

دراسة البلى الانزلاقي الجاف لسبائك الألمنيوم

عادل محمود باش

مدرس، كلية الهندسة، جامعة تكريت، العراق

(الاستلام:- ٢٣/٤/٢٠١٣، القبول:- ٢٦/١١/٢٠١٣)

الخلاصة

في هذه الدراسة تم تحضير عدة عينات من سبائك الألمنيوم - نحاس حيث أضيفت كميات من النحاس إلى الألمنيوم النقي بنسبة ٤,٥%, ٣,٥%, ٢,٥% بحيث لا تتعدى حد التشبع للألمنيوم وهي ٥,٧% نحاس لغرض تقسية الألمنيوم وقد تم تحضير هذه السبائك الثلاثة بعملية الصهر والصب في قوالب من الفولاذ. يهدف البحث الحالي الى دراسة تأثير إضافة النحاس على الخواص الميكانيكية ومقاومة البلى الانزلاقي الجاف للألمنيوم النقي. استخدمت ماكينة المسمار على القرص الدوار لقياس معدل البلى وتحت ظروف مختبريه متغيرة تمثلت باستخدام خمسة أحمال عمودية مختلفة وخمسة سرع انزلاقية مختلفة ولفترات انزلاق تراوحت من (٣٠) الى (٢١٠) دقيقة وعند درجة حرارة الغرفة وصلادة القرص الفولاذي HRC ٤٥. وقد أظهرت النتائج إن معدل البلى يزداد مع زيادة الحمل العمودي المسلط على عينات الاختبار والفترة الزمنية للانزلاق لجميع العينات. كما وأظهرت سبيكة Cu ٣,٥% - Al أفضل مقاومة بلى عند مقارنتها مع السبائك Cu ٤,٥% - Al و Cu ٢,٥% - Al وكذلك بينت النتائج بأن مقاومة البلى للسبائك الثلاثة كانت أفضل من مقاومة المعدن الأساس.

الكلمات الدالة: مقاومة البلى، سبيكة ألمنيوم- نحاس.

١ - المقدمة

أن من أهم الظواهر التي تتأثر مباشرة" وبشكل كبير بالبيئة المحيطة بالمعادن هي ظاهرة التآكل والبلى الالتصاقي للمعادن والسبائك يحدث عادة من خلال بناء وهدم نقاط التصاق ما بين السطوح المعدنية الانزلاقية المحتكة حيث أن هذه العملية عادة يرافقها حدوث ظاهرة معينة كالانتقال، الانتقال العكسي، الأكسدة والانتشار ما بين السطوح الانزلاقية والتي استرعت انتباه واهتمام الباحثين بشكل واسع وكبير ويبقى استعمال الألمنيوم النقي محدود جدا في التطبيقات الهندسية إذ انه لين وضعيف وذو خواص ميكانيكية ضعيفة لذا توجهت البحوث منذ وقت طويل وتطورت بشكل كبير في السنوات الأخيرة نحو تحسين الخواص الميكانيكية للألمنيوم عن طريق تسبيكه أو تشكيله مع عناصر أخرى مثل النحاس والسيلكون والنيكل والمنغنيز والخراسين والتيتانيوم فضلا عن عناصر أخرى وإجراء المعاملات الحرارية عليه [١]. تتواجد عناصر السبك في الألمنيوم على نوعين عناصر متواجدة بكميات صغيرة أو ضئيلة ولا مفر من وجودها ولهذا يمكن اعتبارها كمتضمنات أو شوائب وعناصر تضاف بكميات محددة ومعلومة لإعطاء الألمنيوم خواص معينة وتدعى هذه العناصر بعناصر السبك. أن هذه العناصر تعمل على تكوين محاليل جامدة مما يؤدي الى حصول تقوية للألمنيوم وعند

المعاملة الحرارية لهذه السبائك تترسب أطوار أخرى إضافة إلى المحلول الجامد مما يؤدي إلى زيادة مقاومة هذه السبائك نتيجة المعاملة الحرارية. يعتبر الألمنيوم وسبائكه من المعادن والسبائك الواسعة الاستخدام في التطبيقات المختلفة وذلك لامتلاكها العديد من المميزات التي تؤهلها لذلك وتتميز سبيكة الألمنيوم - نحاس باستجابتها العالية لتسليط الضغوط والمعاملات الحرارية لاحتوائها على عنصر النحاس، حيث تكتسب هذه السبيكة بعد المعاملات الحرارية خواص ميكانيكية عالية نتيجة قابليتها على الاصلاح بالترسيب [2].

في عام ٢٠٠٦ درس الباحث علي النخلاني ومحمد عبدالحافظ [٣] تقسية سبائك الألمنيوم - نحاس بالمعاملات الحرارية، حيث أظهرت النتائج ارتفاع صلادة الألمنيوم بعد سبكه ومعالته حرارياً مع وجود نهايات عظمى للصلادة تختلف باختلاف نسبة النحاس في السبيكة وسجلت هذه الدراسة ارتفاعاً في صلادة الألمنيوم من ٤٠ إلى ٩٥HB على مقياس برنل للصلادة الدقيقة وذلك بشابه الألمنيوم بالنحاس بنسبة مختلفة ومعالجته حرارياً بالترسيب.

أما الدراسة [٤] بينت تأثير إضافة عنصر النحاس على الخواص الميكانيكية ومقاومة الشد لسبيكة (Al-Cu) (Mg-Ag) بنسب (٨-٤) وقد لاحظوا زيادة في مقاومة الشد من (٤٣٤MPa) إلى (٥٥٩MPa) عند حرارة الغرفة ومن ١٤١MPa إلى ٢٢٨MPa عند درجة حرارة ٣٠٠°C مع حدوث نقصان طفيف في الاستطالة. وقام الباحث عبداً بالله عذيب [٥] بدراسة البلى الأنزلاقي لسبائك النحاس عند أحمال مختلفة وأزمنة وسرع مختلفة وقد وجد أن معدل البلى يزداد مع الزمن ثم يصل إلى حالة الاستقرار بسبب تسطح نتوءات السطحين المنزلقين نتيجة استمرار عملية الانزلاق. أما Pathak وجماعته [٦] فقد توصلوا إلى انخفاض معدل البلى عند ثبوت الحمل المسلط مع زيادة نسبة النحاس في سبائك الألمنيوم - نحاس. كما أشاروا إلى وجود أكثر من آلية بلى تشترك في توليد دقائق البلى. ولقد بينت الدراسة [٧] أن مقاومة البلى الأنزلاقي الجاف لسبيكة ألمنيوم (Al-Zn-Mg-Cu) يزداد عند ازدياد سرعة الانزلاق بثبوت كل من الحمل العمودي (٢,٦-٠,٢) Mpa وزمن الانزلاق. لوحظ من قبل بعض الباحثين أن إضافة عناصر السبك يحسن من الخواص الميكانيكية ومقاومة البلى. تعد سبيكة ألمنيوم - نحاس من أكثر السبائك استعمالاً في الصناعات المختلفة (العسكرية، مكائن السيارات،... الخ) إذ أنها تمتلك خواص ميكانيكية جيدة فضلاً عن أنها تعد أول سبيكة اكتشفت فيها ظهرت الاصلاح بالترسيب وتستعمل هذه السبيكة في صناعة أجزاء مختلفة في الطائرات كالمحركات والقضبان وبراشيم تثبيت هياكل الطائرات وبهذا تتعرض الأجزاء المصنعة منها إلى التآكل والبلى تحت ظروف عمل مختلفة من حمل وفترات وسرع انزلاق مختلفة [٢]. ويعد البحث الحالي إحدى المحاولات العملية لدراسة تأثير إضافة عنصر النحاس بنسب وزنيه مختلفة (٢,٥-٣,٥-٤,٥ wt%) على الخواص الميكانيكية وعملية الاصلاح بالترسيب لسبيكة ألمنيوم - نحاس تحت تأثير ظروف مختبرية متغيرة من حمل وفترات انزلاق وسرع انزلاق.

٢ - الإجراءات المختبرية Experimental Procedures

نظراً لتطور السبائك الهندسية واستعمالاتها في جميع مجالات الحياة، يتضمن البحث الحالي القيام بدراسة عملية لمعرفة تأثير إضافة النحاس Cu إلى معدن الألمنيوم النقي على مقاومة البلى الأنزلاقي الجاف تحت ظروف تشغيل مختلفة من أحمال، سرعة و أزمنة انزلاقية مختلفة.

٢-١ - المعدن المستخدم

تم استخدام أسلاك من الألمنيوم بنقاوة ٩٨% ألمنيوم ذي التركيب الكيميائي الموضح في جدول (١) وعينات النحاس من النوع التجاري المستخدم في أسلاك نقل الطاقة الكهربائية بنقاوة ٩٥%. وبالتركيب الكيميائي

Cu، ٠,٠١، Cr، ٠,٠١، Pi، ٠,٠٥، S، ٠,٠٣٢، Mn، ٠,٠٣، Si، ٠,١٦، and Cu.

٢-٢- طريقة تحضير السبائك:-

تم تحضير سبائك الألمنيوم - نحاس المستعملة في البحث وذلك بتقطيع ووزن أسلاك من الألمنيوم بنقاوة قدرها ٩٨% ألمنيوم موضح التركيب الكيميائي لها في جدول رقم (١). وبين الجدول (٢) التحليل الكيميائي لعينات الألمنيوم المستخدمة في تحضير السبيكة وحسب الكمية المقابلة لها من عنصر النحاس للحصول على النسب الوزنية المطلوبة لسبائك الألمنيوم _ النحاس وذلك بصهر الألمنيوم في فرن كهربائي باستعمال بوتقة كرافيتية وأجريت عملية الصهر عند درجة (٧٥٠ C°) لضمان الانصهار التام لعناصر السبك. تم إضافة النحاس النقي على شكل رايش الى الألمنيوم المنصهر مع إجراء التحريك المستمر بقضيب من الخزف وذلك لضمان ذوبان جميع النحاس في الألمنيوم المنصهر وحدث التجانس ومن ثم إضافة مادة مزيل الخبث وطارد الغازات ويخلط جيدا" ومن ثم يزال الخبث لغرض الحصول على منصهر خالي من أي عيوب. ومن ثم عملية الصب بصورة سريعة في قالب معدني بقطر ١٥ mm وقد سخن مسبقا" الى درجة حرارة ٢٠٠ درجة مئوية لتلافي انجماد المنصهر المعدني بصورة سريعة عند ملامسته جدار القالب لقد تم إجراء عملية الصب خمس مرات لكل سبيكة وبنسب مختلفة من النحاس حيث أضيفت كميات من النحاس الى الألمنيوم النقي بنسبة ٠,٥%, ٣,٥%, ٢,٥% بحيث لا تتعدى حد التشبع للألمنيوم وهي ٥,٧% وبذلك تم الحصول على قضبان مصبوبة بقطر (١٥mm) وطول (٤٠ cm)، وتم تشغيل هذه القضبان على ماكينة الخراطة بوجود سائل التبريد وتقطيعها إلى عينات عديدة بقطر (١٠mm) وطول (٢٥mm) ولجميع السبائك بعد ذلك تم إجراء عمليتي الصقل والتنعيم للحصول على نماذج ذات أشكال منتظمة وسطوح ناعمة.

٣- اختبار البلى الأتزلقي الجاف Dry Sliding Wear Test

٣-١- جهاز قياس البلى.

تم أنجاز البحث باستخدام جهاز البلى الأتزلقي الجاف ذي ترتيبه (Pin-On-Disc) المسمار على القرص الموجود في كلية الهندسة - جامعة تكريت وكما موضح في الشكل (٣) حيث يتكون من محرك كهربائي بقدرة ١,٥ حصان ذي سرعة دوران ثابتة (٩٤٠ r.p.m.) يتم نقل السرعة الى القرص الدوار بواسطة سيور لنقل الحركة عن طريق بكرات بأقطار مختلفة لغرض الحصول على سرعة دوران متغيرة للقرص الدوار. وقرص من الفولاذ بقطر ٣٠ cm وبصلادة ٣٥HRC كما تم قياس خشونة القرص وكانت $R_a = ٠,٢$ وهو مصمم ليدور بسرعات دورانية مختلفة يتم تنعيمه بعد كل اختبار بواسطة ورق تنعيم من كاربيد السيلكون لضمان تقليل خشونة سطح القرص لمنع زيادة مقدار التداخل الحاصل ما بين سطح العينة وسطح القرص الدوار مع وجود حامل العينات ويتكون من جانبين الجانب الأسفل المقابل للقرص الدوار ماسك العينة يحتوي على ثقب بقطر ١٠mm تثبت بداخله عينات الفحص والجانب الأعلى يتصل بقاعدة حامل الأتقال الذي من خلاله يتم تسليط الحمل. وذراع ذي مقطع مستطيل قابل للحركة العمودية يثبت في إحدى نهايتيه حامل العينة وفي النهاية الثانية توضع أثقال الموازنة لقد تم استخدام قيم أحمال عمودية:-

$$(٩,٨١, ١٩,٦٢, ٢٩,٤٣, ٣٩,٢٤ \text{ and } ٤٥ \text{ N})$$

و سرع انزلاقية مختلفة أيضا" وكانت :- (٠,٩٤, ١,٨٨, ٢,٨٢, ٣,٧٦ and ٤,٩) m/s. لقد تم إجراء الاختبار لعينات الفحص في الهواء الجوي الاعتيادي وعند درجة حرارة الغرفة.

٣-٢ - قياس معدل البلى.

١- تم تقطيع العينات الخاصة باختبار البلى الأتزلقي الجاف بقطر ١٠ mm وطول ٢٥mm لتلائم متطلبات الجهاز المستخدم كما تم قياس الخشونة $R_a = ٠,٢ \mu\text{m}$ وكانت القيمة ثابتة لجميع العينات . بعد اكتمال عملية تحضير عينات الفحص تم تنظيفها وتنعيمها وصقلها وتم حساب معدل البلى باستخدام الطريقة الوزنية حيث تم

حساب وزن العينة قبل وبعد الاختبار بواسطة ميزان حساس نوع (SCATAIR) ياباني المنشأ. وبدقة (0,0001g).

والخطوات التالية تبين طريقة الاختبار:-

- ١- وزن العينة قبل الاختبار m_1 .
 - ٢- استخدام قرص الفولاذ الكربون ذو صلادة ٣٥HRC
 - ٣- تنعيم القرص الدوار بورق تنعيم ١٠٠٠ قبل الاختبار وبعده.
 - ٤- تنظيف القرص بالكحول .
 - ٥- تثبيت العينة بماسك الجهاز (holder) بحيث تتطابق مع القرص الدوار .
 - ٦- معايرة جهاز الفحص وجعل الذراع الحامل لعينات الفحص بوضعية أفقية بواسطة ميزان ذو فقاعة.
 - ٧- اختيار أحمال مختلفة (٤٥ N and ٣٩,٢٤, ٢٩,٤٣, ١٩,٦٢, ٩,٨١) مع سرعة ثابتة (١,٨٨m/s)
 - ٨- اختيار سرعة انزلاقية مختلفة (٤,٩, ٣,٧٦, ٢,٨٢, ١,٨٨, ٠,٩٤) m/s مع تثبيت الحمل (١٩,٦٨ N)
 - ٩- اختيار ازمان انزلاقية مختلفة (١٩ min. مختلفة (١٥٠, ١٢٠, ٩٠, ٦٠, ٣٠) مع تثبيت الحمل (١٩,٦٨ N) وسرعة الانزلاق (١,٨٨ m/sec).
 - ١٠- تشغيل الجهاز وحساب الوقت باستخدام ساعة توقيت.
 - ١١- وزن العينة بعد الاختبار لتحديد الفقدان بالوزن.
- لقد تم حساب الوزن المفقود كما يلي :

$$\Delta W = W_1 - W_2 \text{----- (1)}$$

حيث أن:-

ΔW الفرق بالوزن gm.

W_1 : وزن العينة قبل الاختبار.

W_2 : وزن العينة بعد الاختبار.

إما بالنسبة لمعدل البلى فتم حسابه كما في المعادلة التالية [٢]:-

$$\text{wearRate} = \frac{\Delta W}{S_D} (g/cm) \text{----- (2)}$$

S_D - مسافة الأترياق (cm) وتم حسابها من العلاقة التالية :-

$$S_D = 2\pi * v * t (cm)$$

علما أن :-

t - زمن اختبار العينة (second).

v - السرعة الخطية = $w.r (cm/s)$

r - نصف القطر من مركز العينة الى مركز القرص (cm) .

n - السرعة الدورانية للقرص الدوار (r.p.m.)

w = $\left(\frac{2\pi}{60}\right) * n (rad/s)$ = عدد دورات القرص الدوار

٤ - حيود الأشعة السينية X-ray Diffraction

تم إجراء فحص الأشعة السينية باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية ياباني المنشأ نوع (XRD-٦٠٠٠ shimadzu) وقد كانت الأنبوية هي (Cu K α -Tube) والتي تولد أشعة أحادية ذات الطول الموجي (١,٥٤٠٦٠)

انكستروم، أما الفولتية المجهزة فقد كانت ٤٠ كيلو فولت، والتيار المار في الأنبوبة ٣٠ ملي أمبير، وأن جميع فحوصات حيود الأشعة السينية كانت عند درجة حرارة الغرفة وباستخدام قانون براك (Bragg Law) أمكن حساب المسافة (d) بين المستويات الذرية من العلاقة [٨]:-

$$n\lambda = 2d\sin\varphi \text{-----} (٤)$$

بعد حساب قيم d وشدة الأشعة المحادة على المستويات تمت مقارنة القيم مع جداول قياسية مرجعية أمكن من خلالها تحديد نوع الأطوار المتكونة في السبائك المستخدمة، وان النتائج مبينة في المخططات (٢،٣،٤) تبين الأطوار التي تم الحصول عليها بعد إضافة النحاس الى الألمنيوم.

٥- فحص الصلادة Hardness Test

تم قياس صلادة العينات بطريقة فيكرز آذ تم تسليط حمل ثابت مقدارها (٥٠٠) غم لمدة زمنية مقدارها (٥) ثانية ولجميع العينات، رفع أوتوماتيكيا بعد إضاءة الموشر الضوئي وقيست أبعاد الأثر الناتج على سطح العينة في المحوريين باتجاهين متعاكسين وبعد اخذ عدد من القراءات في مناطق مختلفة من سطح العينة وحساب متوسطها الحسابي تم الحصول على قيم الصلادة كما مبين في شكل (٨).

٦- تحضير العينات لفحص البنية المجهرية.

تم إجراء فحص البنية المجهرية على سبائك الألمنيوم - نحاس حيث تم إجراء عملية تحضير العينات وفق الخطوات التالية:-

- ٢- تنعيم العينات بورق تنعيم ذي الأرقام (١٢٠٠-٨٠٠-٦٠٠-٣٢٠-٢٢٠).
- ٣- صقل بواسطة قماش صقل بوجود ألومينا Al_2O_3 .
- ٤- تم استخدام محلول الهيدروفلوريك وبتركيز ٢٠٪ لظهار البنية المجهرية.
- ٥- تصوير البنية المجهرية باستخدام جهاز التصوير المجهرية نوع (OLYMPUS)، ياباني المنشأ.

٧- النتائج والمناقشة

٧-١ تأثير الحمل المسلط على معدل البلى.

يوضح الشكل (٥) العلاقة بين الحمل العمودي المسلط ومعدل البلى للمعدن الأساس و لسبائك الثلاثة. إذ أجريت تجربة البلى عند أحمال مختلفة (٩,٨١-٤٥) نيوتن وسرعة انزلاق ثابتة (١,٨٨ m/sec) وصلادة القرص الفولاذي (٣٥HRC). حيث تبين بشكل عام أن زيادة الحمل تؤدي الى زيادة معدل البلى وهذا يعود الى التشكيل اللدن الحاصل لقمم النتوءات السطحية للعينة مما يؤدي الى زيادة كثافة الانخلاعات وبالتالي حدوث تصليد انفعالي حيث يتحول البلى من البلى الطري (mild wear) الى البلى الانتقالي (Transitional wear) ثم الى البلى الشديد (serve wear) وعند زيادة الحمل الى (٤٥) نيوتن ينتج عنه تكوين شقوق صغيرة في سطح العينة ومن ثم تلتقي هذه الشقوق مع بعضها البعض أو مع خطوط البلى بسبب إزالة طبقات رقيقة من المعدن التي تزال بسهولة باتجاه الانزلاق لتكوين حطام البلى [٧] ويلاحظ من الشكل (٥) أن معدل البلى للسبيكة المحتوية على (٢,٥%) نحاس يكون اقل مما هو في حالة المعدن الأساس حيث يؤثر النحاس على سلوك البلى للمعدن الأساس. إما في حالة السبيكة الحاوية على (٤,٥%) نحاس فيكون معدل البلى اقل مما في حالة السبيكة (٢,٥%) والسبيكة (٣,٥%) الحاوية على النحاس. وهذا يعود الى دور النحاس في تقسية السبيكة

نتيجة ذوبانه وبالتالي زيادة صلادة السبيكة. وهذه النتائج أكدت الدراسة التي قام بها الباحثان منذر محمد راضي وأسيل احمد [٢] حول سلوك البلى الأنزلاقي لبعض سبائك النحاس.

٧-٢ تأثير زمن الانزلاق على معدل البلى.

يبين الشكل (٦) أن معدل البلى للسبائك الثلاثة يزداد مع زمن الانزلاق عند انزلاقها على قرص فولاذي وعند سرعة انزلاق ثابتة. وتكون الزيادة في معدل البلى في حالة السبيكة (٢,٥%) نحاس اكبر مما هي عليه في حالة السبكتين (٣,٥%) (٤,٥%) نحاس . ومن ناحية أخرى يلاحظ أن السبيكة الحاوية على (٣,٥%) نحاس هي أفضل السبائك لأنها تمتلك اقل معدل بلى مقارنة بالسبائك الأخرى. أن الزيادة في معدل البلى تكون قليلة وثابتة تقريبا مع زيادة زمن الانزلاق وهذا يعزى الى دور عنصر النحاس في تقوية السبيكة بسبب ذوبانه في المحلول حيث أن اقصى قابلية ذوبان للنحاس في الألمنيوم تصل الى (٥,٧%) مما يؤدي الى زيادة صلادة السبيكة وكذلك حدوث ظاهرة التصليد الانفعالي strain hardening الناتجة عن عملية البلى وزيادة صلادة الطبقة السطحية بغض النظر عن حجمها البلوري. مع زيادة زمن الانزلاق يزداد معدل البلى الى أن تصل الى حالة الاستقرار. ويوجد سبب آخر هو تسطح نتوءات السطحين المنزلقين نتيجة لاستمرار عملية الانزلاق مما يؤدي الى الحصول على أسطح ذات خشونة اقل حيث يؤدي ذلك الى تسهيل عملية الانزلاق وبالتالي تقليل معدل البلى. وقد لوحظ هذا لجميع السبائك وهذه النتائج تتفق مع نتائج الدراسة [١٠].

٧-٣ تأثير سرعة الانزلاق على معدل البلى.

تمت في هذه الدراسة بيان تأثير سرعة الانزلاق على معدل البلى للمعدن الأساس والسبائك الثلاثة حيث كانت سرعة الانزلاق ٤,٩m/sec and ٣,٧٦, ٢,٨٢, ١,٨٨, ٠,٩٤ على التوالي وكانت مدة الاختبار ٣٠ min لكل اختبار وتحت تأثير حمل عمودي ثابت (١٩,٦٢) N عند انزلاقها على قرص الفولاذ كما تبين من الشكل (٧) . كما يلاحظ من الشكل أن معدل البلى للسبائك الثلاثة يقل مع سرعة الانزلاق ويعزى سبب ذلك الى أن تسرب الحرارة خلال معدن العينة والقرص يكون عند السرعة الأنزلاقية العالية اقل مما عليه في السرعة الأنزلاقية الواطئة , مما ينتج عن ذلك ارتفاع درجة حرارة سطح التلامس عند السرعة العالية وزيادة قابلية السطوح المنزلقة على التفاعل مع الرطوبة والهواء الجوي حيث تتكون طبقة من الاوكسيد على سطح التلامس تعمل على تقليل حصول الاتصال المعدني المباشر ما بين السطحين المنزلقين مؤديا الى خفض وتقليل معدلات البلى [٩]. ويلاحظ أيضا بان معدل البلى يقل الى أقصى قيمة له عند السرعة (٠,٩٤m/s) ويعزى سبب ذلك أن درجات الحرارة اللحظية تكون عالية عند هذه السرعة الأنزلاقية الواطئة وكذلك عند السرعة الأنزلاقيه المنخفضة احتمالية حصول عملية الأكسدة تكون قليلة ينتج عن ذلك معدلات بلى عالية بسبب حصول اتصال معدني مباشر ما بين سطح العينة والقرص الدوار وتوليد حطام البلى المعدني [٩].

٨- الاستنتاجات Conclusions

ان الاستنتاجات التي تم التوصل إليها من خلال هذه الدراسة والمتمثلة بدراسة تأثير الحمل العمودي ، زمن

الانزلاق و سرعة الانزلاق على مقاومة البلى الأنزلاقي الجاف لسبائك الألمنيوم- نحاس هي:-

- ١- ازدادت مقاومة البلى الأنزلاقي الجاف للألمنيوم النقي عند اضافته النحاس وعند كافة نسب النحاس.
- ٢- بينت نتائج الاختبار أن أفضل مقاومة بلى كانت لسبيكة ألمنيوم - نحاس ٣,٥%Cu - Al وبلغت نسبة التحسين ٤٣% في حالة الحمل العمودي و ٣٧% في حالة التغير في سرعة الانزلاق.
- ٣- أن معدل البلى الأنزلاقي الجاف يتغير مع سرعة الانزلاق حيث يكون ذا قيمة عالية عند السرعة الأنزلاقية المنخفضة نسبيا".

المصادر

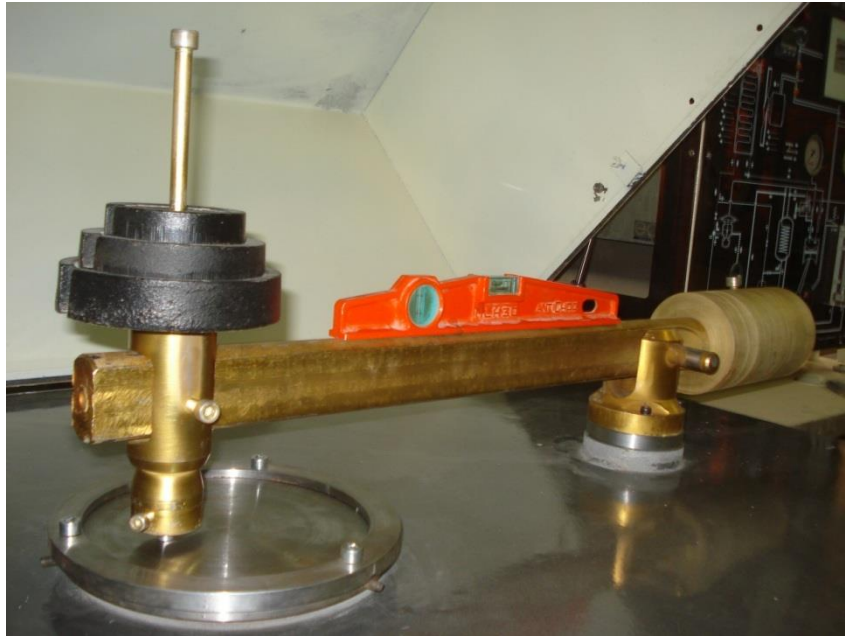
- ١- W.D. Callister, "Material Science & Engineering: An Introduction", ٣rd Edition, Mc GRAW Hills, Singapore, ١٩٩٤, pp. ٢٧٧-٣٣٣.
- ٢- د. منذر محمد راضي، أسيل احمد نوري "تأثير أضافه عنصر النيكل على مسبوكات الألمنيوم- نحاس قبل وبعد المعاملة الحرارية" مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد (٢٨)، العدد الخامس، ٢٠٠٦.
- ٣- علي النخلاني ومحمد عبدالحافظ " تقسية الألمنيوم "مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية. المجلد (٢٢). العدد الثاني ٢٠٠٦.
- ٤- D. H. Xido, J. N. Wang, S. P. Chen, D. Y. Ding. "Effect of Cu content on the mechanical Properties of Al-Cu-Mg-Ag Alloy" shanghai Jiao Tong University. Journal of material processing Technology, (٢٠٠٨), pp. ١٨٩-١٩٦.
- ٥- عبدالله عذيب "دراسة بلى النحاس الأصفر تحت ظروف الانزلاق الجاف" رسالة ماجستير، قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية، ١٩٩٨.
- ٦- Pathak , J.P., Tiwari, S. N. and Malhotra, S. L., "Effect of normal load and sliding speed on the wear characteristics of Aluminum Bearing Alloy", wear, ١١٢, pp ٣٤١-٣٥٣, (٢٠٠٩).
- ٧- R.N. Row. "Wear coefficient and reliability of sliding wear test procedure for high strength aluminum alloy and composite", Materials and Design .Vol. (٣١) PP.٣٢٢٧-٣٢٣٣, (٢٠١١).
- ٨- L.E.G. Cambronero, "Mechanical characterization of AA٧٠١٥ aluminum alloy reinforced with ceramics", Journal of Material Processing Technology, Vol.٢٠, No.٢, PP.٣٧٨-٣٨٣, (٢٠١١).
- ٩- ضياء أحمد صلال، "دراسة تأثير درجة الحرارة المتولدة في الاحتكاك على خصائص ومميزات البلى الأتزلقي الجاف لحديد الزهر ذي الكرافيت الكروي" المؤتمر العلمي الهندسي الأول -كلية الهندسة-جامعة ديالى ٥٣-٥٤ PP. (٢٠١٠)
- ١٠- Gurcan A.B., Baker T.N., "Wear behavior of AA٦٠٦١ Aluminum alloy and its composites Wear", ١٨٨, ١٨٥-١٩١ (٢٠١٠).
- ١١- Banerjee A., Prasad S.V, Surappa M.K. and Rohatgi P.K., "Abrasive wear of cast aluminum alloy-zircon particles composites", wear, ٨٢, ١٤١١٥١ (٢٠١١).

جدول (١): وزن الألمنيوم والنحاس المستخدمين لتحضير السبائك.

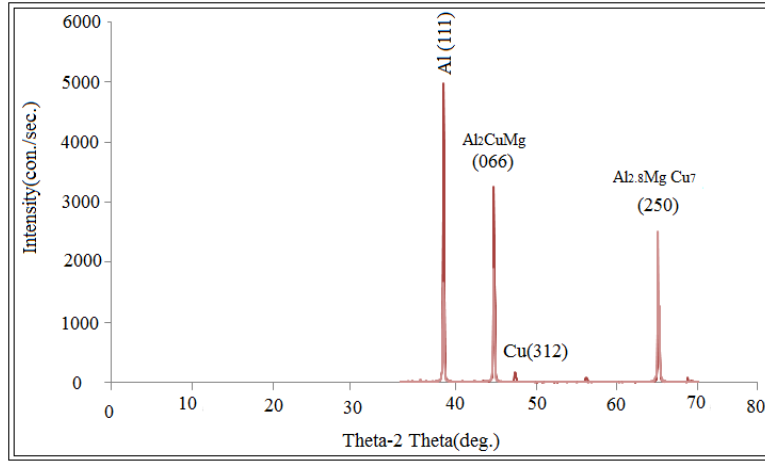
النسبة المئوية للنحاس	وزن الألمنيوم المذاب بالغرام	وزن النحاس المضاف بالغرام	أجمالي وزن السبيكة بالغرام	رمز السبيكة
٢,٥%	٢٠٠	٥,١٤	٢٠٥,١٤	Al-٢,٥%Cu
٣,٥%	٢٠٠	٧,٢٥	٢٠٧,٢٥	Al-٣,٥%Cu
٤,٥%	٢٠٠	٩,٤٤٥	٢٠٩,٤٤٥	Al-٤,٥%Cu

جدول (٢): التحليل الكيماوي للألمنيوم النقي ولسبائك المحضرة.

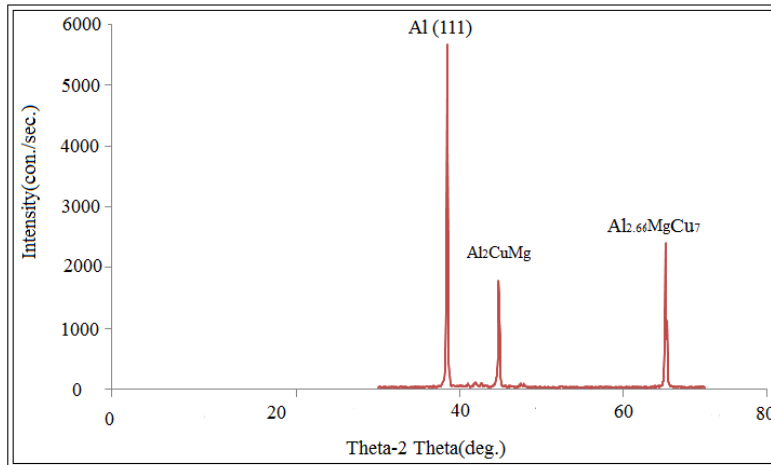
Elements (Wt. %)	Al	Pb	Ni	Cr	Ti	Zn	Mg	Mn	Cu	Fe	Si
Pure Aluminum	٩٨,٨٣	-	-	٠,٠٠٠٨	٠,٠٠٦	٠,٠٠٢	٠,٥٤٢	٠,٠٠٢	٠,٠٠١	٠,١٦٧	٠,٤٥٦
Al-٢,٥% Cu	Rem.	-	-	٠,٠٠٥	٠,٠٠٦	٠,٠٠٨	٠,٥٦٠	٠,٠٠٢	٢,٥٢٤	٠,١٦٢٠	٠,٤٤٥
Al-٣,٥% Cu	Rem.	-	-	٠,٠٠٩	٠,٠٠٧	٠,٠٠٧	٠,٥٦٠	٠,٠١٢	٣,٥٣٥	٠,١٧٠	٠,٤٦٥
Al-٤,٥% Cu	Rem.	-	-	٠,٠١٠	٠,٠٠٨	٠,٠٠٧	٠,٥٦٠	٠,٠٠٩	٤,٤٨٩	٠,١٦٩٠	٠,٤٥٥



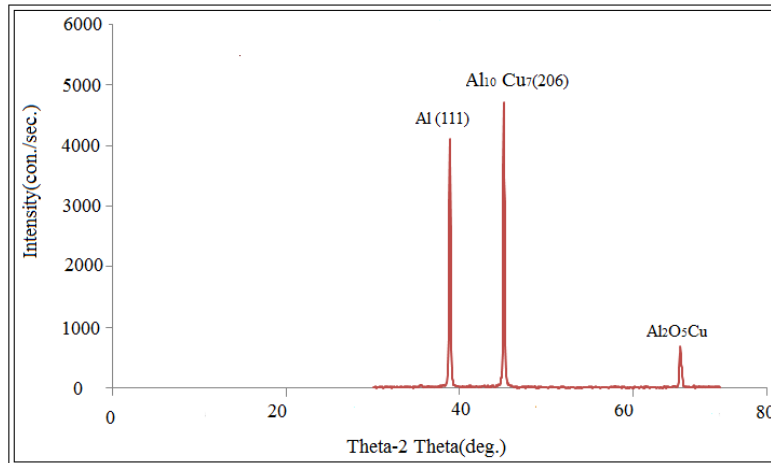
شكل (١): جهاز اختبار البلى الأتزلاقي.



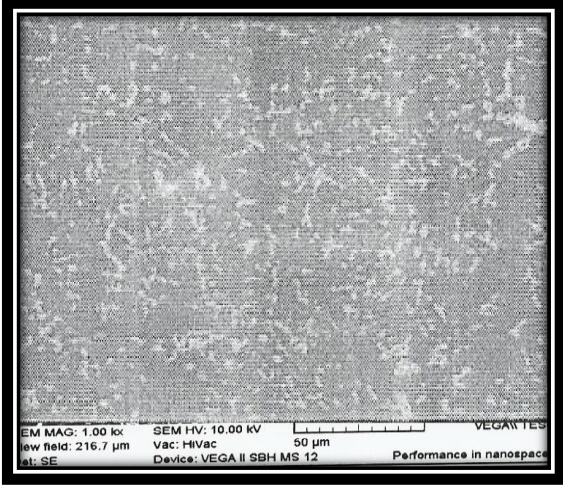
شكل (٢): يمثل حيود الأشعة السينية بتغير نسب النحاس Al – ٢,٥% Cu



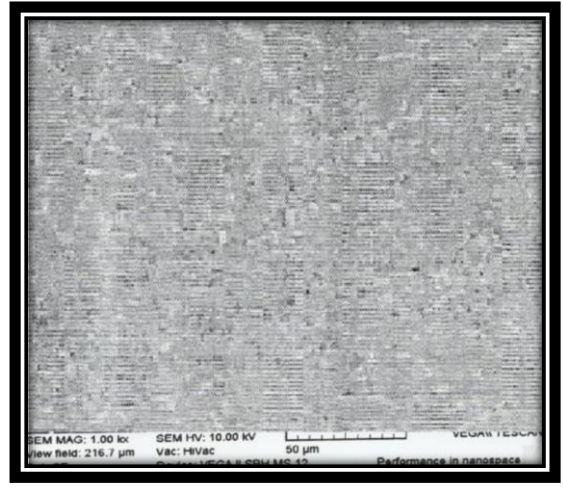
شكل (٣): يمثل حيود الأشعة السينية بتغير نسب النحاس Al – ٣.٥% Cu



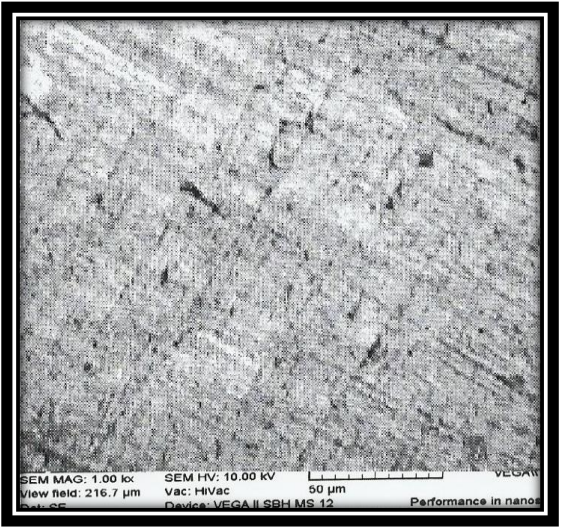
شكل (٤A): يمثل حيود الأشعة السينية بتغير نسب النحاس



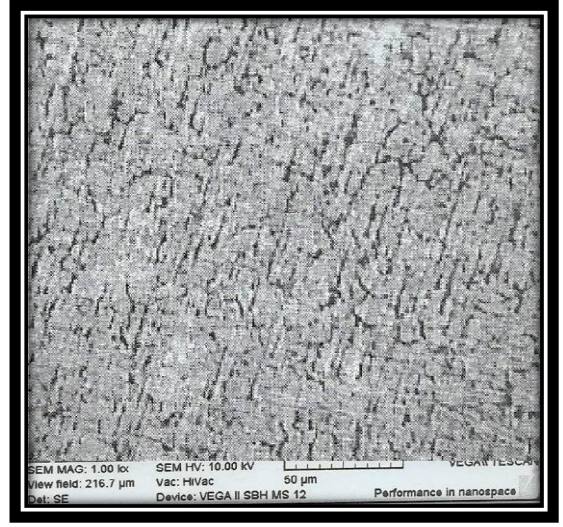
البنية المجهرية لسبيكة Al-2.5% Cu



البنية المجهرية للألمنيوم النقي

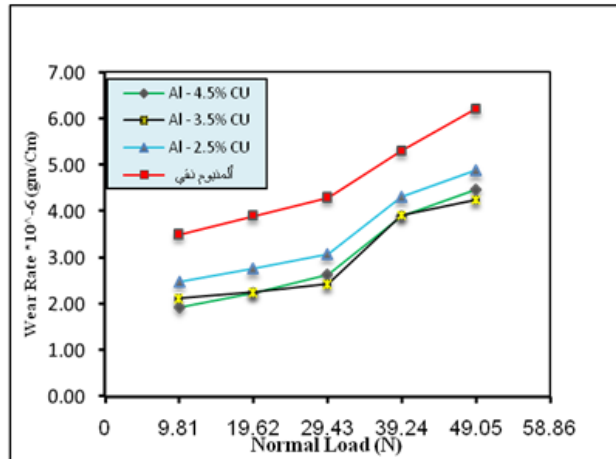


البنية المجهرية لسبيكة Al-4.5% Cu

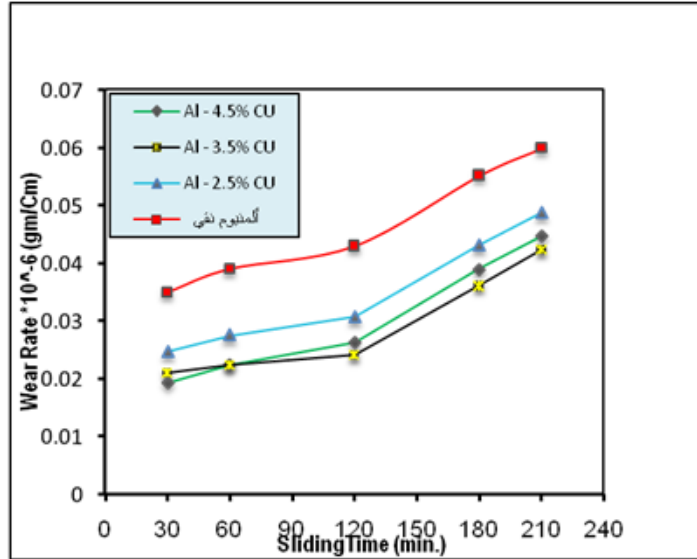


البنية المجهرية لسبيكة Al-3.5% Cu

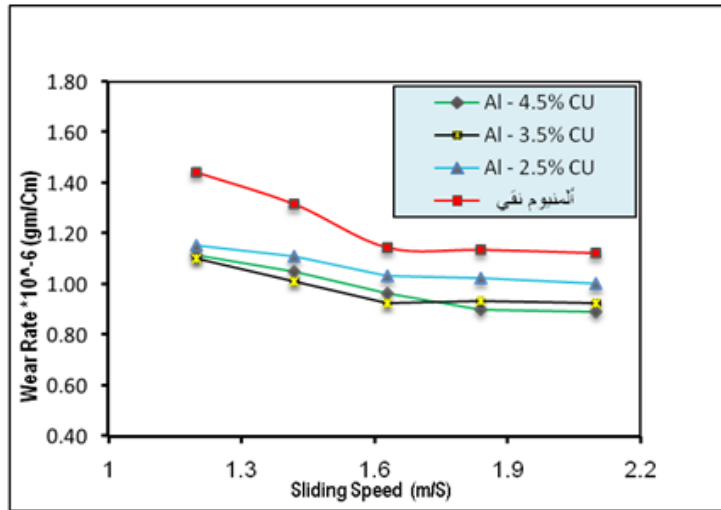
شكل (B): البنية المجهرية للسبائك الثلاث والألمنيوم النقي.



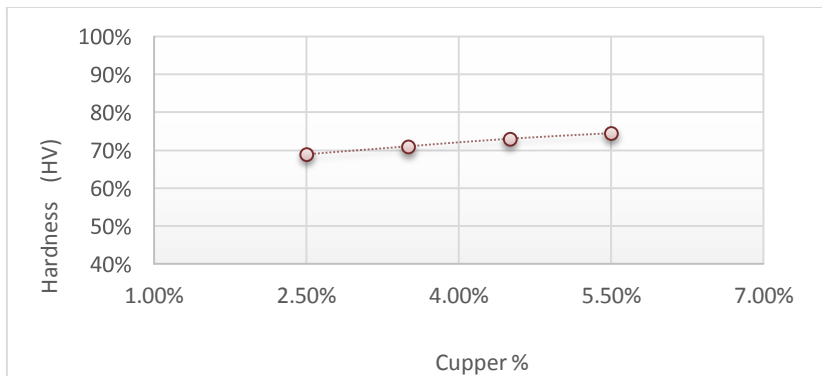
شكل (B): يمثل تأثير الحمل العمودي على معدل البلى تحت ظروف اختبار (زمن انزلاق 30 min)، سرعة الانزلاق (1.88 m/s)، درجة حرارة 250°C وصلادة القرص الفولاذي (30HRC).



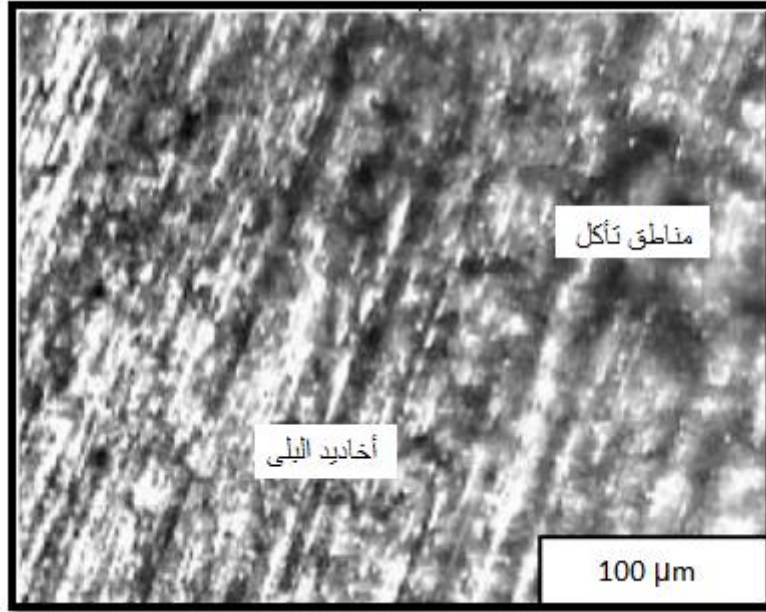
شكل (٦): يمثل تأثير زمن الاتزلاق على معدل البلى تحت ظروف اختبار (الحمل العمودي (19,62 N)، سرعة الاتزلاق (1,88m/s) درجة حرارة ٢٥° و صلادة القرص الفولاذي (3٥HRC)).



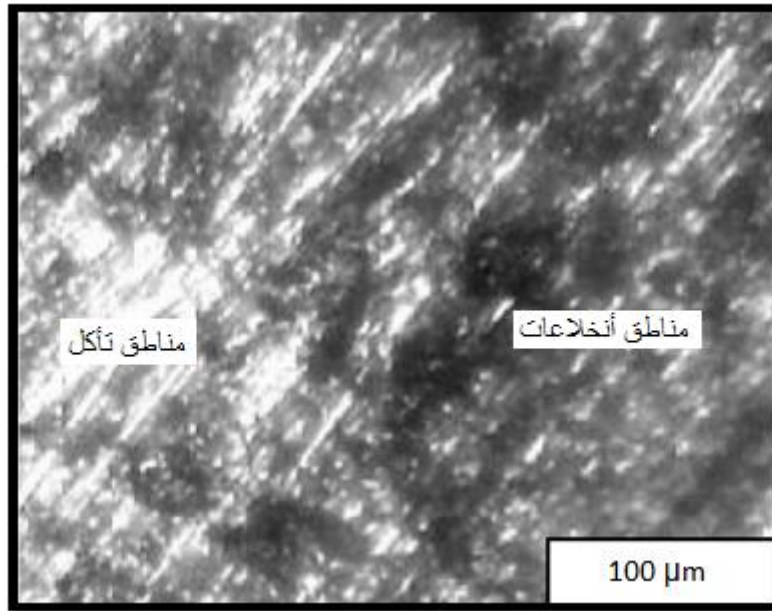
شكل (٧): يمثل تأثير سرعة الاتزلاق على معدل البلى تحت ظروف اختبار (الحمل العمودي (19,62 N)، زمن الاتزلاق (3٠ min.)، درجة حرارة ٢٥° و صلادة القرص الفولاذي (3٥HRC)).



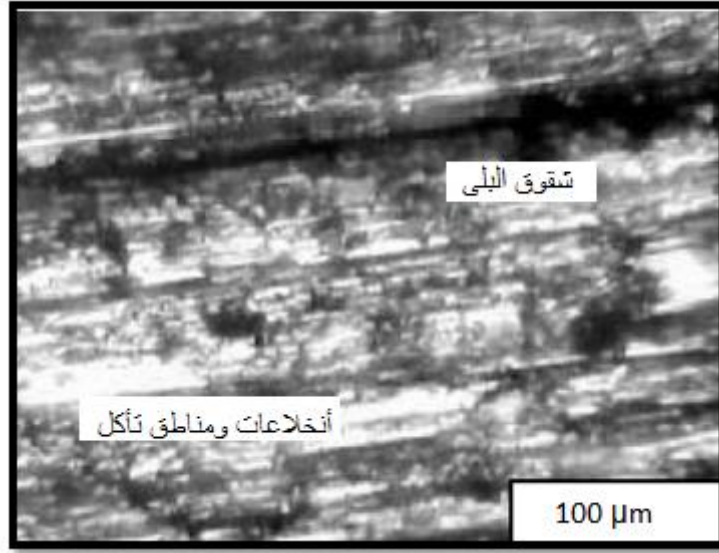
شكل (٨): يمثل تأثير نسبة النحاس في الصلادة لسبائك الألمنيوم - نحاس.



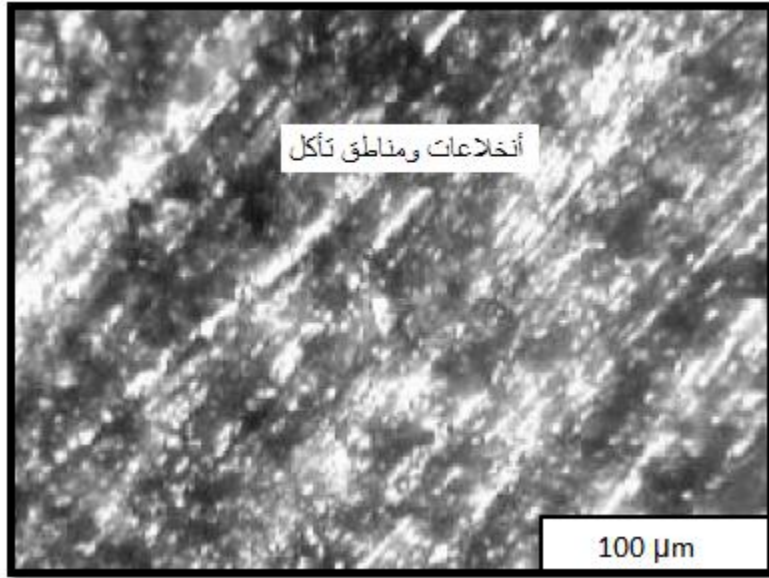
شكل (٩): صور مجهرية لنماذج الاختبار بعد اختبار البلى الأتزلاقي الجاف بين أخاديد البلى تحت تأثير سرعة انزلاق $1,88\text{m/s}$ وحمل عمودي $9,81\text{ N}$ وزمن انزلاق 30 min .



شكل (١٠): صور مجهرية لنماذج الاختبار بعد اختبار البلى الأتزلاقي الجاف بين أخاديد البلى ومناطق الانخلاعات تحت تأثير سرعة انزلاق $1,88\text{m/s}$ وحمل عمودي $18,62\text{ N}$ وزمن انزلاق 30 min .



شكل (١١): صور مجهرية لنماذج الاختبار بعد اختبار البلى الأتزلاقي الجاف بين أخاديد البلى تحت تأثير سرعة انزلاق ٢,٨٨m/s وحمل عمودي ٣٦,٦٢ وزمن انزلاق ٣٠ min.



شكل (١٢): صور مجهرية لنماذج الاختبار بعد اختبار البلى الأتزلاقي الجاف بين أخاديد البلى تحت تأثير سرعة انزلاق ٣,٧٦m/s وحمل = ٣٦,٦٢ وزمن انزلاق ٣٠ min.