دراسة تأثير التلدين بالتكويرعلى الخواص الميكانيكية للفولاذ المتوسط الكربون

فراس فرحان سيد*

تاريخ التقديم: 2009/3/5
تاريخ القبول: 2010/11/4

الخلاصة :

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير التلدين بالتكوير للفولاذ المحتوي على (0.51% C) على خواص الصلادة ، معدل البلى ، مقاومة الشد ،المطيلية. وتم دراسة تأثير المعاملات الحرارية التي تسبق معاملة التلدين بالتكوير حيث تم اولآ تسخين العينات الى درجة حرارية مساوية الى (860 Ċ) ثم بردت في الفرن وفي الهواء ثم اجري التلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات ، وقد لوحظ ان عملية التلدين بالتكوير قد ادت الى نقصان في قيمة كل من مقاومة الشد ،الصلادة ، مقاومة البلى ، وزادت من قيمة المطيلية مما يحسن خواص التشغيل للفولاذ.

Study the Effect of Spheroidizing Annealing on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel

Abstract

The aim of present research is to study the effect of spheroidizing annealing for steel that contains (0.51% Ċ) on the hardness, wear rate, ultimate tensile strength, and ductility. The effect of heat treatment that prier the spheroidizing annealing treatment is studied as well , that the specimens firstly is heated to the temperature equal to (860 Ċ) , then cooled in furnace and in air ,and then carried out spheroidizing annealing treatment at the temperature equal to (860 Ċ) for (6 h) , it is show that the process of spheroidizing annealing decrease hardness, wear strength , and ultimate tensile strength , and increase ductility that improve of machining properties of steel .

1 - المقدمة:

في العديد من التطبيقات الهندسيه تم استبدال الفولاذ بالمواد المصنوعة من البلاستك والمواد المركبة والمواد السيراميكية وان هذا التبديل جاء بسبب مجموعة من العوامل منها عوامل بيئيه وعوامل اقتصادية (خفة الوزن في السيارات ،قلة تلوث الهواء) وكذلك وجود المنافسة العالمية بين الشركات ان هذة العوامل مرتبطة مع بعضها لكن في الجانب المقابل هناك العديد من التطبيقات فانة من الواضح ان الفولاذ هو المادة الانسب للتطبيق ولكن بعد اجراء المعاملة الحرارية له او مجموعة من المعاملات الحراري .[1]

يعتبر لتلدين بالتكوير احد أهم المعاملات الحرارية المهمة حيث يتم فيها تحوير شكل البيرلايت الطبقي إلى سمنتايت مكور إن هذه العملية تساعد على سهولة عمليات التشغيل وكذلك إعطاء سطح ناعم.[1]

وهناك الكثير من الباحثين الذ ين تناولو موضوع التلدين بالتكوير فقد قام الباحثان YONG LAI TIAN & WAYNE KRAFTبدراسة الية التلدين بالتكوير تحت ظروف التلين الثابت والتي اجريت للفولاذ نوع AISI 1080 وسبيكة من Fe-C وقد شاهد الباحثان ان عملية نشوء عملية التكوير تكون مصاحبة عادة للعيوب الميتالورجية مثل الصدوع والفراغات [2] .

كما ركزت دراسات اخرى التي قام بها كل من O.E.ATASOY & S.OZBILEN

* قسم هندسة الانتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية/ بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.29.1.18
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

على اجراع عملية التلدين بالتكوير للاجزاء التي تم اجراء عملية تشكيل على البارد عليها حيث قام الباحثان اعلاة بدراسة الفولاذ الحاوي على السليكون وبالاعتماد على الميتالوغرافيا الكمية وقياسات الصلادة ، حيث تم تلدين مجموعة من العينات عند درجات حرارية مختلفةĊ(600،650،700) للحصول على تكوير للسمنتايت حيث بينت نتائج الميتالوغرافيا الكمية وقياسات الصلادة بان معدل التكوير يمكن السيطرة علية بواسطة الانتشار للحديد في الحد الفاصل Fe-Fe3C ويزداد معدل التكوير نتيجة الاختزال المسافة ما بين الطبقات وهذا يسبب زيادة في كثافة العيوب في صفائح 3C Feعندما تكون المسافة ما بين طبقات البيلايت اقل ما يمكن. [3]

هناك عدة طرائق يمكن بواسطتها إجراء عملية التلدين بالتكوير منها :

1-التسخين الطويل الأمد في درجات حرارية تحت(723Ċ).حيث يتم التسخين داخل الفرن بدرجات حرارة تتراوح ما بين -700Ċ) (650Ċ ولفترة زمنية تتراوح ما بين -12) (6 ساعة وتعتمد هذه الفترة على التركيب الكيميائي للفولاذ, حجم بلورات البيرلايت حيث تزداد الفترة الزمنية اللازمة لتلدين بالتكوير مع زيادة حجم بلورات البيرلايت ,حجم قطعة الفولاذ.إن التركيب الخشن للبيرلايت قبل عملية التلدين بالتكوير يحتاج إلى فترة تلدين أطول عن ما هو علية في حالة البيرلايت الناعم .هذا بالإضافة إلى إن التركيب الخشن للبيرلايت سوف يؤدي إلى تكوين تركيب خشن للسمنتايت بعد عملية التلدين بالتكوير مما لا يعطي سطحا ناعما عند التشغيل ,وإنما سوف تحدث خدوش في السطح لذلك يفضل تنعيم تركيب البيرلايت فبل عملية التلدين بالتكوير ,وذلك يتم بتسخين الفولاذ الى درجة حرارة التحول الاوستينايتي والتبريد بمعدلات تبريد سريعة في الهواء حيث يتم الحصول على تركيب ناعم تكون فيه طبقة السمنتايت ناعمة وعند إجراء عملية التلدين بالتكوير سوف تتكون دقائق كروية ذات حجوم صغيرة في أساس من الفيرايت حيث إن ذلك يسهل عملية التحول ألطوري من السمنتايت في العمليات اللاحقة.[4,1]

2- التسخين المزدوج أي التسخين والتبريد المتعاقب والمتكرر في درجات حرارية تقع مباشرة فوق درجة حرارة(723Ċ) وتحتها ويسمى هذا النوع ايظآ بالتلدين ألبندولي. ويتلخص هذا التلدين في تسخين الفولاذ حتى درجة حرارة (680Ċ) ثم التسخين مرة أخرى الى درجة حرارة (759Ċ) وهكذا.وفي كل مرة تسخين تذوب شرائح السمنتايت جزئيا في الاوستنايت وغالبا ما يحدث الذوبان في إضلاع وقمم الشرائح حيث تكون النسبة بين الطاقة السطحية والحجمية اكبر.وفي إثناء كل تبريد ينفصل السمنتايت من الاوستنايت ويترسب فوق بقايا الشرائح السمنتايتية غير الذائبة مع العلم إن أماكن الترسب تبعد بصورة غالبة عن القمم وإضلاع الشرائح. وفي الطريقة البندولية بعد التسخين لعدة مرات يجرى التبريد بمعدل مساوي إلى (25Ċ- 30Ċ) لكل ساعة وحتى درجة حرارة(600Ċ) .[8-5,1].

3- رفع درجة الحرارة إلى أعلى من درجة حرارة (Ċ 723) ومن ثم التبريد ببطي شديد في داخل الفرن أو الإبقاء لفترة طويلة عند درجات حرارية تحت (723Ċ).[8-5,1]

4- التبريد بمعدل معين بحيث ان الكاربيد يتحلل وذلك لمنع استعادة تكون الشبكة الكاربيدية ومن ثم إعادة تسخينها وبشكل مطابق للطريقتين (1،2) وتكون هذه الطريقة خاصة للفولاذ فوق اليوتكتويدي.

5- طريقة تستخدم للشحنات الكبيرة ويتلخص مبدئها في تسخين الفولاذ أعلى بقليل من درجة حرارة (723Ċ) أي في حدود (730Ċ- 760Ċ) وتثبيته عند تلك الدرجة لفترة زمنية تحسب من خلال العلاقة التالي:[4]

$$HoldingTime=19+0.9Q(hrs)\ldots(1)$$

حيث إن:

Q = وزن الشحنة بالأطنان.

ثم يبرد ببطي بمعدل (25Ċ- 30Ċ) لكل ساعة حتى درجة حرارة (600Ċ) بعد ذلك يبرد بسرعة حتى درجة حرارة الغرفة.

ومن المهم جدا إن تكون درجة حرارة التلدين أعلى من (Ċ 723) بقليل لأنة لو كان أكثر فان ظروف التحول المعين سوف تسهل تكون البيرلايت الطبقي بدلا من الكروي ويجب إن

تكون معدلات التبريد منخفضة لكي يمتلك الاوستنايت عند درجة الإفراط بالتبريد المنخفض وسوف يمكن هذا الشرط دقائق السمنتايت من ان تتجمع على بعضها البعض على شكل حبيبات. [4]

2 -الجانب العملي:

تم تشغيل عينات من الفولاذ الكربوني والمبين تركيبها الكيميائي في الجدول (1) ، وبالاعتماد على المواصفة العالمية ASTM (D2625-83) وبابعاد (20mm) طول و (10mm)عرض[9]. وذلك لغرض اجراء اختبار البلى ،كذلك تم تشغيل عينات لغرض اجراء اختبار الشد وحسب المواصفة (ASTM E8M).[10]

تم اخذ جميع العينات وأجريت لها معاملة حرارية وذلك بتسخينها عند درجة حرارة (860Ċ) لمدة ثلاثين دقيقة بعد ذلك تم إخراج مجموعة من العينات من الفرن وتم تبريدها بالهواء والمجموعة الأخرى تم تبريدها بالفرن. بعد ذلك تم إجراء التلدين بالتكوير لكل من المجموعتين حيث تم تسخين العينات إلى درجة حرارة(690Ċ) ولفترة زمنية مقدارها(6) ساعات .[4].

و تم إجراء اختبار البلى وذلك باستخدام الطريقة الوزنية لتحديد معدل البلى وباستخدام جهاز البلى من نوع المسمار على القرص (Pin-On-Disc) حيث ان العينات كانت توزن قبل وبعد اختبار البلى بواسطة ميزان حساس نوع (DENVER Instrument)(Max-210) وبدقة(0.0001gm). وبأستخدام اوزان مختلفة (5،10،15،20) نيوتن وزمن ثابت قدارة (30) دقيقة وقرص ذو صلادة (40) روكويل وتم حساب معدل البلى كما هو موضح في العلاقة التالية.[11]

$$W.R = \frac{\Delta w}{2*\pi*R*N*t} \quad (2)$$

حيث :

W.R: معدل البلى gm/cm.

Δw: الفرق بين الوزن الاولي والنهائي .

R : المسافة من مركز القرص الى العينة وتساوي (7cm).

N : عدد الدورات التي يدورها القرص وتساوي (510) دورة\ دقيقة.

t : زمن الأختبار ويساوي(30) دقيقة.

كما تم إجراء اختبار الشد على العينات وذلك باستخدام جهاز اختبار الشد (insetron) وكان مقدار الحمل المسلط مقداره(2.5) طن والجدول رقم (2) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من اختبار الشد.

وتم اجراء عملية تحضير للعينات وذلك لغرض الفحص المجهري والصلادة ،حيث تم اولآ اجراء عملية التنعيم الرطب بأستخدام الماء وورق تنعيم من كاربيد السيليكون وبأحجام مختلفة(120،220،300،500،1000)،بعد ذلك تم اجراء عملية الصقل باستخدام الألومينا وغسلت العينات بعد بأستخدام الماء والكحول ثم جففت باستخدام الهواء الحار ،ثم اظهرت العينات بأستخدام محلول النايتل . تم اجراء اختبار الصلادة بواسطة جهاز قياس صلادة فكرز نوع (Einsingenbei U/M Mode Z323), وبحمل ثابت مقدارة (0.9) كغم .والجدول رقم (2) يبين نتائج الصلادة التي تم الحصول عليها.

3- النتائج والمناقشة :

3-1 البنية المجهرية والصلادة:

نلاحظ ان من خلال النتائج التي تم الحصول ان هناك عملية تلدين بالتكوير قد حدثت وكما هو موضح في الشكل رقم (1) ، حيث نلاحظ من خلال هذا الشكل ان البنية المجهرية الموضحة في الشكل (A-1) ان هناك عملية تكوير قد حدثت ولكن نسبة التكوير كانت قليلة ويمكن ان يعزى ذلك الى انة لم تتم اجراء معاملة حرارية اولية لهذة العينة لغرض تهيأتها لعملية التلدين بالتكوير وعندما نقارنها مع العينة الثانية شكل (B-1) نجد في هذة العينة ان هناك عملية تكوير قد حدثت فعلآ وان نسبة التكوير اكثر من العينة الأولى ، وعند مقارنة العينة الثالثة شكل (C-1) مع العينتان السابقتان نجد ان نسبة التكوير تكون اكبر ان هذا يعزى الى ان البنية المجهرية الأولية لها تأثير كبير على السمنتايت المتكور الذي سوف يتكون ، حيث انة اذا كانت البنية الأولية مارتنسايت او بانايت او بيرلايت

ناعم فان عملية تكور السمنتايت تكون اسهل مما في حالة ان البنية الأولية عبارة عن بيرلايت خشن.[7,1] لأن عملية التلدين بالتكوير سوف تقوم بتكسير البيرلايت الطبقي الى دقائق كروية صغيرة من السمنتايت في ارضية مستمرة من الفرايت وبالتالي عند البدء ببنية مارتنسايتية او باينايتية او بيرلايتية ناعمة فأن هذا سوف يساعد على توزيع منتظم للسمنتايت الكروي المشتت بسبب ان الكربون يتوزع بصورة اكثر تجانساً في هذة الأرضيات مقارنة مع البيرلايت الطبقي حيث ان السمنتايت الطبقي سوف يذوب اولآ بعد ذلك يعاد توزيع الكربون ككريات بينما السمنتايت الكروي يتكون مباشرة من المارتنسايت او البينايت او البيرلايت.[7-8 , 12-13]

وهناك تفسير اخر الى الألية التي يتكور بها السمنتايت وذلك خلال التجارب التي اجريت على الفولاذ الكربوني المحتوي على (0.4 C) حيث شوهد ان دقائق السمنتايت الناعمة سوف تصبح نويات من السمنتايت الكروي وتسكن في الأوستنايت خلال عمليات التثبيت الحراري وقد اعزى السبب في ذلك الى ان عناصر الكروم والمنغنيز سوف تتركز في السمنتايت خلال عمليات التسخين .[1]

وعند مقارنة نتائج الصلادة التي تم الحصول عليها والموضحة في الجدول رقم (2) نجد ان قيم الصلادة للعينة (A) اكبر من قيم الصلادة للعينة (B) والتي بدورها اكبر من قيم الصلادة للعينة (C) ويمكن تفسير ذلك الى انة عملية التلدين بالتكوير قد قللت من قيم الصلادة ومن ذلك سوف يحصل تحسن في قابلية التشغيل للفولاذ نتيجة لأنخفاض الصلادة حيث ان عدة القطع سوف تقوم بقطع الأرضية الفيرايتية بسهولة حيث ان عدة القطع سوف تقوم بازاحة كريات السمنتايت عن طريقها وتقذفها خارجآ دون ان تقطعها [7-8].

2-3 – معدل البلى:

من خلال ملاحظة البنية المجهرية الموضحة في الشكل رقم (2) والتي تبين عينات البلى عند حمل مقدارة (10 N) نجد ان معدل البلى في العينة (A) اقل من العينة (B) والتي بدورها اقل من العينة (C) ، كذلك فان معدل البلى سوف يزداد عند زيادة الحمل الى (20 N) عما هو علية عند حمل مقدارة (10 N) كما هو موضح في الشكل رقم (3) ، وايظآ يكون معدل البلى للعينة (A) اقل من العينة (B) والتي بدورها اقل من العينة (C) يمكن تفسير ذلك الى ان العينة عند الاحمال القليلة تتعرض الة بلى متوسط (Oxidative Wear) وعند زيادة الحمل سوف تنتقل الى البلى المعدني (Metallic Wear) . حيث انة كما هو معلوم هناك نوعان من البلى هما البلى الألتصاقي(Adhesive Wear) والبلى الحكي (Abrasive Wear) ، من خلال ملاحظة الشكل زقم (4) الذي يوضح العلاقة ما بين معدل البلى والأحمال المسلطة نجد ان معدل البلى في الأحمال القليلة يكون منخفض نوعا ما ولكن عند زيادة الحمل فأن معدل البلى سوف يزداد بشكل ملحوظ وهذا يعزى الى البلى قد انتقل من البلى المتوسط إلى البلى المعدني . [13-15]

3 – 3 - اختبارالشد :

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها والموضحة في الشكل رقم (5) والجدول رقم (2) نجد بان عملية التلدين بالتكوير قد حسنت من خواص المطيلية حيث ان المطيلية هي افضل مقياس لقابلية التشغيل وكذلك تبين مقدار الانفعال الذي يحصل في منطقة التخصر (العنق) في العينة وكذلك تبين قدرة المادة لمقاومة تقدم الشق[16] حيث نلاحظ أن عملية التلدين بالتكوير قد زادت من قيمة المطيلية حيث ان مطيلية العينة (C) هي اكبر من بقية العينات حيث تبلغ (% 42) اما العينة (B) فان قيمة المطيلية تبلغ % 36) (بينما مطيلية العينة (A)هي (% 33) والعينة (D) هي (% 29) ومن خلال القيم الموضحة اعلاه يتبين لنا ان عملية التلدين بالتكوير قد حسنت من خواص المطيلية وان هذا يعزى إلى انه عملية التلدين بالتكوير قد أدت إلى حدوث تغيرات في قيم المطيلية .كما أن العامل المهم الأخر عند إجراء اختبار الشد هو إجهاد الشد الأقصى حيث ممكن إن يستخدم عند حساب مقاومة الجريان(flow strength) في عمليات الحدادة على الساخن .ومن خلال ملاحظة

الشكل (5) نجد أن قيمة إجهاد الشد الأقصى للعينة (D) اكبر من العينة (A) وكبر من العينة (B) واكبر من العينة (C) على التوالي حيث أن العينة (D) لم تتعرض إلى إي معاملة حرارية لذلك فان خواصها الأصلية بقيت على حالها إما بقية العينات قد تم أجراء معاملة التلدين بالتكوير عليها وتحت ظروف مختلفة أي أنها تعرضت إلى درجات حرارية مما يعني هناك نمو في حجم البلورات وكما هو معلوم فان العلاقة عكسية ما بين المقاومة ودرجة الحرارة .[16,7-17]

4 – الاستنتاجات :

من خلال هذا البحث نستنتج ما يلي :

1 - ان المعاملة الحرارية الأولية التي تسبق عملية
التلدين بالتكوير لها اثر كبير في عملية التلدين.

2 – التلدين بالتكوير يحسن من خواص المطيلية ويقلل
من خواص مقاومة الشد ،مقاومة البلى ، الصلادة.

3 – عند الأحمال العالية في اختبار البلى يتحول البلى
من البلى المتوسط الى البلى المعدني .

5 – المصادر :

1- Nandita Gupa, S.K.Sen, spheroidisation treatment for steel, Defence science Journal, V56,N4,October 2006,pp 663-676

2- Yong Lai Tian & R. Wayne Kraft, Mechaisms of Pearlite Spheroidization, Metallurgical Transactions A, V18A, August 1987, pp.1403-1413.

3- O.E.Atasoy & S.Ozbilen , Pearlite Spheroidization , Journal of Materials Science ,V 24 , pp. 281-287 .

4- Metal Hand book, heat treatment,V 4, 2005.

5- Clyn Meyerick, Physical Metallurgy of Steel, 2001.

6- Description of heat terms used in CQI-9 and TX,2007,www.spheroidizing.com

7- آ.د.قحطان خلف الخزرجي،المعاملات الحرارية للفولاذ الكربوني والسبائكي، 2009.

8- آ.د.قحطان خلف الخزرجي ،المعاملات الحرارية للمعادن والسبائك الحديدية واللاحديدية ،2009 .

9 - ASTM, Metals Test Method and Analytical Procedure, V.05.02, 1989.

10 - ASTM, Metals Test Method and Analytical Procedure, V.03.03, 1988.

11 - U.N.I.D.O,Advance in material Tech,Monitor Vienna International Center, Austria, 1990,pp9-11 .

12- John.D.Verhoeven,Metallurgy of steel for Blade smith and others who heat Treat and forge steel, 2005.

13- Enhanced Spheroidized annealing Cycle for tube and pipe manufacturing, 2002,www. annealing tube.com .

14-Steve Roberts, Surfacing Engineering, Wear, www.wear.com.

15 M.F.Ashby, D.R.H.Jones, Engineering Materials, An Introduction to their Properties and Application, pergamon Press Ltd., Headington Hill – Hall, Oxford, England, 1980.

16-R.Allen Schaneman Jr. ,THE EFFECTS OF PRIOR MICROSTRUCURE ON SPHEROIDIZING KINETICS AND COLD WORKABILITY IN BAR STEELS, THESIS,2009

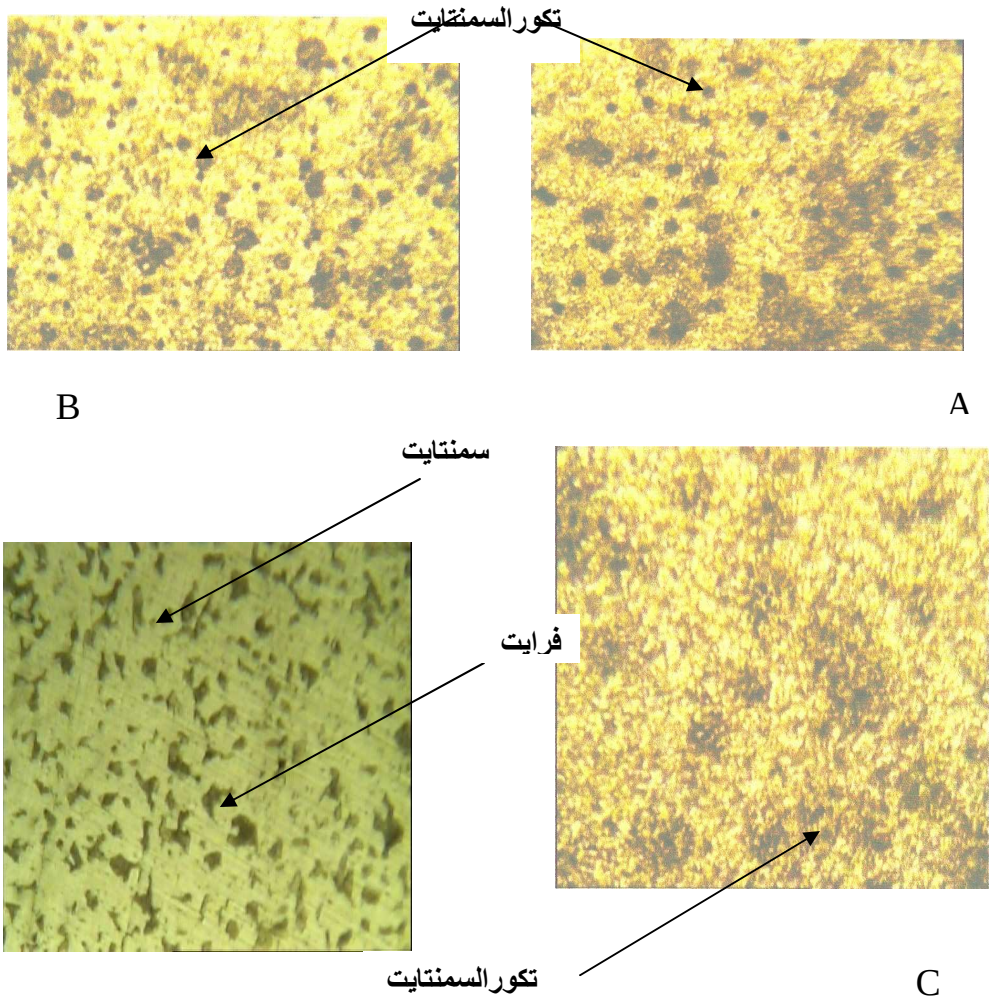
17- R.Choteborsky, M.Brozek, Influence of heat treatment on mechanical Properties of steel, RES.AGR.ENG.50, 2004(4),152-55,www.heattreatment.com

جدول رقم (1) يبين التركيب الكيميائي للفولاذ المستخدم

العنصر	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
%	0.51	0.21	0.86	0.41	0.24	0.03	0.35	المتبقي

جدول رقم (2) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها

العينة	درجة حرارة التسخين الأولي (Ċ)	زمن التثبيت ساعة	نوع التبريد	درجة حرارة التلدين بالتكوير (Ċ)	زمن التلدين بالتكوير (ساعة)	صلادة فكرز H.V Kg/mm^2	اجهاد الشد الأقصى Mpa	المطيلية %
A	بدون معاملة	ـــــ	ـــــ	690	6	268.57	995.83	0.33
B	860	0.5	تبريد بالفرن	690	6	215.51	781.05	0.36
C	860	0.5	تبريد بالهواء	690	6	177.88	734.18	0.42
D	بدون معاملة	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ	340	1200	0.29



شكل رقم (1) يوضح

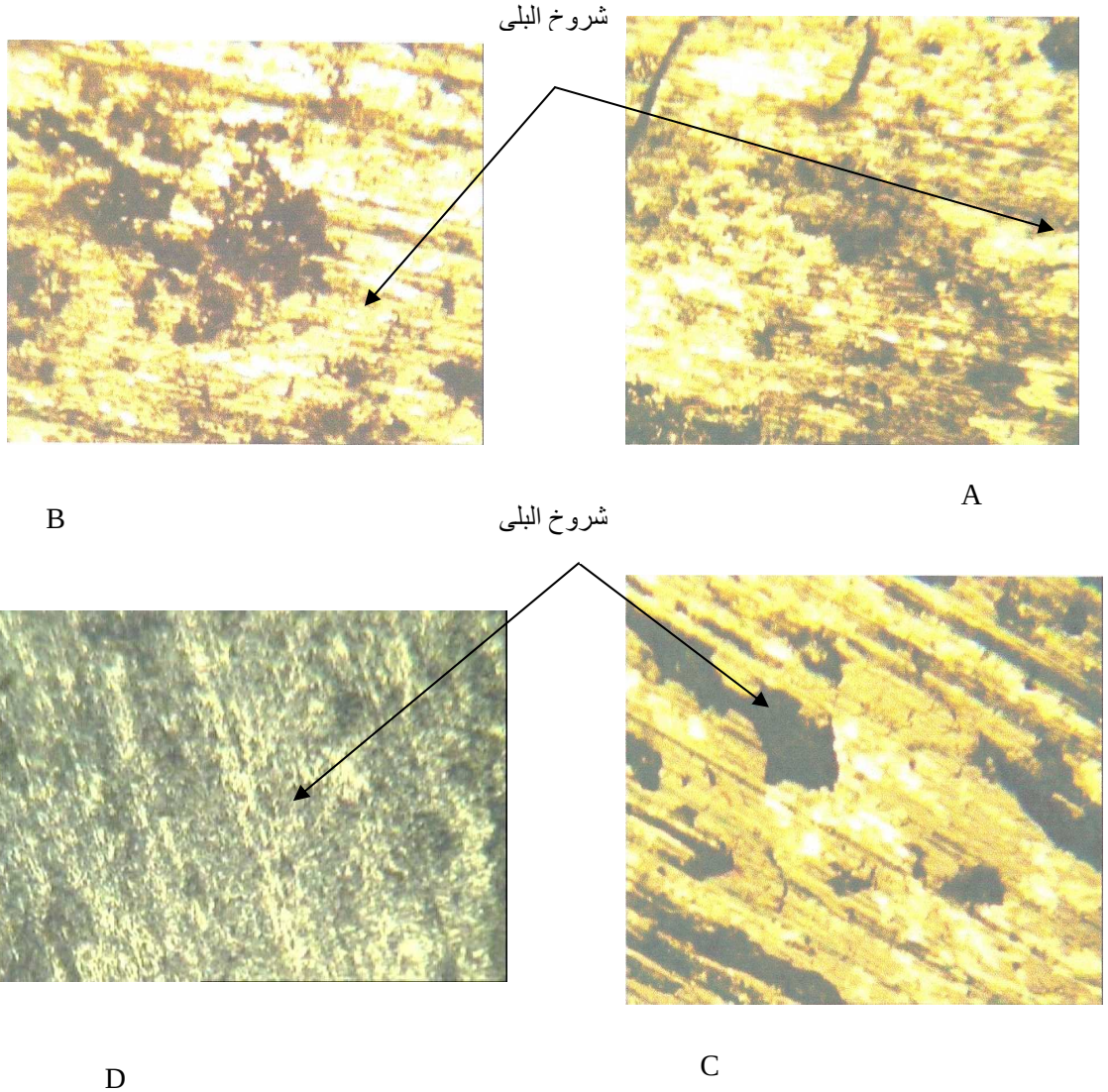
A : عينة اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات

B : عينة اجري لها تسخين اولي عند درجة حرارة (860 Ċ) وبردت في الفرن ثم اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات

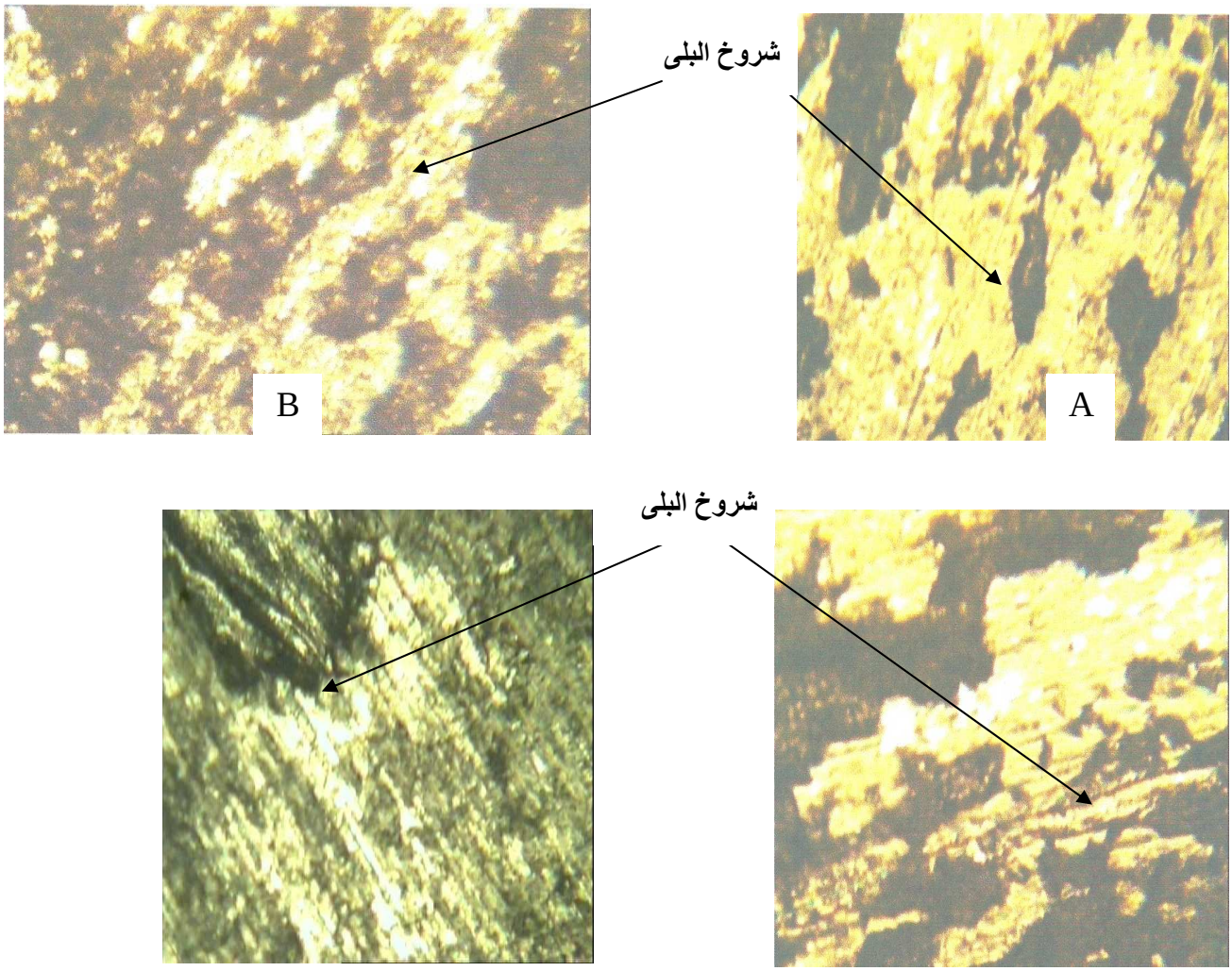
C : عينة اجري لها تسخين اولي عند درجة حرارة (860 Ċ) وبردت في الهواء ثم اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات .

D : عينة لم تجرى عليها اي معاملة حرارية .

قوة التكبير 125X



شكل رقم (2) يوضح عينهت اختبار البلى عند حمل (10 N)
A: عينة اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات
B : عينة اجري لها تسخين اولي عند درجة حرارة (860 Ċ) وبردت في الفرن ثم اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات
C : عينة اجري لها تسخين اولي عند درجة حرارة (860 Ċ) وبردت في الهواء ثم اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات .
D : عينة لم تجرى عليها اي معاملة حرارية .
قوة التكبير 125X



شكل رقم (3) يوضح اختبار البلى عند حمل (20 N)

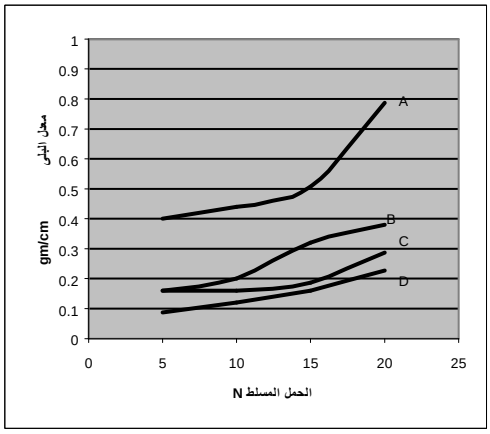
A: عينة اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات

B : عينة اجري لها تسخين اولي عند درجة حرارة (860 Ċ) وبردت في الفرن ثم اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات

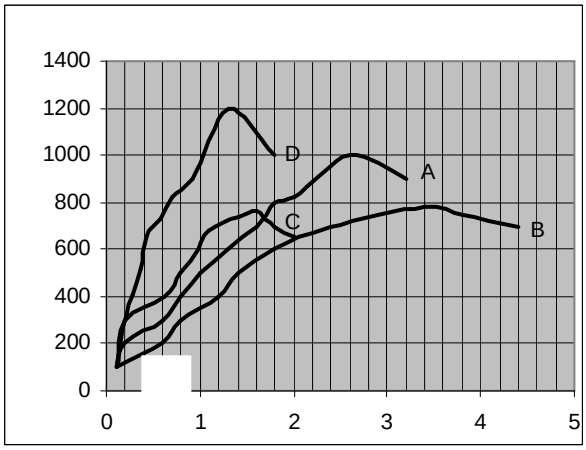
C : عينة اجري لها تسخين اولي عند درجة حرارة (860 Ċ) وبردت في الهواء ثم اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات .

D : عينة لم تجرى عليها اي معاملة حرارية .

قوة التكبير 125X



شكل رقم (4) يوضح العلاقة بين معدل البلى والحمل المسلط



شكل (5) يوضح منحى الآجهاد – انفعال للعينات

A : عينة اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات
B : عينة اجري لها تسخين اولي عند درجة حرارة (860 Ċ) وبردت في الفرن ثم اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات
C : عينة اجري لها تسخين اولي عند درجة حرارة (860 Ċ) وبردت في الهواء ثم اجري لها تلدين بالتكوير عند درجة حرارة (690 Ċ) لمدة (6) ساعات .
D : عينة لم تجرى عليها اي معاملة حرارية.