

## دراسة العلاقة بين تغير الأبعاد - درجة حرارة وزمن الكربنة للفولاذ منخفض الكربون باستخدام لغة الحاسوب C#2008

أحمد سلوم عباس \*

تاريخ التسلم: 2010/10/6

تاريخ القبول: 2011/10/6

### الخلاصة

في هذا البحث تم استخدام لغة الحاسوب C#2008 لدراسة تغير ابعاد نماذج قرصية الشكل ذات ابعاد ثابتة عند التصنيع لفولاذ منخفض الكربون ذو نفس الخواص من ناحية التركيب الكيميائي , الخواص الميكانيكية والبنية المجهرية أثناء عملية الكربنة بحيث يتم حساب مقدار التغير (التشوه) الحاصل في الابعاد عن طريق الحاسوب بادخال درجة حرارة وزمن الكربنة باستخدام عينات أجريت لها عملية الكربنة الصلبة بدرجات حرارية  $850, 900, 950$  °C ولأزمان (3,6,8) ساعة على التوالي ثم أجريت لها معاملات حرارية تضمنت معادلة, تقسية ومراجعة لاحقة لتحسين الخواص الميكانيكية حيث تم فحص التركيب الدقيق وقياس الابعاد بدقة لدراسة التغيرات الناتجة عن المعاملة الحرارية قبل وبعد الكربنة وبالتالي تلافى بعض المشاكل الناتجة عن التغيرات الطفيفة نسبيا في الأبعاد والحاصلة بسبب التغير بالأطوار والناتج من التحولات المارتنسايتية والتي تؤدي بدورها الى عدم تطابق وتلائم ابعاد المنتجات المكربنة مع الأبعاد التصميمية لها. باختصار هذه الدراسة مفيدة لحساب أبعاد المنتج قبل إجراء المعاملات الحرارية للحصول عليه بأبعاده المطلوبة.

**الكلمات المرشدة:** الكربنة, الفولاذ منخفض الكربون, التحولات المارتنسايتية, التغيرات البعدية, التشوه أثناء الكربنة

## Study Relationship Between The Dimensional Change – Temperature and Carburizing Time of Low Carbon Steel By Using (C#2008) Programming Language

### Abstract

In this paper a program was build by (C#2008) programming language to calculate a dimensional change in specimens of low carbon steel during solid carburizing process. The chemical composition, mechanical properties and microstructure for all specimens was the same. Carburizing process was done in different temperatures ( 850 , 900 and 950 ) °C for holding times of ( 3 , 6 and 8 hours ) respectively flowed by normalizing , quenching and tempering to improve mechanical and microstructure properties. The specimens was measured dimensionally with high accuracy before and after mentioned above heat treatments processes to identify the change in dimensions due to change in phases of the surface layer of metals during martenstic transformation. Briefly this work is useful in determining the right dimensions of parts before applying heat treatments to obtain the final desired dimension of the final product.

## المقدمة

تتطلب ظروف استخدام العديد من الأجزاء المصنعة من الفولاذ كالتروس (Gears) والكامات (Cams) وغيرها وجود أسطح صلبة مقاومة للبلية (Wear Resisting) في الوقت الذي تكون قلوبها متينة (Tough) ومقاومة للصدمة (Impact Resistance) ومن الممكن الجمع بين هذه الخواص بالتصليد السطحي للفولاذ ذي المتانة العالية لزيادة صلابته السطحية دون تغير الخواص الميكانيكية لبقية اجزاءه [1].

يتضمن التصليد (Hardening) بهذه الطريقة تغيير التركيب الكيميائي للسطح بالمعاملات الحرارية الكيميائية والتي تتمثل بإشباع سطح الفولاذ بذرات العناصر المطلوبة كالكربون، النيتروجين، الكروم، الألمنيوم وغيرها وتمت العملية بتحرير هذه العناصر من المواد الصلبة أو السائلة أو الغازية المحتوية على هذه العناصر وتحويلها إلى حالة ذرية ثم انتشار هذه الذرات مختربة النسق البلوري للفولاذ لتشبع طبقاته السطحية [2].

تعد الكربنة من أهم وأقدم المعاملات الحرارية الكيميائية لزيادة الصلابة السطحية للفولاذ وأرخصها كلفة وهي طريقة مفضلة لرفع مقاومة البلى والكلال للفولاذ [3,4].

وتعرف الكربنة بأنها عملية اشباع سطح الفولاذ بالكربون وانتشاره من الوسط المحيط به وفي درجات حرارة عالية تتراوح بين (825-950) °C ويحتاج المنتج بعد الكربنة إلى معاملات حرارية لاحقة لتحسين الخواص الميكانيكية والبنية المجهرية [5]. وتتلخص الكربنة بما يلي:-

1. تحرير الكربون المنتشر وتحويله إلى طاقة ذرية.

2. تلامس الذرات المنتشرة مع سطح الفولاذ وتكون روابط كيميائية مع ذرات الفولاذ وتسمى هذه العملية بالامتصاص (Absorption).

3. اختراق الذرات لسطح الفولاذ لأبعاد تعتمد على درجة الحرارة والزمن وتركيز العنصر المنتشر وتسمى هذه العملية بالانتشار (Diffusion) ويتغير معامل الانتشار مع درجة الحرارة كما في المعادلة الآتية [6,7].

$$D = D_0 \exp(-Q/RT) \quad \dots (1)$$

حيث أن :-

**D** : معامل الانتشار  
**D<sub>0</sub>** : معامل التردد ولا يعتمد على درجة الحرارة  
**Q** : طاقة التنشيط cal / mole  
**R** : ثابت الغاز cal / mole  
**T** : درجة الحرارة المطلقة K

عند درجة حرارة معينة تقل قيمة (D) مع ازدياد طاقة التنشيط (Q) وبذلك يكون معدل الانتشار بطيئاً لذا تحتاج المعاملة الحرارية الكيميائية (الكربنة) إلى زمن طويل ودرجات حرارية عالية للحصول على العمق المطلوب، ان العمق الكلي الذي ينفذ إليه الكربون في الفولاذ يمكن ان يحسب بالعلاقة الآتية [7,8]:-

$$Y = K \sqrt{t} \quad \dots (2)$$

حيث ان :-

**Y** : عمق الطبقة المكربنة بـ ( ملم )  
**K** : ثابت الانتشار  
**t** : الزمن (الساعة)

(Stresses). ثم تعميم العينات باستخدام ورق  
تتعيم من كاربيد السليكون بواسطة جهاز التتعيم  
الرطب بالماء (Wet Grinding Machine)  
( ودرجات °C ( 120,320, 500,1000 )  
على التوالي , وبعدها تم تجفيف العينات بعد  
غسلها بالماء والكحول .

### 3- اختبار الصلادة العيانية Macro Hardness Test

تم فحص صلادة فيكرز المجهرية ( Macro Hardness )  
باستخدام أداة غرز  
موشورية ماسية مربعة القاعدة وحمل (2 Kg)  
وأخذت ثلاثة قراءات للأثر المتروك واعتمد  
المعدل وتم حساب الصلادة من القانون الآتي :-

$$Hv = 1.854 p / d^2$$

(3) .....

حيث ان :-

Hv : صلادة فيكرز (Kg / mm<sup>2</sup>)

d : معدل قطر الأثر ( mm )

P : الحمل المسلط ( Kg )

### 4 - الفحص والتصوير المجهرية

اجرى الفحص المجهرية لعينات الفولاذ  
المنخفض الكربون بعد تحضيرها للفحص  
وبالخطوات الآتية :-

1- اجراء عمليات تتعيم باستخدام اوراق

تتعيم (Grinding papers)

بدرجات (1000,500,320,120)

على التوالي.

2- اجراء عملية صقل ( Polishing )

باستخدام قماش صقل مع محلول

الالومينا ( Alumina ) ذي حجم

حبيبي (7) مايكرون ثم قماش صقل

من معجون الماس ذي الحجم حبيبي

(1.5) مايكرون مع سائل تبريد خاص

وتم غسل العينات بالماء والكحول

وجففت بعد كل مرحلة من مراحل

الصقل والتتعيم.

تكمين أهمية البحث بأن التغيرات في الأبعاد  
لمنتجات الفولاذ الناتجة من المعاملات الحرارية  
بعد عملية الكربنة تتطلب انتباها من قبل  
المنتجين إذ أنها تسبب تماسا غير منتظم  
وخصوصا في التروس ( Gears ) مما ينتج عنه  
مشاكل تؤدي إلى فشل المنتج لذلك أتت هذه  
الدراسة لغرض التنبؤ بالتغير البعدي وبالتالي  
الحصول على المنتجات بالدقة المطلوبة.

### الجانب العملي

تم استخدام الفولاذ منخفض الكربون  
نوع (1020) حسب المواصفة الأمريكية  
(AISI grade<sup>a</sup>) لكلفته الواطئة واستخداماته  
الواسعة في مختلف التطبيقات الصناعية  
كالتروس, المضخات والأعمدة (Shafts) [9].

من اجل معرفة التركيب الكيميائي للفولاذ  
المنخفض الكربون المستخدم تم اجراء عملية  
تحليل كيميائي بجهاز التحليل الطيفي (المطياف)  
نوع (ARL, Spectrometer Analysis)  
وكما موضح في جدول (1).

### 1 - تصنيع العينات Specimens Manufacture

تم تصنيع عينات على شكل قرصي  
(washer) لغرض إجراء عملية الكربنة وذلك  
بتشغيلها على مخرطة متريية وكانت أبعاد العينة  
هي ( 30 mm ) القطر الخارجي والقطر  
الداخلي ( 10 mm ) والسمك (5mm) للفولاذ  
منخفض الكربون. ويوضح الشكل (1) أبعاد  
العينة المستخدمة في هذا البحث.

### 2 - تحضير العينات Specimens Preparation

تم إجراء عمليات تحضيرية على العينات  
الغرض منها إزالة الاجهادات الناتجة من عملية  
التصنيع وكذلك إزالة الاكاسيد والحصول على  
إنهاء سطحي جيد وهذه العمليات كانت أولا  
بتسخين العينات في فرن المقاومة الكهربائي نوع  
( Carbolite ) إلى درجة حرارة ( 160 °C )  
لمدة 1h لإزالة الاجهادات الداخلية (Internal

السمنتايتية المتكونة أثناء عملية الكربنة، لأن السمنتايت  $Fe_3C$  يكون هش بطبيعته ولكنه صلد وبذلك فهو يعطي صلادة جيدة ولكنه يكون سهل الكسر لذلك يجب أن نتخلص منه وفي نفس الوقت يتحول التركيب ( فرايت + برلايت ) الى اوستنايت وتترك لفترة 15 دقيقة عند هذه الدرجة حتى يتم تجانس الكربون في حبيبات الاوستنايت ثم يتم تبريد العينات في الماء وتعتبر هذه المرحلة كمرحلة تقسية بالنسبة للقلب [10].

### 2-2-5 التقسية ( Quenching )

في هذه المرحلة تسخن العينات إلى درجة حرارة  $760^{\circ}C$  بعد عزلها أثناء التسخين في صندوق فولاذي يحتوي رمل حراري لكي يمنع فقدان الكربون عند تلامس العينات مع الهواء في درجات حرارة مرتفعة ويغلق الصندوق بالغطاء ويعزل بالطين الحراري وتترك العينات عند هذه الدرجة لمدة 20 دقيقة بعدها تبرد في الماء من هذه الدرجة. تعتبر هذه المرحلة كمرحلة تقسية بالنسبة للسطح الخارجي لأن نسبة الكربون في السطح عالية وتصل حوالي (0.7-0.8) % كربون. وكذلك تعتبر كمرحلة مراجعة بالنسبة للطبقة الداخلية حيث نحصل على حبيبات صغيرة، وفي هذه المرحلة ومع ارتفاع درجات الحرارة نستطيع أن نزيل الاجهادات المتكونة من المرحلة الأولى [11,10].

### 3-2-5 المراجعة ( Tempering )

تتم المراجعة للعينات في درجة حرارة  $200^{\circ}C$  في نفس الصندوق الذي اجرينا فيه المعاملات الحرارية السابقة وأيضا يعزل بالطين الحراري وتترك العينات في الفرن لمدة 15 دقيقة وبعد إخراجها من الفرن تبرد بالماء وفي هذه المرحلة سوف نتخلص من الاجهادات المتبقية أثناء التقسية وكذلك نحصل على بلورات ناعمة في العينات ويتحول الاوستنايت

3- تم إجراء عملية الإظهار ( Etching ) باستخدام محلول الإظهار النيتال ( Nital ) المكون من (2%) من حامض النتريك مع (98%) كحول مثيلي .

4- استخدام كاميرا رقمية مربوطة على مجهر ضوئي نوع ( Carlzeiss Jena ) لمعرفة التركيب المجهرى للفولاذ وحسب مامبين في الشكل (2).

5 - المعاملات الحرارية الكيميائية ( الكربنة ) حيث أجريت الكربنة الصلبة للعينات، ثم اتبعتها المعاملات الحرارية اللاحقة بعد الكربنة من معادلة تقسية ومراجعة وكما يأتي :-

### 1-5 الكربنة الصلبة :-

اجريت الكربنة في صندوق من الفولاذ اسطواني الشكل حيث يوضع في القالب الخليط المستعمل في الكربنة وهو فحم نباتي ( Charcoal ) بشكل صفائح صغيرة مع نسبة 15% من كاربونات الباريوم  $BaCO_3$  الذي يعتبر مسحوق منشط للتفاعل الذي يحصل في صندوق الكربنة مع ارتفاع درجة الحرارة حيث يملأ القالب بهذا الخليط وتوضع العينات المراد كربنتها فيه على ان لا تكون قريبة من جدران القالب أو من أرضيته أو سقفه بعدها ينقل الصندوق ويوضع في فرن كهربائي يغلق الفرن وتثبت درجة الحرارة حسب الدرجة الحرارية المراد الكربنة عندها ( 900, 950 ,  $850^{\circ}C$  ) ولازمن ( 3, 6, 8 ) ساعة ثم تبرد العينات في الهواء بعد إخراجها من الفرن بعدها يتم اجراء المعاملات الحرارية اللاحقة لإكساب الخواص المطلوبة .

2-5 المعاملات الحرارية اللاحقة بعد الكربنة :-

### 1-2-5 المعادلة ( Normalizing )

سخنت العينات المكربنة في صندوق من الفولاذ مملؤ بالرمل الحراري ومغلق بإحكام بدرجة حرارة  $850^{\circ}C$  ولمدة 15 دقيقة والغرض من ذلك التخلص من الشبكة

الترتيب أيضا. ويوضح الشكل رقم (3) الخوارزمية التي تم على أساسها بناء البرنامج بينما يوضح الشكل رقم (4) واجهة هذا البرنامج بعد تشغيله وتنصيبه على الحاسوب.

#### النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (2) البنية المجهرية للصلب الكربوني المستخدم وهي عبارة عن الفرايت والبيرلايت وبكسر حجمي مناظر للصلب الكربوني ذات نسبة الكربون 0.2 wt% حيث يلاحظ الكسر الحجمي الكبير للفرايت والذي يكون ملائم لإجراء عملية الكربنة. أما الشكل (5) فيوضح المقطع العمودي للصلب المكون وهو بصورة كبيرة من السمنتايت في الطبقة القريبة من السطح الخارجي للمعدن تتبعها طبقة ذات سمك قليل مقارنة مع الطبقة السطحية وهي بصورة كاملة من البيرلايت الطبقى ومن ثم تتبعها طبقة قريبة من سطح العينة ذات بنية من البيرلايت والفرايت وبكسر حجمي للفرايت يزداد بصورة تدريجية عند سطح الصلب. حيث لوحظ من الفحص المجهرى الدقيق لكافة النماذج باحتوائها على المناطق الثلاثة السابقة التي تتغير بالأبعاد بالاعتماد على متغيرات عملية الكربنة المستخدمة. إذ بالإمكان زيادة الصلادة من خلال عملية التقسية بتحول السمنتايت الناتج من الكربنة عند رفع درجة الحرارة وتحويله إلى اوستنايت عند درجة حرارة التقسية وعند التبريد تم تحويله إلى مارتنسايت وكما هو موضح بالشكل (5).

يصاحب تحول الأوستنايت إلى المارتنسايت تغير في الحجم قد يكون منتظم أو غير منتظم، ويعتمد هذا التغير على معدل التبريد، عملية الكربنة، قابلية التصليد والتركيب الكيميائي للفولاذ المستعمل. حيث يلعب معدل التبريد دورا بارزا في السيطرة على التشويه الحاصل نتيجة تحول الأوستنايت إلى مارتنسايت، وكلما كان معدل التبريد كبيرا كلما تسبب في توليد منحدر حراري كبير وتولد أجهادات ينجم عنهما اختيار أو ساط

المتبقي إلى مارتنسايت في هذه المرحلة [10,11].

#### 6- القياس بعد الكربنة

تم أخذ القياسات الخاصة للعينات وهي القطرين الداخلي والخارجي وبدقة (0.001) بتريبيية مايكرومتر بعد إجراء الكربنة الصلبة وكما هو مثبت في جدول (3).

#### 7- بناء البرنامج

تمت الاستفادة من معطيات النتائج العملية التي تم استخراجها من العديد من التجارب التي أجريت على النماذج التي تم اختيارها وقد تم بناء برنامج بلغة سي شارب (C#2008) وذلك لتمثيل هذه النتائج العملية برمجيًا. حيث تم استخدام التغير الحاصل بالأبعاد بعد عملية الكربنة وعند درجات الحرارة والتثبيت المختلفة لبناء الخوارزمية لتحديد التغير باستخدام الحاسوب. وفي أدناه المعادلات التي تم استخدامها لبناء الخوارزمية.

$$y = -0.0063x^2 + 0.0587x - 0.0554$$

.... (4)

$$y = 0.0036x^2 - 0.0444x + 0.1398$$

..... (5)

$$y = 0.0027x^2 + 0.0392x - 0.0754$$

..... (6)

$$y = 0.0059x^2 - 0.00601x + 0.1562$$

..... (7)

$$y = 0.0037x^2 - 0.0333x + 0.1042$$

..... (8)

$$y = -0.0005x^2 + 0.0035x + 0.015$$

.... (9)

حيث تمثل المعادلات (4,7,9) التغير الحاصل في القطر الخارجي عند درجات حرارة °C (850,900,950) على الترتيب، بينما تمثل المعادلات (5,6,8) التغير الحاصل في القطر الداخلي عند نفس الدرجات الحرارية وعلى

بالقطر الخارجي للعينات الم كربنة الى ان عملية ظروف الكربنة قد أجريت في الجو الاعتيادي للفرن وهذا ما يؤدي إلى حصول أكسدة في الطبقة الم كربنة والذي يزداد بزيادة زمن الكربنة إذ تؤدي عملية الأكسدة إلى إزالة جزء من طبقة الكربنة نتيجة تفاعل الكربون الموجود في طبقة الكربنة مع الاوكسجين [13]. وهذا ما يمكن ملاحظته بوضوح عند زمن مقداره 6 ساعات حيث أن زيادة زمن الكربنة إلى 9 ساعات يؤدي إلى زيادة في سمك طبقة الكربنة خصوصا عند درجات حرارة °C (850-900) وهذا بدوره يؤدي الى زيادة في القطر الخارجي للعينات وكما هو واضح في شكل 6 و 7 أما إجراء الكربنة عند درجة حرارة °C 950 وبزمن مقداره 8 ساعات فإن الانخفاض في القطر الخارجي يستمر نتيجة استمرار الأكسدة مما يؤدي في تقشر الطبقة الم كربنة.

تعد عملية التنبؤ بالتغير أبعادي مهمة حيث أن تغير الأبعاد يسبب بعض المشاكل ومنها عدم تطابق وتلائم أبعاد المنتجات الم كربنة مع الأبعاد التصميمية لها , لذلك يجب الاخذ بنظر الاعتبار نسبة التغيرات الحجمية الحاصلة في المنتجات التي يجب ان تجري عليها عملية الكربنة اذن من المفروض ان تكون الأبعاد التصميمية للمنتجات اقل من الأبعاد المطلوبة وينسب تتوافق مع نسب التغيرات الحجمية بعد عملية الكربنة .

#### الاستنتاجات Conclusions

- 1- ان عملية الكربنة للصلب الواطئ الكربون تتأثر بصورة معقدة مع كلا من درجة حرارة الكربنة وزمن التثبيت.
- 2- كان تصرف التغير بالقطر الداخلي والخارجي للأجزاء المجوفة عند إجراء المعاملة الحرارية للكربنة تصرفا معقدا.
- 3- هنالك حاجة ماسة لتوسيع النتائج العملية وذلك لزيادة الدقة حيث ان هذه

تقسية كالزيت (Warm Oil) بدلا من الماء بحيث نقل من معدل التبريد في منطقة التحول, كذلك إن الأجزاء المعقدة الشكل قد تسبب تبريدا غير متجانسا أما زيادة القابلية على التحولات فإنها تزيد من نسبة التحول وبالتالي فرق الحجم يكون كبيرا. أما بالنسبة لعامل الكربنة فله التأثير الأكبر على الفولاذ المنخفض الكربون المستخدم بالبحث مسببا تحولا مارتسايتيا عالي نسبيا مقارنة مع العوامل الأخرى [12].

لوحظ من دراسة التغير بالأبعاد الناتجة بعد عملية الكربنة تعقيدا بالنتائج البعدية والتي تعتمد على مجموعة من المتغيرات المترابطة والتي تؤثر جميعها على التغير النهائي الناتج لكل من القطر الخارجي والقطر الداخلي وكما موضح بالجدول (3). أن هذا التغير المعقد يعتمد بصورة كبيرة على مقدار عمق الكربنة الناتج كدالة لزمن ودرجة حرارة الكربنة. حيث بصورة عامة زيادة زمن الكربنة عن 6 ساعات لم يؤدي الى زيادة بعمق الكربنة وانما زيادة حجم الحبيبات وبالأخص عند درجة حرارة الكربنة العالية .

المعلومات التي تم الحصول عليها للتغير بالأبعاد كدالة لزمن الكربنة عند درجات الحرارة المختلفة موضح بالأشكال (6-8) حيث تم الحصول على تصرف يتأثر بكلا من درجة حرارة الكربنة وزمن التثبيت والذي تم الاستفادة منه لبناء الخوارزمية لوصف التغير بالأبعاد. إن النتائج التي تم الحصول عليها مهمة لتحديد الأبعاد عند ظروف الكربنة لما لها من تأثير مباشر على التغير الحاصل والذي يؤثر على عمليات الإنهاء السطحي النهائي للمنتجات الم كربنة.

بشكل عام يمكن ملاحظة التغير الحاصل بالقطر الداخلي بزيادة درجة حرارة الكربنة هو اكبر من القطر الخارجي. ويمكن تفسير ذلك بأن القطر الداخلي يشكل مركز للانتشار أسرع من القطر الخارجي. كما ويمكن تفسير التغير الحاصل

التكنولوجيا، قسم هندسة الإنتاج و المعادن،  
مركز التعريب و النشر 3(1983). ص  
(123-131).  
د. عويد زهمك الراوي ((المعاملات [7]  
الحرارية للمعادن الحديدية و اللاحديدية))

- 1- قسم هندسة الإنتاج و المعادن، الجامعة  
التكنولوجيا، (1989). ص (97-106).  
[8]M.I. Ismail et al, "Carburizing of  
Steels" Journal of Surface  
Technology, Vol.12, No.4, 1981.  
P (341-349).  
[9]ASM, Hand Book, Heat  
Treatment Vol.4, 2004.  
[10]K.E. Thelining "Steel and its  
Heat Treatment" Second Edition,  
(1984). Pages (225-227).  
[11] ا.د. قحطان خلف الخزرجي المعاملات [11]  
الحرارية للفولاذ الكربوني وسبائكها، دار  
مجلة للنشر 2009  
[12]D.T Liewellyn &W.T.Cook  
"Heat Treatment Distortion in  
Case Carburizing Steels" Journal  
of Metals Technology" May,  
1977.  
[13]William D. Callister, Jr.  
"Materials Science and  
Engineering" Third Edition, John  
Wiley and Sons, Inc., 1994.

النتائج تم ادخالها ضمن قاعدة بيانات  
البرنامج التي تم الاعتماد عليها للتنبؤ  
كون تغير الأبعاد كمدخلات سيتداخل  
مع الحجم الحبيبي لمختلف الاطوار  
الموجودة كونها ذات تغير نسبي قليل  
مع تغير الأبعاد للنماذج.

### References

- [1]Nobuyuki Mouri " Kazuhiko  
Taguchi" , Improvement of  
Carburized Steel Wear Resistance  
by Heat Treatment, NTN  
Technical Review No. 76,2008.  
[2]Sanjib Kumar Jaypuria "Heat  
Treatment of Low Carbon Steel"  
National Institute of Technology  
Rourkela- Department of Mechanical  
Engineering,2009.  
[3]Robert H. Todd, Dell K. Allen  
and Leo Alting Manufacturing  
Processes Reference Guide.  
Industrial Press Inc., 1994. Pages  
421-426.  
[4]Muna K. Abbas and Khairia  
S.Hassun, "Effect Carburizing  
Medium on Fatigue Strength for  
Low Carbon Alloy Steel",  
Proceeding of the Fifth Jordanian  
International Mechanical  
Engineers Association, 2-4 April,  
2004.  
[5]L. Nobili P. Cavallotti and M.  
Pesetti, "Gas carburizing kinetics  
of low alloy steel". Metallurgical  
and Materials Transactions A, 41  
(2010) 460.  
[6]أ.د. عبد الرزاق اسماعيل خضر ((فيزياء [6]  
المعادن))  
الجامعة



عدد الساعات	التغير بالقطر الخارجي عند درجة حرارة 850	القطر الخارجي بعد الكربنة	القطر الخارجي قبل الكربنة
3	0.064	30.037	29.973
6	0.07	30.05	29.98

Specimen	Hv Kg / mm <sup>2</sup> Standard value according to AISI [9]	Hv Kg / mm <sup>2</sup> Measured value
(Low carbon steel) As received	171 - 223	197.2

جدول (1): نتائج التحليل الكيميائي للفولاذ منخفض الكربون.

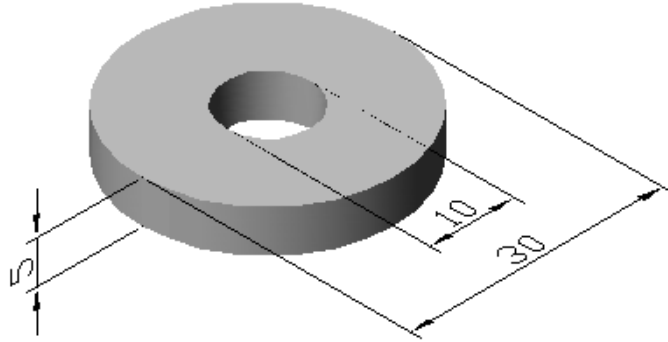
العنصر Wt%	C%	S%	P%	Si%	Mn%	Cr%	Ni%	Mo%	Cu %
القيمة القياسية	0.18-0.23	Max 0.05	Max0.04	Max 0.4	0.3-0.6	-	-	-	-
القيمة الفعلية	0.20	0.03	0.025	0.3	0.6	0.04	0.02	0.03	0.03

جدول (2): يبين نتائج اختبار الصلادة العيانية للفولاذ المنخفض الكربون. الكربنة للفولاذ المستخدم.

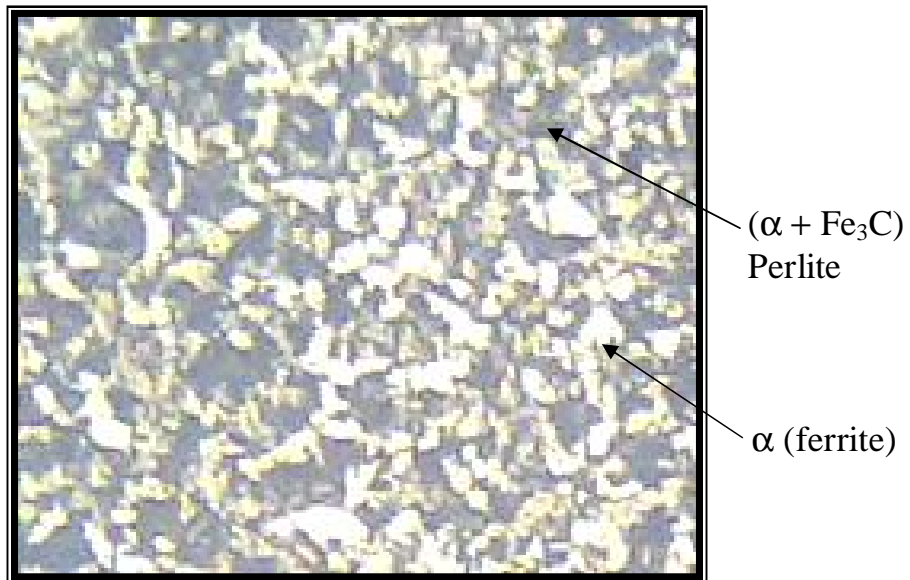
جدول رقم (3): يوضح التغير في الأبعاد قبل وبعد



29.988	29.999	0.011	8
القطر الخارجي قبل الكربنه	القطر الخارجي بعد الكربنه	التغير بالقطر الخارجي عند درجة حرارة 900	عدد الساعات
29.966	29.995	0.029	3
29.977	29.985	0.008	6
29.911	29.964	0.053	8
القطر الخارجي قبل الكربنه	القطر الخارجي بعد الكربنه	التغير بالقطر الخارجي عند درجة حرارة 950	عدد الساعات
29.981	30.002	0.021	3
29.989	30.007	0.018	6
29.979	29.99	0.011	8
القطر الداخلي قبل الكربنه	القطر الداخلي بعد الكربنه	التغير بالقطر الداخلي عند درجة حرارة 850	عدد الساعات
10.169	10.13	0.039	3
10.231	10.228	0.003	6
10.671	10.656	0.015	8
القطر الداخلي قبل الكربنه	القطر الداخلي بعد الكربنه	التغير بالقطر الداخلي عند درجة حرارة 900	عدد الساعات
10.25	10.233	0.017	3
10.197	10.138	0.059	6
10.414	10.355	0.059	8
القطر الداخلي قبل الكربنه	القطر الداخلي بعد الكربنه	التغير بالقطر الداخلي عند درجة حرارة 950	عدد الساعات
10.25	10.212	0.038	3
10.121	10.082	0.039	6
10.312	10.235	0.077	8

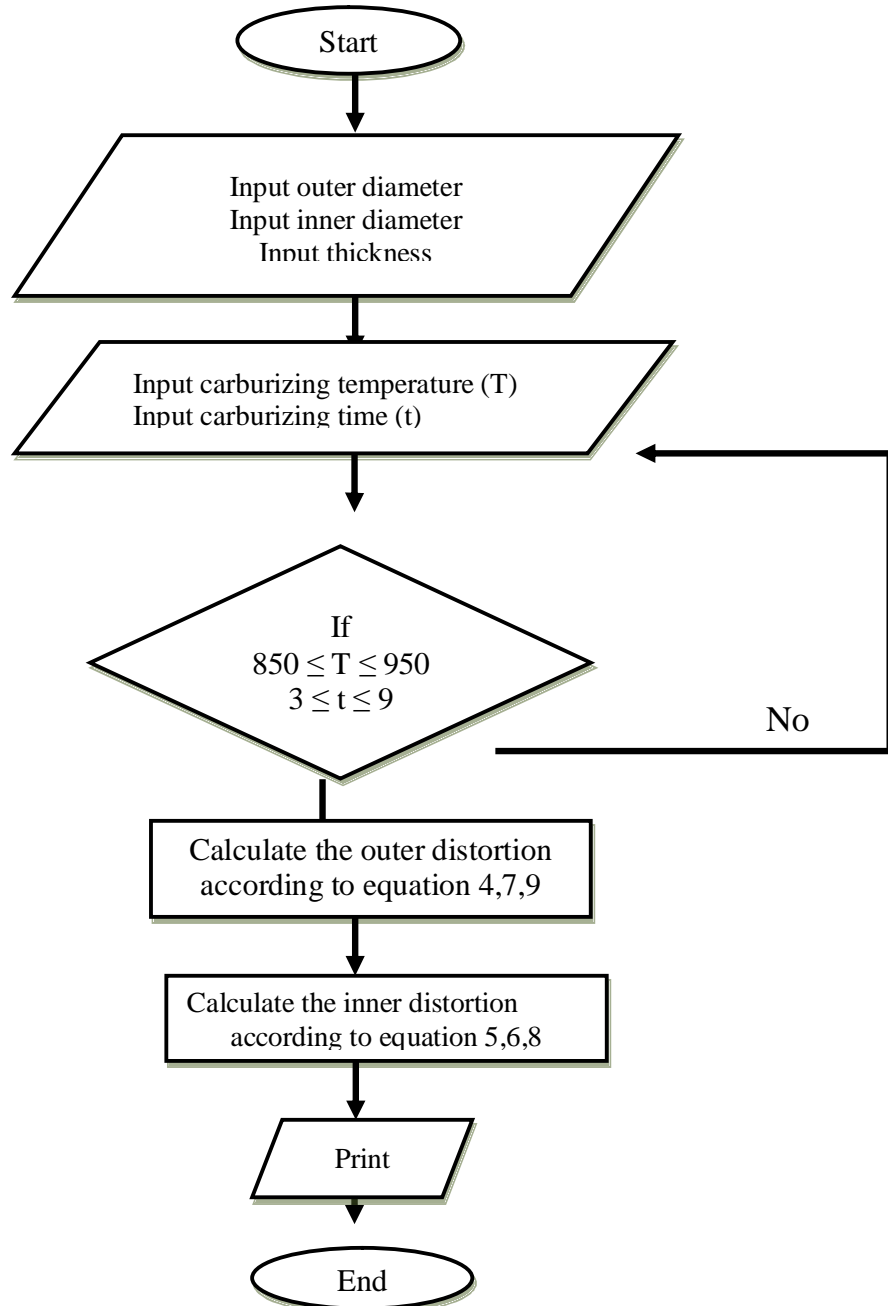


شكل (1): يوضح الشكل القرصي للعينات المستخدمة في البحث



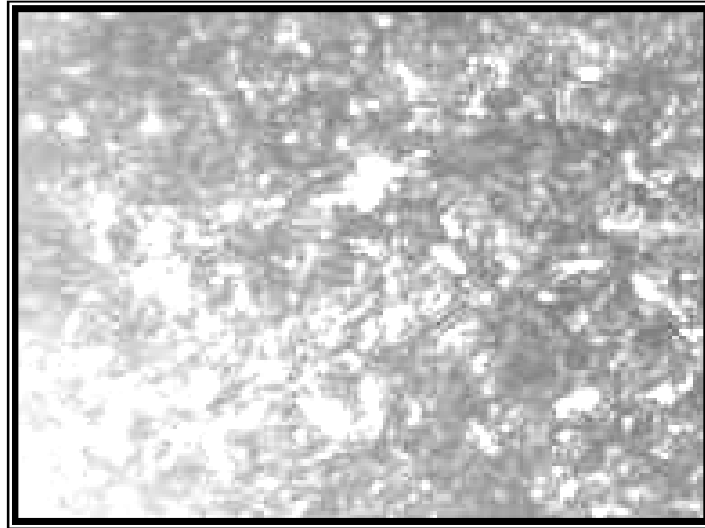
شكل (2): يوضح البنية المجهرية المكونة من البرلايت والفرايت للفولاذ منخفض الكربون.

250 X  
630

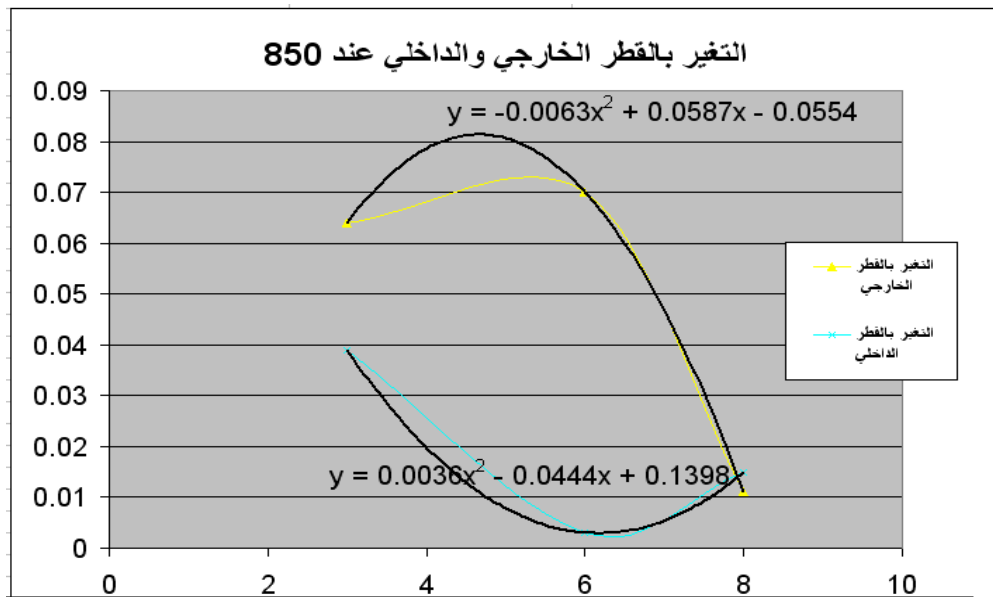


شكل (3): يوضح الخوارزمية المستخدمة لبناء البرنامج

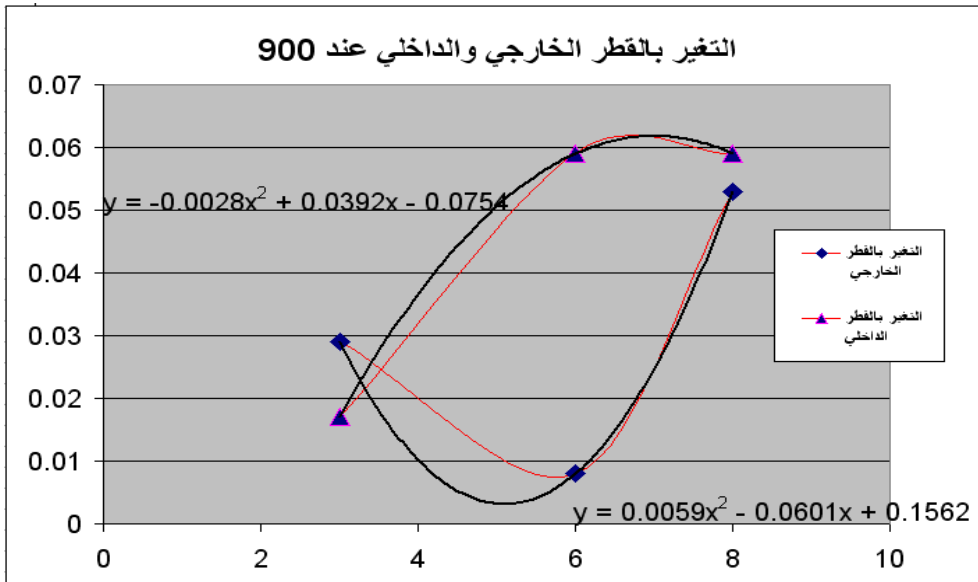
شكل (4): يوضح واجهة البرنامج المستخدم في البحث.



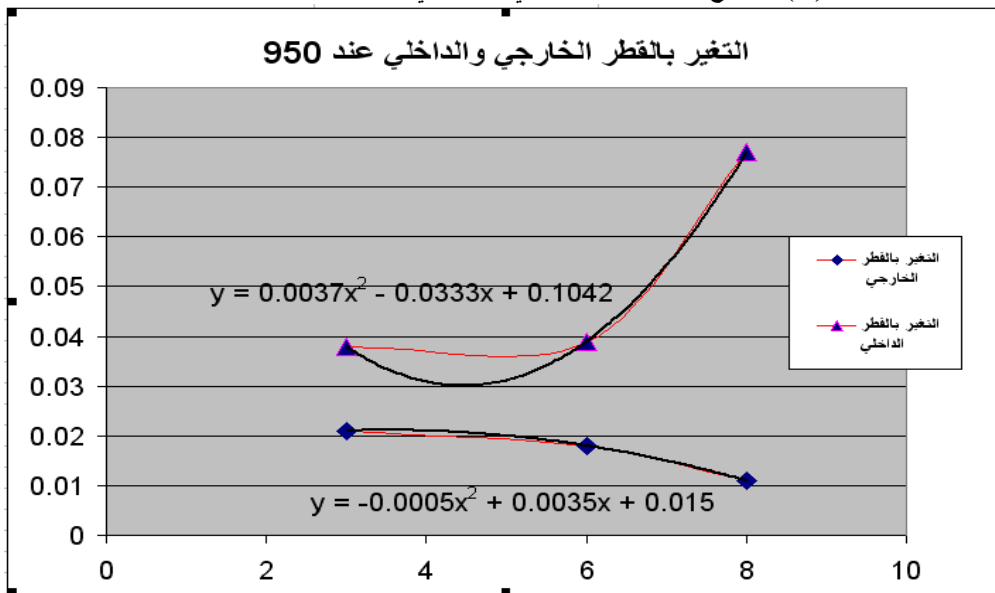
شكل(5): يوضح التركيب ألمجهري لفولاذ منخفض الكربون مكربن - مقسى بالماء X 250



شكل(6): يوضح التغير بالقطر الداخلي والخارجي عند حرارة 850 °C.



(7): يوضح التغير بالقطر الداخلي والخارجي عند حرارة 900 °C.



شكل (8): يوضح التغير بالقطر الداخلي والخارجي عند حرارة 950 °C.