

# دراسة تأثير عمليات الدرفلة على الساخن، والدرفلة على البارد و عملية التلدين على بعض الخواص الميكانيكية و التركيب المجهري للصلب منخفض الكربون

د.مصباح خريص معاتقي  
قسم هندسة و علوم المواد  
كلية الهندسة/ جامعة مصراتة  
مصراتة، ليبيا  
mosbah.kharis@yahoo.com

## 1.1 الاستعادة

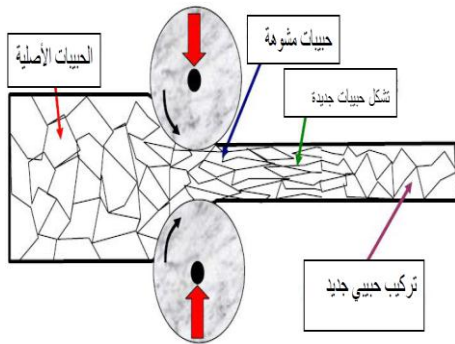
من المعروف أن عملية التشكيل على البارد تترك إجهادات داخلية مخزنة في السبيكة وتختلف هذه الإجهادات، فمنها إجهادات ضغط في بعض المناطق و منها إجهادات شد في مناطق أخرى، وهذه الإجهادات غير مرغوبة فيها أكثر الأحيان ويتم التخلص منها في المراحل الأولى من عملية التلدين التي تتم عند درجات حرارة منخفضة نسبياً تكفي لإعطاء المعدن طاقة حرارية بحيث تتمكن ذراته من التحرك قليلاً إلى مواضع أكثر استقراراً في الشبكة البلورية، إن هذه الحركة البسيطة للذرات تقلل من الإجهادات الداخلية بينما لا يترتب عليها أي هبوط يذكر في الصلادة أو المتانة للسبائك [5].

## 2.1 إعادة التبلر

تعرف عملية إعادة التبلر على أنها المعالجة الحرارية التي تؤدي إلى ظهور (تنوي) حبيبات جديدة ونموها على حساب حبيبات المادة المشوهة. ترتبط إعادة التبلر بعاملتي درجة الحرارة والزمن، فكلهما يحددان حركيتها. تنتهي إعادة التبلر بمجرد استهلاك كل المادة المشوهة، وتأخذ الحبيبات الجديدة عند هذه المرحلة شكل متعدد الأضلاع. [6].

## 3.1 مرحلة نمو الحبيبات

إذا ارتفعت درجة حرارة المعدن فوق درجة حرارة إعادة التبلر. فإن الحبيبات الجديدة المتكونة سوف تستمر بالنمو على حساب الحبيبات الصغيرة الأخرى، حتى تصبح كبيرة الحجم، وذلك لأن حدود الحبيبات ستعتبر مناطق ذات طاقة حرة عالية، ولكي يخفض المعدن من طاقته الحرة يجب أن يخفي جزء من هذه الحدود، بتقليل عدد حبيباته في الوقت الذي يزيد حجمها ويعتمد الحجم النهائي الذي تصل إليه على درجة حرارة التلدين وزمن التلدين [5].



الشكل 1. عملية الدرفلة على الساخن [4].

الملخص — ركزت هذه الدراسة على تأثير عمليتي الدرفلة على الساخن والبارد وكذلك عملية التلدين، على بعض الخواص الميكانيكية والتركيب المجهري للصلب منخفض الكربون، منتج بالشركة الليبية للحديد والصلب. النتائج المتحصل عليها بينت ازدياد ملحوظ في قيم إجهاد الخضوع، مقاومة الشد والصلادة بالتزامن مع نقص في الاستطالة وحجم الحبيبات للصلب المدرفل على البارد مقارنة بتلك المتحصل عليها بالدرفلة على الساخن. أيضاً بينت أن عملية التلدين للصلب المدرفل على البارد، والتي تعمل على إزالة الإجهادات الداخلية وخفض كثافة الاختلاعات، تساهم بشكل كبير في نمو الحبيبات وانخفاض ملحوظ في كل من إجهاد الخضوع، مقاومة الشد للمعدن وزيادة معدل الاستطالة مما يترتب عليه زيادة قابلية الصلب المدرفل للتشكيل أثناء عمليات التصنيع اللاحقة.

الكلمات المفتاحية: التشكيل على الساخن، التشكيل على البارد، الخواص الميكانيكية، التركيب المجهري.

## 1. المقدمة

إن عمليات تشكيل المعادن تؤثر على الخواص الميكانيكية والتركيب البلوري للمعادن وتختلف درجة هذا التأثير من عملية إلى أخرى ومن معدن إلى آخر. ومن بين عمليات تشكيل المعادن المعروفة عمليتي التشكيل على الساخن والبارد حيث تعرف عملية التشكيل على الساخن بأنه التشوه اللدن أي الدائم الذي يحدث للمعادن نتيجة تأثير قوى أو وجود جهود عليها وهي ساخنة، شكل (1) وتجرى عملية التشكيل على الساخن عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلر. بينما تعرف عملية التشكيل على البارد، بأنه التشوه اللدن عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة إعادة التبلر شكل (2) ويسبب التشكيل على البارد زيادة صلادة السبيكة كما أنه يزيد من قوة تحمل السبائك ويقال من مطولتها وبإجراء عملية التخمير للسبائك المشكولة على البارد تتحسن بعض خواصها الميكانيكية، يمكن تعريف الخواص الميكانيكية للمواد لمدى استجابتها للأحمال المعرضة لها وذلك من حيث التغيرات التي تطرأ عليها والمقاومة التي تبديها لتلك الأحمال و يتم إجراء الاختبارات الميكانيكية على عينات ذات أشكال وأبعاد محددة [2&1]. التلدين في علم الفلزات والمواد، هي معالجة حرارية تتغير بتطبيقها بعض الخواص الميكانيكية للسبائك مثل مقاومة الشد والصلادة، في هذه العملية يتم تسخين السبيكة إلى ما فوق درجة حرارة إعادة التبلر والحفاظ على درجة الحرارة تلك لفترة مناسبة (التشريب الحراري). ثم التبريد بعد ذلك داخل الفرن، التلدين يستخدم لتحسين ليونة السبيكة وتقليل الإجهادات الداخلية وتحسين البنية الداخلية للسبيكة عن طريق جعلها أكثر تجانساً، وتحسين قدرتها على التشغيل على البارد [3] وتتم عملية التلدين بمجموعه من المراحل كما هو مبين في الشكل (3) منها:

استلمت الورقة بالكامل في 31 أكتوبر 2021 وروجعت في 16 نوفمبر 2021 وقيلت للنشر في 26 نوفمبر 2021،

ونشرت وماتحة على الشبكة العنكبوتية في 10 ديسمبر 2021.

## 1.2 اختبار الشد

تم قياس إجهاد الخضوع، وأقصى إجهاد للشد والاستطالة وذلك بأجراء اختبار الشد على عينات ذات ابعاد قياسية كما هو موضح في الشكل (4) وذلك بواسطة آلة اختبار الشد شكل (5) بمعمل الجودة بالشركة الليبية للحديد والصلب.



الشكل 4. عينة قياسية لاختبار الشد.



الشكل 5. آلة اختبار الشد.

## 2.2 اختبار الصلادة

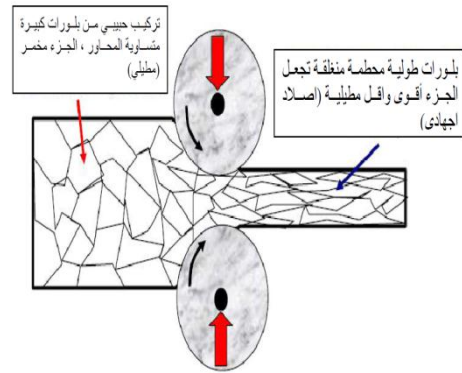
تم إجراء اختبار الصلادة بطريقة روكويل على مقياس (B) من نوع صلادة العلامة بحمل (100kg) لعدد 9 عينات موزعه بين المراحل الثلاثة باستخدام الجهاز المبين بالشكل (6).



الشكل 6. جهاز قياس الصلادة روكويل.

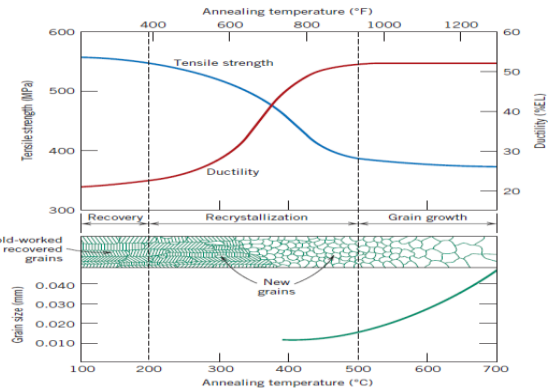
## 3.2 الفحص المجهرى

أجريت عملية الفحص المجهرى للعينات بواسطة مجهر ضوئي نوع LEICA DM 2500 مزود بألة تصوير رقمية (Digital Camera) نوع LEICA DFC 420، كما هو موضح بالشكل (7)، لأخذ صور للتركيب البلوري للعينات المختبرة بقوة تكبير 400X.



الشكل 2. عملية الدرفلة على البارد [4].

تهدف هذه الدراسة لتوضيح تأثير عمليتي التشكيل على الساخن والبارد على بعض الخواص الميكانيكية والتركيب المجهرى لصلب منخفض الكربون، وذلك من خلال اخذ ثلاث عينات من صفيحة مدرفلة على الساخن وثلاث من صفيحة اخرى مدرفلة على البارد واخرى من قائم التصليد، تم انتاجها بمصانع الدرفلة بالشركة الليبية للحديد والصلب. واجراء اختبار الشد والصلادة للعينات إضافة لاجراء الفحص المجهرى لها.



الشكل 3. مراحل التلدين وما يحدث بها من تغير في الخواص الميكانيكية والبنية المجهرية [7].

## 2. الجانب العملي

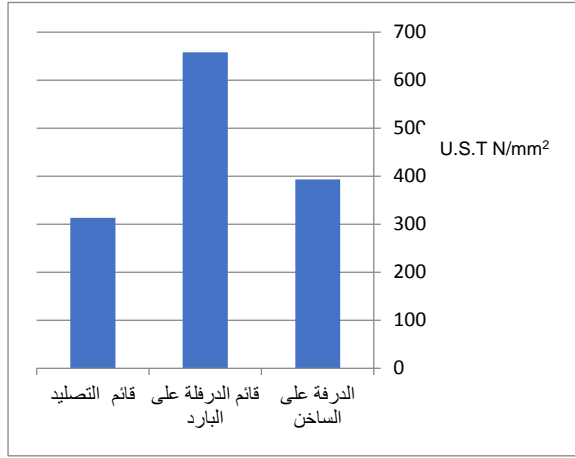
يهدف هذا الجانب لتعريف بالمواد المستخدمة والآلات والمعدات ونوع الاختبارات المطبقة والتي بواسطتها يتم معرفة تأثير عمليتي التشكيل على الساخن والبارد وعملية التلدين، على بعض الخواص الميكانيكية للصلب المنخفض الكربون التركيب الكيميائي لسبيكة الصاب المستخدمة في هذه الدراسة مبين بالجدول 1-

الجدول-1 التركيب الكيميائي للسبيكة.

العنصر	النسبة %
الكربون	0.15
السيلكون	0.03
المنجنيز	0.30
الفسفور	0.02
الكبريت	0.02

في هذه الدراسة تم أخذ ثلاث صفائح من ثلاث لفات لصلب منخفض الكربون منتج بالشركة الليبية للحديد والصلب، الأولى من خط الدرفلة على الساخن والثانية من قائم الدرفلة على البارد أما الثالثة فمن قائم التصليد وأجرى اختباري الشد والصلادة لعدد ثلاث عينات من كل صفيحة فيما مجموعه ثمان عشرة عينة موزعة بين اختباري الشد والصلادة (تسعة عينات شد، تسعة عينات صلادة) لمعرفة تأثير العمليات الثلاثة على الخواص الميكانيكية، وكذلك تم أخذ عينة من كل صفيحة لغرض معرفة التركيب المجهرى لها.

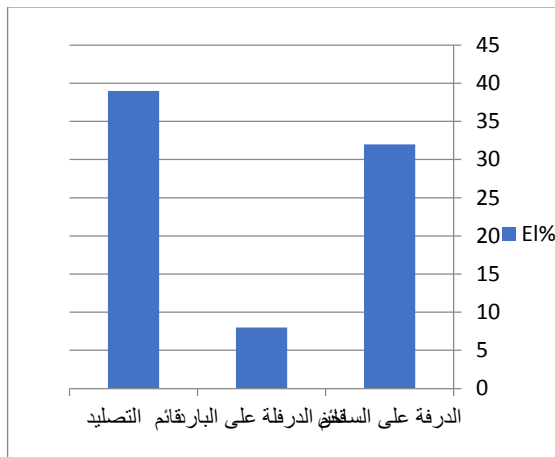
وكذلك بينت النتائج أن قيمة مقاومة الشد عند قائم التصليد  $[313N/mm^2]$  وهي قيمة تعتبر منخفضة مقارنة بقيمة مقاومة الشد عند قائم الدرفلة على البارد ويعمل الزيادة في قيمة مقاومة الشد عند التشكيل على البارد بزيادة مقدار الانخلاعات فيها والتي ترتبط أيضا بزيادة مقدار الانفعالات اللدنة.



الشكل 9. متوسط مقاومة الشد للعينات.

### 3.3 الاستطالة

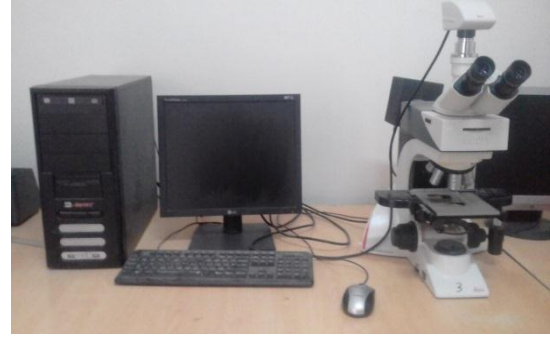
الشكل (10) يوضح نسبة الاستطالة للعمليات الثلاثة، حيث تم أخذ متوسط ثلاث عينات من كل مجموعة، ووفقا للنتائج المتحصل عليها من اختبار الشد نجد أنه عند التشكيل على الساخن نسبة الاستطالة  $[32\%]$  وبينما عند التشكيل على البارد نسبة الاستطالة بلغت  $[8\%]$ ، وبالمقارنة بينهما نلاحظ أن نسبة الاستطالة في التشكيل على البارد أقل من نسبة الاستطالة في التشكيل على الساخن، ويرجع ذلك إلى أنه كلما زادت نسبة التشكيل قلت نسبة الاستطالة. إن نسبة الاستطالة عند قائم التصليد بلغت  $[39\%]$  وهي نسبة مرتفعة مقارنة بنسبتها عند التشكيل على الساخن وقائم الدرفلة، ويرجع السبب في ذلك إلى عملية التلدين التي أجريت على اللفة.



الشكل 10. متوسط نسبة الاستطالة للعينات.

### 4.3 اختبار الصلادة

الشكل (11) يوضح قيمة الصلادة للعمليات الثلاثة حيث تم أخذ متوسط ثلاث عينات من كل عملية، ومن النتائج المتحصل عليها من اختبار الصلادة وجد أنه عند التشكيل على الساخن كانت قيمة الصلادة  $[65HBR]$  وبينما على البارد كانت  $[87HBR]$  وبالمقارنة بينهما نجد أن قيمة الصلادة في التشكيل على البارد أكبر من قيمة الصلادة عند التشكيل على الساخن ويرجع السبب في ذلك أنه في التشكيل على البارد تزداد نسبة التشكيل بانخفاض درجة الحرارة وزيادة نسبة التشكيل تؤدي إلى نقص في حجم الحبيبات مما أدى إلى زيادة قيمة الصلادة أما في التشكيل على الساخن فإن حجم الحبيبات كبير مما أدى إلى نقص في قيمة الصلادة مقارنة بقيمة الصلادة في التشكيل على البارد. النتائج أيضا توضح أن قيمة الصلادة عند قائم التصليد  $[44 HBR]$  منخفضة نسبيا

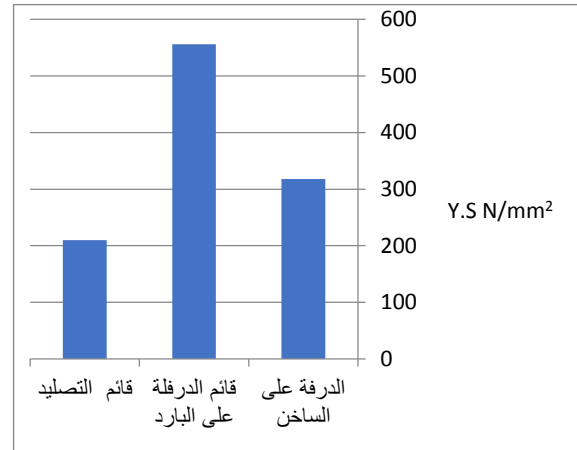


الشكل 7. المجهر الضوئي البصري.

### 3. النتائج والمناقشة

#### 1.3 إجهاد الخضوع

الشكل (8) يوضح متوسط قيم إجهاد الخضوع لثلاثة عينات من كل عملية وأظهرت النتائج المتحصل عليها إن قيمة إجهاد الخضوع  $[318N/mm^2]$  للصفحة المشككة على الساخن وبينما كانت قيمة إجهاد الخضوع  $[556 N/mm^2]$  للصفحة المشككة على البارد وبالمقارنة بينهما نجد أن قيمة الإجهاد عند التشكيل على الساخن أقل من قيمة الإجهاد عند التشكيل على البارد ويرجع السبب في ذلك لحدوث تشوه لدن عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلور أثناء التشكيل على الساخن وعند درجة حرارة أقل من درجة حرارة إعادة التبلور أثناء التشكيل على البارد، أي أن الزيادة في درجة حرارة المعدن تؤدي إلى الزيادة في المسافات بين الذرات مما يسبب انخفاض في قوة الترابط بينها بالإضافة إلى ذلك فإن الانخلاعات سوف تكون أكثر حرية في الحركة داخل البلورة. وكذلك أظهرت النتائج إن قيمة إجهاد الخضوع عند قائم التصليد  $[210N/mm^2]$  وهي نتيجة تعتبر منخفضة بشكل كبير مقارنة بقيمة إجهاد الخضوع عند قائم الدرفلة على البارد، ويرجع السبب في ذلك إلى إزالة الاجهادات بعد إجراء عملية التلدين.

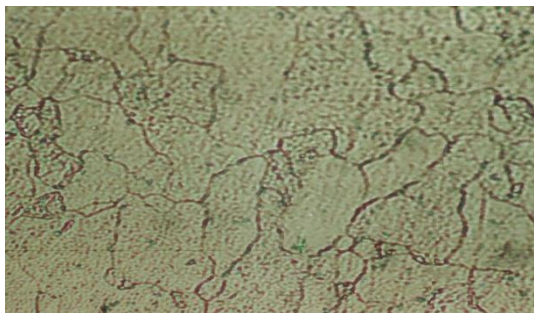


الشكل 8. متوسط إجهاد الخضوع للعينات.

#### 2.3 مقاومة الشد

الشكل (9) يوضح متوسط قيم مقاومة الشد لثلاثة عينات من كل عملية وأظهرت النتائج المتحصل عليها إن قيمة مقاومة الشد  $[393 N/mm^2]$  للصفحة المشككة على الساخن وبينما كانت قيمة مقاومة الشد  $[658 N/mm^2]$  للصفحة المشككة على البارد وللمقارنة بينهما نجد أن قيمة مقاومة الشد عند التشكيل على الساخن أقل من قيمة مقاومة الشد عند التشكيل على البارد وذلك بسبب كثافة الانخلاعات داخل البلورة ففي التشكيل على الساخن تكون حركة الانخلاعات أكثر حرية داخل البلورة مما يؤدي إلى نقص في مقدار (كثافة) الانخلاعات، وفي التشكيل على البارد تكون حركة الانخلاعات أقل حرية داخل البلورة مما يؤدي إلى زيادة في مقدار (كثافة) الانخلاعات، ويعمل زيادة مقاومة الشد بزيادة مقدار (كثافة) الانخلاعات.

الشكل (14) يوضح التركيب الدقيق لعينة من قائم التصليد. يلاحظ من هذا التركيب أن حجم الحبيبات بعد عملية التلدين حدث له نمو.



الشكل 14. التركيب الدقيق لعينة من قائم التصليد (400X).

#### 4. الاستنتاجات

- نتائج الاختبارات أظهرت أن عمليات الدرفلة على الساخن، والبارد وعملية التلدين تؤثر على الخواص الميكانيكية وعلى التركيب المجهرى للصلب المنخفض الكربون كما يلي:
1. إجهاد الخضوع ومقاومة الشد للصلب منخفض الكربون تنخفض بارتفاع درجة الحرارة المطبقة عند التشكيل بعملية الدرفلة على الساخن.
2. إجراء عملية التلدين للصلب منخفض الكربون المشكل على البارد تعمل على إزالة الإجهادات الداخلية وخفض كثافة الانخلاعات مما يساهم بشكل كبير في خفض كل من إجهاد الخضوع ومقاومة الشد للمعدن.
3. نسبة الاستطالة عند تشكيل الصلب منخفض الكربون تزداد بشكل كبير بارتفاع درجة الحرارة المطبقة أثناء عملية الدرفلة على الساخن أو بعد إجراء عملية التلدين للصلب المدرفل على البارد.
4. حجم حبيبات الحبيبات في التشكيل على الساخن أكبر من حجم الحبيبات في التشكيل على البارد ويرجع السبب في ذلك إنه كلما زادت نسبة التشكيل قل حجم الحبيبات.

#### المراجع

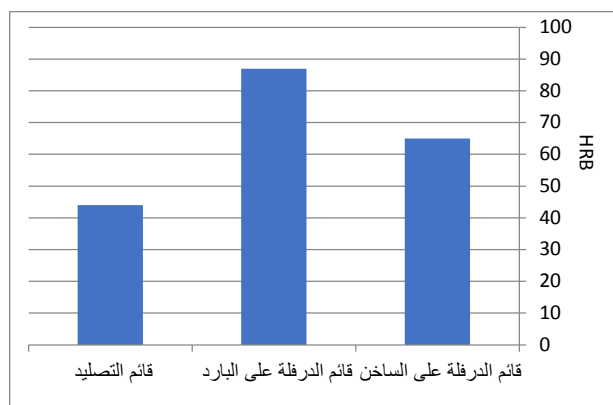
##### أ. المراجع العربية

1. تقنية تشكيل (2010). المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني المملكة العربية السعودية.
2. المواد الهندسية بنيتها وخواصها(2004)، عياد عبد الواحد، كمال زاهر، الطبعة الأولى.
3. د.عبد الفتح عبد الحميد و د.أحمد فريد عبد الغفار يوسف، علم المواد جمهورية مصر العربية.
4. دراسة حركية إعادة التبلر لفلوذاذ موجه لصناعة الأسلاك رسالة مقدمة لنيل شهادة الماجستير حسين بوحلايس الجزائر- كلية العلوم الدقيقة- قسم الفيزياء 2017م.

##### ب. المراجع الأجنبية

5. Mickell P.Groover(199) Fundamentals of Modern Manufacturing Materials Processes and Systems, Johwiley and Sons.Inc.New,York.
6. Verhoeven, J.D. (1975). Fundamentals. of physical Metallurgy,wiley,New York ,
7. William D, Callister, Jr,(2007). "Material science and engineering : An Introduction ", Johan Wiley & sons , INC, 7th edition.

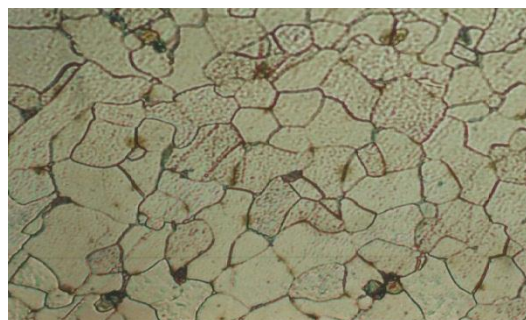
مقارنةً بقيمتها عند التشكيل على البارد [87HBR] ويرجع السبب في ذلك إلى إزالة الإجهادات الناتجة من عملية التشكيل على البارد عن طريق إجراء عملية التلدين.



الشكل 11. متوسط قيم الصلادة للعينات.

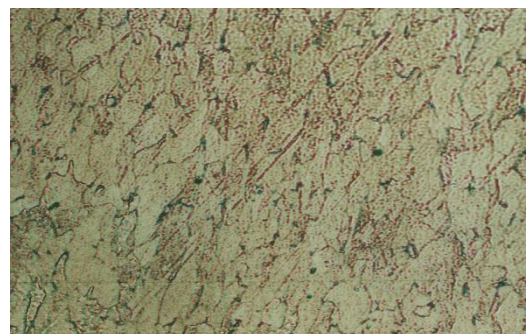
#### 5.3 الفحص المجهرى

يلاحظ من الشكل (12) أن حجم الحبيبات كبير ويرجع السبب في ذلك إلى أن كلما ارتفعت درجة الحرارة قلت نسبة التشكيل وكلما قلت نسبة التشكيل زاد حجم الحبيبات ونظرا أيضا لأن التشكيل يتم عند درجات حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة التبلر فلا يحدث أي استطالة للحبيبات ولكن يتم تنعيم حجم البلورات.



الشكل 12. التركيب الدقيق لعينة من قائم الدرفلة على الساخن (400X).

الشكل (13) يوضح التركيب الدقيق لعينه من صفيحه مدرفلة على البارد يلاحظ من هذا التركيب أن حجم الحبيبات صغير ويرجع السبب في ذلك أن عملية التشكيل على البارد تؤدي إلى تغير في بنية المعدن. من التغيرات التي تمر بها بنية المعدن نتيجة تشكيلها على البارد استطالة بلوراته في اتجاه القوة المطبقة وكذلك زيادة عدد الفجوات في النسق البلوري و زيادة عدد الانخلاعات. ويتلخص التغير الأساسي في شكل البلورات في أنها تستطيل في اتجاه الدرفلة .



الشكل 13. التركيب الدقيق لعينة من قائم الدرفلة على البارد (400X).