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

كلية: العلـــــــوم.
قسم : الفيـــــــزياء.
رقم: **PH/MAT/16/2022**

ميدان: عـــلـــــــوم المادة
فرع: الفـــيزيـاء.
تخصص: فيزياء المواد

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمـــي

إعداد الطالب(ة): دشوشة نجاة

تحت عنوان

دراسة تأثير الشروط التجريبية على تطور الصلادة لسبيكة أساسها المغنيسيوم

تمت المناقشة يوم / /2022 أمام اللجنة المكونة من:

صباح فتاح	جامعة المسيلة	رئيســا
هبة عز الدين	جامعة المسيلة	مشرفا و مقررا
بن سهيل الهام	جامعة المسيلة	مناقشا

السنة الجامعية: 2022/2021

شكر وتقدير

الحمد لله حمدا كثيرا على عظيم فضله وكثير عطائه لأنه وفقني لإتمام هذا البحث العلمي، والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى اله وصحبه أجمعين.

أتوجه بخالص عبارات الشكر والتقدير إلى أستاذتي المشرفة الأستاذة "هبة عز الدين" التي تابعت سير هذا البحث.

كما لا يفوتني أن أتوجه بالشكر إلى اللجنة المناقشة.

كما أتقدم بالشكر إلى زميلتي " أميرة بن الشيخ "

إهداء

اللهم لك الحمد قبل أن ترضي ولك الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا، نحمد الله عز وجل انه وفقنا إلى انجاز هذا العمل المتواضع.

إلي قرة عيني، إلى من جعلت الجنة تحت قدميها.....إلى التي حرمت نفسها وأعطتني، ومن حنانها أسقتني....أمي العزيزة حفظها الله وأدامها.

إلى من يزيدني انتسابي له وذكره اعتزازا وفخرا والى من سهر الليالي من اجل تربيتي وتعليمي، وجعلني أكبر لأصل لهذا اليوم فضيلة أبي العزيز.

إلى إخوتي الأحباء أدامهم الله سندا لي .

إلى من شاءت الأقدار أن تجمعني بهم حدائق الدراسة وتجعل منهم أخوات "صديقاتي العزيزات "

M....el

فهرس المحتويات

المقدمة العامة.....1

المراجع.....2

الفصل الأول :آليات التشوه في البنية السداسية

I-1 طرق التشوه اللدن.....4

I-1-1 الدرفلة.....4

I-2 آليات التشوه في البنية السداسية.....4

I-2-1 نظام الانزلاق في المغنيسيوم وسبائكه.....4

I-2-2 التوأمة.....6

I-2-2-أ أنواع التوأمة.....6

I-3 ظاهرة إعادة البلورة في السداسيات.....9

I-3-1 الترميم.....9

I-3-2 البلورة.....9

I-4 تأثير التشوه علي البنية المجهرية.....10

المراجع..... 11

الفصل الثاني : التقنيات التجريبية

II-1 عرض السبيكة المدروسة.....14

II- 2 التشوه اللدن عن طريق الدرفلة.....14

II-3 المعالجة الحرارية لإعادة البلورة.....15

II-4 تحضير العينات.....15

II-4-1 التلميع.....15

II-5 التوصيف بالمجهر البصري.....16

II- 6 التوصيف الميكانيكي لصلادة فيكرز(Vickers).....16

الفصل الثالث : النتائج التجريبية ومناقشتها

III-1 دراسة البنية المجهرية.....18

III-1-1 دراسة البنية المجهرية وحجم الحبيبات..... 18

III-2 العينة المستمرة والغير مستمرة.....19

III-3 الصلادة.....21

الخاتمة العامة.....24

قائمة الاشكال

الشكلI-1: يوضح عملية الدرفلة.....4
الشكلI-2: مختلف أنماط التشوه في المغنيسيوم 5
الشكلI-3: التوأمة في نظام بلوري سداسي.....6
الشكلI-4: رسم يوضح توأم الجر.....7
الشكل I-5: رسم يوضح توأم الضغط.....7
الشكلI-6: رسم يوضح توأم المزدوج.....8
الشكلI-7: a) بنية مجهرية لعينة Mg-Dy مشوهة b) بنية مجهرية تظهر توزع التوائم المختلفة في العينة.....8
الشكلI-8: : تأثير درجة الحرارة على CRSS لأنظمة الانزلاق في سبائك المغنسيوم.....9
الشكلI-9: مراحل مختلفة لعملية الترميم وإعادة البلورة.....10
الشكلI-10: a) البنية المجهرية الابتدائية b) البنية المجهرية بعد المعالجة بواسطة ECAP في درجة حرارة 350°C لأربع لفات لسبيكة Mg-Ce 11

الشكلII-1: صورة السبيكة المدروسة.....14
الشكل II-2: عينات AZ31 بعد عملية الدرفلة وانخفاض سمكها بنسبة 75%.....14
الشكلII-3:a) التلميع الميكانيكي b) التلميع الكهربائي.....15
الشكلII-4: مبدأ قياس صلادة فيكرز(Vickers).....16

الشكلIII-1: البنية المجهرية لسبيكة AZ31 a) الحالة الابتدائية b) الحالة المشوهة بعملية الدرفلة وانخفاض سمكها بنسبة 75%.....18
الشكلIII-2: البنية المجهرية لسبيكة AZ31 بعد الدرفلة ومعالجتها حراريا لمدة ساعة عند درجة حرارة 450°C
a) الحالة المستمرة b) الحالة الغير مستمرة c) حالة الماء 19
الشكلIII-3: توزيعات الحدود الحبيبة لسبيكة AZ31 المدرفلة والمعاد معالجتها لمدة ساعة في درجة حرارة°450
a) الحالة المستمرة b) حالة الماء c) الحالة الغير مستمرة.....20
الشكلIII-4: تطور الصلادة لسبيكة AZ31 بعد التشوه ومعالجتها في الحالة المستمرة والغير مستمرة وفي مجالات زمنية مختلفة عند 450°C.....21

قائمة الجداول

الجدولI-1: أنظمة الانزلاق في المغنسيوم وسبائكه.....5

الجدولII-1: التركيب الكيميائي لسبيكةAZ31 (الوزن%).....14 5..

الجدولIII- 1: متوسط حجم الحبيبات للحالات الثلاث.....20

الجدولIII-2: متوسط الصلادة ومعامل التجانس(IF) للحالات الثلاث.....22

المقدمة العامة

المقدمة العامة

عرفت سبائك المغنيسيوم والألمنيوم إهتمام متزايد في صناعة السيارات و الطيران (الشكل1)، كمواد خفيفة الوزن نظرا لكثافتها المنخفضة بين جميع المواد الإنشائية الشائعة (ρ_{Mg} = 1.73 g cm^{-3}, ρ_{Al} = 2.69 g cm^{-3}) [1].

رغم ذلك فان استخدام سبائك Mg المحتوية على الزنك والألمنيوم AZ31(Mg-3Al-1Zn) (بالوزن %) غير واسع المدى لعدم قدرته على التشكل في درجة حرارة الغرفة بسبب التركيب البلوري السداسي [2,3].

يعتبر تعديل البنية المجهرية للسبائك القائمة على المغنيسيوم عن طريق المعالجة الحرارية طريقة فعالة لتحسين قابليتها للتشكيل والتحكم في الخواص الميكانيكية عن طريق تقليل تباين الخواص. عادة يتم تحقيق ذلك من خلال تعزيز تنشيط أنظمة الانزلاق الغير قاعدية وحدوث عملية إعادة التبلور الميكانيكي [4-9].

الهدف من هذا العمل هو دراسة تطور البنية المجهرية لسبيكة AZ31 بعد الدرفلة على الساخن وانخفاض سمكها بنسبة 75% ومعالجتها حراريا لمدة 10 دقيقة، 30 دقيقة، 1 ساعة، وتحت شروط تجريبية مختلفة من حيث استعمال عينة واحدة أو مجموعة من العينات والتغيير في حالة السقاية.

تتمحور الأطروحة حول ثلاثة فصول الفصل الأول يقدم آليات التشوه في البنية السداسية وأثر التشوه علي البنية البلورية، الفصل الثاني يعرض التقنيات التجريبية، الفصل الثالث يعرض النتائج التجريبية ومناقشتها. وفي الأخير خاتمة تحتوي على أهم النتائج المتحصل عليها.

الشكل1: أمثلة عن تطبيقات استخدام سبيكةAZ31.

المراجع

[1] J. Hirsch, T. Al-Samman, Superior light metals by texture engineering: optimizedaluminum and magnesium alloys for automotive applications, Acta Mater. 61 (2013) 818–843.

[3] I. Aatthisugan, A. Razal Rose, and D. Selwyn Jebadurai, Mechanical and wear behaviour of AZ91D magnesium matrix hybrid composite reinforced with boron carbide and graphite, J. Magnes. Alloy., 5 (2017) 20–25.

[4] H. Azzeddine and D. Bradai, On the texture and grain growth in hot-deformed and annealed WE54 alloy, Int. J. Mater. Res., 103 (2012) 1351–1360.

[5] A. Atrens, G. L. Song, M. Liu, Z. Shi, F. Cao, and M. S. Dargusch, Review of Recent Developments in the Field of Magnesium Corrosion, Adv. Eng. Mater., 17 (2015) 400–453.

[6] S. Tighiouaret, R. Lachhab, A. Hanna, H. Azzeddine, Y. Huang, T. Baudin, A-Helbert, F. Brisset, D. Bradai, T.G. Langdon. Thermal Stability of an Mg–Nd Alloy Processed by High-Pressure Torsion. Advanced Engineering Materials 21 (2019) 1900801

[7] F. Guerza-Soualah, A. Hanna, H. Azzeddine, A.L. Helbert, F. Brisset, T. Baudi D. Bradai. Microstructural and textural investigation of an Mg-Dy alloy after hot plane strain compression. Journal of Magnesium and Alloys. Available only 24 June 2020 In Press.

[8] F. Guerza-Soualah, A. Hanna, H. Azzeddine, A.L. Helbert, F. Brisset, T. Baudin, D. Bradai. The deformation and recrystallization behaviour of an Mg-Dy alloy processed by plane strain compression. Materials Today Communications 24(2020) 101239.

[9] S. Abdessameud, H. Azzeddine, B. Alili, D. Bradai.On the grain growth in AZ31 alloy after uniaxial compression. Transactions of Nonferrous Metals Society China, 20 (2010) 2215-2222.

الفصل الأول:

آليات التشوه في البنية السداسية

I-1: التشوه اللدن

يؤدي تعرض المادة لعمل ميكانيكي مطبق لتشوه لدن يتم عن طريق الانزلاق مما يسبب تغير في الخصائص والبنية المجهرية عن طريق إعادة البلورة.

ومن طرق التشوه اللدن عملية الدرفلة

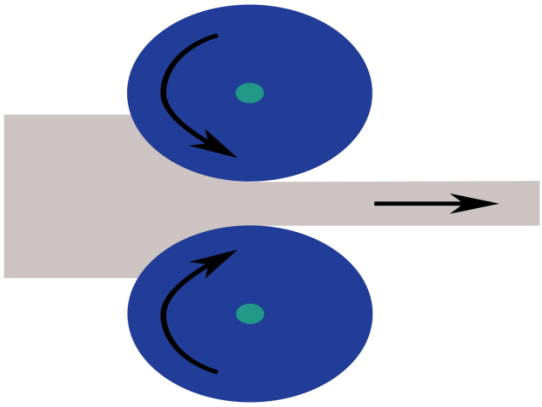
I-1-1:الدرفلة

الدرفلة هي عملية تشوه لدن، يتم تمرير صفيحة المعدن بين اسطوانتين تدوران عكس بعضهما البعض كما هو موضح في الشكل(I-1). الهدف منها هو تقليل سمك المعدن المراد درفلته والحصول على سطح أملس وتتم هذه العملية إما عن طريق البارد أو الساخن [1].

وتعطي نسبة إنخفاض سمك الدرفلة بالعلاقة التالية [1] :

$$\tau = \frac{e_0 - e_f}{e_0} \times 100 \qquad (1)$$

حيث e_0 سمك العينة قبل الدرفلة و e_f سمك العينة بعد الدرفلة.



الشكل I-1: يوضح عملية الدرفلة.

الدرفلة على الساخن: يتم تقليل سمك العينة بسرعة في درجة حرارة عالية غالبا أعلى من درجة حرارة إعادة البلورة. هذه الطريقة تنتج عنها ليونة المعدن.

الدرفلة على البارد: تكون في درجة حرارة الغرفة التي تكون اقل من درجة حرارة البلورة، تحتاج جهد كبير وطاقة عالية.

I-2 آليات التشوه في البنية السداسية

يمكن إنشاء تشوه دائم عن طريق انزلاق العيوب الخطية (الاضطرابات) وتعرف أيضا بالانزلاق البلوري والتوأمة. الآليات الرئيسية التي لوحظت في الهياكل السداسية المشوهة هي التوأمة والانزلاق البلوري.

I-2-1 نظام الانزلاق في المغنسيوم وسبائكه

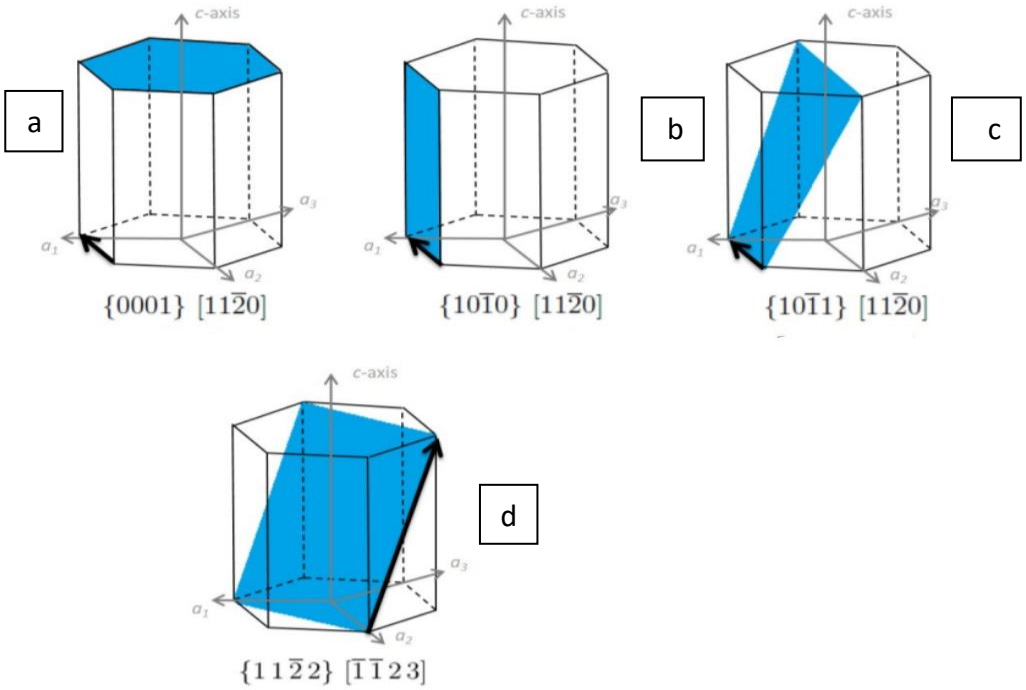
يتم تعريف نظام الانزلاق بواسطة مستوي واتجاه الانزلاق، لوحظ انزلاق الخلع في المستويات البلورية الكثيفة وفي هذه المستويات يتوافق اتجاه القص البلوري مع الاتجاهات البلورية ذات الكثافة الذرية العالية، الجدول (I-1) والشكل (I-2) يلخصان أنظمة الانزلاق الموجودة في المغنيسيوم وسبائكه [2,3].

الجدول I-1 :أنظمة الانزلاق في المغنسيوم وسبائكه [2,3]:

النظام	قاعدي	موشوري	هرمي	هرمي
المستوي	{0001}	$\{10\bar{1}0\}$	$\{01\ 1\bar{1}\}$	$\{1\bar{1}22\}$
الاتجاه	$<20\bar{1}1>$	$<20\bar{1}1>$	$<20\bar{1}1>$	$<32\bar{1}1>$

ـ أنظمة الانزلاق القاعدية والموشورية والهرمية من النوع الأول لها اتجاهات عمودية على المحورc وتعرف بأنظمة الانزلاق <a>، هذه الأنواع الثلاثة (القاعدية والموشورية والهرمية1) لها نفس اتجاه الانزلاق ولا تقبل الضغط أو الشد في درجة حرارة الغرفة لأنه يؤدي إلى انكسار المعدن.

ـ النظام الهرمي من النوع الثاني له اتجاه مختلف عن الأنواع الثلاثة السابقة ويعرف بنظام الانزلاق<a+c> لذلك هو الوحيد الذي يسمح بالتشوه على طول المحورc.



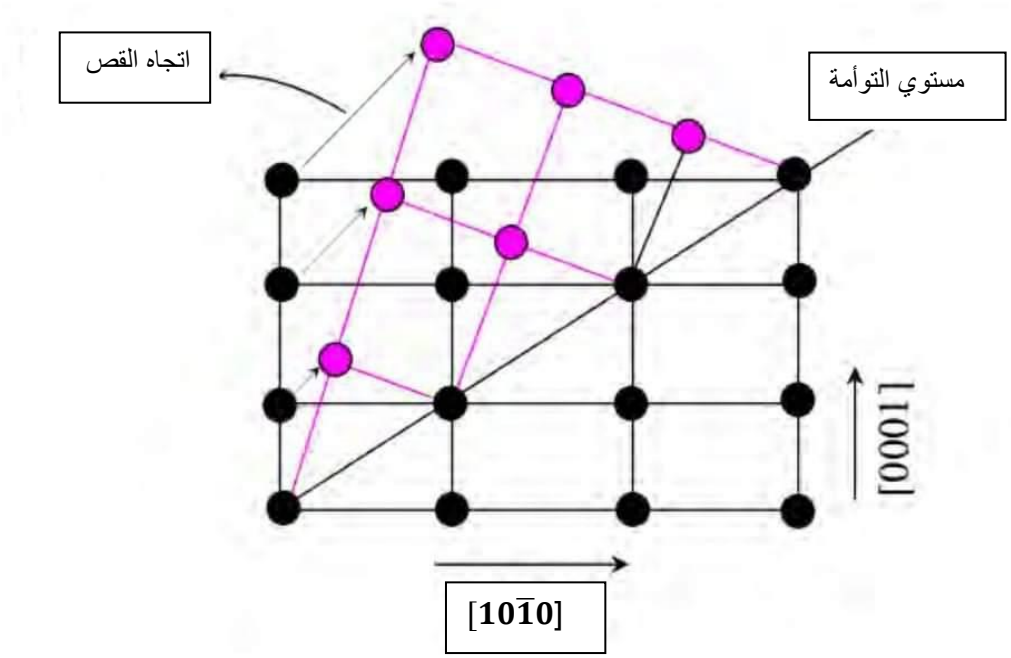
الشكلI-2: مختلف أنماط التشوه في المغنيسيوم.

a) الانزلاق القاعدي $\{0001\}<10\bar{2}0>$ ، b) الانزلاق الموشوري $\{10\bar{1}0\}<10\bar{2}0>$

c) الانزلاق الهرمي $\{10\bar{1}1\}<10\bar{2}0>$ ، d) الانزلاق الهرمي $\{10\bar{2}3\}<10\bar{2}2>$

I-2-2 التوأمة

هو نظام شائع جدا في السداسيات حيث يتم حدوث التشوه اللدن بواسطة قص جزء من المصفوفة بشكل متجانس استجابة للضغط الميكانيكي بحيث اتجاه المصفوفة في الجزء المزدوج هو صورة معكوسة للمصفوفة كما هو موضح في الشكل (I-3). غالبا ما تكون التوأمة نشطة عند التشوه على البارد للتعويض عن نقص أنظمة الانزلاق [4].

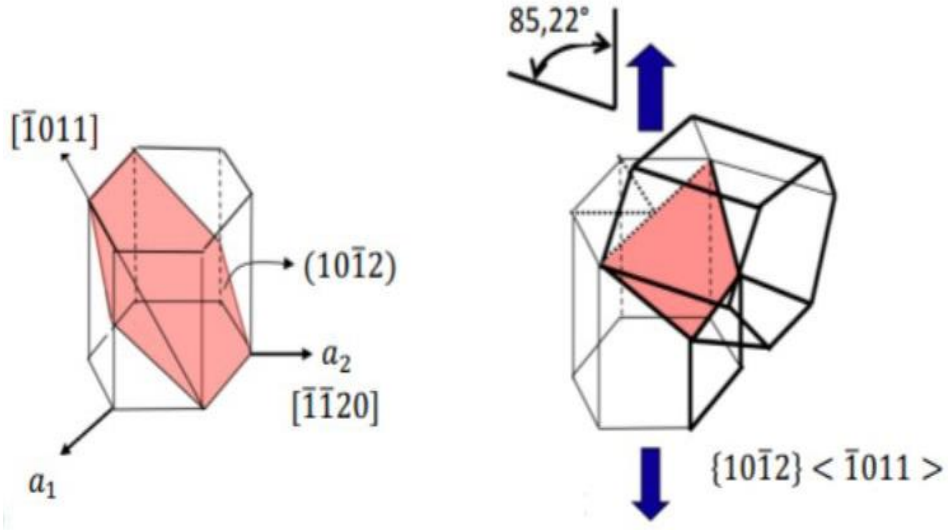


الشكل I-3: التوأمة في نظام بلوري سداسي [4].

I-2-2-a أنواع التوأمة

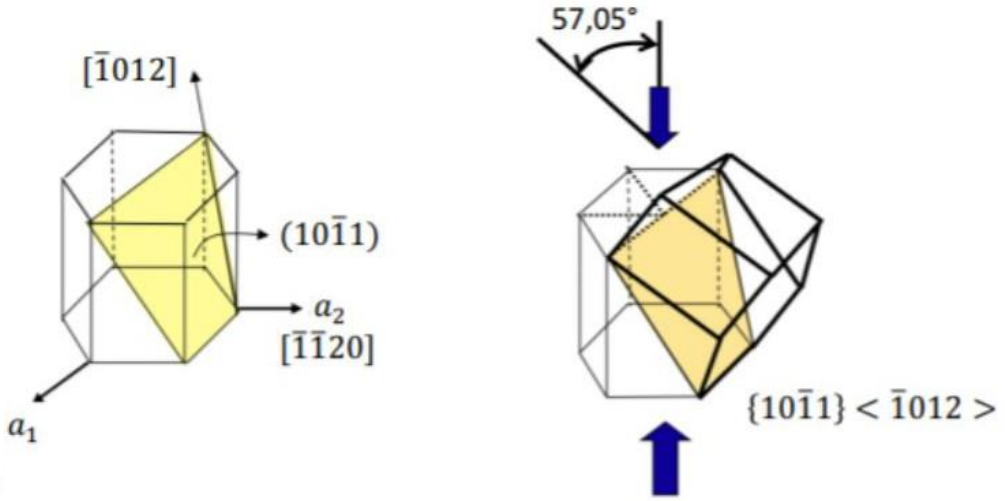
في حالة سبائك المغنسيوم يمكن تقسيم التوائم إلي ثلاثة أنواع حسب نمط الإجهاد:

- توائم الجر <10$\bar{1}$2> {10$\bar{1}$2} تظهر على المستوي {2 $\bar{1}$ 10} حيث يسمح لنا هذا النوع من التوائم بالاستطالة على طول المحور c، وبالتالي تحسين الاستطالة أثناء الشد وهذه العائلة هي الأكثر شيوعا من التوائم كونها الأسهل في التنشيط في سبائك المغنيسيوم. تؤدي توأمة الجر إلى دوران المستوي بزاوية قدرها 85,22° حول المحور c كما هو موضح في الشكل (I-4).



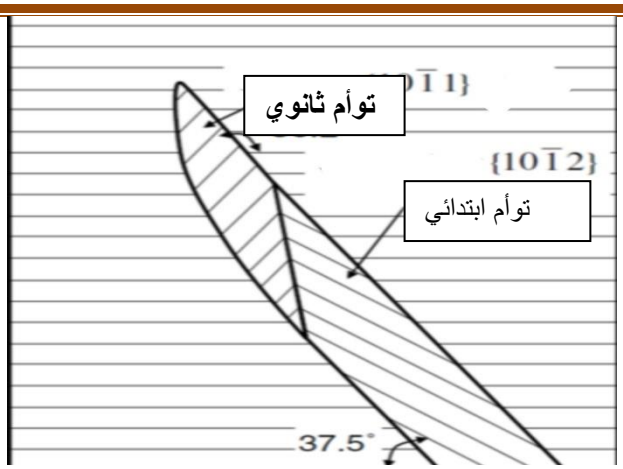
الشكلI-4:رسم يوضح توأم الجر[5].

- توائم الضغط $\{\mathbf{10\bar{1}\,2}\} < \mathbf{10\bar{1}\,1} >$ تظهر على المستوي$\{\mathbf{10\bar{1}\,2}\}$ بالضغط على المحور c. تؤدي توأمة الضغط إلى دوران المستوي بزاوية قدرها 57° حول المحورc كما هو موضح في الشكل (I-5). يسمح لنا هذا النوع من التوائم بالانكماش على طول المحورc.



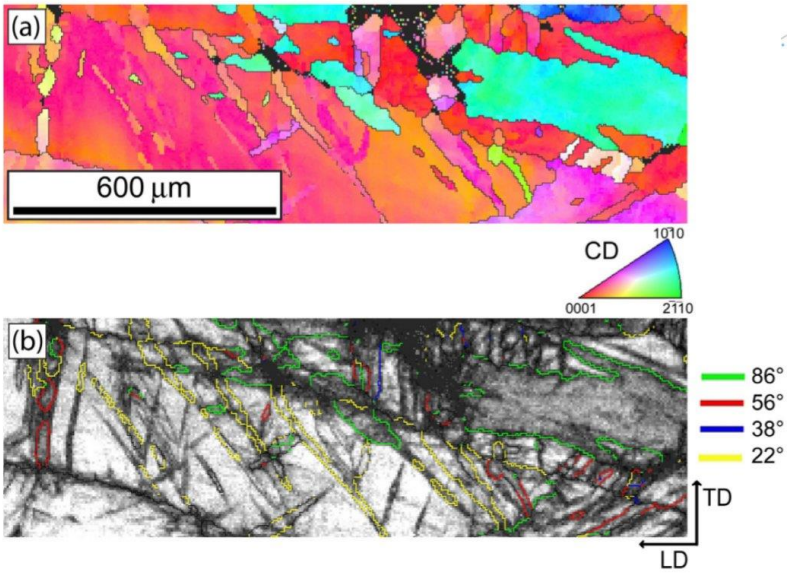
الشكلI-5: رسم يوضع توأم الضغط [6].

- التوأم المزدوج:{10$\bar{1}$1}{10$\bar{1}$2} يتوافق مع التنشيط المتتالي لتوأم ضغط ثم يليه توأم جر كما هو موضح في الشكل (I-6).



الشكلI-6: رسم يوضح التوأم المزدوج [7].

كمثال عن تواجد جميع أنواع التوأمة في نفس الحبوب نأخذ الشكل (I-7) الذي يوضح أن التوأم المزدوج°22 وتوأم الجر°86 يسيطران بالكامل وهذا متوقع لان تنوي التوأم يرتبط أساسا ببنية حدود الحبوب وحالة الإجهاد، حيث جزء كبير من التوائم المزدوجة يهرع إلى التحول السريع للتوائم المتقطعة أثناء عملية التشوه [8].

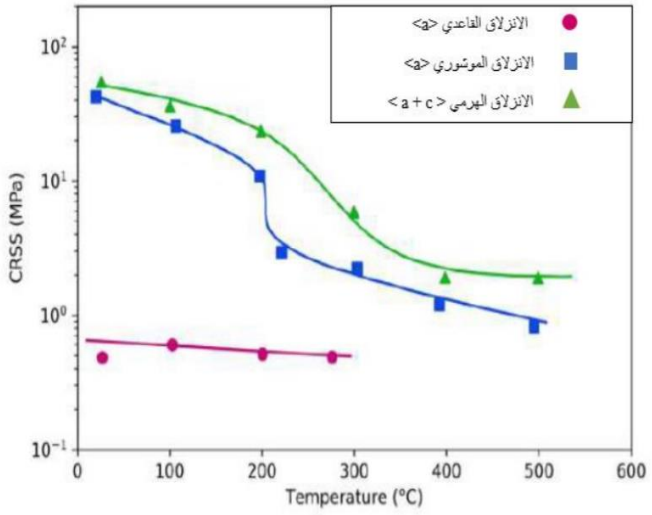


الشكلI-7:a) بنية مجهرية لعينة Mg-Dy مشوهةb) بنية مجهرية تظهر توزع التوائم المختلفة في العينة [8].

في المغنيسيوم هناك عدة عوامل تؤثر على تنشيط التوأمة وأنظمة الانزلاق ومن بينها:

- **تأثير حجم الحبيبات:**تم ملاحظة من خلال التجارب أن تفعيل التوأمة يقل مع نقصان حجم الحبيبات [9].
- **تأثير نسبة c/a:** تتشوه المواد السداسية في درجة الحرارة المنخفضة بواسطة الانزلاق الأساسي إذا كانت النسبة a /c قريبة من القيمة المثالية (c/a=1,63)، أما في المواد ذات قيمة أقل بكثير من القيمة المثالية فهي تتشوه بواسطة الانزلاق الموشوري والهرمي بنوعيه [10,11].

- **تأثير درجة الحرارة:** إن الانزلاقات القاعدية <a> والتوأمة هما نمطا التشوه السائدان في درجة حرارة الغرفة حيث لخص بارنيت دراسة تأثير درجة الحرارة على قيم الانقسام الحرج للمغنيسيوم، و يوضح الشكل(I-8) أن تنشيط الانزلاقات القاعدية والموشورية والهرمية تعتمد بشدة على درجة حرارة التشوه، كلما ارتفعت الحرارة انخفضت قيم الإجهاد (CRSS, criticalresolvedshear stress) [12].



الشكلI-8: تأثير درجة الحرارة على CRSS لأنظمة الانزلاق في سبائك المغنسيوم [12].

I-3 ظاهرة إعادة البلورة بعد التشوه اللدن في السداسيات:

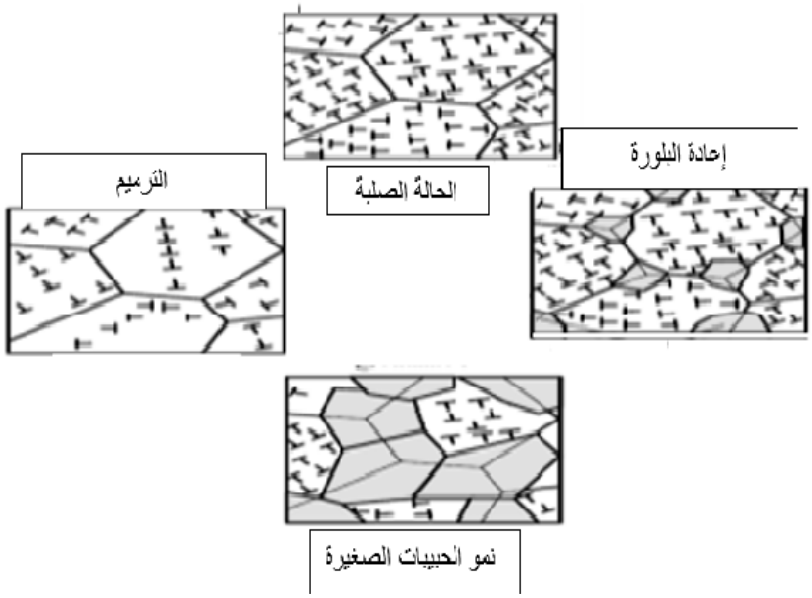
تشوه بعض المواد يؤدي إلى زيادة كثافة العيوب وبالتالي تكون المادة في حالة عدم توازن ديناميكي، حيث تعمل المعالجة الحرارية على إعادة توزيع العيوب أو إخفائها لتسترجع المادة خواصها الميكانيكية والفيزيائية. عموما تنقسم إعادة البلورة إلى مرحلتين المرحلة الأولى الترميم ثم تليها البلورة.

I-3-1 الترميم

تتم عملية الترميم من خلال التخلص من بعض الإنخلاعات وإعادة ترتيبها دون التغيير في الخواص الميكانيكية أو البنية المجهرية للمادة. كما هو موضح في الشكل (I-9).

I -3-2 البلورة (Recristallisation)

البلورة هي عملية استبدال الحبوب المشوهة بحبوب جديدة حيث تنمو الحبوب الجديدة حتى يتم استهلاك الحبوب الأصلية بالكامل كما هو موضح في الشكل (I-9). يرافق التبلور بشكل عام انخفاض في صلابة وزيادة في الليونة.



الشكلI-9: مراحل عملية الترميم وإعادة البلورة [13].

هناك نوعان من البلورة الساكنة والديناميكية:

a-3-2-I البلورة الساكنة (Recristallisation statique)

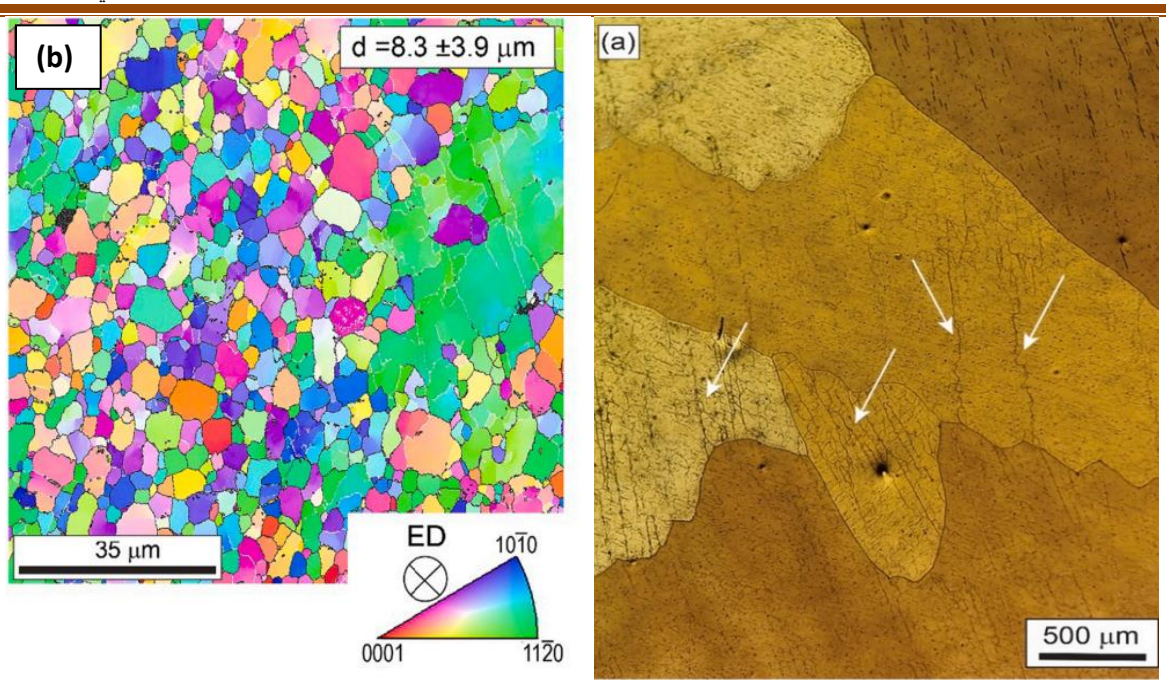
تحدث عند تشوه المادة على البارد ثم تتعرض للمعالجة الحرارية، تتطابق مع تكوين حبيبات بلورية جديدة في مادة مشوهة، وترحيل حدود الحبوب شديدة التشوه التي تكون قوتها الدافعة هي التشوه المخزن للطاقة بشكل أساسي [14].

b-2-3-I البلورة الديناميكية (Recristallisation dynamique)

في حالة التشوه الساخن للسبائك المعدنية (أي عند درجة حرارة تبلغ أو تزيد عن 0,7 مرة من درجة حرارة الانصهار)، يتناقص تماسك المعدن تدريجيا عندما يزداد التشوه، ثم نلاحظ نظام ديناميكي شبه ثابت يتميز بضغط تدفق شبه ثابت أيضا، من المهم ملاحظة أن الاستعادة الديناميكية تحدث بمجرد تطبيق تشوه ساخن وهذا كافي لتفسير ليونة المعدن [15,10].

4-I تأثير التشوه علي البنية البلورية :

الشكل (I-11) يعطي مثال عن تأثير التشوه على البنية المجهرية لسبيكة المغنيسيوم، حيث نلاحظ في الشكل (I-10- a) أن البنية المجهرية في الحالة الابتدائية ل Mg-Ce تظهر الحبيبات كبيرة جدا بشكل عملاق، أما بعد المعالجة بواسطة ECAP(channel angulair pressing) في درجة حرارة 350°C لأربعة لفات نلاحظ أن شكل الحبيبات صار أصغر وذايثسص شكل متجانس كما هو موضح في الشكل (I-10-b) [16].



الشكلI-10: a) البنية المجهرية الابتدائية (bالبنية المجهرية بعد المعالجة بواسطة ECAP في درجة حرارة 350°C لأربع لفات لسبيكة Mg-Ce [17].

المراجع:

[1] R. Alberny, "Laminage à chaud des produits plats sur train à bandes. Partie 1" Techniques de l'Ingénieur, ref. m7940, 2007.

[2] S. R.Agnew, D. W.Brown, C. N.Tomé, Validating apolycrystal model for the elastoplastic response of magnesium alloy AZ31 using insitu neutron diffraction.Acta Materialia,54(2006)4841-4852.

[3]W. B. Hutchinson, M.R. Barnett, Effectivevalues of critical resolved shear stress for slip in polycrystalline magnesium hcp metals. Scripta Materialia, 63(2010) 737–740.

[4]G. Gottstein. Physical Foundations of Materials Science. Springer, (2004).

[5] M.R. Barnett, Twinning and the ductility of magnesium alloys Part I: "Tension" twins, Materials Science and Engineering: A, 464 (2007) 1–7.

[6] M.R. Barnett, Twinning and the ductility of magnesium alloys Part II. Contraction twins, Materials Science and Engineering: A, 464 (2007) 8-16.

[7] M.R. Barnett, Z. Keshavarz, A. G. Beer, X. Ma, Non-Schmid behavior duringsecondary twinning in a polycrystalline magnesium alloy, Acta Materialia–Acta.Mater, 56 (2008) 5-15.

[8] F.Guerza-Soualah, A. Hanna, H. Azzeddine, A.L. Helbert, F. Brisset, T. Baudin, D.Bradai. Microstructural and textural investigation of an Mg-Dy alloy after hot plane straincompression. Journal of Magnesium and Alloys. 8 (2020) 1198-1207.

[9] H. Fan, S. Aubry, A. Arsenlis, J. El-Awady, Grain size effects on dislocation and twinning mediated plasticity in magnesium, Scripta Materialia, 112 (2016) 50-53.

[10] H, Azzeddine, Contribution à l'étude de quelques propriétés physico-métallurgiques desalliages à base de Mg, Thèse de doctorat (2012), USTHB.

[11] F. Montheillet, *"Métallurgie en mise en forme à chaud"* Techniques del'Ingénieur, ref. m3031, 2009.

[12] M. Barnett, A Taylor Model Based Description of the proof stress of magnesium AZ31 during hot working, Metallurgical and Materials Transactions A, 34 (2003) 1799-1806.

[13] R. D. Doherty, D. A. Hughes, F. J. Humphreys, J. J. Jonas, D. J. Jensen, M. E.Kassner,W. E. King, T. R. McNelley, H. J. McQueen, A. D. Rollett. Current issues inrecrystallization: A review, A. 238 (1997) 219–274.

[14] A, Hanna ،Etude de quelquespropriétés des alliages à base de magnésium après déformation pour utilisation commebiomatériaux, These de doctoral, (2020),université de Msila.

[15]R.Margerand, *"Texture et anisotropie des métaux et alliagesdéformés plastiquement"* Techniques de l'Ingénieur, ref. m605, 1981.

[16] S.Sadi, A. Hanna, H. Azzeddine, Casimir Casas, T. Baudin,A-L. Helbert, F. Brisset, J M. Cabrera Characterization of microstructure and texture of binary Mg-Ce alloy processed by equal channel angular pressing. Materials Characterization 181(2021)111454.

الفصل الثاني:

التقنيات التجريبية

II-1 عرض السبيكة المدروسة

قمنا بهذا العمل على سبيكة AZ31 على شكل صفيحة معدنية سمكها 2, 2 مم الشكل (II-1)، مقدمة من طرف شركة ألمانية (Innovation Magic-magnesium). التركيب الكيميائي لسبيكةAZ31 موضح في الجدول (II-1).

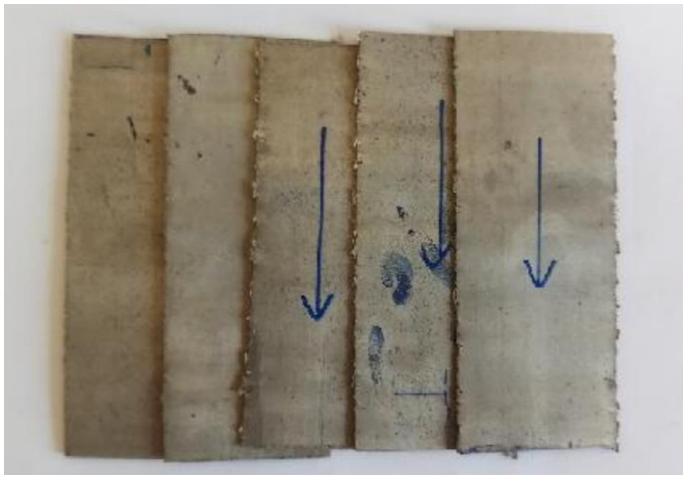
الشكلII-1: صورة السبيكة المدروسة.

الجدولII-1: التركيب الكيميائي لسبيكةAZ31 (الوزن%).

Al	Zn	Mn	Ca	Cu	Fe	Mg
3,45	0,98	0,28	0 ,002	0 ,002	0.004	الباقي

II-2 التشوه اللدن بواسطة الدرفلة

خضعت سبيكةAZ31 لتشوه لدن بواسطة الدرفلة الساخنة عند درجة حرارة 360°C حتى انخفض سمكها بنسبة75% كما هو موضح في الشكل (II-2).



الشكلII-2: عينات AZ31 بعد عملية الدرفلة وانخفاض سمكها بنسبة 75%.

II-3 المعالجة الحرارية لإعادة البلورة

تم قطع عينات مربعة الشكل (1سم×1سم) من السبيكة المدرفلة ووضعها في الفرن عند درجة حرارة 450°C لفترات زمنية مختلفة 10دقائق، 30دقيقة ،1ساعة.

لدراسة تأثير الشروط التجريبية علي الخواص البنيوية والصلادة قمنا بتحضير عينة واحدة سميت "الحالة المستمرة" تم وضعها في الفرن عند درجة حرارة 450°C لمدة 10 دقائق ثم 30 دقيقة، 1ساعة علي التوالي. ومجموعة أخرى من العينات سميت "الحالة الغير مستمرة "عبارة عن ثلاث عينات ندخلها الفرن عند درجة حرارة 450°C وكل عينة لمدة زمنية محددة وهي بالترتيب 10دقائق، 30دقيقة، 1ساعة.

وعينة تم وضعها في الفرن عند درجة حرارة 450°C لمدة ساعة ثم وضعها مباشرة في الماء وعينة أخرى تم وضعها في نفس درجة الحرارة ولمدة ساعة أيضا وإخراجها ووضعها في الهواء وهذا لملاحظة الفرق بين العينتين وتأثير تغيير السقاية على البنية المجهرية و الصلادة للعينتين.

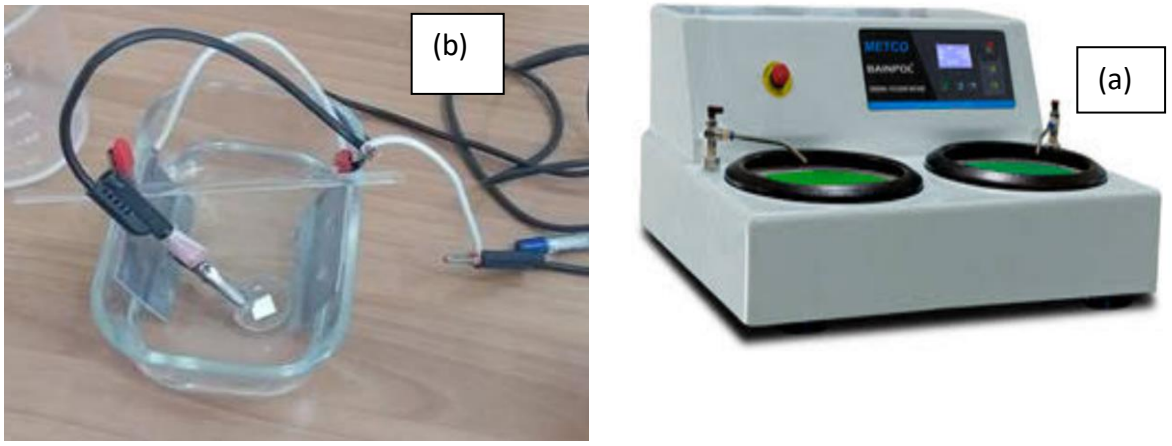
II-4 تحضير العينات

يجب أن يكون سطح العينات محضر بشكل خاص من اجل إظهار البنية المجهرية والصلادة وهذا يكون عبر عدة مراحل منها :

II-4-1 التلميع يتم التلميع في مرحلتين

ـ التلميع الميكانيكي هو عملية تهدف إلى جعل السطح أملس ولامع بالحركات النسبية والضغط بين العينة وأداة الكشط ويتم التلميع الميكانيكي للعينات بواسطة أوراق كاشطة من ورق P800إلى ورق P4000(الشكل (II-4-a)).

ـ التلميع الكهربائي يحدث في درجة حرارة الغرفة يتم فيه غمر العينة في محلول يتكون من الفوسفوريك والايثانول لمدة 30 دقيقة (الشكل (II-4-b)).



الشكلII-4: a) التلميع الميكانيكي b) التلميع الكهربائي.

من اجل الكشف عن البنية المجهرية في عيناتنا قمنا بما يعرف بالهجوم الكيميائي وذلك عن طريق استخدام الكاشف التالي:

- 5 مل من حمض البيكريك
- 100 مل من الايثانول
- 10 مل من الماء المقطر
- 10 مل من حمض الخليك (الخل)

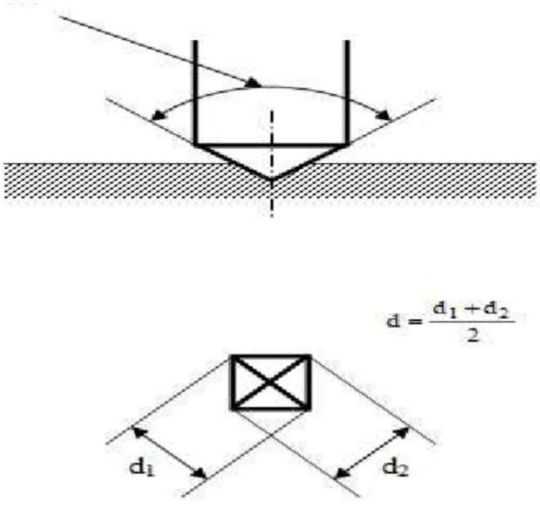
تنقع العينات لمدة لا تتجاوز خمس ثواني ثم تشطف بالايثانول.

II-5 التوصيف بالمجهر الالكتروني

تمت متابعة تطور البنية المجهرية لعيناتنا مع تقدم الوقت وهذا من اجل حساب حجم الحبيبات حيث قمنا بحسابها بواسطة (inter lin cut-Matlab). تم اخذ الصور المجهرية بواسطة مجهر ميتالوجرافي متواجد بمختبر فيزياء وكيمياء المواد بجامعة المسيلة.

II-6 التوصيف الميكانيكي لصلادة فيكرز(Vickers)

من الطرق المتبعة في قياس الصلادة طريقة فيكرز حيث يعتمد هذا القياس على أبعاد الانطباعات الناتجة عن تغلغل هرم ماسي تشكل وجوهه المقابلة زاوية قدرها 136° نلاحظ الشكل (II-5). تم إجراؤها في دراستنا بواسطة وزن 100غ لمدة 10 ثواني.



الشكلII-5: مبدأ قياس صلادة فيكرز(Vickers).

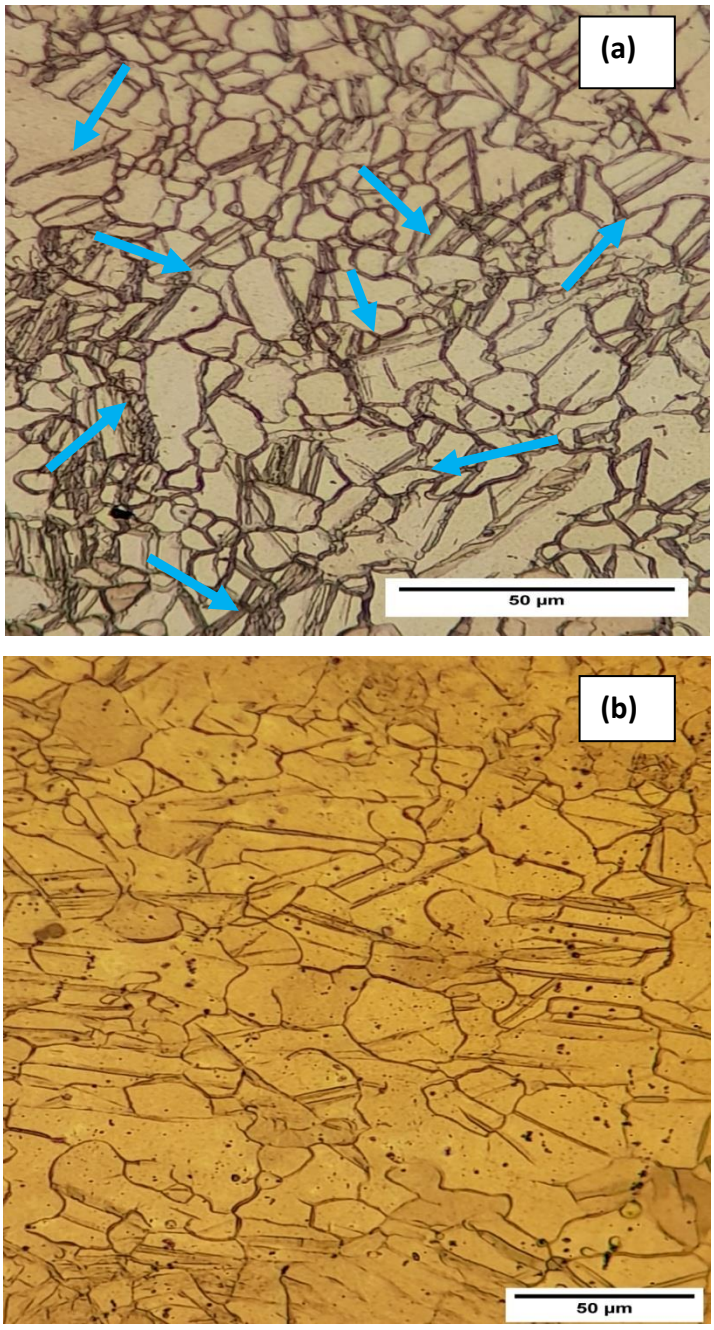
الفصل الثالث:

النتائج التجريبية ومناقشتها

III-1 دراسة البنية المجهرية

III-1-1 دراسة البنية المجهرية وحجم الحبيبات

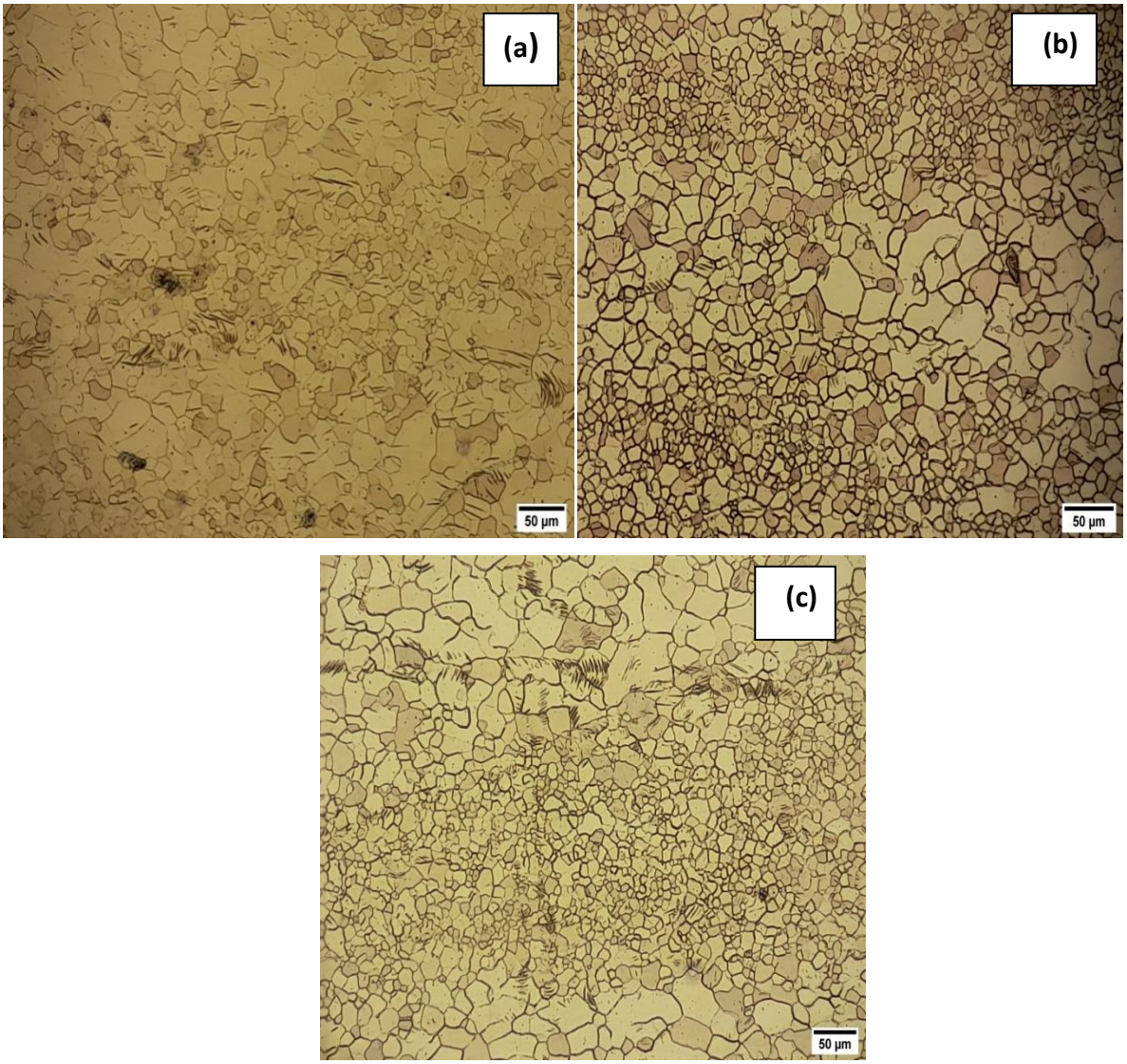
يمثل الشكل III-1 البنية المجهرية لسبيكة AZ31 للحالة الابتدائية والحالة المشوهة بالدرفلة وانخفاض سمكها بنسبة 75%.في كلتا الحالتين البنية البلورية غير متجانسة، حيث نلاحظ نسبة عالية من التوأمة بالنسبة للسبيكة في الحالة الابتدائية (مشار إليها بالاسم) مع تناقص كمية التوأمة مع التشوه بالدرفلة (الشكلb)، تناقص حجم الحبيبات من الحالة الابتدائية حيث كان حوالي 16µm إلى 10,88µm. يمكننا تفسير نقص كمية التوأمة وانخفاض حجم الحبيبات بحدوث عملية إعادة البلورة على مستوي التوأمة [1, 2].



الشكلIII-1 البنية المجهرية لسبيكة AZ31 a) الحالة الابتدائية b) الحالة المشوهة بعملية الدرفلة وانخفاض سمكها بنسبة 75%.

III-2 العينة المستمرة والعينة الغير مستمرة

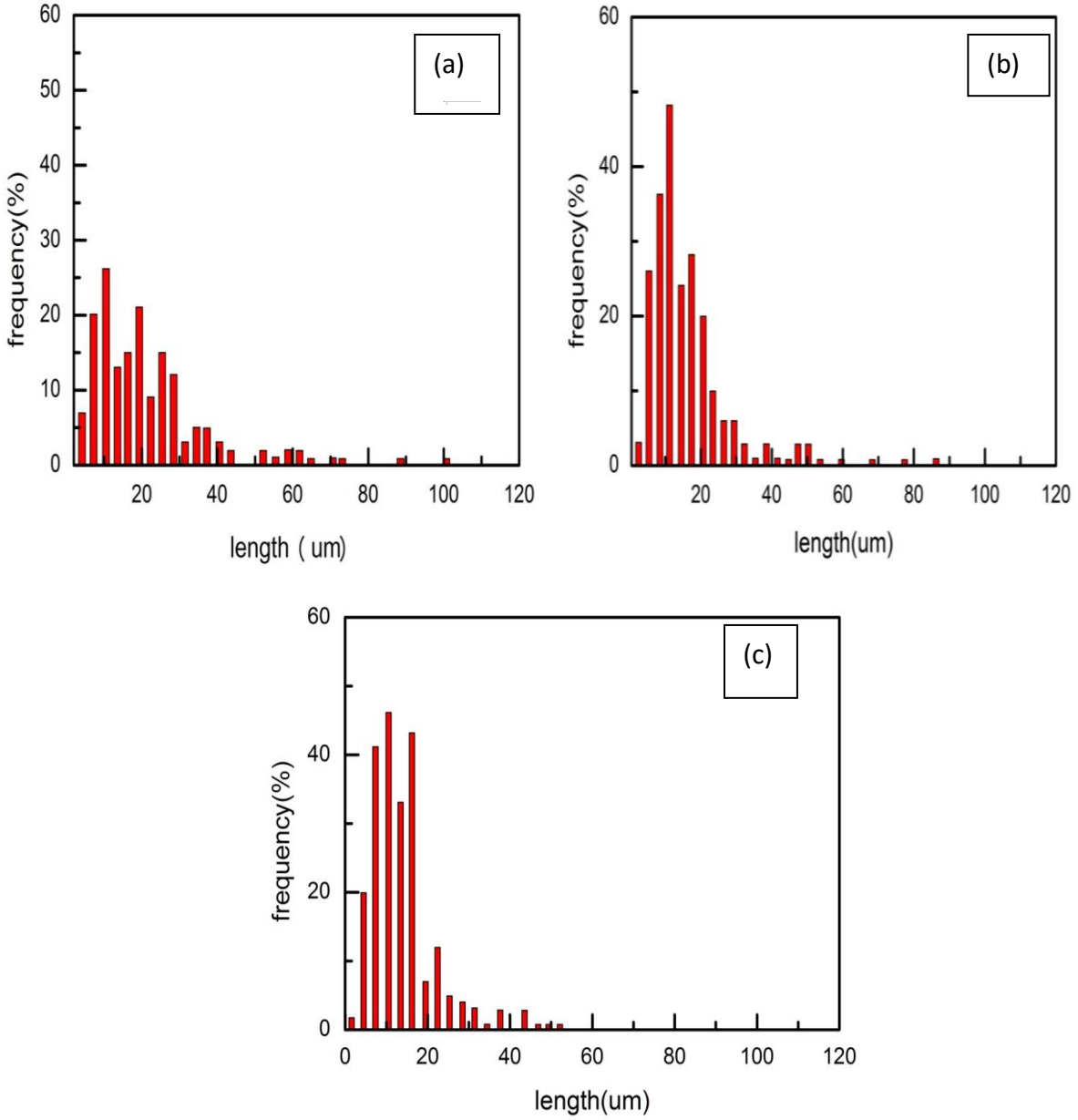
يمثل الشكلIII-2 البنية المجهرية لسبيكة AZ31 المشوهة بعملية الدرفلة وانخفاض سمكها بنسبة 75% بعد المعالجة الحرارية في درجة حرارة 450°C لمدة1 ساعة للعينة المستمرة والغير المستمرة في حالة السقاية في الهواء و في حالة سقاية الماء. حيث نلاحظ في الحالات الثلاث وجود حبيبات صغيرة وأخرى كبيرة وهي غير واضحة في الحالة المستمرة عكس حالة الماء والحالة الغير مستمرة التي كانت فيها الحبيبات واضحة جدا.



الشكلIII-2 : البنية المجهرية لسبيكة AZ31 بعد الدرفلة ومعالجتها حراريا لمدة ساعة عند درجة حرارة 450°C

a) الحالة المستمرة b) الحالة الغير مستمرة c) حالة الماء.

الشكل III-3 يوضح توزيعات حجم الحبيبات لسبيكة AZ31 بعد تقليل سمكها بنسبة 75%والمعاد معالجتها في درجة حرارة 450°C لمدة ساعة في الحالة المستمرة والغير مستمرة في حالة سقاية الهواء وفي حالة سقاية الماء. حيث نلاحظ من خلال التوزيعات وجود حبيبات كبيرة في الحالة المستمرة وعينة السقاية في الماء يصل حجمها إلي حوالي 100µm في حين أن توزيع حجم الحبيبات في العينة الغير مستمرة كان أكثر تجانسا.القيم المتوسطة لحجم الحبيبات في الحالات الثلاث ملخصة في الجدول (III-1).



الشكلIII-3 توزيعات الحدود الحبيبة لسبيكة AZ31 المدرفلة والمعاد معالجتها لمدة ساعة في درجة حرارة°450

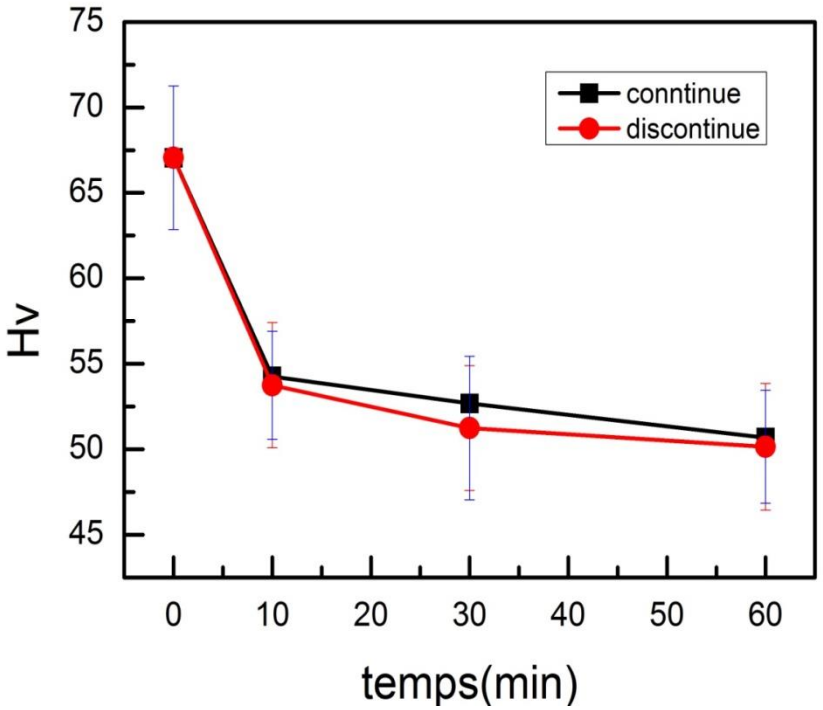
a) الحالة المستمرة b) حالة الماء c) الحالة الغير مستمرة

الحالات	الحالة المستمرة	حالة الماء	الحالة الغير مستمرة
متوسط حجم الحبيبات (µm)	17,8	13,46	14,46

الجدول (III-1): متوسط حجم الحبيبات للحالات الثلاث

III-3 الصلادة

يمثل الشكلIII-4 تطور الصلادة لسبيكة AZ31 بعد التشوه وإعادة بلورتها في الحالة الغير مستمرة والحالة المستمرة لمدة 0 دقيقة، 10 دقيقة، 30 دقيقة، 1ساعة في درجة حرارة 450°C، حيث نلاحظ أن القيم في الحالتين متقاربة جدا وأن الصلادة تتناقص بتزايد الزمن.



الشكل III- 4: تطور الصلادة لسبيكة AZ31 بعد التشوه ومعالجتها في الحالة المستمرة والغير مستمرة وفي مجالات زمنية مختلفة عند 450°C.

هناك علاقة تجمع بين الصلادة وتجانس المادة وهي كالتالي [3]:

$$IF=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(H_v- Hv_{ave})^2/n-1}}{Hv_{ave}}\times 100 \qquad (1)$$

حيث

Hv: قيمة الصلادة لكل عينة

n : عدد قياسات الصلادة لكل عينة

Hv_{ave} : متوسط قيمة الصلادة

علما أن كل ما قلت قيمة معامل التجانس (IF) زاد تجانس المادة.

الجدولIII -2 يلخص متوسط الصلادة ومعامل التجانس (IF) للحالات الثلاث، نلاحظ أن أصغر قيمة لمعامل التجانس ظهرت في الحالة الغير مستمرة ويليه الحالة المستمرة ثم أعلى قيمة سجلت في عينة الماء وهذا دليل علي عدم التجانس. ومن هذه النتائج نستطيع القول أن سقاية الهواء أحسن من سقاية الماء.

الحالة	الحالة المستمرة	الحالة الغير مستمرة	حالة الماء
Hv	50,68	50,15	52,53
If (1h)	1,68	1,44	2,34

الجدولIII-2 متوسط الصلادة ومعامل التجانس (IF) للحالات الثلاث.

المراجع

[1] M. R. Barnett, Z. Keshavarz, A. G. Beer, D. Atwell. Influence of grain size on the compressive deformation of wrought Mg–3Al–1Zn. Acta Materialia, 51 (2004) 5093-5103.

[2] F. Guerza-Soualah, A. Hanna, H. Azzeddine, A.L. Helbert, F. Brisset, T. Baudin, Bradai. Microstructural and textural investigation of an Mg-Dy alloy after hot plane strain compression. Journal of Magnesium and Alloys. Available online 24 June 2020 In Press.

[3] E. Rafizadeh, A. Mani, M. Kazeminezhad, The effects of intermed postannealing phenomena on the mechanical properties and microstructure constrained 162-168groove pressed copper sheet, Mater. Sci. Eng. A 515(2009)

الخاتمة العامة

الخاتمة

الهدف من العمل الذي قمنا به هو دراسة البنية المجهرية والخواص الميكانيكية لسبيكة (Mg-3Al-1Zn) AZ31 بالدرفلة على الساخن وانخفاض سمكها بنسبة 75%، ثم معالجتها حراريا في 450°C وفي أزمنة مختلفة 10 دقائق، 30 دقيقة،1ساعة، تحت شروط تجريبية مختلفة كاستعمال عينة أو مجموعة من العينات والتغيير في حالة السقاية.

كانت النتائج المتحصل عليها كالتالي :

- تناقص حجم الحبيبات الأولي بعد المعالجة الحرارية وكانت البنية المجهرية واضحة في حالة الماء والحالة الغير مستمرة في حين أنها كانت غير واضحة في الحالة المستمرة.
- بعد المعالجة الحرارية لوحظ تناقص الصلادة بتزايد الزمن بفعل إعادة البلورة.
- ظهر تأثير الشروط التجريبية على البنية المجهرية فقط.

الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة البنية المجهرية وتطور صلادة فيكرز لسبيكة AZ31 (Mg-3Al-1Zn) (بالوزن%) المشوهة بالدرفلة على الساخن والملدنة عند 450°C لمدة 10 دقيقة، 30 دقيقة و1 ساعة تحت ظروف تجريبية مختلفة كاستعمال عينة واحدة أو عدة عينات لقياس الصلادة أو التبريد في الهواء أو الماء.أظهرت النتائج أن الصلادة ليست حساسة لظروف التجربة إلا في حالة التبريد بالماء الذي يسبب عدم تجانس البنية المجهرية في السبيكة. من ناحية أخرى، وجد أن البنية المجهرية حساسة للغاية لظروف التجربة.

الكلمات المفتاحية: AZ31 ، مغنيسيوم، بنية مجهرية، تشوه، صلابة فيكرز، إعادة التبلور

Résumé

Le but de ce travail est l'étude de l'évolution de la microstructure et la microdureté Vickers de l'alliage AZ31 (Mg-3Al-1Zn, % en poids) déformé à chaud par laminage et recuit à 450 °C pendant 10, 30 et 60 min sous différentes conditions expérimentales comme l'utilisation d'un seul ou plusieurs échantillons pour la mesure de la microdureté ou faire la trempe à l'aire ou dans l'eau. Les résultats montrent que la microdureté n'est pas sensible aux conditions expérimentales sauf dans le cas de la trempe à l'eau qui cause une hétérogénéité microstructurale à l'alliage. Par contre, la microstructure a été trouvée très sensible aux conditions expérimentales.

Mots clés : AZ31, magnesium, microstructure, déformation, microdureté Vickers, recristallisation

Abstract

This work aims to study the evolution of the microstructure and the Vickers microhardness of the AZ31 alloy (Mg-3Al-1Zn, wt. %) after hot-rolling and annealing at 450°C for 10, 30, and 60 min under different experimental conditions such as the use of a single or several samples for the measurement of microhardness or quenching in the air or water. The results show that the microhardness is not sensitive to the experimental conditions except in the case of water quenching which causes a microstructural heterogeneity in the alloy. On the other hand, the microstructure was found to be very sensitive to the experimental conditions.

Keywords: AZ31, magnesium, microstructure, deformation, Vickers microhardness, recrystallization