تعريـــــف الرمـــــــوز:

SymboL	Description	Unit
D	Outer Diameter	mm
LF	Free length	mm
K	Stiffness	N/mm
M	Spring weight	Kg
HRC	Rockwell hardness	
G	Plasticity of modulus	MPa
V	Volume of quenching oil	L
Cs	Mean specific heat of spring steel	J/Kg.Cº
Th	Harding Temperature	Cº
S	Relative density	Kg/L
Co	Specific heat	J/kg.Cº
Tr	Permissible temperature rise	Cº
Ta	Required temperature of spring steel when it is removed from the quenching tank	Cº

1- المقدمه Introduction

تستعمل النوابض في معظم أجزاء المكائن بسبب الرجوعيه (resilience) الطبيعيه التي تعطيها للاجزاء التي تثبت فيها . وأن درجة المرونه هي داله للنابضيه (Stiffness) ، والنابضيه تقل عندما تتعرض النوابض لاجهادات عاليه أو درجات حرارة عاليه ولفترة زمنيه طويلة وخاصه في العمليات التصنيعية مثل عملية السحب العميق والكبس والتثقيب ..... الخ ، [(Lee,2001),(Pupynina,1988)] .

ولتنشيط (Reactivation) هذه النوابض يجب تحسين النابضيه والتي تتطلب سلسله من المعاملات الحراريه مثل

(التلدين ، التقسيه ، المراجعه) ، [(Pupynina,1988) ,(Hussein,1995)] .

تصمم النوابض والمواد المصنعه منها تعتمد بشكل أساسي على الغرض الذي تستخدم من أجله النوابض ، فقد درس الباحثون [Zkoda- Stachura and Gebka] تجريبياً تأثير طبقة ألاوكسيد على حجم الشقوق المجهريه وأتجاهها حيث وجدوا أن نظافة السطح تؤثر على النابضيه أضافة الى أن زيادة سمك طبقة الاوكسيد تزيد من أحتمالية ظهور الشقوق . [Zkoda,1988]

أما الباحثون[Asse – Dzfuly and Brownrigg] درسوا أمكانية تقليل وزن واسطة النقل بتقليل وزن النوابض وذلك من خلال المحافظة على مقاومة ألاجهادات وتقليل قطر النوابض وبالتالي تحسين قابلية التقوس لها بواسطة التحكم بالتركيب الكيمياوي لمعدن السلك بأضافة عنصر السيليكون بنسب مختلفه وكانت أفضل نسبه هي عند(2.2%) سيليكون .[Asse,1989]

الباحث[Bhandarl] درس تأثير المعامله الحراريه للمحافظه على صلادة معينه للنابض من خلال التحكم بدرجة الحرارة الحرجه لتحول ألاوستنايت وحجم الحبيبات،ودرس أيضا تأثير المعامله الحراريه على الخواص الميكانيكيه للنوابض وهي المطوليه والمتانه وأمكانية الحصول على أفضل ترابط بينهما بتغيير أوساط التقسيه ودرجة حرارة التقسيه ثم المراجعه لدرجة حرارة [150 م□] .[Bhandarl,1997]

درس الباحث [Hayes] عملياًالعوامل المؤثره على أداء النوابض وسلوك الكلال (Fatigue) بتغير قطر السلك للنابض . وأن عمر الكلل يزداد بواسطة التصليد بأستخدام القصف بالكرات الفولاذيه (Shot Peening) وتمت الدراسة باستخدام الترددات العاليه (دورات ألاحمال) [High Frequency] . [Hayes,1985] .

أما الباحث[Delitizia] درس ستة أنواع من الصلب هي , S-550, S-460 ,S-390 , S-330 , S-280 (S-660)

لنوا بض ورقيه تحت تأثير معدل انسياب ثابت مقداره (454 كغم/دقيقه) ووجد أن تأثير ألاجهادات المتبقية تكون متباينة وأن أفضل حاله كانت للصلب (S-660) . [Delitizia,1984].

وهنالك دراسات حديثه لتحديد تأثير توزيع القصور الذاتي والمرونه بأستخدام أحمال ديناميكيه لنوابض ورقيه تستعمل في وسائط النقل والمكائن الزراعيه بأستخدام تقنيه نظرية العناصر المحدده (Finite element Procedures) وقد تم أستخدام طريقتين لهذا الغرض الاولى تعتبر النابض جسم عائم (Floating Frame) كأساس للصيغه الرياضيه بينما الطريقه الثانيه تعتمد صيغة القيمه المطلقه لتقاطعات ألاحداثيات القطبيه (Absolute nodal coordinate) .. [Mohamed,2004]

ودرس الباحثان [Zaruid and Zhang] أمكانية تحسين مقاومة الصلب للبلى والكلل بأستخدام المعاملات الحراريه السطحيه والتي أعطت أفضل نتائج عند سمك للسطح يزيد على (600 µm) . وتحسن الخواص هذه ناتج عن تحول المارتنزايت وزيادة كثافة الانخلاعات وتوزيع الكاربون الذائب بشكل متجانس بواسطة التحكم بدرجة حرارة السحج (griding) والضغط المسلط على السطح . [Zaruid,2002]

2 – الجانب العملي

أجريت عدة أختبارات ميكانيكيه على النوابض المطلوب تنشيطها المستخدمه في البحث مثل أختبار الصلاده وألانضغاط قبل وبعد عمليات المعامله الحراريه .

2-1 : أختبار النوابض المستخدمه في البحث

النوابض التي أستخدمت بالبحث هي من النوع النوابض الفولاذيه الصناعيه ألانضغاطيه والتي تستخدم بصوره واسعه في صناعة القوالب والمواجهات والمثبتات وكذلك في الاعمال المختلفه ، وهي تقع تحت تصنيف متوسطة الضغط ذات اللون البرونزي في التصنيف (Medium Pressure Duty , Bronze color - Coded) وجميع النوابض المستخدمه هي من الصلب (كروم– فناديوم – فولاذ) وتعرف (ASTM-A232ِ ِ) حسب المواصفات القياسيه العالميه ذات التركيب الكيمياوي :

Element	C %	Mn %	P %	S %	Si %	Cr%	V%
Analysis %	0.48-0.53	0.7-0.9	0.02 Max	0.032 Max	0.2-0.32	0.8-1.1	0.15 MIN

والمواصفات للنوابض المستخدمة نوع ASTM-A232 هي:

- **القطر الخارجي** — **D = 31 mm**
- **الطول الحر** — **Lf= 100 mm**
- **النابضيه** — **K = 32 N/mm**
- **وزن النابض** — **M = 0.15 kg**
- **صلادة روكويل** — **HRC = 50**
- **معامل المرونة** — **G= 77200 MPa**

علما أن النوابض المستخدمة في البحث تعود إلى احد معامل البلاستك التابعة للقطاع الخاص.

2-2 اختيار الزيت المستخدم في عملية التقسية وتحديد حجمه:

تم اختيار الزيت المناسب لعملية التقسية من خلال الخبرة وشيوع استخدامه في عملية التقسية والذي يأخذ الرمز (7901) حسب تصنيف شركة المنتجات النفطية ومواصفاته هي :

- **Code Number 7901**
- **Specific gravity 0.87**
- **Viscosity at 40 C^0 (29- 35)**
  at 100 C^0 (5-55)
- **Flash point 190 C^0**
- **Relative density 0.748 Kg / L**

- Specific heat 2090 J / Kg . C^0

أما لغرض تحديد حجم الزيت (باللتر) لعملية التقسية فيتم باستخدامه المعادلة التالية [Thamir,1995] :

$$v = \frac{M \cdot Cs \cdot (Th - Ta)}{S \cdot Co \cdot Tr}$$

حيث إن:

M = وزن النابض كغم
Cs = متوسط الحرارة النوعية لصلب النابض = 640 كغم/جول م ˚
Th = درجة الحرارة الغرفة م ˚
S = الكثافة النسبية لوسط التقسية =0.748 كغم/لتر
Co = الحرارة النوعية لوسط التقسية = 2090 جول /كغم . م ˚
Tr = معدل الزيادة في درجة الحرارة لوسط التقسية = (20 – 30) م ˚
Ta= درجة الحراره للنابض عند رفعه من حوض التقسيه (100)م˚

2-3 أختيار الصلادة

هذا الاختبار مهم وضروري لان النوابض يتم اجراء معاملات حرارية لها،ومن اجل المحافظة على رقم الصلادة يتم أجراء أختبار الصلاده للنوابض بعد المعاملة الحرارية وذلك باجراء اختبار صلادة روكويل (Rockwell hardness Test) وهو من الاختبارات الشائعة في قياس الصلادة ويكون بتسع تدريجات يتم اختيار التدريجة الثانيه والتي تقيس الصلادة بمدى من (20 HRC) إلى (67 HRC).

2-4 أختيار الانضغاط

يستخدم هذا الاختبار لقياس النابضيه ويتم الاختبار باستخدام جهاز اختبار النوابض (machine tests spring) ،حيث يثبت النابض بين صفيحتين من الاعلى والاسفل ويحمل الجهاز ليعطي العلاقه بين الحمل (load) والنقصان في الطول (deflection).

2-5 الافران المستخدمة في عملية المعاملات الحرارية

يتم اجراء المعاملات الحرارية في فرن كهربائي متوسط الحجم من نوع (ESF1 – PID) من شركة Carbolite اعلى درجة حرارية يصلها الفرن 1200 م ˚ .اما المعاملات الحراريه التي اجريت فهي:

التقسيه :- وتتم بتسخين النابض داخل الفرن الى درجة حرارة 900 م ˚ والانتظارلعشرة دقائق للحصول على التجانس ثم التبريد بالزيت الى درجة حرارة 100م ˚ .

المراجعه:- التسخين بعد التقسيه في الفرن لدرجة حرارة 400م ˚ لمدة(45) دقيقة ثم التبريد بالهواء لدرجة حرارة الغرفه.

التلدين :- التسخين في الفرن لدرجة حرارة 830 م ° ولمده عشره دقائق ثم التبريد داخل الفرن.

2-6 فحص التركيب الدقيق

اخذت عينات صغيرة من النوابض التي تم اجراء المعاملات الحرارية المختلفه لها .حيث تم اسنادها على الساخن باستخدام الضغط والحرارة ومن ثم اجري عليها التنعيم الرطب وحسب التدريج 1000,500,320,120
حيث تم الصقل بواسطة الآلومينا B1, B2 وكل منها مع قطعة القماش الخاص بها ثم تغسل العينة بالماء جيدا ثم بالكحول لازالة ما يعلق بها من حبيبات صقل بعد ذلك تجفف واخيرا وقبل الفحص المجهري بقوة تكبير 500 مرة تتم مرحلة الاظهار بواسطه النايتل 4% قلمدة سته ثواني بعدها تغسل وتجفف لتصبح جاهزه للفحص المجهري والتصوير.

2-7 حساب الجزء الحجمي للمارتنزايت

تم اعتبار جميع المناطق الغامقة تمثل الطور القاسي (المارتنزايت) بالرغم من وجود طوري البانايت والاوستنايت العائد [Nakagawa,1988] . وتم حساب الجزء الحجمي بطريقة العد النقطي (Point Counting) لصور العينات.

3- النتائج والمناقشة:

نتيجة الاستخدام المستمر للنابض لوحظ زيادة صلادته ونقصان مقاومته لذا يجب استبدال النابض القديم بنابض جديد للمحافظة على كفاءة الوظيفة التي يؤديها او اجراء عمليات تحسين على النابض القديم المستعمل لاعادة كفاءته وتقليل كلف الانتاج بتقليل كلف الصيانة وبالتالي تحسين الوضع الاقتصادي للمصنع.

ومن هنا كانت فكرة اعادة التنشيط باجراء المعاملات الحرارية للنوابض الخارجة عن الخدمة والتي صلادتها(53.5 HRC) روكويل وبنابضية مقدارها (33.25) نيوتن/ملم مقارنة بالنابض الجديد ذات الصلادة (50 HRC) روكويل وبنابضية (32) نيوتن/ملم من هنا كانت المعاملات الحرارية التي اجريت كما في الشكل رقم (1) والذي يظهر مخططات اجراء المعاملات الحرارية للنوابض القديمة الثلاثة وهي:-

الاسلوب الاول (التقسية فقط):

التسخين داخل الفرن الى درجة حرارة (900)مْ ثم الانتظار داخل الفرن لعشر دقائق ثم التقسية بالزيت الى درجة حرارة (100)مْ هذه المعاملة اعطت صلادة (65 HRC) روكويل مقابل نابضية عالية (36) نيوتن/ملم أي اعلى من الحالة الطبيعية للنابض الجديد وهذه الزيادة معقولة بسبب ظهور طور المارتنزايت الناتج من تحول الاوستنايت بالتبريد السريع الى المارتنزايت بعملية التقسيه. ويعتبر هذا الطور اصلد الاطوار وذي مقاومة شد عالية مما يسبب زيادة مقاومة المعدن وهذا يفسر زيادة النابضية بشكل كبير في هذا الاسلوب. وكما يظهر ذلك في الشكل رقم (2- أ) للترتيب المجهري حيث نلاحظ ان نسبة المساحة الغامقة والتي تمثل الطور الصلب (المارتنزايت) تصل الى نسبة (45%).

الاسلوب الثاني (التقسية + المراجعة):

يشمل التقسية بنفس خطوات الاسلوب الاول ثم التسخين لدرجة حرارة (400)مْ والتبريد بالهواء لدرجة حرارة الغرفة هذا الاسلوب اعطى صلادة مقدارها (50.3 HRC) روكويل وهي صلادة جيدة قريبة من صلادة النابض الجديد ولكن بنابضية قليلة (29.53) نيوتن/ملم وذلك لان عملية المراجعة بدرجة حرارة (400)مْ تعمل على تحلل جزء من الماتنزايت المتكون من عملية التقسية الى فرايت وهو طور لين جدا واقل الاطوار صلادة مما يسبب خفض الصلادة ومقاومة المعدن أي انخفاض قيمة

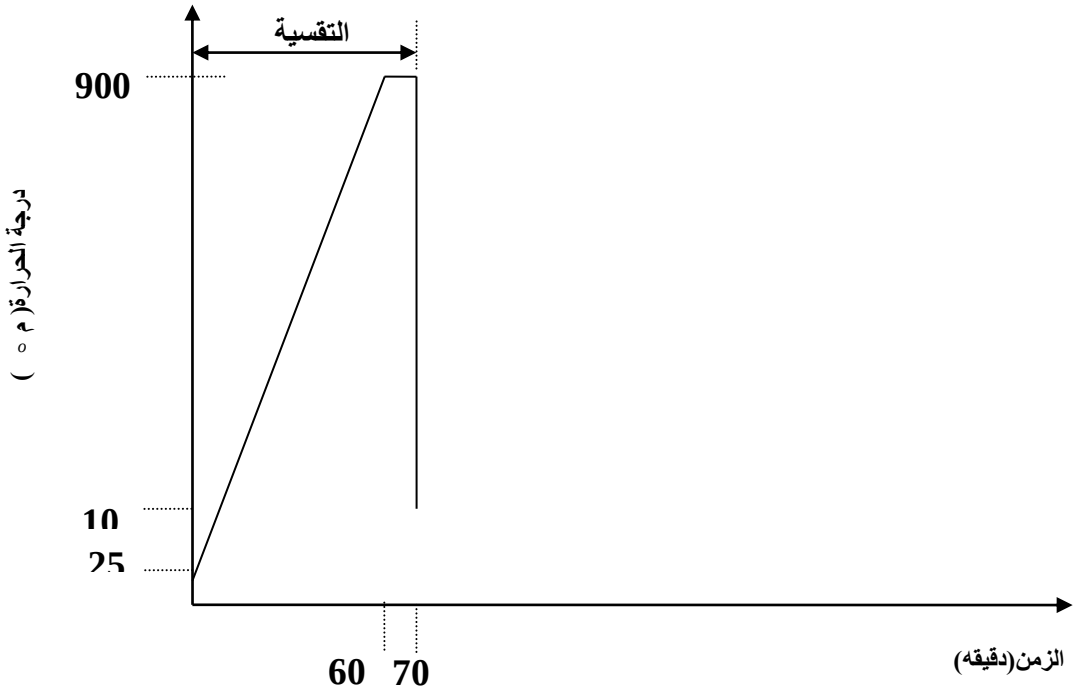
النابضية مقارنة بالاسلوب الاول. وكما يظهر في الشكل رقم (2– ب) للتركيب المجهري حيث نجد ان حجم المساحة باللون الفاتح والتي تمثل طور الفرايت اصبحت تصل الى(70%) وهذه الزيادة تعطي انحسار للطور الصلب الذي يتجمع على الحدود البلورية.

<u>الاسلوب الثالث</u> (التلدين + التقسية + المراجعة):

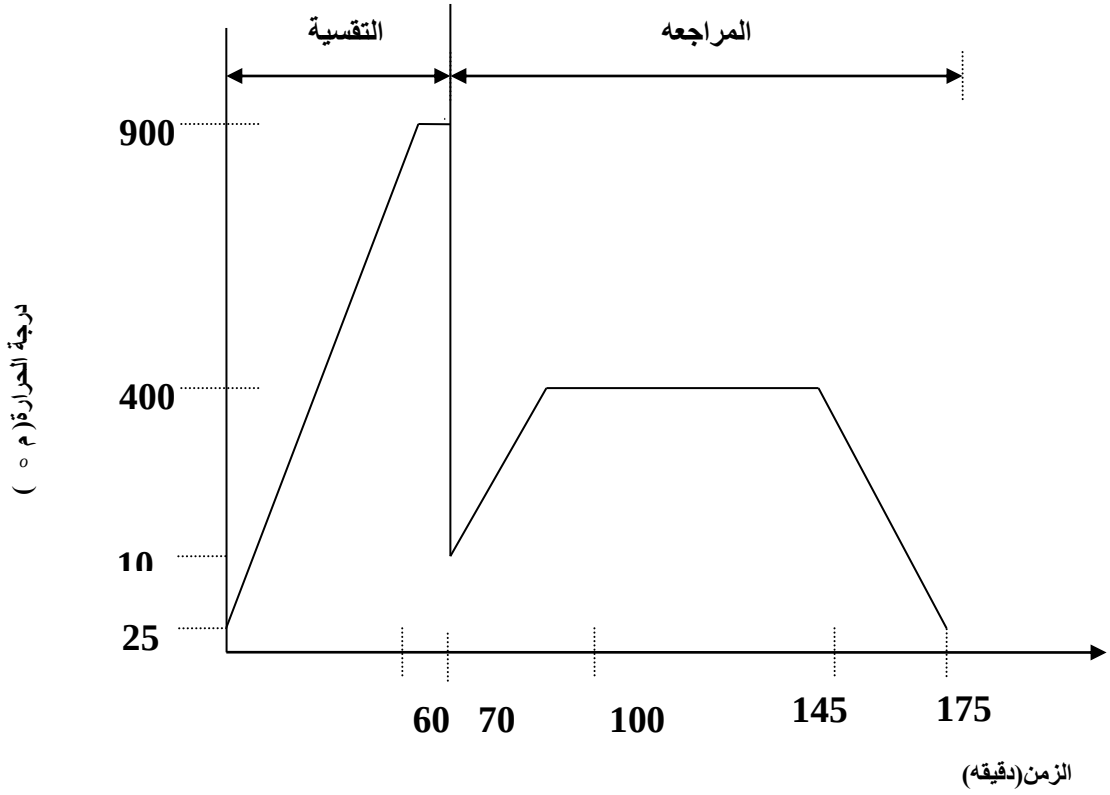
يتم تسخين النوابض المطلوب تنشيطها داخل الفرن لدرجة حرارة (830)مْ ولمدة عشرة دقائق تم التبريد داخل الفرن الى درجة حرارة الغرفة أي اجراء عملية التلدين ومن ثم اجراء عمليات التقسية والمراجعة كما في الاسلوب الثاني. هذه المعاملات الثلاث في هذا ألاسلوب اعطت زيادة بسيطة في الصلادة لتصبح (50.8 HRC) روكويل مقارنة بالاسلوب الثاني و تحسن جيد في النابضية والتي زادت الى (31.6) نيوتن/ملم وهذا التحسن يجعل النوابض المنشطة بهذا الاسلوب تعطي افضل اقتراب الـى قيم الصلادة والنابضية من قيم النوابض الجديدة. والتحسن الجيد في النابضية مع الزيادة البسيطة في الصلادة يعود الى عمليـة التلدين في بداية المعاملات الحرارية والتي تعمل على تنقية حبيبات الفرايت و تنعيمها وتجانسها مما يزيد من قوة ترابط حبيبات المعدن وهذه القوة تعمل على زيادة مقاومة المعدن والتي تنعكس على تحسن النابضية للنوابض المنشطة وأقترابها من القيـم القياسية. ويظهر ذلك في الشكل رقم (2– ج) حيث نجد ان حجم الطور القاسي (28%) أي مقارب للمعاملة بالاسلـوب الثاني ولكن توزيع جزء المارتنزايت في هذه المعاملة كان اكثر تجانس وذات نعومة اكبر.

أما الشكل (3) يعطي العلاقه بين الحمل المسلط على النابض ومقدار ألانضغاط الحاصل فيـه ((ألانحـراف)) بأختلاف أساليب أجراء المعاملات الحراريه الثلاثه وللنابض الخارج عن الخدمه أيضا .

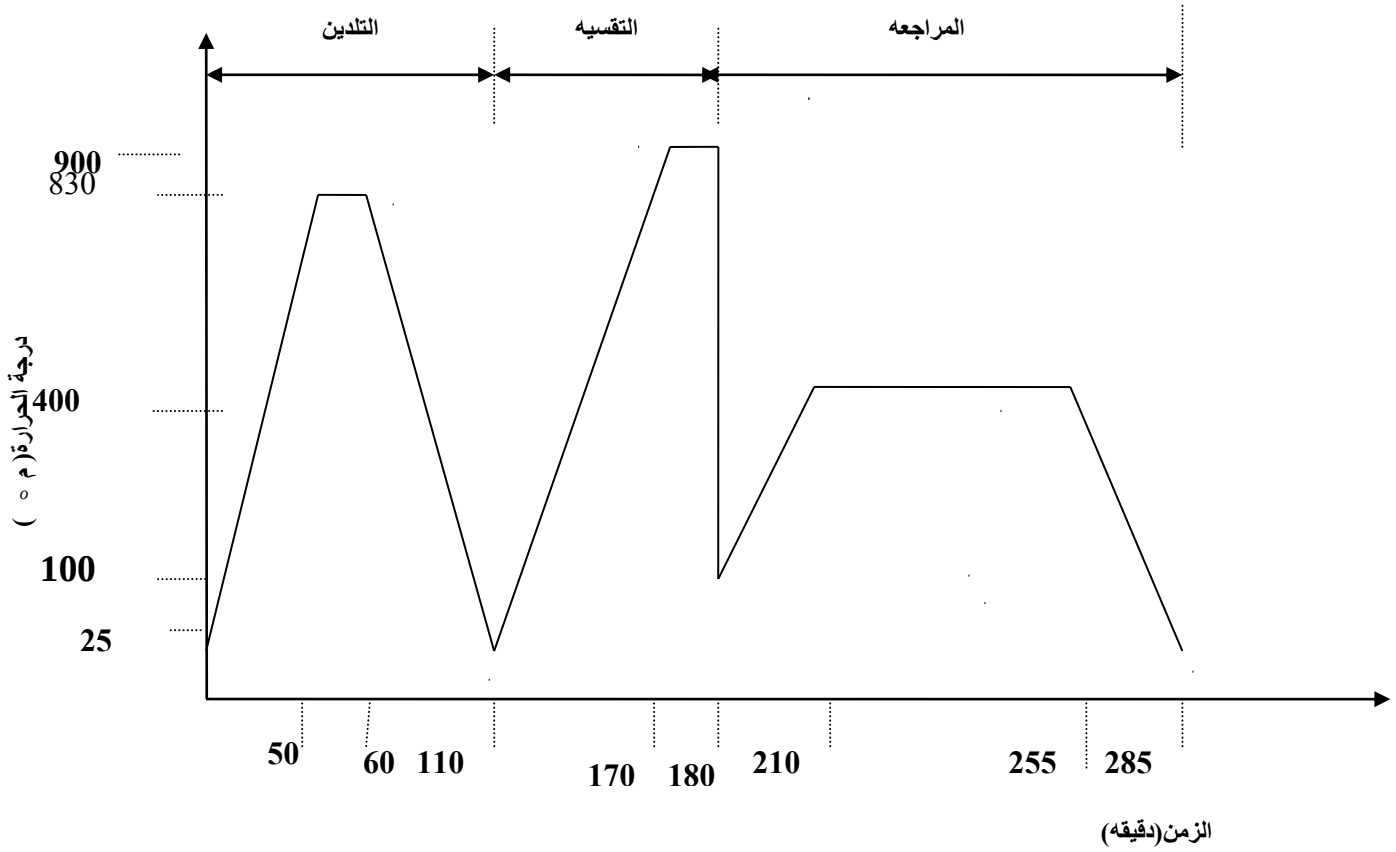
من الشكـل يظهر أن منحني النوابض التي جرت عليها عملية تقسيه فقط أعطت أعلـى القيم ومقدار ميل أكبر مـن المنحنيات ألاخرى وهذا يعني أن هذه النوابض تعطي أعلى قيمه للنابضيه وذلك بسبب ظهور طور المارتنزايت ، أمـا المنحني الذي أخذ أقل القيم ميلآ هو النابض الخارج عن الخدمه وذلك لضعف مقاومته نتيجة ألاستخدام المتكـرر.



أ - ألاسلوب ألاول للمعامله الحراريه (تقسيه فقط)

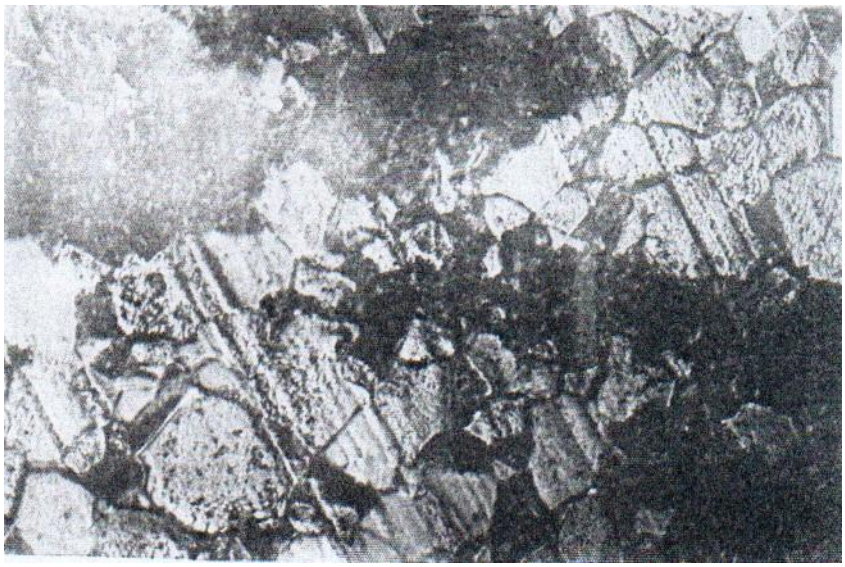


ب – ألاسلوب الثاني للمعامله الحراريه (تقسيه + مراجعه)

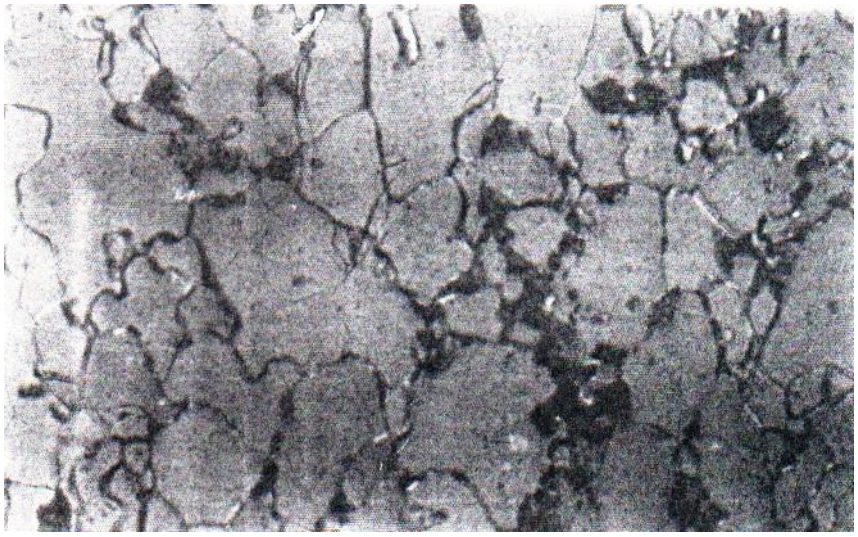


ج – ألاسلوب الثالث للمعامله الحراريه (تلدين + تقسيه + مراجعه)

الشكل (1) مخططات أجراء المعاملات الحراريه التي تظهر العلاقه بين الحراره والزمن للاساليب الثلاثه



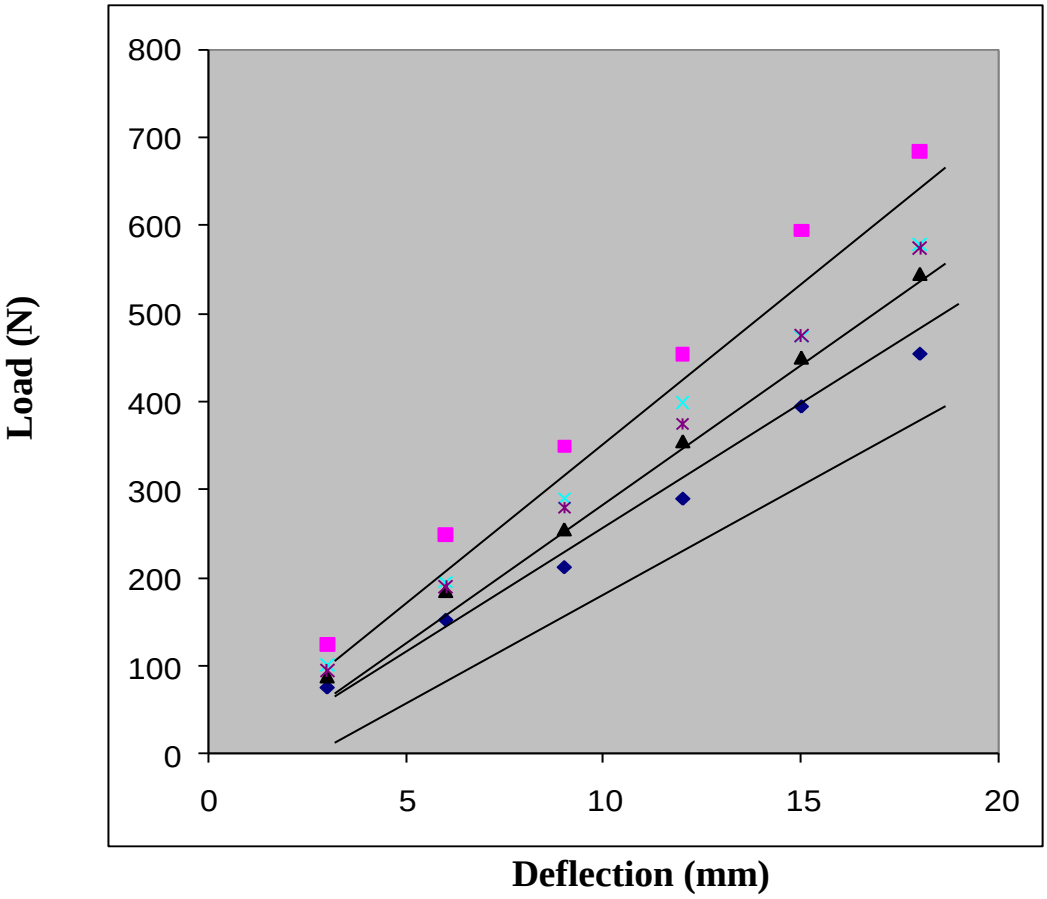
أ- التركيب الدقيق بعد أجراء المعامله الحراريه بأسلوب ألاول وبقوة تكبير 500 مره.



ب – التركيب الدقيق بعد أجراء المعامله الحراريه بألاسلوب الثاني وبقوة تكبير 500 مره.

ج – التركيب الدقيق بعد أجراء المعامله الحراريه بأسلوب الثالث وبقوة تكبير 500 مره.

الشكل (2) يظهر التركيب ألمجهري الدقيق للأساليب الثلاث



شكل(3) العلاقة بين الحمل والانحراف للنوابض قبل التنشيط وبعد التنشيط باختلاف أساليب المعاملة الحرارية

تصليد فقط

تصليد+ مراجعه

تلدين + تصليد+ مراجعه

النابض قبل التنشيط

4 – ألاستنتاجات

1 . المعامله الحراريه بأستخدام ألاسلوب الثالث (تلدين + تقسيه + مراجعه) تعطي أفضل ترابط للصلاده والنابضيه مع القيم للنوابض الجديده .

2 . أستخدام الزيت نوع(7901) حسب تصنيف شركة المنتجات النفطيه كأفضل وسط للتقسيه للحصول على رقم الصلاده المناسب للنابض .

3. الفحص المجهري للعينات أظهرت أن أفضل ترابط بالخواص كان عند حجم للطور القاسي (المارتنزايت) بنسبه تتراوح بين(25 – 30)%.

4. النوابض التي نشطت أعطت تحسن عالي في النابضيه مقابل زيادة بسيطه في الصلاده .

5- References

- Asse fpour – Dzfuly M . Brownrigg A . , 1989 . " Parameters affecting sag Resitance in spring steel " , *J . article , physical Metallurgy and Materials science"* , Vol . 20A , No . 10 PP . 1951 – 1959 , oct .

-A.H.Nakagawa and G.Thomas,1988 , Microstructure Mechanical Property relationship of Dual phase steel wire,Met.Trans.,VOL.16A. PP.831 – 840,May.

Bhandarl V .B ., 1997 *" Desing of Maching Element "* Tata Mc Graw – Hill Publishing company Iimited ,

- Delitizia , A . T . , 1984 " Influences of shot peening on the Residual stresses in spring steel plate " , *conference paper* , ICPS – 2 , May 14 – 17.

- Hussein M . F . , 1995 *" Design and testing procedure of the secondary suspersion spring For the Generator wagon in the Iraqi Rails "*, thesis , college of Eng . , university of Baghdad , Iraq .

-Hayes M.P.,In fluences on spring fatigue 1985*" J .article wire Industry"* , Vol . 52 , No.42, PP.765– 766 .

- Lee J . and Thompson D . J. 2001 " Dynamic stiffness formulation , free vibration and wave motion of helical springs " , *J . of sound and Vibration* , 239(2) , PP. 297 – 320.

- Mohamed A . omer and wei –yiloh 2004" Multi body system Modeling of leef spring"*J . of Vibration and control* , Vol . 10 , No . 11 , PP . 1601 – 1638 .

Pupynina S.M. khitric A . I . and Mikhailets V . T ., 1988 " Production of steel for spring – wire *" , Journal Article"* , steel in the ussr , Vol . 18 , No.10 , PP. 446 – 447 oct.

- Thamir Razzaq Hussin 1995 *" An lnvestigation into the processes of the power Generation wagon for l . R . W . "* Thesis , college of Eng . , Baghdad university, Iarq.

- Zkoda F . S . Stachura S . and Gebka K . 1988 " Analysis of longituding craks in spring steel Billets *" , J .Article"* , Vol . 55 , No . 2 , pp . 46 – 52 .

**- Zarudi and Zhang 2002" Mechanical property improvement of quenchable steel by
grinding " *J . of Materials Science* , Vol . 37 , No . 18 , PP . 3935 – 3943.**

ملحق رقم (1)

شكل (4) فرن اجراء المعاملات الحراريه نوع كوربوليت

شكل (5) مجهر فحص وتصوير التركيب الدقيق للعينات

ملحق رقم (2)

شكل (6) جهاز اختبار النابضية