادة [24] .
من جهة أخرى بين (اندريوس - Andrews) [9] في معادلات رياضية ان درجة حرارة (A1) تزداد بزيادة نسبة

1- المقدمة - Introduction

يعتبر الفولاذ نوع (25 Cr Mo 4) من أنواع الفولاذ واطى السبيكة (Low-alloyed) لان مجموع عناصره السبائكية اقل من (5%) حسب المواصفات الأمريكية (ASTM) , إذ يحمل الرمز (AISI-4130) . [3,2,1] .
وهو فولاذ إنشائي يمكن تحسين خواصه بالمعاملات الحرارية , حيث أن أهم أسباب استخدام هذه الأنواع بشكل متزايد كونها قابلة لتحسين الخواص وقابليتها على التصليد (Hardenability) .
يحتوي هذا النوع من الفولاذ على نسبة قريبة من (Cr-1%) وحوالي (Mo-0.25%) - موليبيدينوم إضافة إلى المنغنيز (Mn) بنسبة (0.6%) تقريبا وحوالي (0,3 %) من السليكون (Si) إلى جانب شوائب قليلة من الكبريت والفسفور . ويعتبر الكروم ارض العناصر السبائكية في الفولاذ .
ويعرقل الكروم والموليبيدينوم النمو البلوري في درجات الحرارة العالية .
إن إضافة عناصر الكروم والموليبيدينوم لهذا الفولاذ تؤدي الى تكون كربيدات مستقرة في تركيبه البنيوي , حيث يعتبران من العناصر السبائكية الأساسية في الفولاذ الإنشائي والقابل للتحسين [8,7,6,5,4] .

وعلى ضوء ما تقدم فإن من المفيد دراسة تأثير معدل سرعة التبريد لهذا النوع من الفولاذ (25Cr Mo4) على صلابته وتركيبه البنيوي .

2- القسم العملي

ويتضمن عمليات صهر وصب النماذج الأولية من الفولاذ (25Cr Mo4) وتحليل التركيب الكيماوي طيفياً وتحضير نماذج فحص التمدد وقياس الصلابة بمقياس فيكرس وفحص التركيب المجهرى لهذا الفولاذ وتحديد نتائج هذه الفحوصات .

2-1- صهر وصب النماذج الأولية :-

تمت عملية الصهر في فرن حث كهربائي متوسط الذبذبة (400-600) هيرتز (HZ) نوع (Medium frequency Core less) مبطن بمادة حرارية مكونة من الألومينا المتعادلة الوميض . إن سعة الفرن (60) كغم من الفولاذ .

وتتكون شحنة المواد المستعملة في الصهر من سكراب ومرتجات الصب والمرفوض من إنتاج هذا النوع من الفولاذ مناسبة الحجم .

وبعد انصهار وتجانس الفولاذ المصهور - بالتحريك والخلط - تؤخذ منه كمية بواسطة مغرفة خاصة وتصب في قالب نحاسي مبرد للحصول على نماذج بشكل أقراص بأبعاد تقارب (10×30 Ø) ملم لفحص التركيب الكيماوي . وبعد التأكد من مطابقته للتركيب المطلوب يتم صب الفولاذ في درجة حرارة تقارب (1550) م° في قوالب رملية خاصة للحصول على أجزاء اسطوانية بأبعاد يمكن تصنيع نماذج فحص التمدد منها - قطرها حوالي (10) ملم وبأطوال (90-100) ملم -

علماً ان عمليات الصهر والصب والفحوصات قد تمت في شركة صناعية حكومية واحدة .

2-2- فحص التركيب الكيماوي :-

لقد تم فحص النماذج (الأقراص) المصبوبة بعد تبريدها وتنعيم سطحها

- وان تحوله السلي باينايت واطى يتغير الحجم بنسبة (1.43-4.64) %C) .

- وان تحوله السلي باينايت عالي يتغير الحجم بنسبة (4.64-2.21) %C) .

حيث يظهر أن أكبر تغيير في الحجم جراء هذه التحولات يحدث عند تحول الأوستنايت إلى مارتنسايت . مما يدل على أن الاجهادات الداخلية الناتجة في التركيب المارتنسايتي تفوق مثيلاتها في التحولات الثلاثة الأخرى . وبسبب ذلك تزداد هشاشة ذلك التركيب بنتيجة عملية التصليد التي ينتج عنها المارتنسايت [19،22] .

إن أهم التحولات الطورية في الفولاذ أثناء التسخين في حالة الاتزان هو تحول البرلايت إلى اوستنايت في درجات حرارة تبدأ في (A1) نظرياً ولكنها تبدأ عملياً في درجات أعلى من (A1) بمقدار درجة حرارة فوق التسخين (Degree of overheating) -T° ، ويخضع هذا التحول للقوانين

الأساسية لعمليات التبلور عند التسخين [23] . وتعتمد سرعة هذا التحول على مقدار تلك الدرجة الحرارية ، ويكون الأوستنايت أكثر استقراراً بزيادة درجة الحرارة المذكورة [10،16،23] . أما عند التبريد المستمر للفولاذ يمكن الحصول على نفس التركيب البنيوي النموذجي الناتج عند التحول الأيسوثيرمي (Isothermal) له عن طريق التحكم بسرعة تبريده ، حيث تنخفض درجة (A1) في الصلب اليوتكتويدي عند التبريد بعدل 1م° / دقيقة إلى حوالي (710)م° (Ar-) . ويتكون برلايت كبير الحبيبات . بينما يتكون البرلايت ناعم الحبيبات عند زيادة سرعة التبريد إلى 60 م° / دقيقة ، وتزداد صلابته . وعند الاستمرار في زيادة سرعة التبريد إلى حدود تصل إلى 100 م° / ثا تنخفض درجة الحرارة الحرجة إلى (240) م° فنقل بذلك عملية الانتشار كثيراً ويتحول الأوستنايت المفرط التبريد إلى مارتنسايت [16،23] .

خاص بعرض (250) ملم . كما يمكن التحكم بسرعة حركة الورق (بين 6-1200) ملم / الساعة .
لقد تم تسخين النماذج إلى درجة حرارة (950) م° قبل تبريدها بمعدلات تبريد مختلفة.

2-4- فحص الصلادة والتركيب البنيوي :-

لقد تم فحص التركيب المجهرى والصلادة بمقياس فيكرس لجميع النماذج بعد تسخينها وتبريدها في معدلات تبريد مختلفة وكانت النتائج كما مبين في الجدول رقم (2) وفي بعض صور التركيب البنيوي المبينة في الأشكال (2-6) .

باستخدام نظام فيكرز وبقوة رصع حوالي (98) نيوتن -10 كغم - تم فحص صلادة النماذج المستعملة في البحث وعددها (12) نموذج وكذلك فحص التركيب البنيوي مجهرياً باستعمال قوة تكبير (100×) ومحلول إظهار (نيتال 2%) - وفي الجدول رقم (2) نتائج هذه الفحوصات . وكذلك نجد صور التركيب المجهرى في الأشكال رقم (2-6) .

ملاحظة :- تم تبريد النماذج رقم (11) في الزيت ورقم (12) في الماء البارد بمعدلات تبريد تتراوح بين (120) م°/ثا في الأولى و (400) م°/ثا في الثانية حسب المصدر [8] لكون سرعة التبريد القصوى لجهاز التمدد هي (100) م°/دقيقة .

3- النتائج - Results :-

أمكن الحصول على النتائج التالية :-

1- عند التبريد البطئ بمعدلات (0.1) ، (0.2) ، (0.5) م°/دقيقة ، تحول التركيب البنيوي الأوستنايتي الناتج اثناء التسخين إلى (950) م° إلى تركيب فيرايت قبل البوتكتويدي - (hipoeutectoid) وذلك لقلّة نسبة الكربون في السبيكة موضوعة البحث كما كان النمو البلوري فيها واضحاً بظهور الحدود البلورية نتيجة التبريد البطئ كما في الأشكال (2,3,4) .

لمعرفة تركيبها الكيماوي باستخدام جهاز التحليل الطيفي السويسري المنشأ نوع (ARL- 34000-OE-Spectrometer) الموجود في إحدى شركات القطاع الصناعي العام . نتيجة فحص ثلاث نماذج لهذا الغرض ، أمكن تحديد التركيب الكيماوي لهذا الفولاذ كما في الجدول رقم (1) . وهي مطابقة للمواصفات الألمانية (DIN-1,7218) :

3- فحص التمدد - Dilatometric Test

بعد تحضير نماذج فحص التمدد بطريقة الخراطة للحصول على الأبعاد القياسية المطلوبة

(بقطر 5.5 Ø ملم) وطول (50) ملم . تم تثبيت النموذج داخل الفرن الخاص بجهاز فحص التمدد بعد معايرة الجهاز وضبط بداية قراءته . وتسجيل منحنى التمدد بواسطة جهاز التمدد (Dilatometer) ، يتم اختيار مدى مناسب للورقة التي يرسم عليها المنحنى ، وتحديد سرعة حركة الورقة المستعملة في البحث (120) ملم / الساعة . وعند تشغيل الجهاز يبدأ فرن التسخين الموجود فيه - والمثبت نموذج الفحص بداخله - بتسجيل درجات حرارة التسخين بواسطة مزدوج حراري (Thermo Couple) مرتبط بالنموذج ويبدأ معها تسجيل التمدد الحاصل في النموذج . وترسم منحنى درجات الحرارة والتمدّد مع الزمن على الورقة .

ويلاحظ أن العلاقة بين درجات الحرارة والتمدّد تكون مباشرة (طردية) إلا في حالة التحولات الطورية التي تسبب انحرافاً في اتجاه منحنى التمدد . ومنه يمكن تحديد بداية ونهاية التحول والزمن الذي يستغرقه . أهم مواصفات هذا الجهاز انه الكتروني - إلى نوع (402) ، ذو مدى درجات حرارة (25-1600) م° ويحتوي على ملحقات لوضع وتثبيت النموذج المفحوص ، كما أن للجهاز نظام للامان ووحدة للسيطرة والتسجيل . ويستعمل لرسم المنحنيات ورق

- Q - معدل سرعة التبريد م° / دقيقة
علما ان نسبة التطابق فيها تقارب (98%)
(3) ... $Q^{0.1006}$

$$HV=210.87 \times$$

3- مناقشة النتائج - Discussion:

استنادا إلى النتائج أعلاه وبالرجوع إلى صور التركيب البنيوي لنماذج الفولاذ (25Cr Mo4) المفحوصة والصلادة الناتجة من استعمال معدلات تبريد مختلفة للاوستنايت المسخن إلى (950) م° يمكن القول بان التبريد البطيء بمعدلات (0.1، 0.2، 0.5) م° / دقيقة أتاح فرصة كافية لتحول جميع الاوستنايت إلى تركيب الفيراييت قبل اليوتكتويدي لوقوع الحقل الأخير أعلى منحني التحول البرلايتي في مخطط توازن (التحول الطوري - درجة الحرارة - الزمن) - (TTT)، ورافق ذلك الحصول على صلادة واطئة لا تزيد عن (187) وحدة فيكرز، وقد تحقق ذلك من ملاحظة التركيب المجهرى الناتج في تلك الحالات. وعند زيادة معدلات التبريد عن (1.0) م° / دقيقة بدأ ظهور تركيب البرلايت بشكل متزايد إلى جانب الفيراييت حتى أصبح التركيب برلايتيا عند معدل تبريد (10.0) م° / دقيقة، حيث اختلف الفيراييت من التركيب، وذلك بسبب عدم تقاطع منحني تبريده مع خط التحول الفرلايتي في معدل التبريد المذكور، مما مكن تحول الاوستنايت إلى البرلايت فقط. وعند بلوغ معدل التبريد (20.0) م° / دقيقة بدأ ظهور تركيب البايينايت مع البرلايت وذلك لان الفولاذ (25Cr Mo4) يحتوي على (Mo) الذي يتيح فرصة التحول (الباينايتي) (intermediate) للاوستنايت المفرط التبريد، وعند زيادة معدل سرعة التبريد وتجاوز حقل التحول البرلايتي (بين 50.0 - 100.0) م° / دقيقة أصبح التركيب باينايتي كليا ورافق ذلك زيادة قيم الصلادة كما يتضح من نتائج الفحص.

2- بزيادة معدل التبريد عن (1.0) م° / دقيقة بدأ ظهور تركيب البرلايت إلى جانب الفيراييت الذي أخذت نسبته تتناقص بزيادة سرعة التبريد.

3- عند معدل سرعة تبريد (10.0) م° / دقيقة تحول التركيب كليا إلى البرلايت بطريقة انتشارية وبلغت عندها الصلادة (274) HV وحدة فيكرز.

4- بدأ ظهور التركيب (الوسيط intermediate) - البايينايتي - إلى جانب البرلايت عند معدل سرعة تبريد (20.0) م° / دقيقة. مع تزايد قيم الصلادة لتصل إلى (297) HV.

5- تحول التركيب كليا إلى باينايت عند معدل سرعة تبريد يصل (100) م° / دقيقة وبذلك ازدادت الصلادة إلى (310) HV.

6- ان وجود نسبة من عنصر (Mo) في السبيكة ساعد على تكون مجال البايينايت بين البرلايت والمارتنسايت (intermediate) وقد ظهر ذلك من معاينة النماذج المفحوصة مجهريا حيث كان شكله ابريا كما في الشكلين (6,7).

7- عند استخدام الزيت في تبريد النموذج - بمعدل حوالي (120) م° / ثا - وكذلك عند التبريد في الماء - بعدل حوالي (400) م° / ثا - تحول التركيب الاوستنايتي كليا إلى مارتنسايت وبلغت الصلادة اعلى قيمتها (579) HV لان سرعة التبريد العالية لم تسمح لتحول الاوستنايت المفرط التبريد الا عند بلوغ درجة حرارة (Ms) - بداية التحول المارتنسايتي (حيث يكون التحول سريعا ولا انتشاريا).

8- تم استنباط علاقة رياضية لمعدل سرعة التبريد والصلادة كما مبينة في الشكل رقم (1) والشكل رقم

(1-A) وحسب المعادلة رقم (3) باستخدام برنامج الحاسبة (Exell Soft ware) حيث ان :-

- Hv - قيمة الصلادة بمقياس فيكرز.

References

- [1]Metals Handbook Manuals , ASM Handbook TA 459 M43-USA-1990
- [2] Metals Handbook , 8th ed "Metallography , Structures and phase transf. Vol.1 ASM-1973.
- [3]Torsten Ericason , Linkoping – Inst.of Tech .- Principles of heat treating of steel- Metals Handbook - 10 th ed.- ASM international -1990.
- [4]-David plane ((Alloy and St. Steels)) ASM-2003.
- [5]-S.k. Hajra ch.- Materials science &progress in SI units- India-1982.
- [6]Steel Heat treatment Metallurjy – Tech- CRC- 2nd ed.2006.
- [7]Y.Lakhtin – Engineering physical metallurjy-peace publ. Moscow 1968.
- [8]B. Zakharov – Heat treatment of metals ((phase transformation in alloy steel))-peace publisher – Moscow-1962.
- [9]K.W. Andrews ((Impirical formula for calculation of some transformation temperatures)) Jr. iron and steel vol.203-London -1965.
- [10]Heat treater's guide practices and procedures for Iron and steels ASM international -1995.
- [11]Derek N Hawkins – steel times ((Know your steel)) July-1989.
- [12]Adobe Reader – chapter _ 2 Ptf – Mil – HDBK- 5 H-1998.
- [13]ASM- Vol.4((Heat treating)) – oct .2001.
- [14]ASM. International ((Martensitic structure)) Vol .9-2004.
- [15] Callister , Jr.W.D.- Materials science and engineering 6 th ed . New York-2006.
- [16] ASTM- ((Steel phase transformation standards)) ASM international 2004.
- [17]Stephen M. Copley – ASM Handbook Vol .4 ((Heat treating)) USA.1991.

علما" أن هذا التبريد لم يتجاوز حدود حقل الباناييت ولم يظهر التركيب المارتنسايتي الا عند التبريد بسرعة عالية جدا" (في الزيت أو في الماء) حيث يتحول الاوستنايت عندها إلى مارتنسايت كما أظهرت صور التركيب المجهرى وقيم الصلادة .

وفي ذلك دلالة على أن الحصول على التركيب المارتنسايتي يحتاج إلى معدل سرعة تبريد عالية (أكثر من 100 م° / دقيقة بحيث يستمر الاوستنايت في فرط التبريد دون أن يتمكن من قطع خطوط التحولات الطورية قبل الوصول إلى درجة (Ms) التي يبدأ ظهور المارتنسايت فيها والتي أمكن حسابها باستخدام المعادلة رقم (2) فكانت Ms=406 م° بالنسبة للفولاذ موضوع بحثنا .

ومن خلال البحث يمكن اختيار أسلوب (وسط التبريد) المناسب الذي يحقق المواصفات المطلوبة في عملية التصليد المستعملة في المعاملات الحرارية لهذا النوع من الفولاذ .

3- الاستنتاجات – Conclusions

نستنتج من هذا البحث ما يلي :-

1-ان صلادة السبيكة (25 Cr Mo4) يمكن ان تتضاعف اكثر من ثلاثة اضعاف عند زيادة معدل سرعة التبريد من (0.1) م° / دقيقة , وهي سرعة التبريد داخل الفرن المغلق الى (24000) م° / دقيقة عند التبريد في الماء وهذا يوسع مجالات استخدامها حسب الحاجة الى الصلادة والمتانة المطلوبة .

2-ان التبريد البطئ (0.1-0.5) م° / دقيقة قد تسبب في النمو البلوري بحيث ظهرت الحدود البلورية عليها بعض الكريبيدات واضحة في الاشكال (2و3و4) – اللون الفاتح , في حين كان لون الفيراييت داكنا" .

3-امكانية استخدام اوساط تبريد مختلفة للسبيكة موضوعه البحث عند المعاملات الحرارية للحصول على الصلادة والتركيب المناسبين .

[22]A.K. Sinha – Ferrous Physical Metallurgy- Butter worth publisher - 1989.
 [23]A.Novikov , M.Zakharov Heat treatment of metals and alloys – Mir publisher Moscow -1972 .
 [24]Witold w. cias phase transformations kinetics and hardenability on medium carbon alloy steels – climak Molybdenum Co.

[18]Foseco Ferrous foundryman's Handbook – Foseco intern.ltd-oxford-2000.
 [19]G. Krauss. ((principles of heat treatment of steel – ASM-1985.
 [20]G.Kostorz.((phase transformations in materials ((wiley – VCH-Germany -2001.
 [21]The Foseco Foundryman's Handbook -9 th ed. Pergamon press oxford , New Delhi-1986.

جدول رقم (1) : نتائج فحص التركيب الكيميائي للفولاذ بالتحليل الطيفي

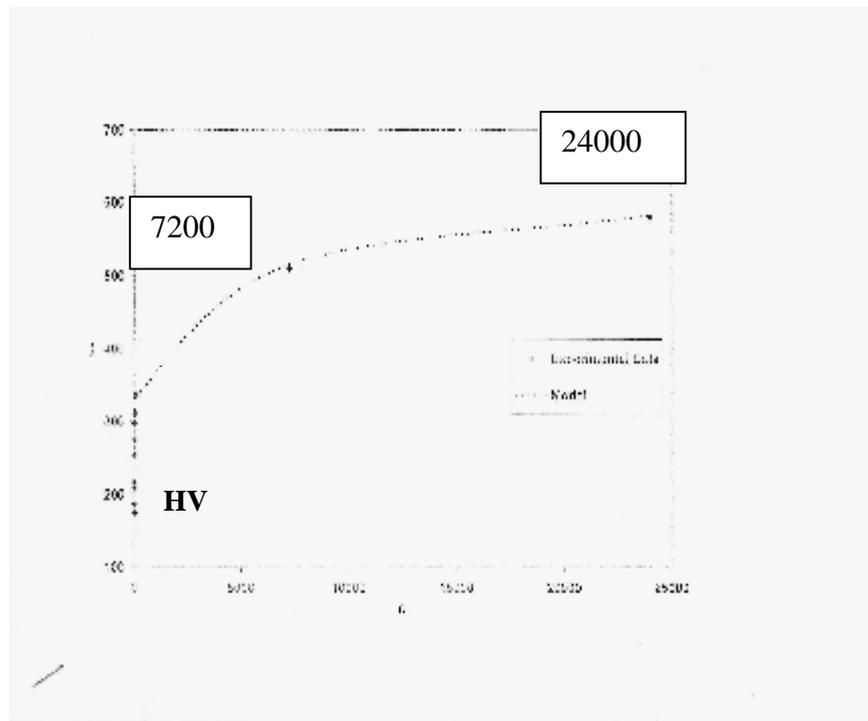
نوع الفولاذ	نسب العناصر – نسب وزنية %						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
25Cr Mo4	0.26	0.30	0.60	1.00	0.25	0.035	0.035

جدول رقم (2) نتائج فحص الصلادة والتركيب البنيوي

ت	معدل سرعة التبريد م / ° دقيقة	الصلادة بمقياس فيكرز HV	التركيب البنيوي
1	0.1	175	فيراييت قبل البيوتكتويد
2	0.2	176	=
3	0.5	187	=
4	1.0	209	فيراييت + برلايت
5	2.0	217	برلايت + فيرايت
6	5.0	254	برلايت
7	10.0	274	برلايت
8	20.0	297	برلايت + باينايت
9	50.0	310	باينايت
10	100.0	336	باينايت
11	تبريد بالزيت	510	مارتنسايت
12	تبريد بالماء	579	مارتنسايت

جدول رقم (3) يبين العلاقة بين الصلادة وسرعة التبريد حسب Exell software

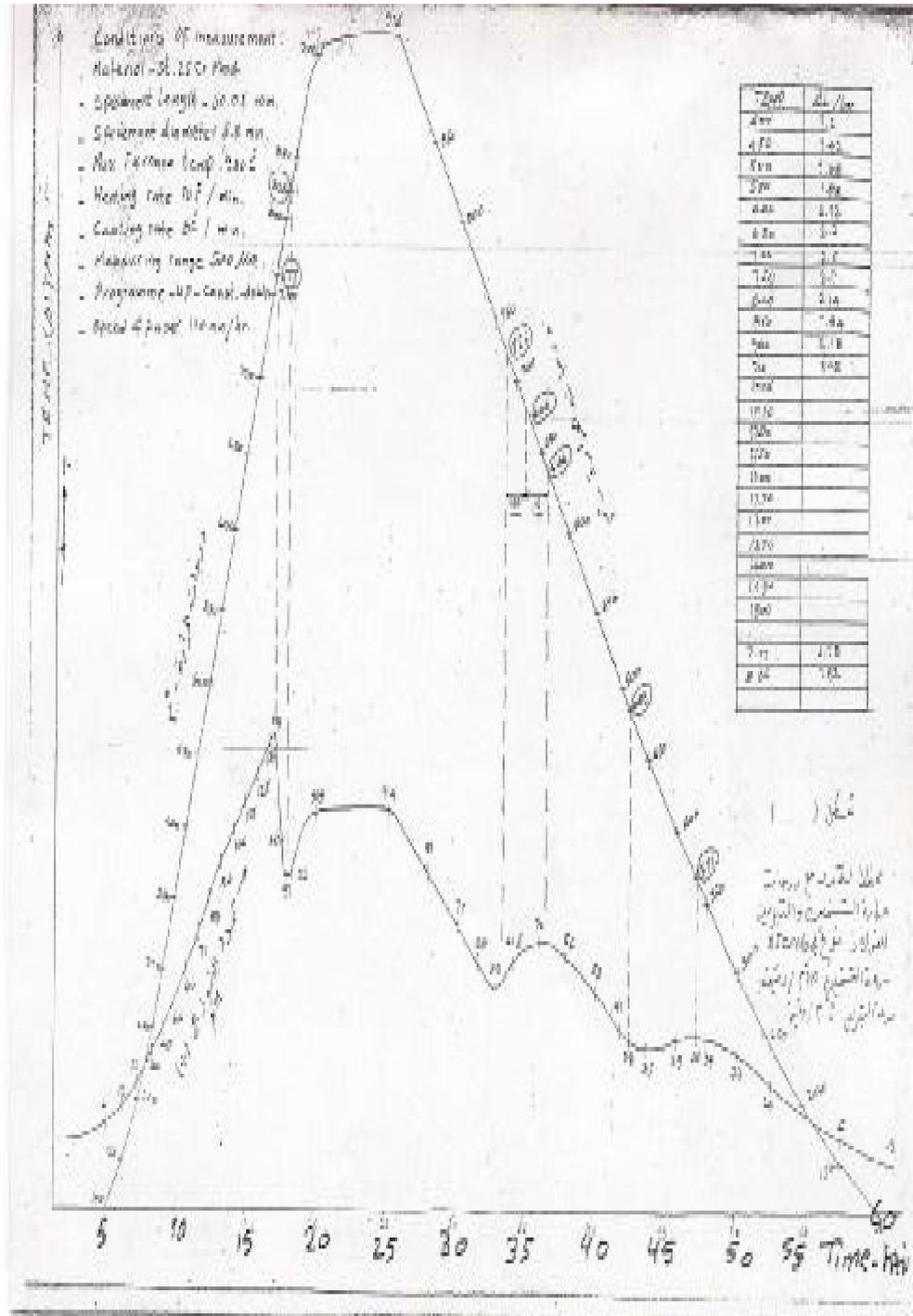
Hv . exp الصلادة حسب البحث	Hv . cal الصلادة المحسوبة	D % نسبة الانحراف %	Average % معدل نسبة الانحراف %
175	167.2687	4.41786	(2.379736)
176	179.3488	1.902713	
187	196.6669	5.169443	
209	210.87	0.894737	
217	226.0989	4.193033	
254	247.9312	2.389292	
274	265.8366	2.979338	
297	285.0351	4.02857	
310	312.5584	0.825292	
336	335.1312	0.258586	
210	515.3027	1.039752	
579	581.6531	0.458222	



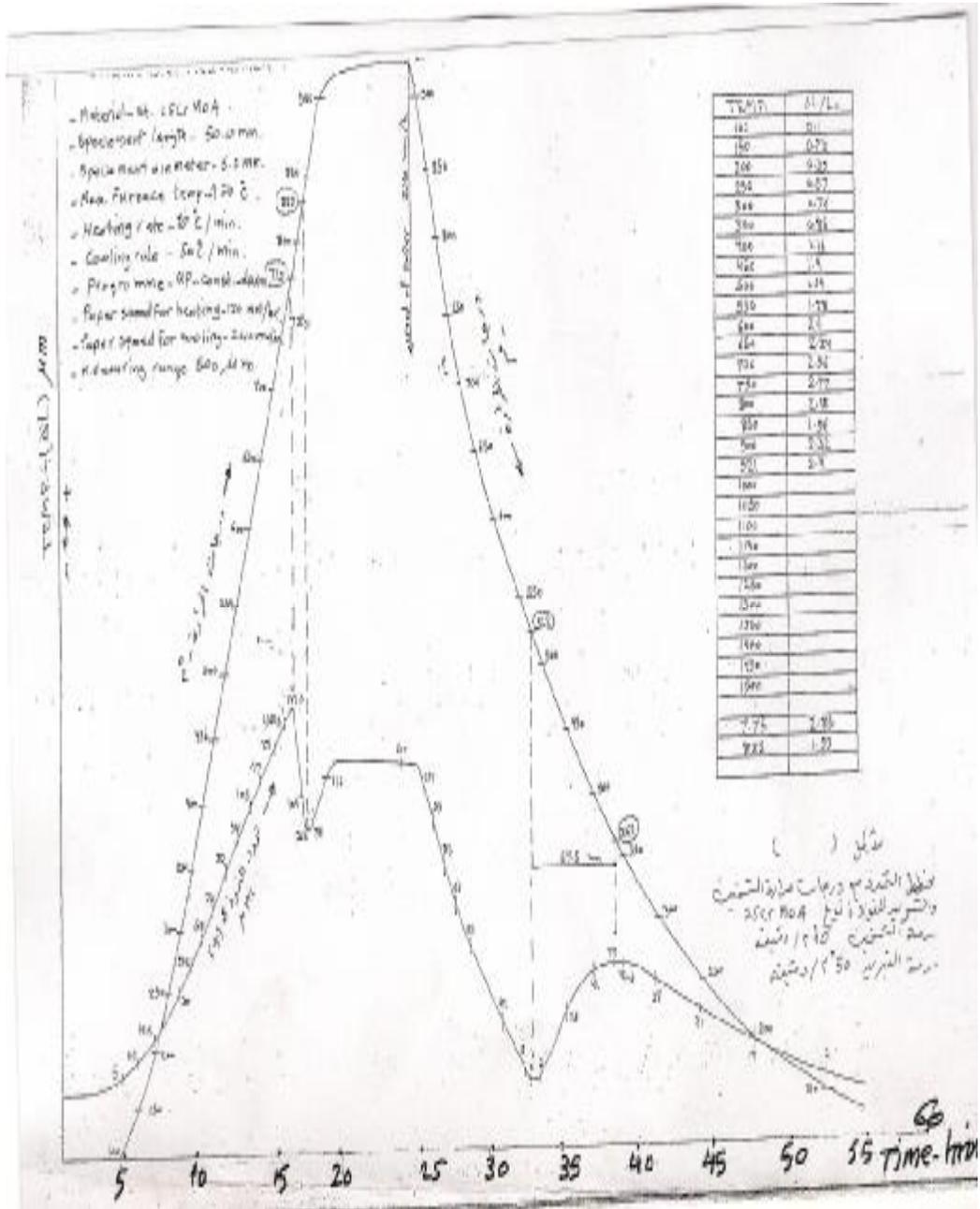
شكل رقم (1) / العلاقة بين معدل سرعة التبريد والصلادة للفولاذ 25 Cr Mo4
معدل سرعة التبريد م° / دقيقة - Q



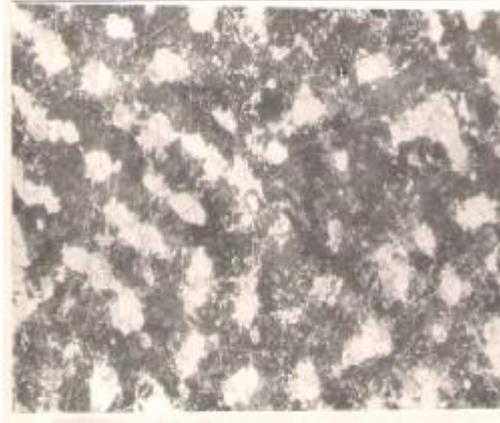
شكل (A-1) مقطع مخطط العلاقة بين الصلابة ومعدل سرعة التبريد للفولاذ (25Cr Mo4) ضمن مدى فحص جهاز التمدد



شكل (2)
مخطط التمدد عند التسخين والتبريد للفولاذ 25 CrMo4 - تبريد بسرعة
5م / دقيقة .



شكل (3)
 مخطط التمدد والتبريد والتسخين للفولاذ 25 CrMo4 - تبريد
 بسرعة 50م / دقيقة



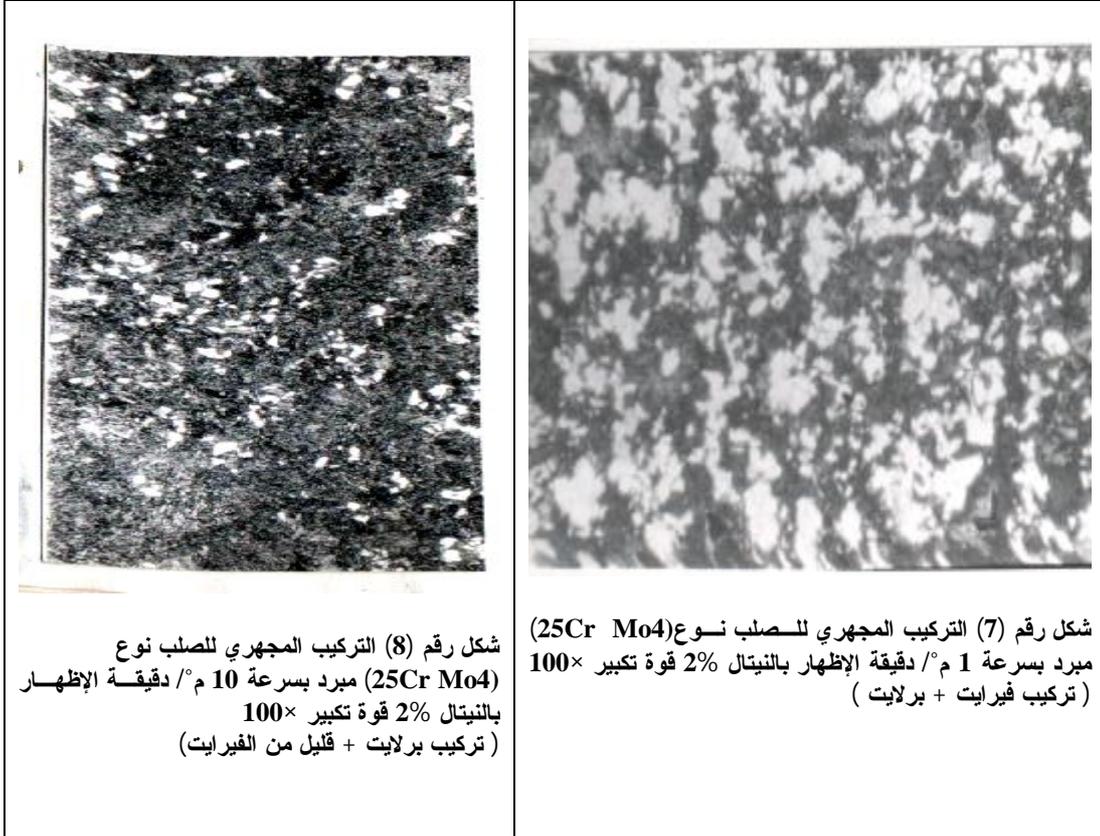
شكل رقم (5)
التركيب المجهرى للصلب نوع 25 Cr
M04
مبرد بسرعة 0.2% م / دقيقة .
معامل بالنيتال 2%
قوة التكبير $\times 100$ مرة
(تركيب فيرايتي)

شكل رقم (4)
التركيب المجهرى للصلب نوع 25 Cr
M04
مبرد بسرعة 0.1% م / دقيقة .
معامل بالنيتال 2%
قوة التكبير $\times 100$ مرة
(تركيب فيرايتي)

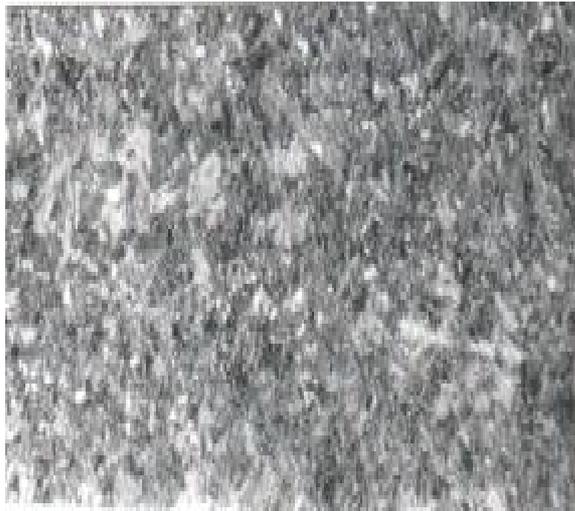


شكل رقم (6)
التركيب المجهرى للصلب نوع 25 Cr M04
مبرد بسرعة 0.5 ° م / دقيقة .
معامل بالنيتال 2%
قوة التكبير × 100 مرة
(تركيب فيرايتي)

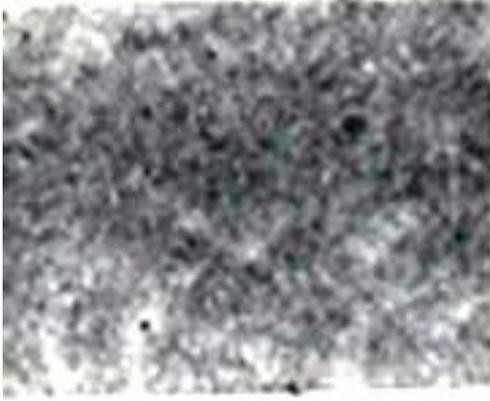
** في الاشكال (4,5,6) تمثل المناطق البيضاء الحدود البلورية مع قليل من الكربيدات
والمناطق الداكنة تمثل الارضية المعدنية الفيرائيتية .



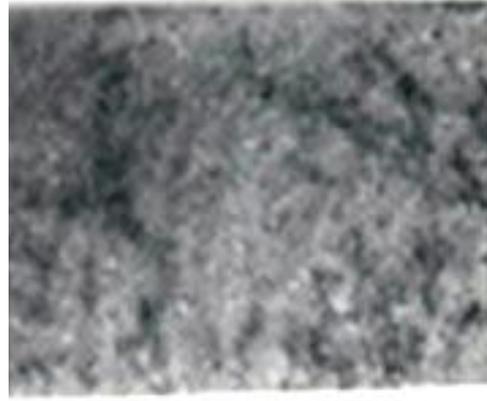
** في الشكلين (7,8) تمثل المناطق البيضاء الفيرايت والداكنة البرلايت



شكل رقم (9) التركيب المجهرى للصلب نوع (5Cr Mo4) مبرد بسرعة 20 م / دقيقة الإظهار بالنيتال 2% قوة تكبير 100× (تركيب برلايت + قليل من الباينايت) ** تمثل المناطق الداكنة البرلايت والمقاطع الدائرية الباينايت



شكل رقم (11) التركيب المجهرى للصلب نوع 25Cr Mo4) مبرد بالماء البارد الإظهار بالنيتال 2% قوة تكبير 100× (تركيب مارتنسايتي - ابري ناعم)



شكل رقم (10) التركيب المجهرى للصلب نوع (25Cr Mo4) مبرد بسرعة 100 م /° دقيقة الإظهار بالنيتال 2% قوة تكبير 100× (تركيب بايناييتي)