

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف - المسيلة



ميدان: علوم المادة
فرع: الفيزياء.
تخصص: فيزياء تطبيقية

كلية: العلوم.
قسم: الفيزياء.
رقم: Ph/APP/02/2022

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبة : بن الشيخ أميرة

تحت عنوان

دراسة تولىفية عن صحة علاقة Hall-Petch في المواد
المشوهة والمعاد بلورتها

تمت المناقشة يوم / / 2022 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا	جامعة المسيلة	فضيلة مزراق
مشرفا و مقررا	جامعة المسيلة	هبة عز الدين
مناقشا	جامعة المسيلة	صباح فتاح

السنة الجامعية: 2022/2021

الشكر والتقدير

قبل كل شيء, بسم الله الرحمن الرحيم والحمد لله العظيم الذي أنارني إلى الصراط المستقيم.
أود أن أتقدم بخالص الشكر والعرفان للبروفيسور هبة عز الدين المشرفة على المذكرة, على كل ما قدمته لي من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستي.
كما أتقدم بجزيل الشكر إلى البروفيسور فضيلة مزراق لموافقتها على تولي منصب رئيس لجنة التحكيم, وأشكر كذلك الدكتور صباح فتاح على الاستجابة الايجابية لطلب الحكم على هذا العمل.

وفي الأخير أود أن أعرب عن امتناني بشكل خاص لزميلتي نجاة دشوشة للمساعدة التي قدمتها لي في فترة العمل.

الإهداءات الخاصة

إلى من ساندتني في صلاتها ودعائها إلى من سهرت الليالي تنير الدروب
إلى من رضاها وفرحتها غايتي وطموحي إلى نبع العطف والحنان إلى أجمل
إبتسامة في الكون إلى أروع امرأة في الوجودأمي حبيبتي.

إلى من علمني أن الدنيا كفاح إلى من علمني أن أهم شيء في الحياة هو العلم وكسب
رضا الله تعالى إلى أروع رجل في الوجود ...أبي الغالي.

إلى الإنسان الذي علمني كيف يكون الصبر طريقاً للنجاح إلى السند والقوة في الأوقات الصعبة.

إلى الاعزاء على قلبي إلى من تسابقو وقدمو لي الدعم إلى ثمرات أمي وأبي أخواتي العزيزات
(إكرام - أية - مرام).

إهداء من القلب إلى كل صديقاتي أو بالأحرى أخواتي الذين تقاسمت معهم يوماً أجمل وأعلى اللحظات والذكريات
(مروة - شيماء - إسمهان - نسرين - سارة).

إلى جدي الغالية أطل الله في عمرها وإلى كل العائلة الكريمة وإلى كل زملائي وزميلاتي
في كل مسيرتي الدراسية وإلى كل من قدم لي يد العون والمساعدة في إنجاز هذه المذكرة.

الفهرس

1	مقدمة
2	I – الفصل الأول :عموميات وجوانب نظرية
3	1-1 علاقة هال باتش (Hall Petch)
3	1-1-1 تعريف
4	2-1 صلاحية هال باتش (Hall Petch)
5	3-1 آليات التشوه
5	1-3-1 نظام الإنزلاق
6	2-3-1 نظام التوأمة
7	4-1 إعادة البلورة
9	المراجع
12	II- الفصل الثاني : دراسة صلاحية علاقة Hall-Petch في بعض المواد
12	1-II المواد ذات البنية البلورية ممرضة السطوح (CFC)
12	1-1-II في حالة التشوه
22	2-1-II في حالة إعادة البلورة
29	2-II المواد ذات البنية البلورية ممرضة الجسم (BCC)
29	1-2-II في حالة التشوه
29	3-II المواد ذات البنية البلورية ممرضة الجسم (HCP)
29	1-3-II في حالة التشوه
33	2-3-II في حالة إعادة البلورة
38	المراجع
43	الخاتمة

المقدمة

المادة هي كلمة عربية يطلق على كل شيء يتكون من جزيئات أو يُستخدم لتكوين مواد أخرى, ولكل مادة خصائص معينة تميزها وتحسين هذه الخصائص وتغيير بنية هذه المادة توجد طريقتين:

الطريقة الأولى تتمثل في التشوه وهو القيام بتعديلات في الشكل أو في حجم المادة بسبب القوى المطبقة كقوى الشد أو الضغط والدفع, غالبا ما يوصف التشوه على انه إجهاد لأنه عند حدوث التشوه, تنشأ قوى داخلية جزئية تعارض القوى المطبقة. إذا لم تكن هذه القوى كبيرة جدا فإن الجسم يعود إلى حالته الأصلية عند إزالة قوى الضغط ويسمى هذا النوع بالتشوه المرن. أما النوع الثاني يسمى بالتشوه اللدن و يكون غير إنعكاسي فيه لأن الجسم الذي تمارس عليه القوى أو الحمل لا يعود إلى حالته الأولى وذلك لخضوعه لتغييرات ديناميكية حرارية مختلفة تؤثر بشكل دائم على هيكله.

عند تشوه المادة لا تكون في حالة توازن, لهذا يجب استعمال الطريقة ثانية للتغيير والتحسين أكثر لخصائص المادة وتوجيهها للصناعة وهذه الطريقة تُعرف بإعادة البلورة وهي عملية يتم من خلالها إستبدال الحبيبات المشوهة بمجموعة جديدة من الحبيبات الخالية من العيوب والتي تتكوّن وتنمو حتى يتم إستهلاك الحبيبات الأصلية بالكامل [1].

نستطيع القول أن المادة تغيرت بفعل الطرائق التي تُجرى عليها مثل طريقة قياس الصلادة, ولكن في بعض الأحيان هذه الطرائق تكون مكلفة وتستهلك وقت طويل وليست صالحة في كل الحالات.

شهدت القرون القليلة الماضية تطور كبير في مجال محاكاة الظواهر الفيزيائية واقتراح معادلات رياضية لتفسيرها بدون اللجوء إلى التجارب المكلفة ومن بين العلاقات أو المعادلات النظرية المقترحة, علاقة Hall-Petch وهي علاقة مباشرة تربط بين تغيير الخصائص الميكانيكية والبنية البلورية [2, 3].

الهدف من هذه الدراسة هو التحقق من صلاحية علاقة Hall-Petch في مجموعة من المواد والسبائك ذات البنية البلورية مركزية السطوح و مركزية الجسم وكذلك المواد ذات البنية البلورية السداسية في حالتها التشوه وإعادة البلورة . هذه المذكرة تتكون من فصلين, الفصل الأول سنتطرق فيه إلى عموميات على علاقة Hall-Petch تعريفها وتاريخها أما الفصل الثاني يضم دراسة تطبيقية لعلاقة Hall-Petch ومدى صلاحيتها حيث قمنا بتقسيمه لثلاث أجزاء, الجزء الأول يضم المواد ذات البنية البلورية مركزية السطوح والجزء الثاني فيه دراسة للمواد ذات البنية البلورية مركزية الجسم أما الجزء الثالث يكون مخصص للمواد ذات البنية البلورية السداسية.

المراجع

- [1] R. Doherty, D. Hughes, ... F. H.-M. S. and, and undefined 1997, "Current issues in recrystallization: a review," *Elsevier*, Accessed: May 30, 2022.
- [2] E. O. Hall, "The Deformation and Ageing of Mild Steel," *Proc. Phys. Soc. Sect. B*, vol. 64, no. 9, p. 747, Sep. 1951, doi: 10.1088/0370-1301/64/9/303.
- [3] K. Yamada, K. Miyata, R. Konishi, K. Okada, and T. Tsujii, "Molecular Orientation Effect of Heat-Sealed PP Film on Peel Strength and Structure," *Adv. Mater. Phys. Chem.*, vol. 05, no. 11, pp. 439–446, 2015, doi: 10.4236/AMPC.2015.511044.

الفصل الأول

عموميات وجوانب نظرية

1-1 علاقة هال باتش (Hall-Petch)

1-1-1 تعريف

اقترحت علاقة هال باتش Hall-Petch في بداية الخمسينيات من القرن الماضي لتمثيل تأثير حدود الحبيبات على الخصائص الميكانيكية للمعادن متعددة البلورات [1,2]. وقد تم فيما بعد توسيع علاقة Hall-Petch لتشمل أيضا تأثير التقوية لأنواع مختلفة من الحدود التي أدخلها التشوه اللدن [3] وحديثا تشير بعض الدراسات إلى أن علاقة Hall-Petch صالحة أيضا في المعادن التي تحتوي على حبيبات ذات أبعاد نانو مترية [4].

تعتبر علاقة هال باتش (Hall-Petch) تعبيراً يتعلق بالتباين في إجهاد الخضوع إلى حجم حبيبات المادة [1.2] :

$$\sigma = \sigma_0 + Kd^{-1/2} \dots (1)$$

حيث:

σ هو إجهاد الخضوع.

σ_0 هو عبارة عن إجهاد الاحتكاك الشبكي المطلوب لتحريك الإنخلاع عموماً.

K ثابت وهو عامل تركيز الإجهاد.

d هو متوسط حجم الحبيبات.

يرتبط إجهاد التدفق عند سلاطة معينة $\sigma(\epsilon)$ بحجم الحبيبات بواسطة المعادلة التالية [5] :

$$\sigma(\epsilon) = \sigma_0(\epsilon) + K(\epsilon)d^{-1/2} \dots (2)$$

حيث يعتبر $\sigma(\epsilon)$ هو الإجهاد عند سلاطة معينة و $\sigma_0(\epsilon)$, $K(\epsilon)$ ثابت عند سلاطة معينة أيضا حيث تم تطبيق هذه العلاقة لوصف تأثير حجم الحبيبات على متغيرات القوة الأخرى وخاصة الصلادة, كما في حالة المعادلة (1) يلزم وجود بلورات مفردة أو بلورات متعددة الحبيبات الخشنة للحصول على $\sigma_0(\epsilon)$.

في المعادلة (1) و (2) ينقسم الضغط إلى جزأين : جزء مستقل عن حجم الحبيبات والآخر يعتمد على حجم الحبوب, على سبيل المثال في المعادلة (2) يعتبر $\sigma_0(\epsilon)$ هو ضغط التدفق للجزء الداخلي للحبوب ويمكن اعتبار $K(\epsilon)d^{-1/2}$ كمساهمة في القوة بسبب المقاومة الإضافية لحركة الإنخلاع الناتجة عن وجود حدود الحبيبات.

مساهمة الحبيبات الداخلية $\sigma_0(\epsilon)$ مرتبطة بكثافة الاضطرابات المتراكمة في حدود الإنخلاع, بإهمال المساهمة من الاضطرابات الزائدة عن الحاجة والتي تنخفض بشكل كبير مع زيادة الضغط حيث يمكن تقريب كثافة الإنخلاع لحدود الإمالة / الالتواء المختلط بمقدار $1.5 Sv\theta/b$ حيث Sv هي منطقة الحدود لكل وحدة حجم, θ زاوية سوء التوجيه, b هي Burgers Vector وتوجد أيضا اضطرابات بين حدود الإنخلاع ولكن لكون المعادن النقية ذات خطأ التراص المتوسط تعتبر المساهمة من هذا الإنخلاع مهملة, يمكن بعد ذلك كتابة المعادلة (2) على الشكل :

$$\sigma(\epsilon) = \sigma_0 + M\alpha G\sqrt{1.5bSv\theta} + K_1(\epsilon)d_{GB}^{-1/2} \dots (3)$$

حيث σ_0 هو إجهاد الاحتكاك (كما في المعادلة (1)) M هو عامل تايلور, G هو معامل القص.

في السلاطات الكبيرة تتطور العديد من حدود الإنخلاع من حدود الزاوية المنخفضة LAB's ($\theta < 15^\circ$) إلى حدود زاوية مرتفعة LAB's ($\theta > 15^\circ$) والتي لا يمكن تمييزها عن حدود الحبيبات الأصلية, استنادا إلى افتراض وجود تأثير تقوية متطابق لنوعي الحدود, يتم استبدال d_{GB} ب d_{HAB} ويمكن التعبير عن ضغط التدفق ب:

$$\sigma_f = \delta_0 + M\alpha G\sqrt{1.5bSv\theta_{LAB}} + K_1(\epsilon)d_{HAB}^{-1/2} \dots (4)$$

كبدل للمعادلة (4) لقد ارتبط إجهاد التدفق للمعادن المشوهة ببساطة بمسافة الحدود دون الأخذ في الاعتبار ما إذا كانت الحدود عبارة عن حدود إزاحة منخفضة الزاوية أو حدود زاوية عالية, في هذه الحالة تكون العلاقة بين إجهاد التدفق ومتوسط تباعد الحدود D_B هي :

$$\bar{\sigma}_f = \bar{\sigma}_0 + K_2 d_B^{-1/2} \dots (5)$$

حيث K_2 هو ثابت, في هذه الصيغة كما في المعادلة (1) تعتبر مقاومة الحدود ثابتة ومستقلة عن طبيعة الحدود على سبيل المثال معادلة (5) حيث تم استخدام ربط الإجهاد الانسيابي للمعادن المشوهة بالتسخين بحجم الحبيبات [3] ومع ذلك بالنسبة لمثل هذه الهياكل فقد تم اقتراح أن K_2 متغير [6] والذي يزداد مع زاويته في حدود الزاوية المنخفضة.

ولكون وجود علاقة بين إجهاد الخضوع والصلادة الممتلئة في المعادلة (6) [10-8]:

$$Hv = 0.3 \bar{\sigma} \dots (6)$$

فمن الأسهل رسم منحنى الصلادة Hv بدلالة المربع العكسي لحجم الحبيبات $d^{-1/2}$ لتصبح العلاقة (5) كالآتي:

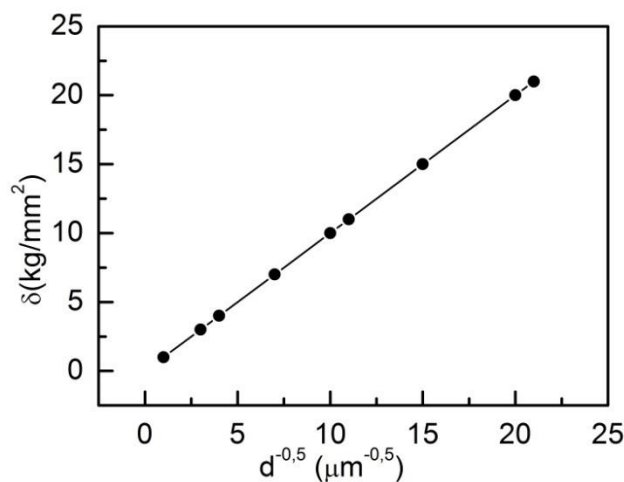
$$Hv = Hv_0 + kd^{-0.5} \dots (7)$$

2-1 صلاحية علاقة Hall-Petch

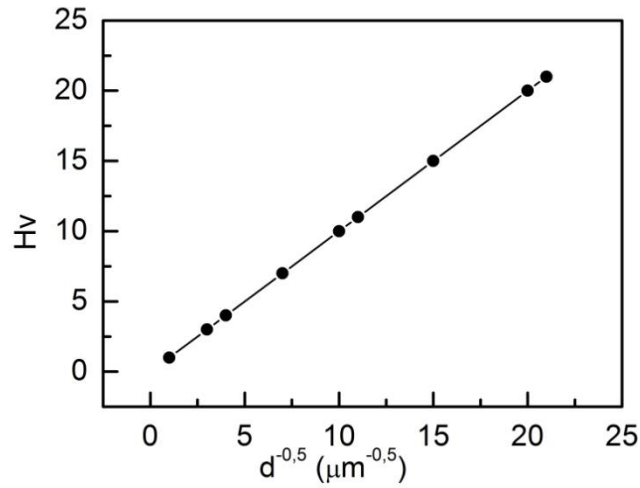
لمعرفة مدى صلاحية علاقة Hall-Petch يجب رسم قيم الإجهاد $\bar{\sigma}$ أو قيم الصلادة Hv بدلالة المقلوب المربع لحجم الحبيبات $d^{-1/2}$.

يمثل الشكلين (1) و (2) مثال على صلاحية علاقة Hall-Petch حيث إذا كان هذا المنحنى عبارة عن خط مستقيم, نستطيع القول أن علاقة Hall-Petch صالحة وإن كان عكس ذلك فهذه العلاقة غير صالحة.

عموما في حالة عدم صلاحية علاقة Hall-Petch فإن المادة تكون تحت تأثير الإنخلاعات أو الرواسب.



الشكل (1): منحنى إجهاد الخضوع بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.



الشكل (2): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

3-1 آليات التشوه

التشوه اللدن للبلورات المعدنية ينتج تحت تأثير الضغوط الخارجية، ويعتبر هذا التشوه ظاهرة تتجلى في شكلين رئيسيين : الانزلاق والتوأمة.

1-3-1 نظام الإنزلاق:

تظهر التحليلات البلورية للعينات المشوهة أن الانزلاقات تحدث بشكل عام في مستويات محددة جيدا لخلية الوحدة غالبا ما تكون المستويات المنزلفة هي المستويات ذات الكثافة الذرية الأعلى واتجاهات الانزلاق هي الاتجاهات الأكثر كثافة، أثناء انزلاق الخلع يظل الحجم دون تغيير لأن الانزلاق يحدث عن طريق القص بين المستويات المتوازنة من البلورة [11]. يشير الجدول التالي إلى أنظمة الانزلاق التي لوحظت غالبا في الهياكل البلورية الرئيسية الثلاثة:

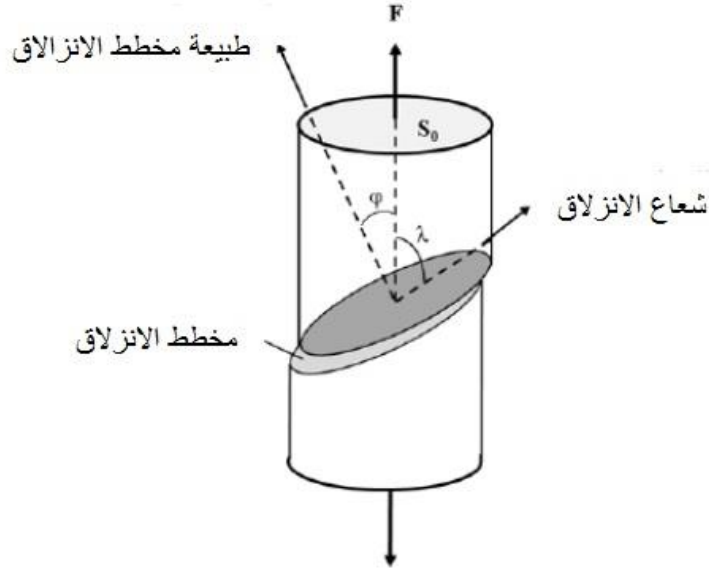
الجدول 1-3-1: أنظمة الانزلاق التي يتم ملاحظتها بشكل شائع في المعادن.

البنية البلورية	مخطط الانزلاق	شعاع الانزلاق
(CFC) البنية البلورية ممرزة السطوح	{111}	<111>
(BCC) البنية البلورية ممرزة الجسم	{110} , {112} , {113}	<110>
(HCP) البنية البلورية السداسية	{0001} , {10 $\bar{1}$ 0} , {10 $\bar{1}$ 1}	<11 $\bar{2}$ 0>

يتم تحديد تمكين الانزلاق من عدمه بواسطة قانون Schmid, يتم التعبير عن هذا من خلال الشكل (3) حيث نعتبر بلورة أحادية ممثلة بشكل تخطيطي بواسطة أسطوانة نطبق عليها القوة F ثم يتم تحفيز اجهاد القص على مستوى منزلق من البلورة الأحادية, يطلق عليه حل cission ويتم تعريفه بالمعادلة:

$$\tau = \frac{F}{S_0} \cos \lambda \cos \varphi \dots\dots(8)$$

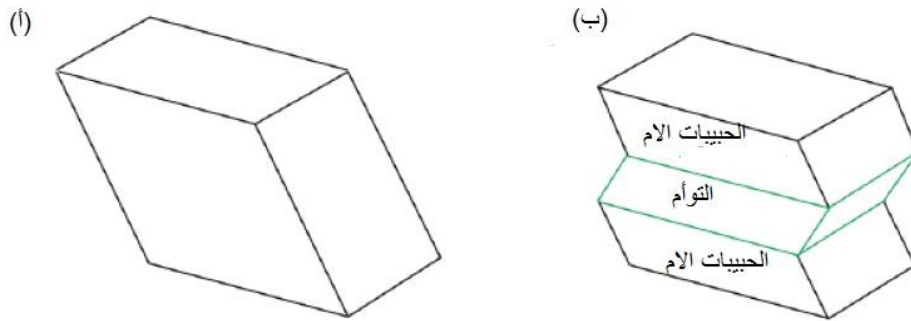
معامل $\cos \lambda \cos \varphi$ يدعى عامل Schmid , يتوافق مع جيب تمام الزاوية λ (التي تشكلت بين اتجاه الانزلاق واتجاه تطبيق القوة) وجيب تمام الزاوية φ (التي تشكلت بين طبيعة الانزلاق واتجاه تطبيق القوة) قيمتها بين -0.5 و +0.5. يمثل الشكل (3) رسم توضيحي لقانون Schmid.



الشكل (3): رسم تخطيطي يوضح قانون Schmid.

2-3-1 نظام التوأمة:

التوأمة على عكس من ذلك, هي نمط من التشوه يصاحبه تعديل بلوري في الحجم, يتكون من قص جزء من حبيبة وذلك لوضع هذا الجزء في تكوين اتجاه بلوري معكوس (يسمى التوام) من الحبيبات الأصلية والتي لا تتأثر بالقص [12]. الشكل (4) يمثل رسم تخطيطي لبلورة واحدة وبلورة مزدوجة تحت تأثير التوأمة.

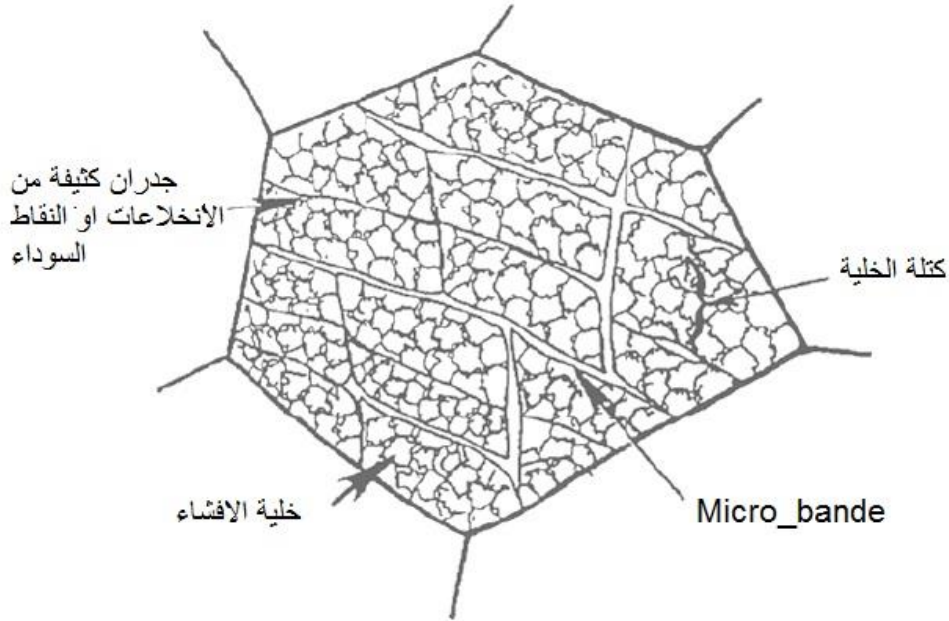


الشكل (4): (أ) تمثيل بلورة واحدة, (ب) بلورة مزدوجة تحت تأثير التوأمة.

خلال المرحلة الأولى من التشوه، تنقسم الحبيبات وتغير شكلها وحجمها مما يؤدي إلى تكوين نسيج مورفولوجي مع زيادة نسبة السطح/ حجم الحبيبات، وبالتالي زيادة كثافة السطح وأعطال التراص. حيث تظهر بنية أساسية من الإنخالات داخل الحبيبات اعتماداً على اتجاهها البلوري [13].

يؤدي التقسيم الفرعي للحبيبات إلى تكوين كتل من الخلايا من جدران ذات كثافة عالية من الإنخالات المحيطة بالأحجام ذات الكثافة المنخفضة من الإنخالات.

الشكل (5) يمثل كتل وخلايا وجدران الإنخالات الكثيفة داخل حبيبة تحت تأثير التشوه.



الشكل (5): كتل الخلايا وجدران الإنخالات الكثيفة.

4-1 إعادة البلورة

تتوافق عملية إعادة البلورة مع تكوين حبيبات جديدة في المادة المشوهة وإلى هجرة حدود الحبيبات المضطربة (الغير متوازنة) والتي تكون القوة الدافعة لها هي طاقة الإجهاد المخزنة [14].

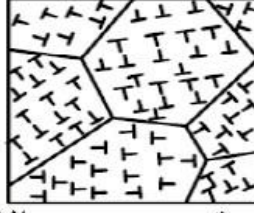
تتم إعادة التبلور أو البلورة عن طريق نمو الحبيبات، تولد الحبيبات بكثافة عالية (تتراكم الإنخالات على المفاصل) وتمتد على الحبيبات المجاورة حتى تتصادف مع الآخرين بالفعل، عندما تصل النواة إلى الحجم الحرج وتكون مشتتة بما فيه الكفاية فيما يتعلق ببيئتها، يمكن أن تنمو في المصفوفة تحت تأثير طاقة الإجهاد المخزنة.

أثناء النمو، تفصل حدود الحبيبات الجديدة الحجم المعاد بلورته بالفعل عن الحجم الذي لا يزال مشوهاً.

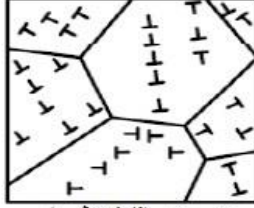
يتم تحقيق إعادة البلورة بالكامل يتم التخلص من الحبيبات المضطربة واستبدالها بحبيبات متوازنة، في هذه المرحلة تكتمل عملية إعادة البلورة الأولية الفعلية وتنتقل مرحلة تسمى نمو الحبيبات.

الشكل (6) يمثل رسم تخطيطي لمختلف عمليات وإعادة البلورة المذكورة أعلاه.

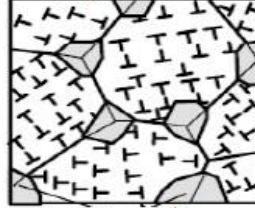
المادة المشوهة



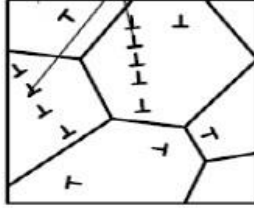
الاستعادة



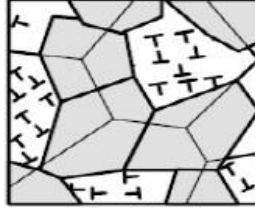
إعادة البلورة



تحت الإنظام



الحيبيات



الشكل (6): مراحل مختلفة من إعادة البلورة .

المراجع

- [1] E. O. Hall, "The Deformation and Ageing of Mild Steel " *Proc. Phys. Soc. Sect. B*, vol. 64, no. 9, p. 747, Sep. 1951, doi: 10.1088/0370-1301/64/9/303.
- [2] K. Yamada, K. Miyata, R. Konishi, K. Okada, and T. Tsujii, "Molecular Orientation Effect of Heat-Sealed PP Film on Peel Strength and Structure," *Adv. Mater. Phys. Chem.*, vol. 05, no. 11, pp. 439–446, 2015, doi: 10.4236/AMPC.2015.511044.
- [3] J. Gil Sevillano, P. van Houtte, and E. Aernoudt, "Large strain work hardening and textures," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 25, no. 2–4, pp. 69–134, Jan. 1980, doi: 10.1016/0079-6425(80)90001-8.
- [4] Xiao C, Mirshams RA, Whang SH, Yin WM. *Mater Sci Eng A* 2001 https://scholar.google.com.sg/citations?view_op=view_citation&hl=th&user=LYSOwxEAAA AJ&citation_for_view=LYSOwxEAAA AJ:MAUkC_7iAq8C (accessed May 30, 2022).
- [5] R. Armstrong, I. Codd, R. M. Douthwaite, and N. J. Petch, "The plastic deformation of polycrystalline aggregates , vol. 7, no. 73, pp. 45–58, 2006, doi: 10.1080/14786436208201857.
- [6] D. J. Abson and J. J. Jonas, "The Hall–Petch Relation and High-Temperature Subgrains," *Met. Sci. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 24–28, Jan. 1970, doi: 10.1179/MSJ.1970.4.1.24.
- [7] I. Brooks, P. Lin, G. Palumbo, G. D. Hibbard, and U. Erb, "Analysis of hardness-tensile strength relationships for electroformed nanocrystalline materials," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 491, no. 1–2, pp. 412–419, Sep. 2008, doi: 10.1016/J.MSEA.2008.02.015.
- [8] P. Zhang, S. X. Li, and Z. F. Zhang, "General relationship between strength and hardness," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 529, no. 1, pp. 62–73, Nov. 2011, doi: 10.1016/J.MSEA.2011.08.061.
- [9] S. W.-M. S. and Technology and undefined 2012, "Historical origins of indentation hardness testing," *Taylor Fr.*, vol. 28, no. 9–10, pp. 1028–1044, Oct. 2012, doi: 10.1179/1743284711Y.00000000127.
- [10] S. M. Walley, "Addendum and correction to: Historical origins of indentation hardness testing, by S. M. Walley," *Mater. Sci. Technol. (United Kingdom)*, vol. 29, no. 9, p. 1148, Sep. 2013, doi: 10.1179/0267083613Z.000000000477
- [11] Q. Xing, X. Huang, and N. Hansen, "Recovery of heavily cold-rolled aluminum: Effect of local texture," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 37, no. 4, pp. 1311–1322, Apr. 2006, doi: 10.1007/S11661-006-1083-X.

- [12] “Zbigniew Stanislaw Basinski, O. C. 28 April 1928-12 August 1999 on JSTOR.”
<https://www.jstor.org/stable/770353> (accessed Jun. 01, 2022).
- [13] D. A. Hughes, “Microstructure evolution, slip patterns and flow stress,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 319–321, pp. 46–54, Dec. 2001, doi: 10.1016/S0921-5093(01)01028-0.
- [14] “Contribution À L’étude De Quelques Propriétés Physico-métallurgiques Des Alliages À Base De Mg.” <https://www.theses-algerie.com> .

الفصل الثاني

دراسة صلاحية علاقة Hall-Petch

في بعض المواد.

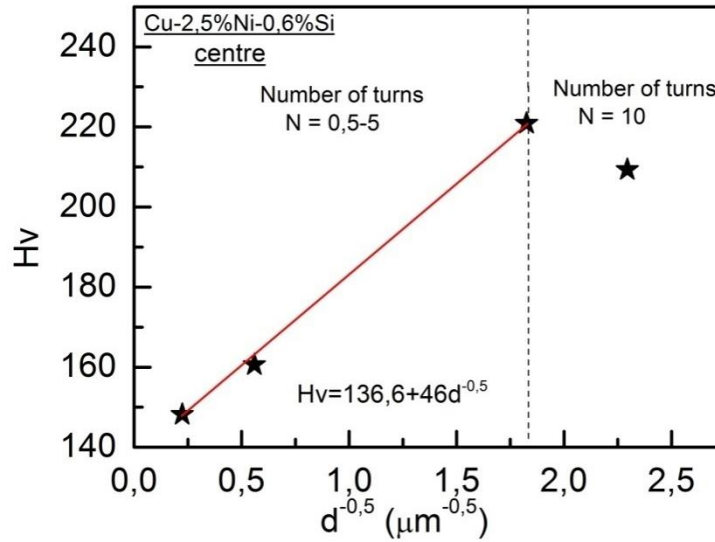
في هذا الفصل سنتطرق إلى دراسة بعض المقالات لنرى مدى صلاحية علاقة Hall-Petch لبعض المواد بمختلف البنيات البلورية في حالتها المتشوه وإعادة البلورة.

1-II المواد ذات البنية البلورية ممرضة السطوح (CFC)

1-1-II في حالة التشوه :

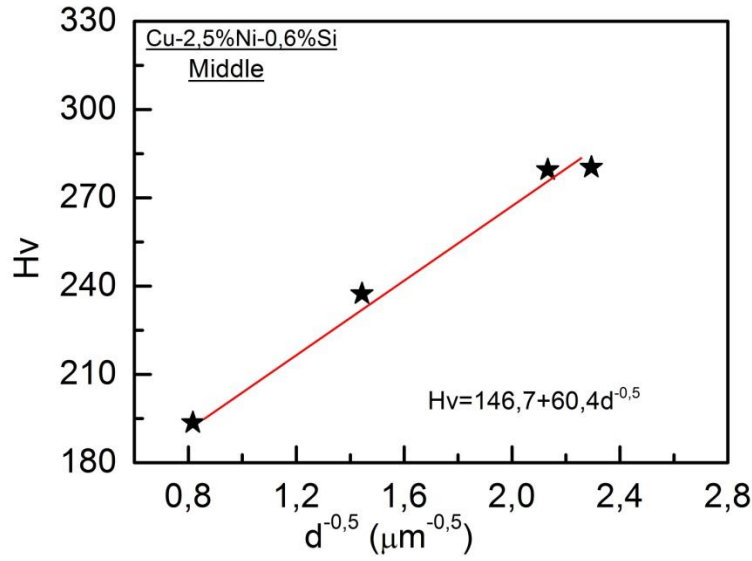
• مقالة Khereddine_JALCOM_2013:

تناولت هذه المقالة تجربة تشوه لسبيكة النحاس والنيكل والسيلكون في درجة حرارة الغرفة عن طريق التواء عالي الضغط (HPT high-pressure torsion) بعد عدد اللفات الآتية : 0,5, 1, 5, 10 [1]. العينات عبارة عن أقراص قطرها 10 مم. تم قياس حجم الحبيبات والصلادة في مركز ووسط نصف القطر و قطر العينات. الأشكال 1-3 توضح منحنيات الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في مركز ووسط نصف القطر وقطر العينات.

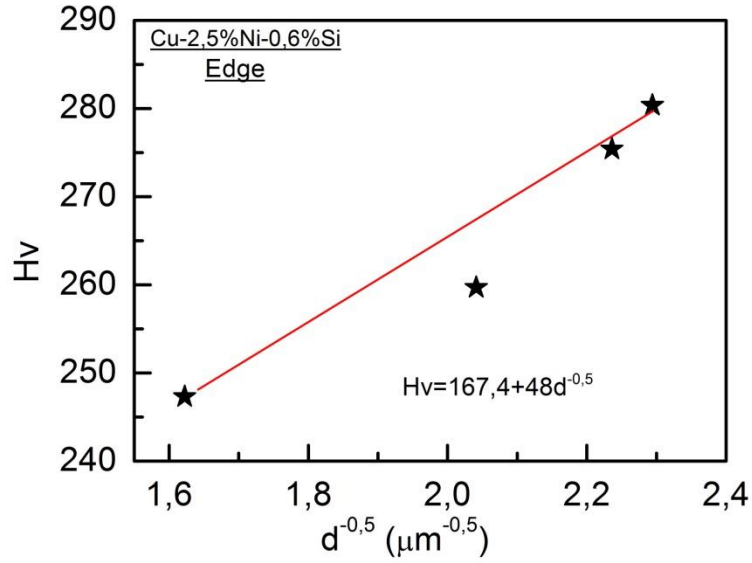


الشكل (1): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في مركز القرص .

النتائج التجريبية توضح أن علاقة Hall-Petch في مركز القرص محققة من اللفة 0.5 إلى اللفة 5 بينما في اللفة 10 غير محققة .



الشكل (2): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في وسط نصف القطر.



الشكل (3): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في قطر العينة.

في هذه المقالة وجدنا أن علاقة Hall-Petch محققة في القطر وموضع نصف القطر بينما غير محققة في مركز القرص وهذا يعود إلى إمكانية أن التشوه ليس متجانس حيث تعطى معادلة التشوه ب:

$$\varepsilon = \frac{2\pi r N}{\sqrt{3} h} \dots (1)$$

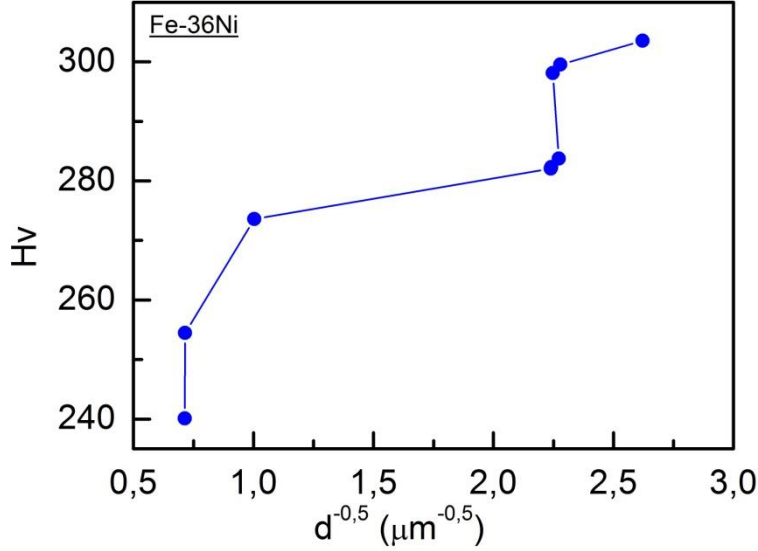
حيث N هو عدد اللفات، r هو البعد عن مركز القرص، h الارتفاع.

حسب هذه المعادلة فإن التشوه في مركز القرص صغير جدا مما يعطي ل N القدرة على التحكم في نسبة التشوه وهذا ما يفسر عدم تحقق علاقة Hall-Petch في المركز عند اللفة 10 على عكس موضع نصف القطر والقطر يكون r كبير

حتى في اللفات الصغيرة مما لا يسمح لعدد اللفات بالتحكم في نسبة التشوه وهذا ما يفسر تحقق علاقة Hall-Petch في كل اللفات.

• مقالة Tirsatine_JALCOM_2014:

تناولت هذه المقالة تطور النسيج والبنية الدقيقة لسبائك الحديد والنيكل بعد التشوه عن طريق الترابط التراكمي (accumulative roll bonding, ARB) من 1 إلى 10 لفات [2].

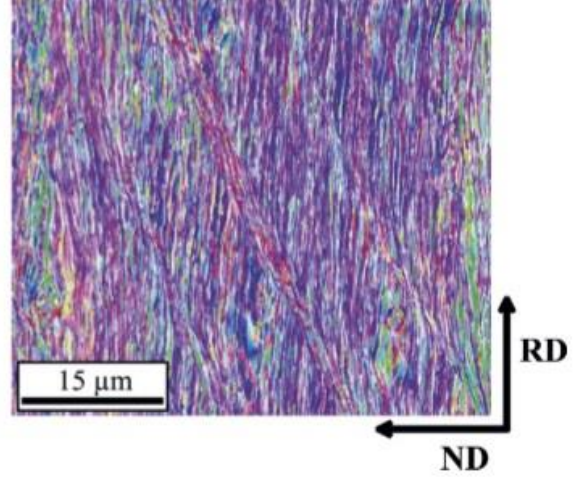
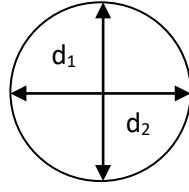


الشكل (4): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات .

تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه المقالة في الشكل (4) حيث يوضح عدم تناسب الصلادة مع الجذر التكعيبي العكسي لحجم الحبيبات وهذا مما يؤدي لعدم تحقق علاقة Hall-Petch.

الشكل (5أ) يوضح أن الحبيبات تكون بشكل طولي بعد التشوه عن طريق الترابط التراكمي على عكس فرضية علاقة Hall-Petch بأن الحبيبات عبارة عن أقراص متساوية الأقطار (equiaxe) كما هو موضح في الشكل (5ب)

مما يكون سبب عدم تحقق علاقة Hall-Petch في هذه المقالة .



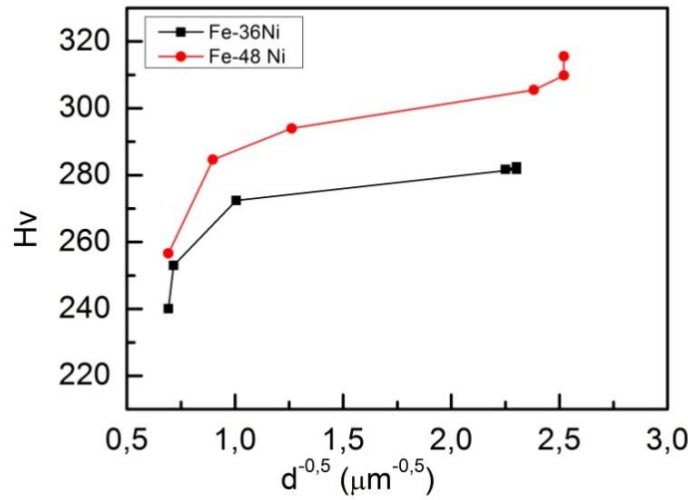
(ب)

(أ)

الشكل (5): (أ) تطور البنية المجهرية لسبائك الحديد والنيكل بعد التشوه [2] و (ب) تمثيل حبيبة على شكل قرص.

• مقالة Boudekhani_IOP_2018 :

في هذه المقالة تم فحص البنية الدقيقة والخصائص الميكانيكية لسبائك النيكل Fe-x (x = 36 and 48 wt.%) التي تم معالجتها عن طريق الترابط التراكمي حتى 6 لفات [3].

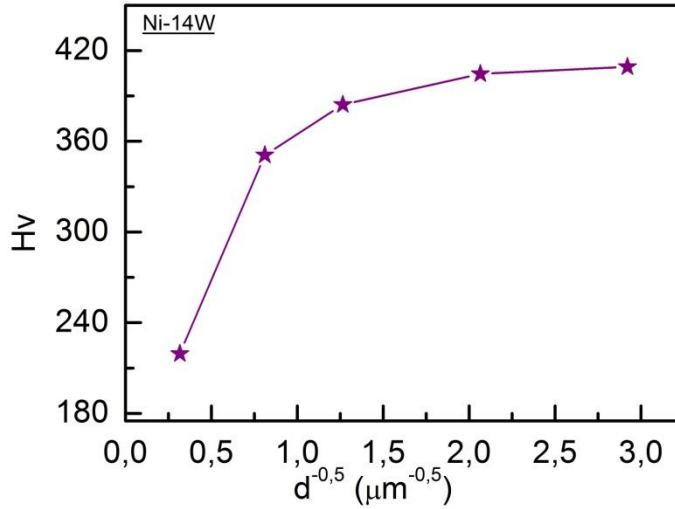


الشكل (6): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه المقالة في الشكل (6) وهو يوضح عدم تناسب الصلادة مع الجذر التكعيبي العكسي لحجم الحبيبات إذن عدم تحقق علاقة Hall-Petch لان المعالجة في هذه المقالة تمت عن طريق الترابط التراكمي وبهذا سيكون تفسير عدم تحقق هذه العلاقة نفس تفسير المقالة السابقة (مقالة Tirsatine_JALCOM_2014).

• مقالة boudekhani_JMEPEG_2018 :

في هذه الدراسة تم فحص البنية الدقيقة والخصائص الميكانيكية لسبائك النيكل (Ni-14W wt.%), التي تم معالجتها عن طريق الترابط التراكمي حتى 4 لفات [4].



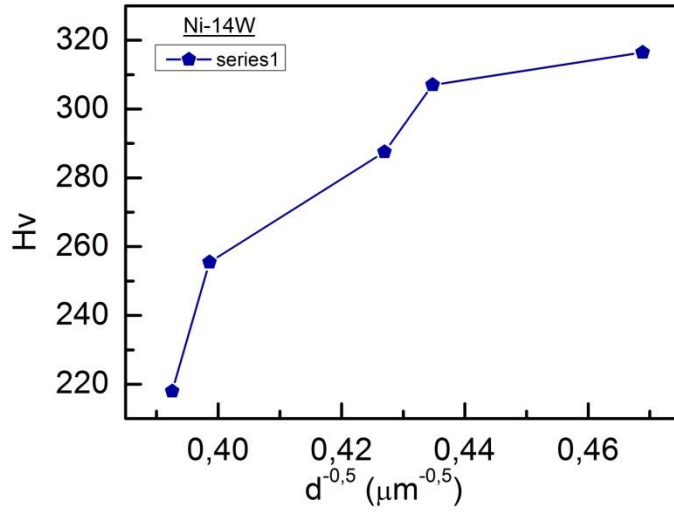
الشكل (7): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (7) وهو يوضح عدم تناسب الصلادة مع الجذر التكعيبي العكسي لحجم الحبيبات وهذا ما يفسر عدم تحقق علاقة Hall-Petch وهذا يعود إلى أن المعالجة في هذه المقالة تمت عن طريق الترابط التراكمي وبهذا سيكون تفسير عدم تحقق هذه العلاقة نفس تفسير مقالة (Tirsatine_JALCOM_2014).

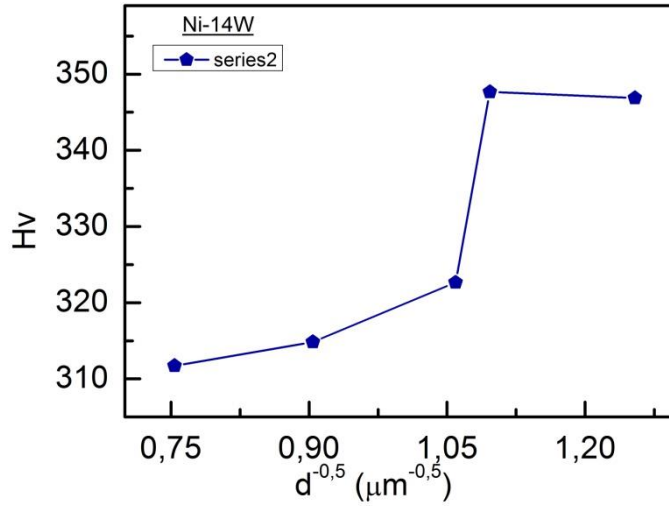
• مقالة Koriche_kovove_2018 :

في هذه المقالة تم دراسة البنية المجهرية وتطور الخواص الميكانيكية لسبائك (Ni-14W wt.%), مع إثنين من أحجام الحبوب الأولية المختلفة بعد ضغط الأخدود (CGP groove pressing) عند 450°C إلى 4 لفات, بحيث تميزت السلسلة الأولى بحبوب صغيرة متساوية الحجم والسلسلة الثانية تحتوي على حبيبات بشكل طولي [5].

. تم تلخيص النتائج التجريبية لدراسة السلسلة 1 والسلسلة 2 في الشكلين (8) و(9) وهما يوضحان عدم تحقق علاقة Hall-Petch .



الشكل (8): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لسلسلة 1.



الشكل (9): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لسلسلة 2.

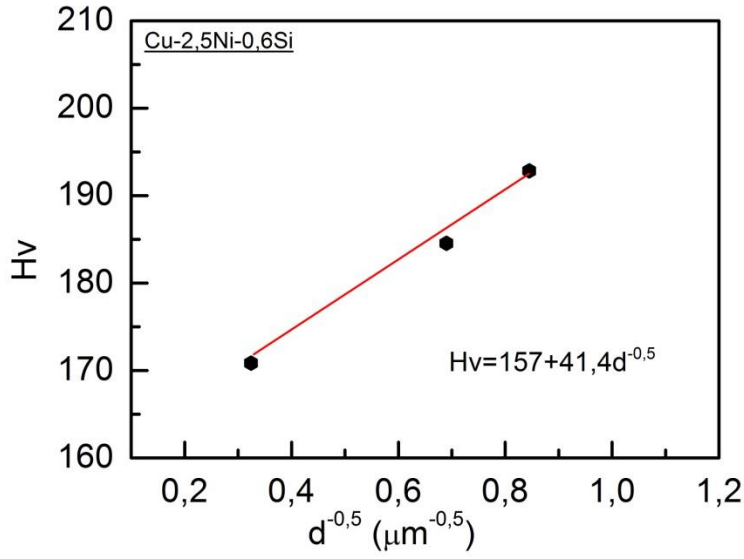
عدم تحقق علاقة Hall-Petch يعود لسببين:

السبب الأول أن (CGP) لم يشوه العينة بالشكل الكافي لأن حجم الحبيبات لم تتغير كثيرا في كلا السلسلتين .

أما السبب الثاني يعود طبيعة حجم الحبيبات الابتدائية (السلسلة 2) كما تم شرحه سابقا.

• مقالة Larbi_JalloysComp_2015

أجريت هذه التجارب لتقييم البنية المجهرية في سبيكة تجارية من النحاس (Cu-2.5Ni-0.6Si (wt.%) تمت معالجتها بالضغط الزاوي بقناة متساوية (ECAP equal-channel angular pressing) عند درجة حرارة 150°C من 1 إلى 12 تمريرة [6].

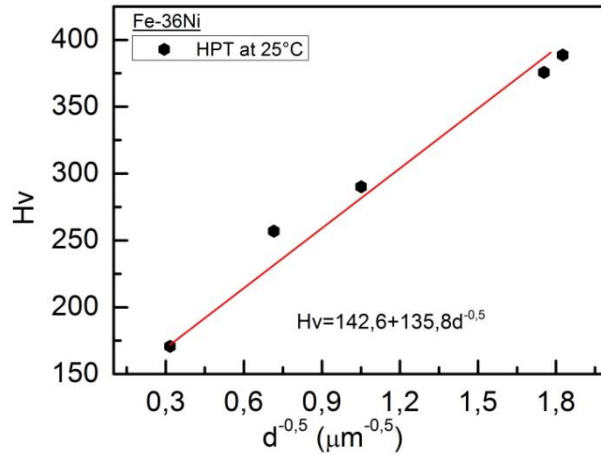


الشكل (10): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

الشكل (10) يمثل منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات وهو يوضح صلاحية علاقة Hall-Petch تحت هذه الشروط التجريبية.

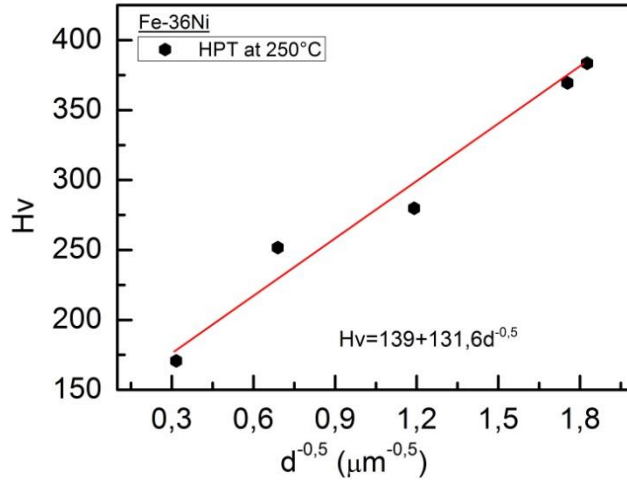
• مقالة Tirsatine_JALCOM_2018 :

الشكل (11) و(12) يمثلان منحنى الصلادة مع الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات للسبيكة Fe-36%Ni(wt.%) التي تمت معالجتها بواسطة التواء عالي الضغط حتى 10 لفات في درجة حرارة : 25°C و 250°C [7].



الشكل (11): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم حبيبات العينة المشوهة عند درجة الحرارة

.25°C

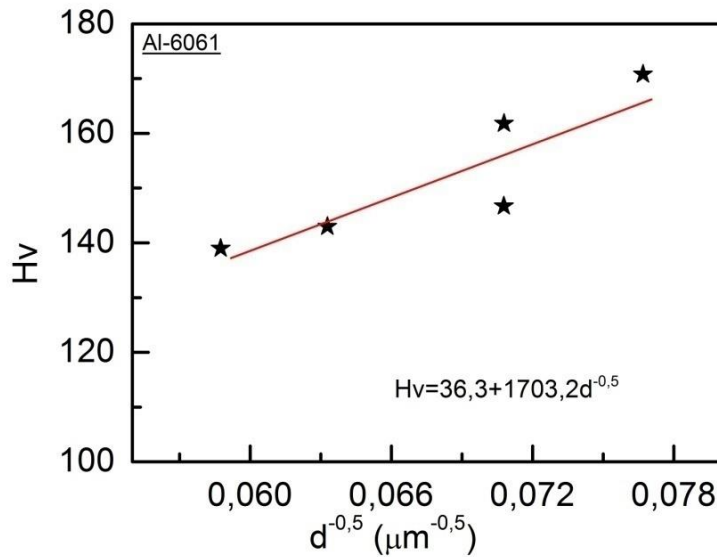


الشكل (12): منحني الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم حبيبات العينة المشوهة عند درجة الحرارة .250°C

في هذه المقالة نلاحظ أن علاقة Hall-Petch محققة في درجتى الحرارة 25°C و 250°C هذا يعني أن درجة الحرارة لم تؤثر في الحديد حيث أن حجم الحبيبات تقريبا متساوية في كلا درجتى الحرارة، لأن الحديد يتأثر بدرجة حرارة عالية جدا ابتداء من 600°C.

• مقالة Alhajeri_2016 :

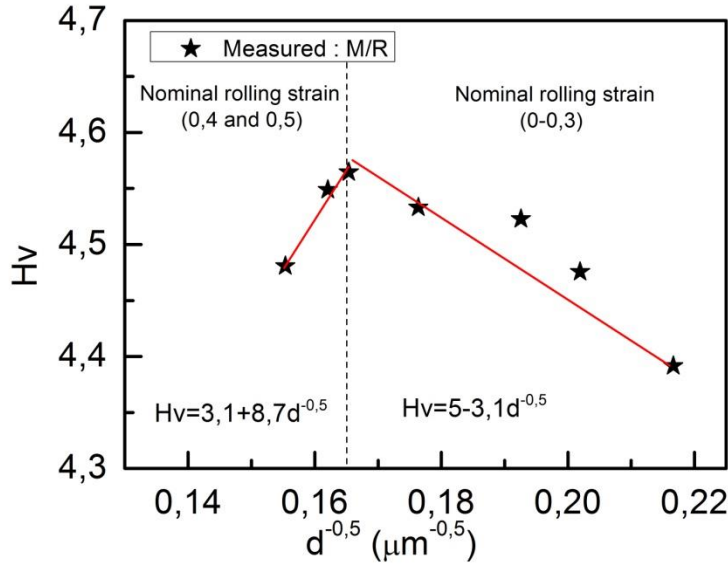
في هذه المقالة تم معالجة أقراص من سبيكة Al-6061 عن طريق التواء عالي الضغط عند درجة حرارة الغرفة وذلك من ¼ إلى 10 لفات [8]. تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (13) حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch محققة.



الشكل (13): منحني الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات .

• مقالة Wang_2018:

تناولت هذه المقالة القياس التجريبي المقدر بتطور الصلادة الدقيقة وحجم حبوب النيكل النانوي البلوري عن طريق الدرفلة (Rolling) في درجة حرارة الغرفة لوجهتين M/M وتمثل سطح تلامس السبيكتين اما الواجهة M/R تمثل سطح تلامس السبيكة مع أسطوانة الدرفلة [9].



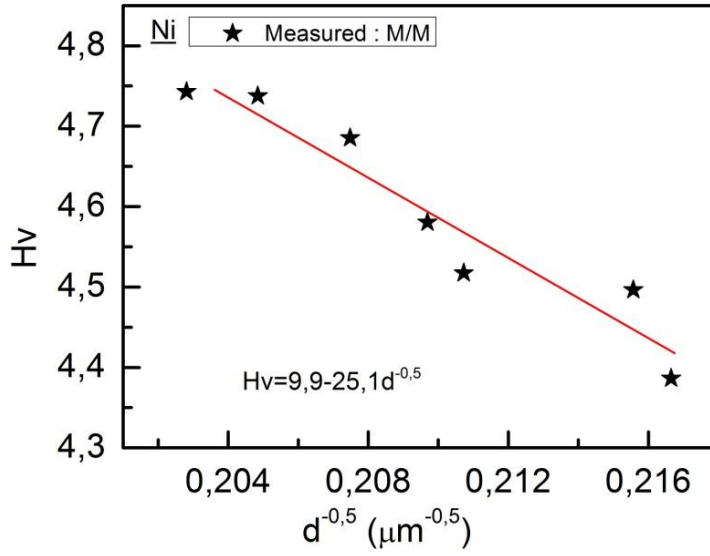
الشكل (14): منحني الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لواجهة M/R .

. تم تلخيص النتائج التجريبية لواجهة M/R في الشكل (14) حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch محققة ولكن

نلاحظ أن هناك مجالين :

المجال الأول [0-0.3] كان حجم الحبيبات صغير, تحققت علاقة Hall-Petch بصفة عادية .

المجال الثاني [0.5,0.4] كان حجم الحبيبات كبير جدا فنتج عنه إنعكاس لعلاقة Hall-Petch.



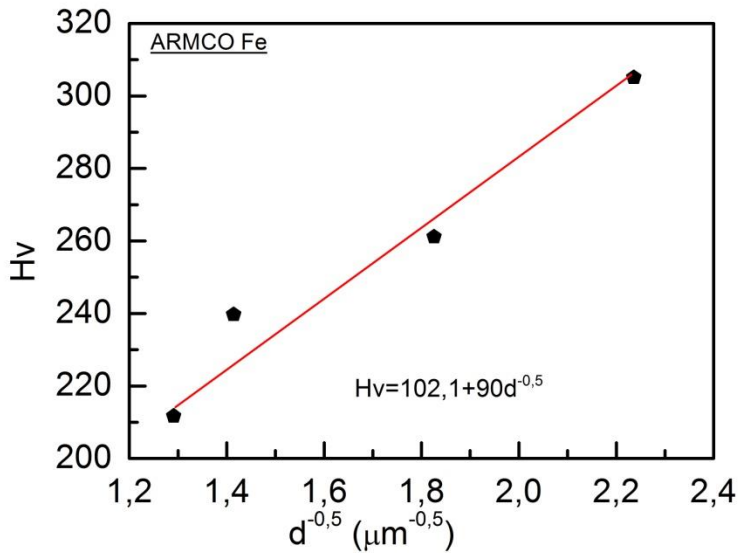
الشكل (15): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لواجهة M/M .

. تم تلخيص النتائج التجريبية لواجهة M/M في الشكل (15) حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch محققة.

• مقالة Poojitha_2021 :

في العمل التالي تم دراسة التأثير المشترك لضغط الأخدود والدرفلة على الباراد لصفائح FARMCO Fe [10].

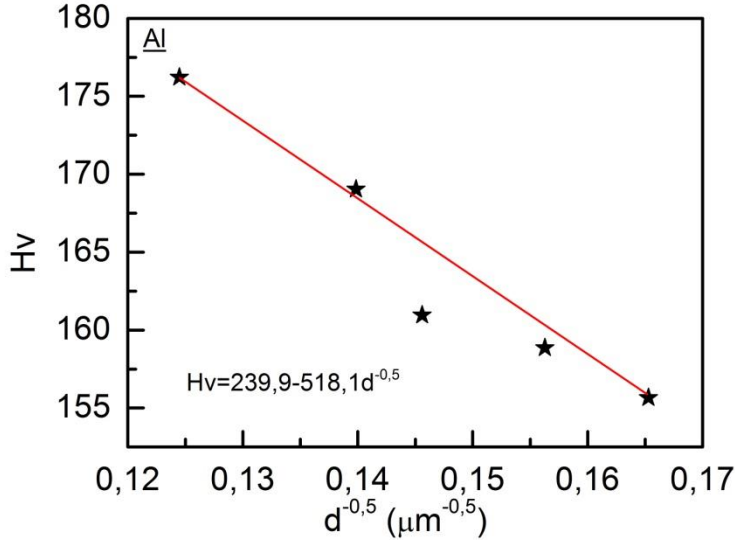
الشكل (16) يوضح صلاحية علاقة Hall-Petch تحت هذه الظروف.



الشكل (16): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

• مقالة Zheng_2020 :

تم دراسة تأثير الدرفلة على حجم الحبيبات والصلادة لسبائك الألمنيوم في درجة حرارة 450-480°C [11].
تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (17) حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch محققة.



الشكل (17): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

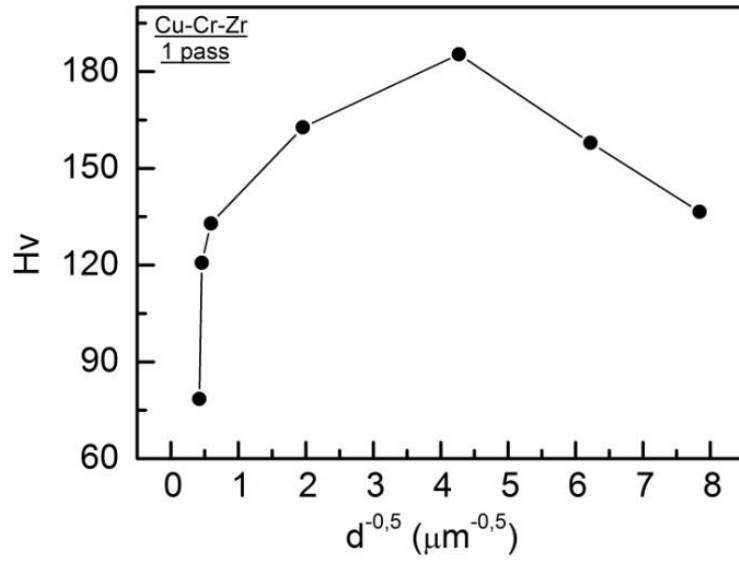
II-2-1 في حالة إعادة البلورة

• مقالة Abib_Mater.Chara_2016 :

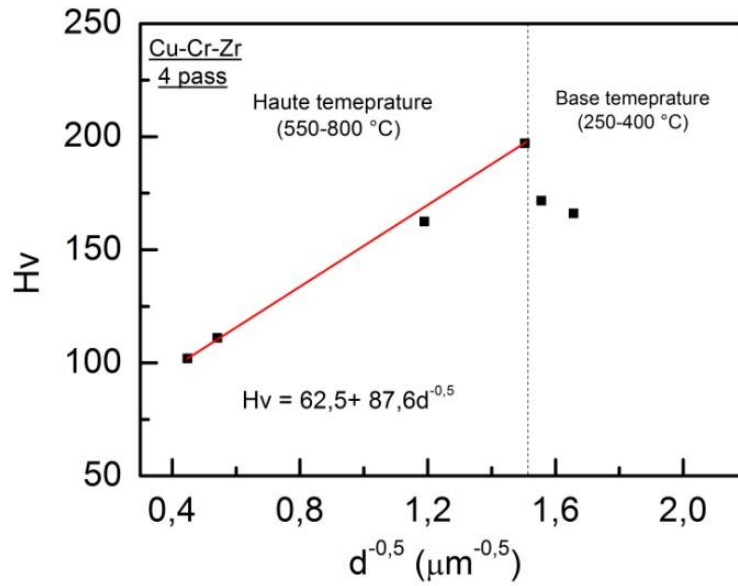
تم فحص الثبات الحراري لسبيكة Cu-Cr-Zr بعد معالجتها بضغط زاوي متساوي القناة لتمريرة واحدة, أربع تمريرات و 16 تمريرة والتسخين في المجال (250-850 C°) لمدة ساعة [12]. الأشكال (18) (19) (20) تمثل: منحنيات الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لتمريرة واحدة و 4 و 16 تمريرة.

عدم تحقق علاقة Hall-Petch في التمريرة الأولى يعود إلى أن التشوه كان صغير جدا وهذا يعني أن حجم الحبيبات لم تتشكل بعد, زيادة على وجود الرواسب (précipites) [12].

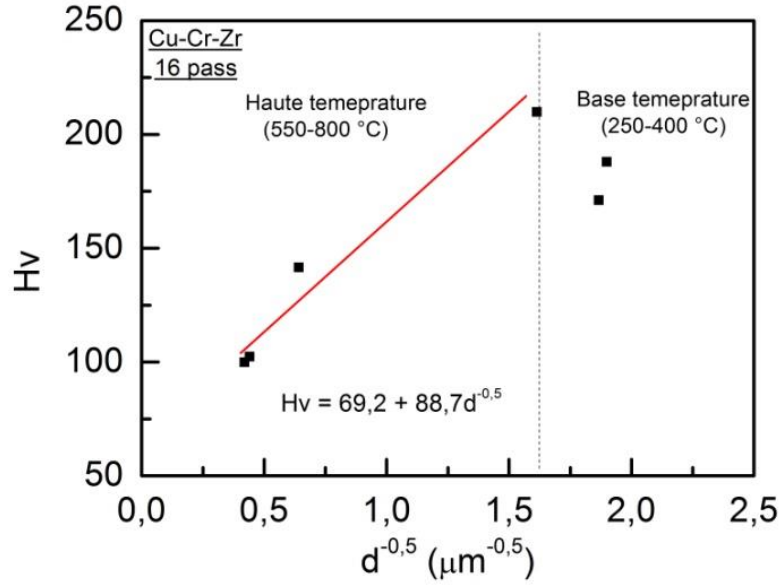
أما في التمريرتان 4 و 16 نقول انه يوجد تنافس بين حجم الحبيبات والرواسب حيث في المجال (250-400 C°) كان هناك تأثير الرواسب لأن الصلادة كانت تتزايد مما أدى إلى عدم تحقق علاقة Hall-Petch أما في المجال الثاني (C°) (550-800) اختفت الرواسب فبقي تأثير حجم الحبيبات فقط مما أدى إلى تحقق علاقة Hall-Petch.



الشكل (18): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لتمريرة واحدة .



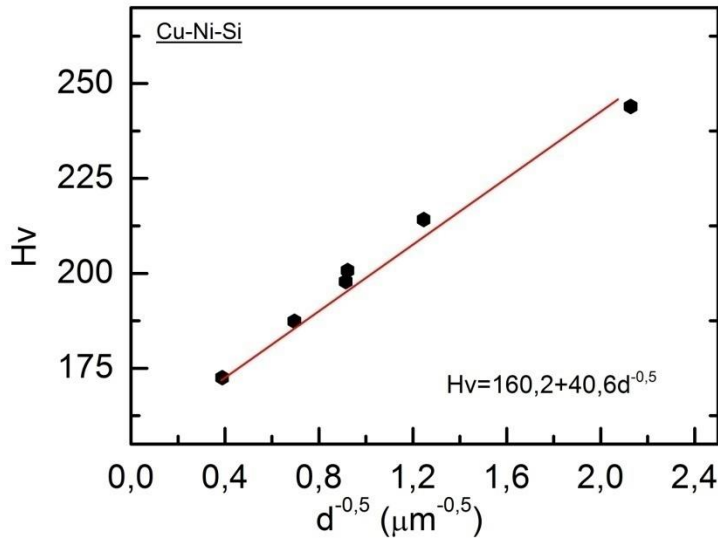
الشكل (19): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي ل 4 تمريرات .



الشكل (20): منحني الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي ل 16 تمريرة .

• مقالة Azzeddine_Phil.Mag._2020 :

في هذه المقالة تم فحص الطاقة المخزنة وطاقة التنشيط لإعادة تبلور سبيكة من النحاس والنيكل والسيليكون معالج بواسطة التواء عالي الضغط ل 1 و 1/2 و 5 و 10 لفات في درجة حرارة الغرفة [13].



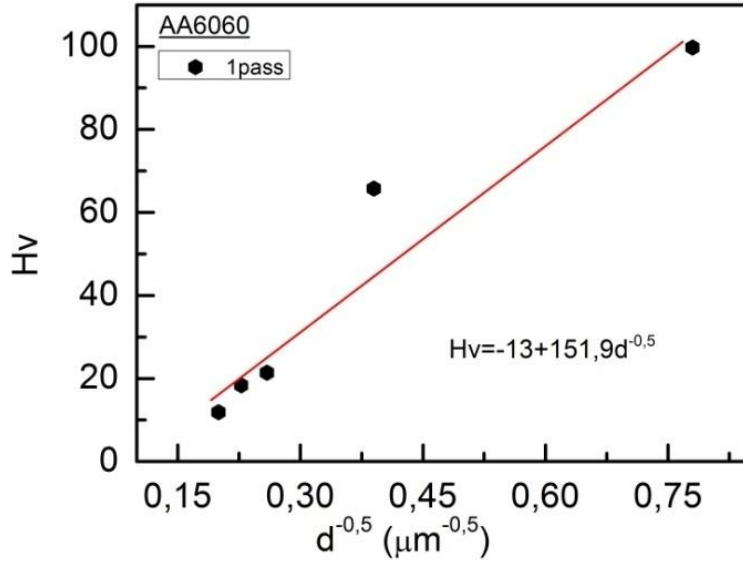
الشكل (21): منحني الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (21) كمنحنى للصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات وهذه النتائج التجريبية توضح أن علاقة Hall-Petch صالحة.

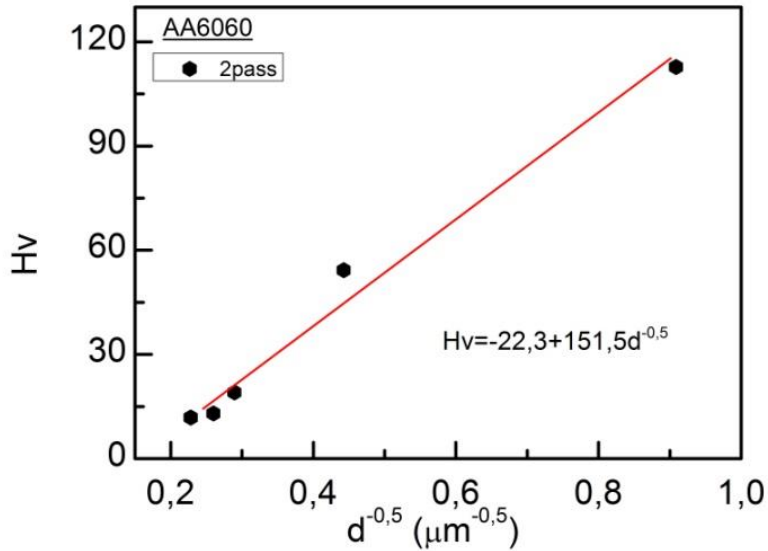
• مقالة Khelfa et al_JMEPEG_2021 :

في هذه المقالة تم دراسة الضغط الزاوي للقنوات المتساوية على البنية الدقيقة والصلادة لسبائك الالمنيوم AA6060 حتى 8 تمريرات وتسخينها في المجال الحراري (150-450°C) لمدة ساعة [14].

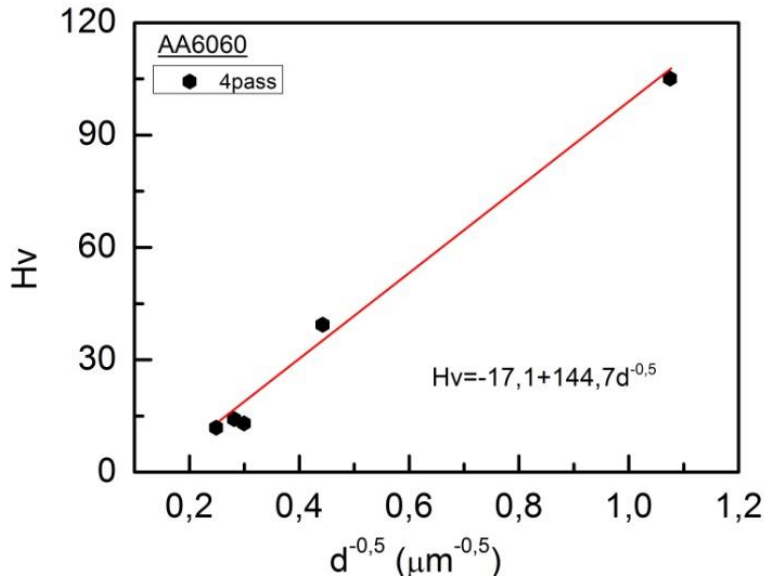
الأشكال (22)-(25) توضح أن علاقة Hall-Petch محققة في كل التمريرات.



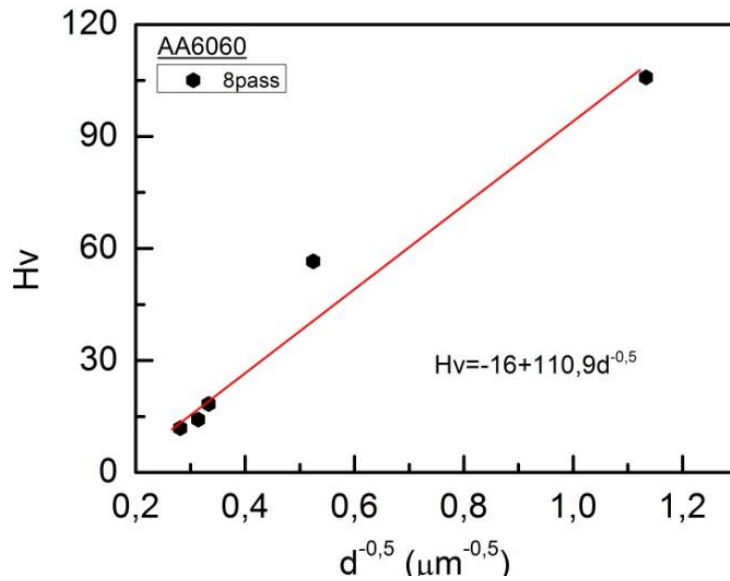
الشكل (22): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لتمريرة واحدة.



الشكل (23): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لتمريرتان.



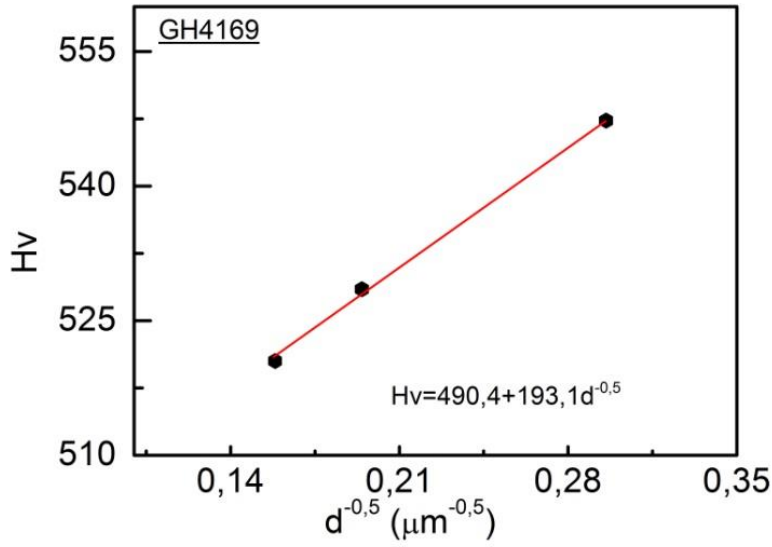
الشكل (24): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات ل 4 تمريرات.



الشكل (25): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات ل 8 تمريرات.

مقالة Guan Qiang Wang_2021

تم دراسة آثار معالجة التشوه على تطور البنية المجهرية والصلادة الدقيقة لسبائك GH4169 أثناء معالجة التلدين عند 900°C ل 0 ساعة و 12 ساعة و 24 ساعة [15].



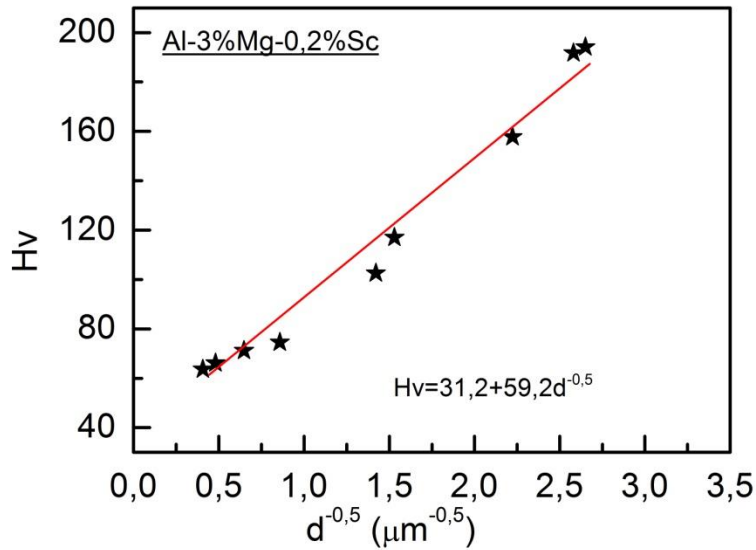
الشكل (26): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

. تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (26) حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch محققة.

• مقالة Pedro_Henrique_2017 :

في هذه المقالة تم معالجة سبيكة Al-3%Mg-0.2%Sc بمحلول وتعريضها لـ 10 لفات من الالتواء عالي الضغط , بعد ذلك تم تليدين المادة المعالجة لمدة ساعة واحدة عند درجات حرارة تتراوح بين 150-500°C وتم فحص خواصها الميكانيكية والبنية المجهرية لها [16].

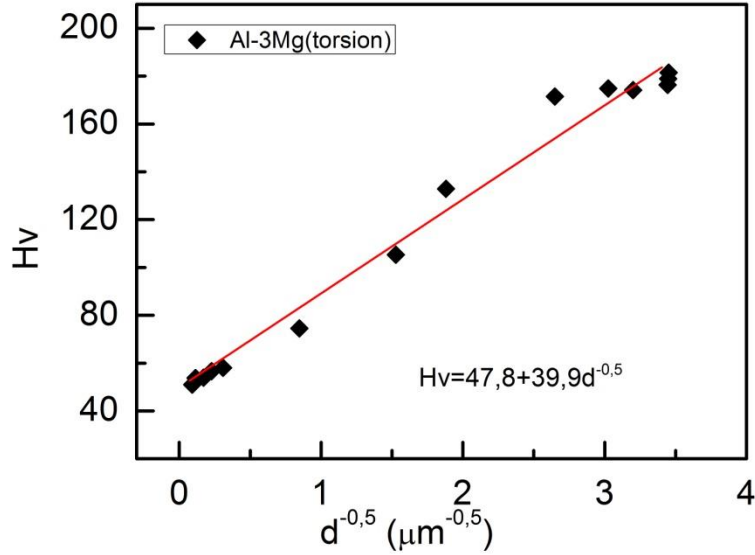
الشكل (27) يُلخص النتائج التجريبية لهذه الدراسة حيث تظهر أن علاقة Hall-Petch صالحة.



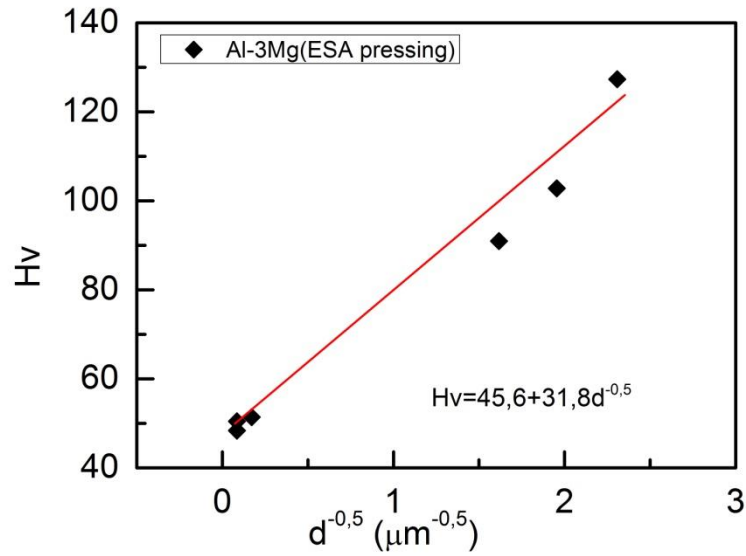
الشكل (27): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

• مقالة M.Furukawa_1995:

تعرضت سبيكتين Al-3%Mg لتشوه شديد الأولى بإستخدام الضغط الزاوي والثانية لإجهاد الالتواء كلتا السبيكتين تم تلدينها في المجال الحراري 50-530°C لمدة ساعة [17].
الشكلين (28), (29) تمثل منحنيات الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات لسبيكتين. وهي توضح صلاحية علاقة Hall-Petch.



الشكل (28): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات



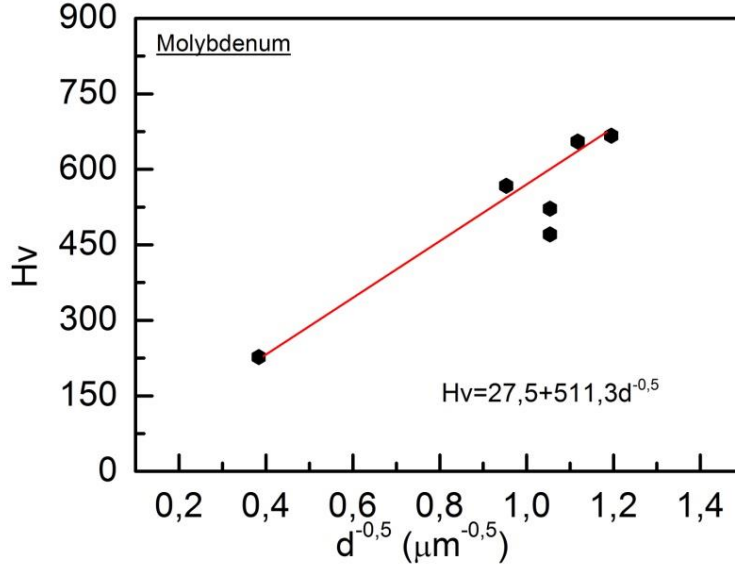
الشكل (29): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

2-II المواد ذات البنية البلورية ممرضة الجسم (CC)

1-2-II في حالة التشوه

• مقالة :Xue_Wang_2019

تمت معالجة الموليبدنيوم (Pure molybdenum) وهو معدن مقاوم للإنصهار عن طريق التواء عالي الضغط عند درجة حرارة الغرفة من 1/2 إلى 10 لفات [18].



الشكل (30): منحى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في مركز و حافة القرص .

الشكل (30) يمثل النتائج التجريبية لمركز و حافة القرص حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch صالحة.

3-II المواد ذات البنية البلورية ممرضة الجسم (HCP)

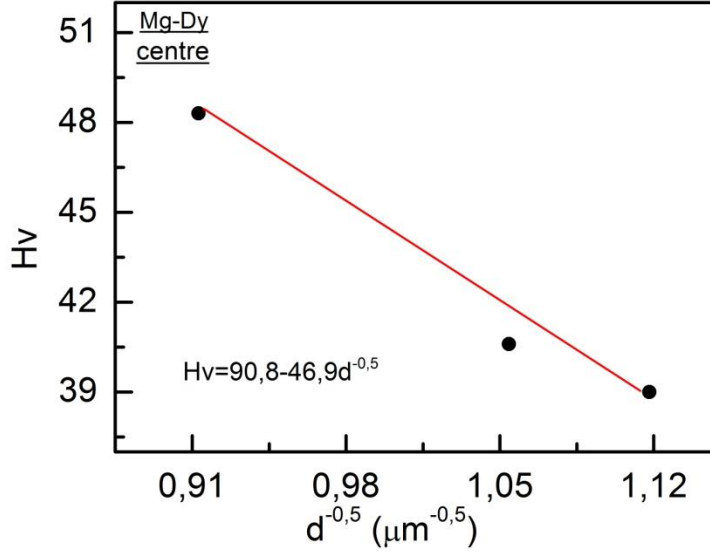
1-3-II في حالة التشوه

• مقالة :Hanna_JALCOM_2019

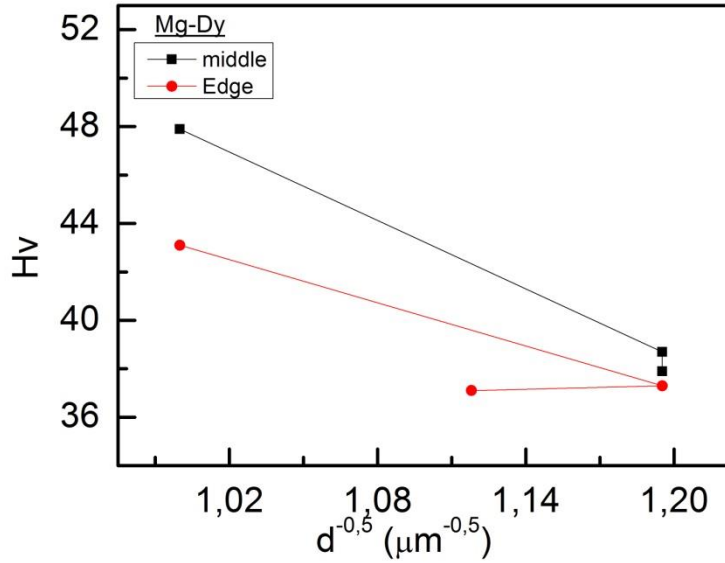
في هذه المقالة تم تقييم الخصائص التركيبية والميكانيكية لسبائك Mg-Dy بمعالجتها عن طريق التواء عالي الضغط في درجة حرارة الغرفة حتى 15 لفة, حيث تم قياس الصلادة وحجم الحبيبات في موضع نصف القطر ومركز و حافة الأقراص المشوهة [19]. الشكل (31) يمثل منحى للصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في مركز القرص وهو يوضح صلاحية علاقة Hall-Petch. أما الشكل (32) يمثل منحى للصلادة مقابل الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في القطر وموضع نصف القطر وهو يُبين أن علاقة Hall-Petch غير صالحة.

في مركز القرص علاقة Hall-Petch محققة لأن التشوه كان صغير تشكلت القليل من الانخلاعات إذن حجم الحبيبات نقص بنسبة قليلة أما في موضع نصف القطر والقطر كانت الحالة سريعة لأن التشوه كان عالي جدا وهذا ما يُفسر عدم تحقق هذه العلاقة نسبة للمعادلة التشوه(1).

في موضع نصف القطر والقطر تشكلت الحبيبات وكل ما زاد التشوه كلما كبر حجم الحبيبات وتسمى بإعادة البلورة ديناميكية.



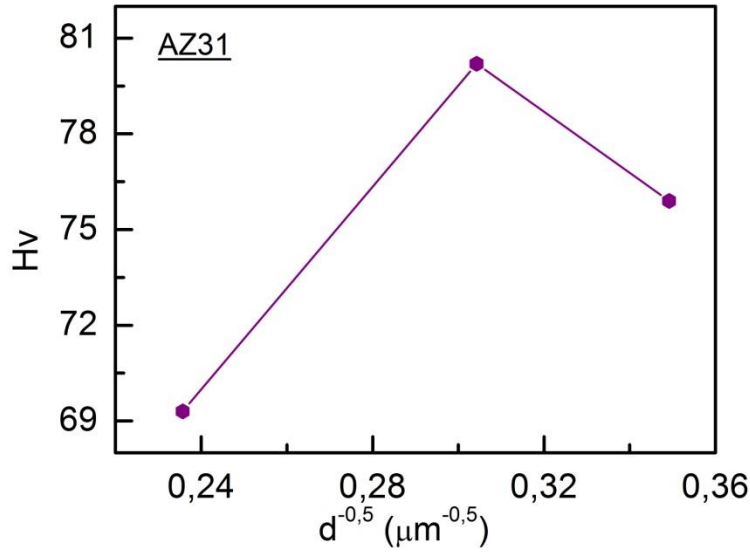
الشكل (31): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في مركز القرص .



الشكل (32): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات في القطر وموضع نصف القطر.

• مقالة Hanna_MRT_2019:

في هذه المقالة تم دراسة تأثير الدرفلة على الساخن على سلوك التآكل لسبيكة المغنيزيوم AZ31 عند درجة الحرارة 360°C [20]. تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه المقالة في الشكل (33) وهو عدم تحقق علاقة Hall-Petch وهذا لأن الدراسة تمت في درجة حرارة عالية (360°C) حيث كانت هناك إعادة البلورة ديناميكية إضافة إلى أن الدراسة لم تكن بالشكل الكافي لأن هناك ثلاث نقاط فقط.

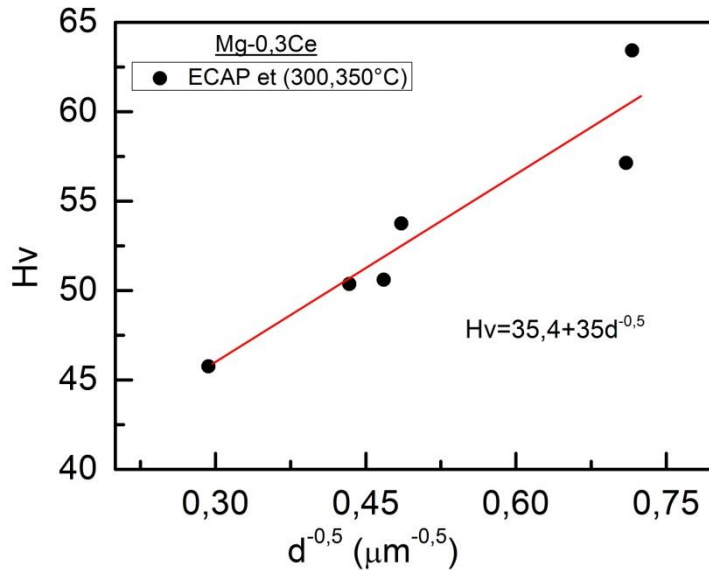


الشكل (33): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

• مقالة Sadi_Mat.Char_2021:

في هذه المقالة تم التحقيق في توصيف البنية المجهرية وتطور الخواص الميكانيكية لـ Mg-0.3Ce (wt.%) بعد معالجة الضغط الزاوي للقناة المتساوية عند درجتي الحرارة 300, 350°C لـ 4 تمريرات [21].

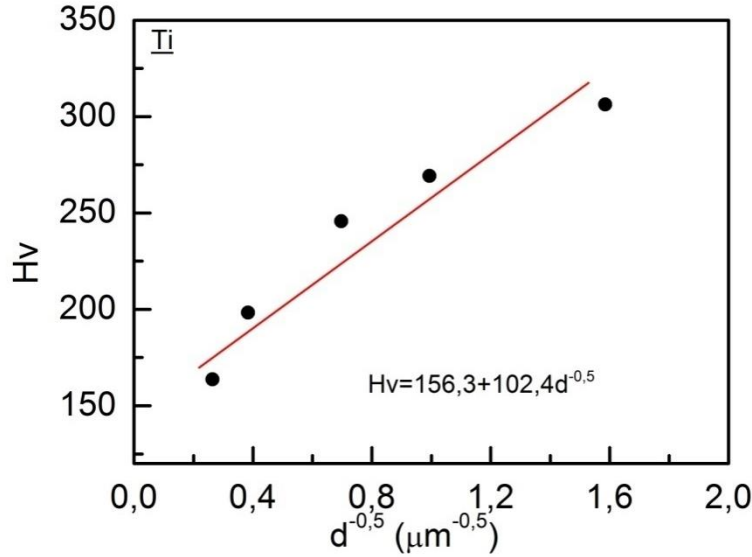
الشكل (34) يمثل منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات وهو يوضح صلاحية علاقة Hall-Petch.



الشكل (34): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

• مقالة S.Mironov_2022 :

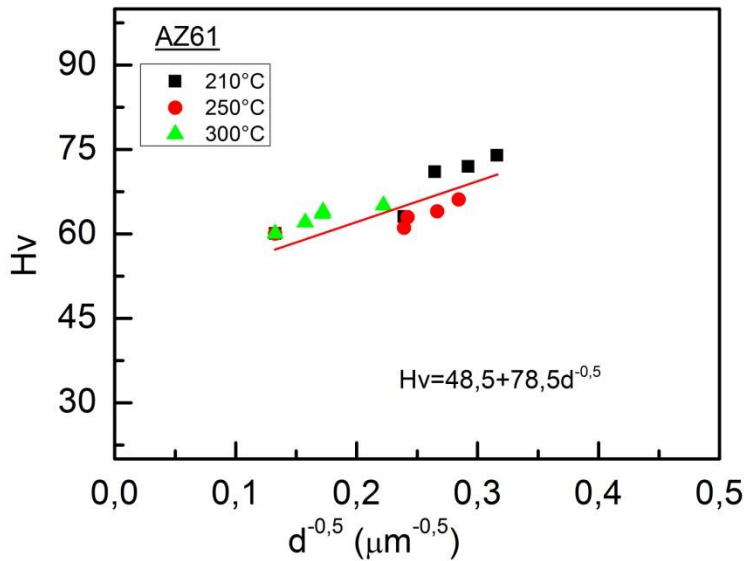
في هذه المقالة تم تحديد تطور البنية المجهرية لتيتانيوم المدلفن في درجة حرارة الغرفة [22]. حيث تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (35) وتظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch محققة.



الشكل (35): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

• مقالة Muralidhar_Avvari_2016 :

في هذه المقالة تم دراسة تطور البنية المجهرية في سبيكة AZ61 المعالجة بالضغط الزاوي للقناة المتساوية لأربع تمريرات في درجات الحرارة التالية : 210, 250, 300°C [23]



الشكل (36): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات عند درجة حرارة

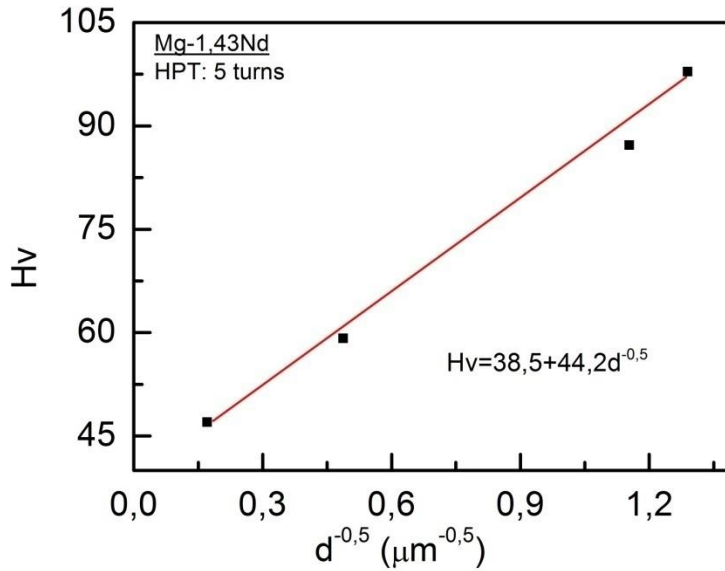
.210,250,300°C

. تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (36) حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch محققة.

II-3-2 في حالة إعادة البلورة

• مقالة Tighiouret_AdvEngMater_2019:

في هذه الدراسة تم التحقيق في تطور البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية لسبيكة Mg-1.4Nd(wt.%) بعد المعالجة عن طريق الالتواء عالي الضغط في درجة حرارة الغرفة من خلال خمس لفات وتليين متساوي الزمن لمدة ساعة واحدة عند (150-450°C)[24]. الشكل (37). يُلخص النتائج التجريبية لهذه الدراسة حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch صالحة.



الشكل (37): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

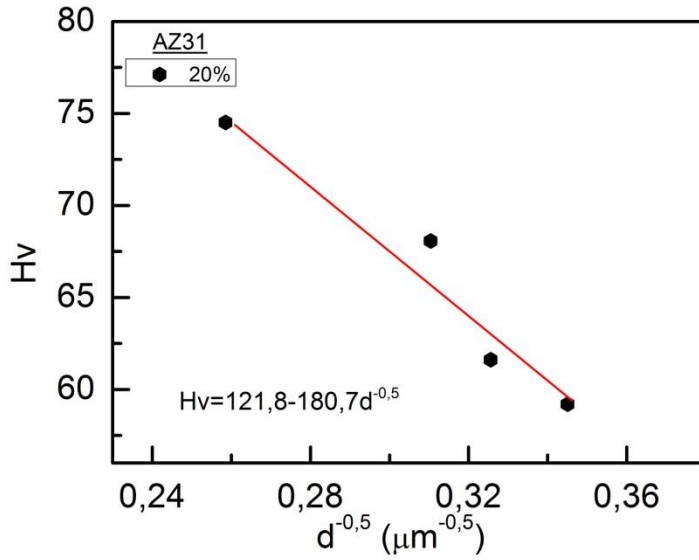
• مقالة Tighiouret_MCP_2021:

في هذه المقالة تم التحقق من البنية المجهرية وتطور الخواص الميكانيكية لسبائك AZ31 حيث تمت درفلة السبيكة على الساخن عند 350°C مع تقليل السماكة بنسبة (85,50,20%) متبوعا بتلدين وتسخين عند 350°C لمدة : 2, 10, 60 دقيقة [25]. الشكل (38) يمثل منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات للنسبة 20% أما الشكل (39) يمثل منحنى الصلادة مع الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات للنسبة 50 و 85% .

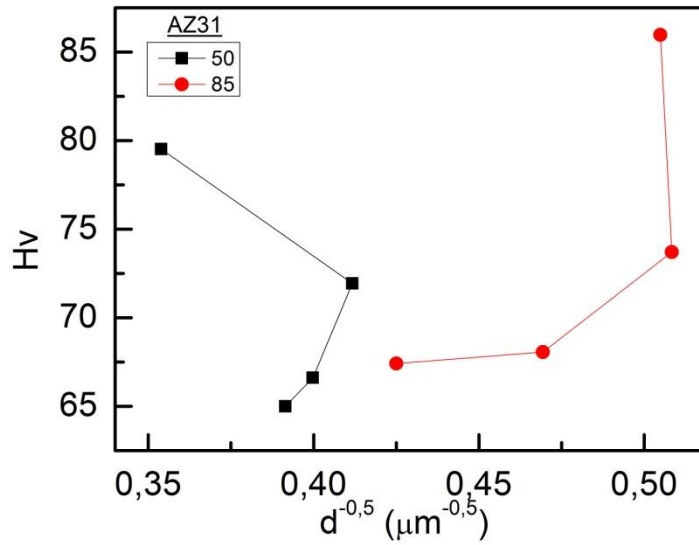
نلاحظ أن علاقة Hall-Petch محققة في النسبة 20% وهذا لأن إعادة البلورة ديناميكية كانت ضعيفة لأن التشوه ضعيف في الحالة الابتدائية أما في النسبتين 50 و 85% زادت إعادة البلورة لأن التشوه زاد ومنه عدم تحقق علاقة Hall-Petch.

الشكل (40) يوضح نسبة إعادة البلورة للعينات المشوهة عند 20% و 50% و 85% علما ان الحبيبات ذات اللون الأزرق تمثل الحبيبات المعاد بلورتها. كما هو ملاحظ فإن نسبة إعادة البلورة الديناميكية ضعيفة حيث تبلغ 7.2% في

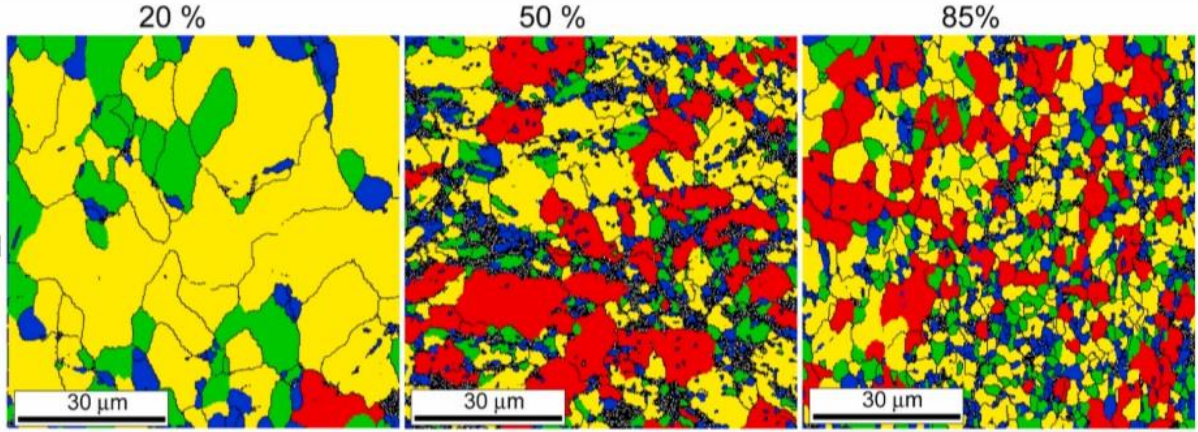
العينة المشوهة عند 20% وهذه النسبة تزداد مع تزايد نسبة التشوه لتبلغ 14% في العينة المشوهة عند 85%. بناءً على ذلك نستطيع القول انه إذا كانت نسبة إعادة البلورة ديناميكية ضئيلة فإن علاقة Hall-Petch محققة (علاقة عكسية).



الشكل (38): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات للنسبة 20%.



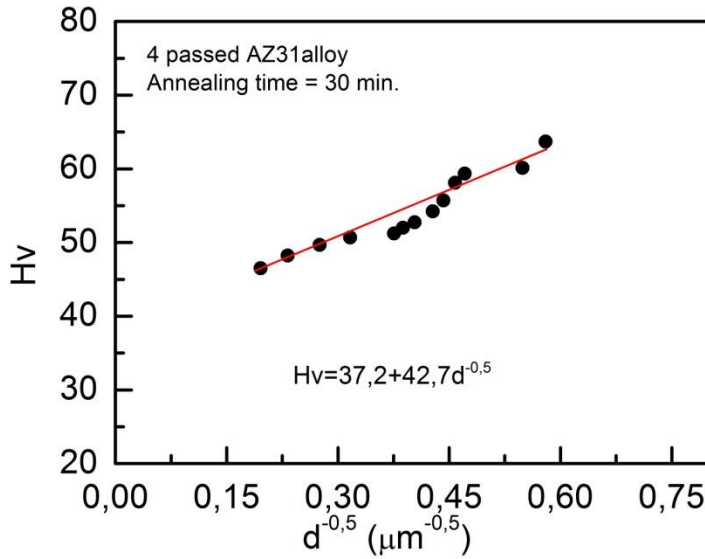
الشكل (39): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات للنسبة 50 و 85%.



الشكل (40): خرائط إعادة البلورة لسبيكة AZ31 المشوهة بنسبة 20% و 50% و 85% [23].

• مقالة 2004 _H.K.Kim:

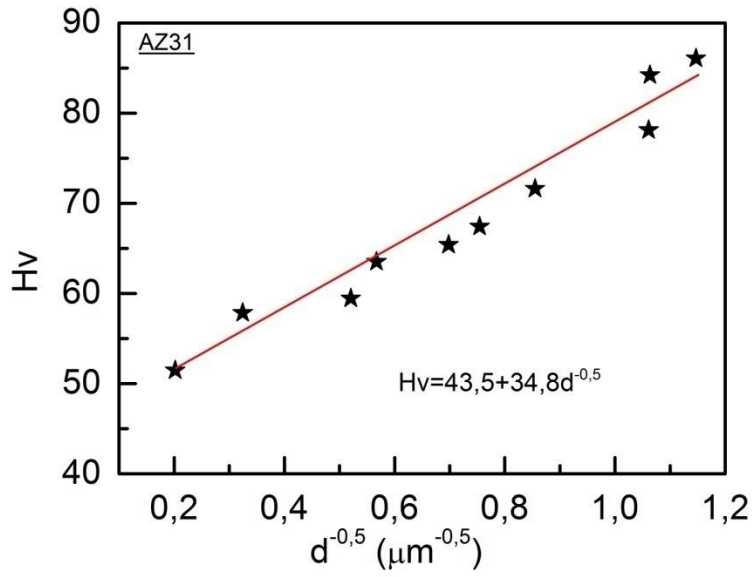
في هذه المقالة تم تطبيق تقنية الضغط الزاوي للقناة المتساوية على سبيكة AZ31 ل4 لفات متبوعا بالتلدين عند درجات الحرارة 200, 250, 320°C لمدة 10 دقائق [26]. تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (41) حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch صالحة.



الشكل (41): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

• مقالة 2014 _Jitka_Straska:

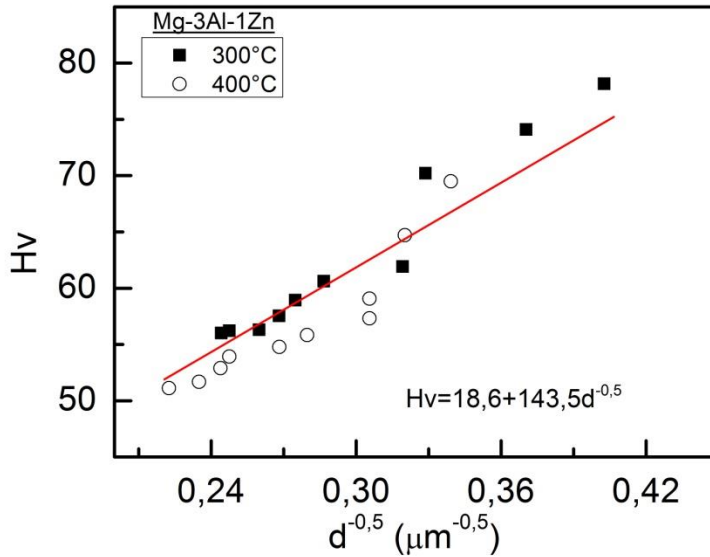
تم فحص الثبات الحراري والبنية المجهرية لسبيكة المغنيزيوم للحبيبات فائقة الدقة المعالجة بالبتق والضغط الزاوي للقناة المتساوية (Ex-ECAP) عند درجة حرارة 150-500°C لمدة ساعة واحدة [27]. تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (42) حيث تظهر هذه النتائج أن علاقة Hall-Petch محققة.



الشكل (42): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات.

• مقالة R.L.Doiphide_2015 :

في هذه الدراسة تم دراسة تطور البنية المجهرية عن طريق التذلين (Annealing) لسبائك Mg-3Al-1Zn عند درجة حرارة 300-450°C لمدة من 5 إلى 6000 دقيقة [28].
الشكل (43) يمثل منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات وهو يوضح صلاحية علاقة Hall-Petch.

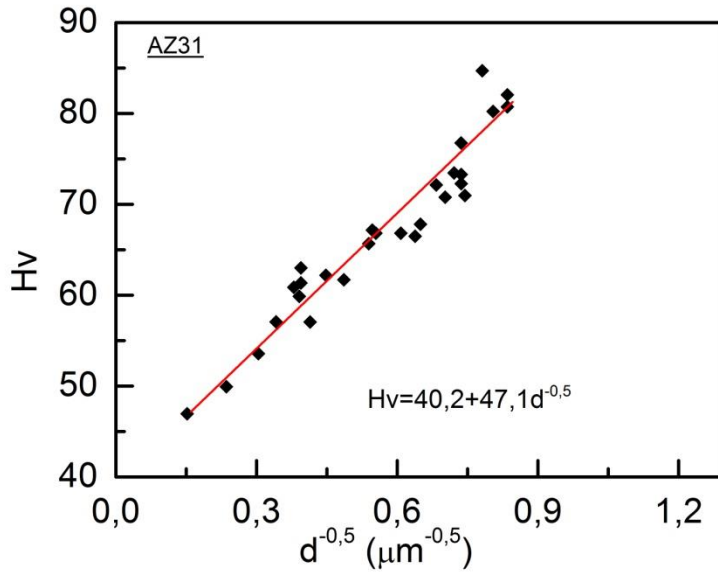


الشكل (43): منحنى الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات عند درجات الحرارة 300, 450°C.

• مقالة Livia_Raquel C_2015 :

في هذه المقالة تم دراسة تطور حجم الحبيبات والصلادة أثناء التلدين لسبيكة AZ31 المعالجة عن طريق التواء عالي الضغط في درجة حرارة الغرفة لـ 1/2, 1, 2, 3, 5, 7 دورات , وتمت تلدين العينات لمدة 1800 ثانية عند درجات الحرارة التالية : 100, 150, 200, 300, 400°C [29].

تم تلخيص النتائج التجريبية لهذه الدراسة في الشكل (44) حيث تظهر أن علاقة Hall-Petch صالحة.



الشكل (44): منحني الصلادة بدلالة الجذر التربيعي العكسي لحجم الحبيبات. .

المراجع

- [1] A. Y. Khereddine *et al.*, "Microstructures and textures of a Cu–Ni–Si alloy processed by high-pressure torsion," *J. Alloys Compd.*, vol. 574, pp. 361–367, Oct. 2013, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2013.05.051.
- [2] K. Tirsatine *et al.*, "Texture and microstructure evolution of Fe–Ni alloy after accumulative roll bonding," *J. Alloys Compd.*, vol. 610, pp. 352–360, Oct. 2014, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2014.04.173.
- [3] S. Boudekhani-Abbas *et al.*, "Texture, microstructure and mechanical properties evolution in Fe-x (x = 36 and 48 wt.%) Ni alloy after accumulative roll bonding," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 375, no. 1, p. 012034, Jun. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/375/1/012034.
- [4] S. Boudekhani *et al.*, "Microstructure, Texture, and Mechanical Properties of Ni-W Alloy After Accumulative Roll Bonding," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 27, no. 10, pp. 5561–5570, Oct. 2018, doi: 10.1007/S11665-018-3628-8.
- [5] S. Koriche *et al.*, "On the groove pressing of Ni-W alloy: microstructure, texture and mechanical properties evolution," *Kov. Mater. Mater.*, vol. 56, no. 05, pp. 313–323, 2018, doi: 10.4149/KM_2018_5_313.
- [6] F. Hadj Larbi *et al.*, "Microstructure and texture evolution in a Cu–Ni–Si alloy processed by equal-channel angular pressing," *J. Alloys Compd.*, vol. 638, pp. 88–94, Jul. 2015, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2015.03.062.
- [7] K. Tirsatine *et al.*, "An EBSD analysis of Fe-36%Ni alloy processed by HPT at ambient and a warm temperature," *J. Alloys Compd.*, vol. 753, pp. 46–53, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2018.04.194.
- [8] S. N. Alhajeri, K. J. Al-Fadhalah, A. I. Almazrouee, and T. G. Langdon, "Microstructure and microhardness of an Al-6061 metal matrix composite processed by high-pressure torsion," *Elsevier*, vol. 118, pp. 270–278, 2016, doi: 10.1016/j.matchar.2016.06.003.
- [9] H. Ni, H. Lv, Z. Wang, J. Zhu, and X. Zhang, "Comparative Study on Microstructural Stability of Pre-annealed Electrodeposited Nanocrystalline Nickel During Pack Rolling," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 13, 2018, doi: 10.1186/S11671-018-2749-1.
- [10] V. Poojitha, T. Raghu, and V. Pandurangadu, "Microstructure and Mechanical Behavior of ARMCO Fe Severely Plastically Deformed by Combination of Constrained Groove Pressing and Cold Rolling," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 30, doi: 10.1007/s11665-021-

06053-z.

- [11] J. Zheng, H. Liu, Y. Ren, and L. Zhu, "Effect of two-dimensional ultrasonic rolling on grain size and micro-hardness of 7075 aluminum alloy," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 106, no. 1–2, pp. 503–510, Jan. 2020, doi: 10.1007/S00170-019-04640-Y.
- [12] K. Abib, H. Azzeddine, K. Tirsatine, ... T. B.-M., and undefined 2016, "Thermal stability of Cu-Cr-Zr alloy processed by equal-channel angular pressing," *Elsevier*, Accessed: May 26, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580316302078>
- [13] H. Azzeddine *et al.*, "An investigation of the stored energy and thermal stability in a Cu–Ni–Si alloy processed by high-pressure torsion," *Philos. Mag.*, vol. 100, no. 6, pp. 688–712, Mar. 2020, doi: 10.1080/14786435.2019.1703055.
- [14] T. Khelfa *et al.*, "Effect of ECAP and Subsequent Annealing on Microstructure, Texture, and Microhardness of an AA6060 Aluminum Alloy," *Springer*, vol. 31, no. 4, pp. 2606–2623, Apr. 2022, doi: 10.1007/s11665-021-06404-w.
- [15] G. Q. Wang *et al.*, "Effects of Deformation Processing Parameters on the Microstructure Evolution and Microhardness of GH4169 Superalloy during Annealing Treatment," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 23, no. 8, p. 2100104, Aug. 2021, doi: 10.1002/ADEM.202100104.
- [16] P. Pereira, Y. Huang, T. L.-M. Research, and undefined 2017, "Examining the thermal stability of an Al-Mg-Sc alloy processed by high-pressure torsion," *SciELO Bras.*, Available: <https://www.scielo.br/j/mr/a/rHnsZGnp9HJ5TVYms8mcfvB/?format=html&lang=en>.
- [17] M. Furukawa, Z. Horita, M. Nemoto, R. V.-A. Materialia, and undefined 1996, "Microhardness measurements and the Hall-Petch relationship in an Al₃Mg alloy with submicrometer grain size, Available: <https://www.sciencedirect.com/science>.
- [18] X. Wang, P. Li, Y. Huang, N. Gao, and T. G. Langdon, "Microstructure and Microhardness Evolution in Pure Molybdenum Processed by High-Pressure Torsion," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 22, no. 4, p. 1901022, Apr. 2020, doi: 10.1002/ADEM.201901022.
- [19] A. Hanna *et al.*, "Evaluating the textural and mechanical properties of an Mg-Dy alloy processed by high-pressure torsion," *J. Alloys Compd.*, vol. 778, pp. 61–71, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2018.11.109.

- [20] A. Hanna, A. Dakhouche, ... K. T.-M., and undefined 2019, "Effect of hot rolling on the corrosion behavior of AZ31 magnesium alloy," *metallurgical-research.org*, Accessed: May 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.metallurgical-research.org/articles/metal/abs/2019/01/metal180061/metal180061.html>
- [21] S. Sadi *et al.*, "Characterization of microstructure and texture of binary Mg-Ce alloy processed by equal channel angular pressing," *Elsevier*, vol. 181, p. 111454, 2021, doi: 10.1016/j.matchar.2021.111454i.
- [22] S. Mironov, S. Zherebtsov, S. S.-J. of A. and Compounds, and undefined 2022, "The grain-refinement mechanism during heavy cold-rolling of commercial-purity titanium," *Elsevier*, Accessed: May 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838821040998>
- [23] M. Avvari, S. Narendranath, and M. Able, "Microstructure evolution in AZ61 alloy processed by equal channel angular pressing;," <http://dx.doi.org/10.1177/1687814016651820>, vol. 8, no. 6, pp. 1–9, Jun. 2016, doi: 10.1177/1687814016651820.
- [24] S. Tighiouaret *et al.*, "Thermal Stability of an Mg–Nd Alloy Processed by High-Pressure Torsion," *Wiley Online Libr.*, vol. 21, no. 12, Dec. 2019, doi: 10.1002/adem.201900801.
- [25] S. Tighiouaret *et al.*, "On the evolution of microstructure, texture and corrosion behavior of a hot-rolled and annealed AZ31 alloy," *Elsevier*, doi: 10.1016/j.matchemphys.2021.124598i.
- [26] H. Kim, W. K.-M. S. and E. A, and undefined 2004, "Microstructural instability and strength of an AZ31 Mg alloy after severe plastic deformation," *Elsevier*, Accessed: May 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509304008822>
- [27] J. Stráská, M. Janeček, J. Čížek, J. Stráský, and B. Hadzima, "Microstructure stability of ultra-fine grained magnesium alloy AZ31 processed by extrusion and equal-channel angular pressing (EX–ECAP)," *Elsevier*, vol. 94, pp. 69–79, 2014, doi: 10.1016/j.matchar.2014.05.013.
- [28] R. Doiphode, S. Murty, ... N. P.-J. of M., and undefined 2015, "Grain growth in calibre rolled Mg–3Al–1Zn alloy and its effect on hardness," *Elsevier*, Accessed: May 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213956715000778>

- [29] L. Malheiros, R. Figueiredo, T. L.-J. of Materials, and undefined 2015, "Grain size and microhardness evolution during annealing of a magnesium alloy processed by high-pressure torsion," *Elsevier*, Accessed: May 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785414000970>

الخاتمة

الخاتمة

لقد كان هدفنا هو دراسة صلاحية علاقة Hall-Petch في بعض المواد ذات البنية البلورية ممرضة الجسم وممرضة السطوح وكذلك المواد ذات البنية البلورية السداسية في حالتها التشوه وإعادة البلورة، وبعد دراسة مجموعة متنوعة من المقالات والتي عددها 29 وجدنا النتائج التالية :

- في المواد ذات البنية البلورية ممرضة السطوح (CFC):
علاقة Hall-Petch في حالة التشوه ليست محققة في جميع الحالات بسبب طبيعة الحبيبات كما تم ملاحظته في بعض المواد التي تم معالجتها باستعمال الترابط التراكمي (ARB).
أما في حالة إعادة البلورة فقد كانت علاقة Hall-Petch محققة في جميع الحالات المدروسة.
- المواد ذات البنية البلورية ممرضة السطوح (BCC):
كانت علاقة Hall-Petch صالحة في المقالة الوحيدة التي تم دراستها ولكن لا يمكننا التعميم.
- المواد ذات البنية البلورية السداسية (HCP):
عموما كانت علاقة Hall-Petch محققة وصالحة في حالتها التشوه وإعادة البلورة إلا في السبائك المشوهة والمتأثرة بنسبة عالية من إعادة البلورة الدينامية.
وأخيرا نستطيع القول أنه في المرة القادمة بإمكاننا توسيع مجال دراستنا لهذه المعادلة ومدى صلاحيتها بالإطلاع على المزيد من المقالات والمراجع خاصة بالنسبة للمواد ذات البنية البلورية ممرضة السطوح.

المخلص

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة مدى صلاحية علاقة Hall-Petch في مجموعة من المواد والسبائك المشوهة والمعاد بلورتها, حيث قمنا بتقسيم هذه المواد لثلاث أجزاء, الجزء الأول يضم المواد ذات البنية البلورية ممركرة السطوح والجزء الثاني فيه دراسة للمواد ذات البنية البلورية ممركرة الجسم أما الجزء الثالث والأخير كان مخصص للمواد ذات البنية البلورية السداسية. أظهر تحليل حوالي 29 منشورًا علميًا أن علاقة Hall-Petch صالحة عمومًا لجميع أنواع السبائك ماعدا في حالات خاصة كالسبائك المشوهة عن طريق الترابط التراكمي أو المتأثرة بإعادة البلورة الديناميكية.

Abstract

This study aims to investigate the validity of the Hall-Petch relation in deformed and recrystallized materials. The materials were divided into three parts according to their crystal structure: 1) materials with face-centered cubic structure (FCC), 2) materials with centered cubic structure (CC) and 3) materials with compact hexagonal structure (HCP). The analysis of about 29 scientific publications has shown that the Hall-Petch relation is generally valid for the 3 types of materials except in materials deformed by accumulative roll-bonding or those affected by dynamic recrystallization.

Résumé

Le but de cette étude est de connaître la validité de la relation Hall-Petch dans des matériaux déformés et recristallisés. Les matériaux ont été divisés en trois parties selon leur structure cristalline : 1) matériaux à structure cubique à faces centrées (FCC), 2) matériaux à structure cubique centrée (CC) et 3) matériaux à structure hexagonale compacte (HCP). L'analyse d'environ 29 publications scientifiques a montré que la relation Hall-Petch est généralement valable pour les 3 types de matériaux sauf dans les matériaux déformés par multicolaminage ou ceux par la recristallisation dynamique.