دراسة مقاومة البلى الأنزلاقي الجاف لمواد مركبة معدنية ذات اساس من سبيكة الألمنيوم–12% سيليكون مقواة بدقائق كاربيد السليكون

م.م حسين موسى حبيب
كلية الهندسة –جامعة الكوفة–النجف

الملخص

تم تحضير مواد مركبة ذات أساس من سبيكة الألمنيوم **(Al – 12 % Si)** مقواة بدقائق كاربيد السليكون بنسبة وزنية (5%) وبطريقتين السباكه بالجاذبية والسباكه بالعصر تحت تأثير ضغط كبس (38MPa) وتسخين أولى للقالب عند درجه حرارة 200 م^{o}.

أجريت أختبارات الفحص المجهري والصلاده للمواد المركبة المنتجه وكذلك أجري أختبار البلى الأنزلاقي الجاف نوع المسمار على القرص (pin – on – Disc) مع تغير الحمل المسلط وثبوت صلادة القرص (35 HRC) وسرعة الأنزلاق (2.7 m / sec) وزمن الأنزلاق (20 min).

وتم التوصيل إلى إن السبيكة الأساس (A1 – 12% Si) والمواد المركبة المنتجه بطريقه السباكه بالعصر ذات مقاومة بلى أعلى مما هو عليهِ في حالة السبيكة الأساس والموادالمركبة المنتجه بالسباكة بالجاذبيه.

STUDY OF DRY SLIDING WEAR RESISTANCE OF COMPOSITE MATERIALS OF AN ALLOY(AL – 12 % SI) REINFORCED WITH SIC PARTICLES

Husein M. H , University of Kuffa.-Najaff

Abstract

In this study, composite materials of an aluminum alloy(Al – 12 % Si) matrix reinforced with 5wt% SiC particles were prepared by gravity die casting and squeeze casting under casting pressure of (38MPa) and mold preheating at temperature (200 ^{o}C).

Microstructure and hardness for prepared base alloy and composite materials were carried ou. Dry sliding wear type (pin–on-Disc) with variation in applied load was carried out under a constant steel hardness (35 HRC), sliding speed (2.7 m / sec) and sliding time (20 min).

It has been found that prepared base alloy(Al – 12 % Si) and composite materials produced by squeeze casting have wear resistance better than that of base alloy and composite materials produced by gravity die casting.

Keywords: composite materials, wear, $Al - Si$ alloys, squeeze casting

1المقدمه Introduction

تعرف الماده المركبه بأنها الماده المتكونه من مادتين أو أكثر والتي تعطى مواصفات أفضل لا تتوفر في أي من المادتين كل على أنفراد، وتعد المواد المركبة ذات الأرضيه المعدنية من الألمنيوم أو سبيكة الألمنيوم $(Al-Si)$ واحدة من أهم أصناف المواد الهندسية المتطورة والتي تعطي مميزات أفضل من السبائك التقليدية، مثل أنخفاض الكثافة، الأستقرارية الحرارية، متانه عالية، مقاومة تآكل جيدة مع صلاده ومقاومة بلى عاليتين [1 ,2]. وتستعمل المواد المركبة المعدنيه في مجالات كثيرة منها مركبات الأحتراق الداخلي وعدد القياس ذات الحساسية العالية، وفي مجالات الفضاء والطائرات وغيرها [3].

وقد ظهرت طرائق عديدة لأنتاج المواد المركبة المعدنية منها السباكة بالصب الدوامي (Vortex Casting) أي السباكة بالخلط (Stir) والسباكة بالترشيح (Infiltration) والسباكة بالعصر (Squeeze) وغيرها. وتعتبر السباكة بالعصرهي عمليه أقتصادية وذات كفاءة في أستغلال المواد الداخلة ولاتحتاج إلى عمل مغذيات ومجاري لدخول المعدن المنصهر إلى جوف القالب وعلى هذا الأساس فأن هذهِ الطريقه تجمع بين طريقه السباكه بالضغط (Pressure die casting) وعملية الطرق (Forging). وتتلخص السباكه بالعصر بأستعمال قالب معدني يحتوي على تجويف يمثل شكل الجزء المراد أنتاجيه ويتكون القالب من جزئين وعند أنطباقهما لايسمحان بخروج المعدن المنصهر أثناء عمليه تسليط الضغط ويتم أبقاء الضغط حتى نهاية التجمد [4]. وتتميز عمليه السباكة بالعصرعن طرق السباكه الأخرى هي في بنيتها البلورية الناعمة نتيجه لسرعة عمليه التبريد وبالتالي تعطي خواص جيدة للمسبوكة الناتجه علاوة على أنها تمتاز بأنهاء سطحي جيد وعملية التشغيل تكون فيها قليلة جداً.

وقد تم أنتاج دولاب (Wheel) من سبائك الألمنيوم بطريقة السباكه بالعصر من قبل شركة تيوتا اليابانية (Toyota Motor Company) عام 1979 [5].

عام 1994 أستبدلت أجزاء ذراع السيطرة (Control arms) المصنعه من الفولاذ بمسبوكة من سبيكة ألمنيوم محضرة بطريقة العصر [5]. وقد قام الباحث (Davidson) وجماعتهُ عام 2004 [6] بدراسة خواص الكلال لمسبوكات مصنعه بطريقة السباكه بالعصر وسباكةِ (semi solid) والسباكة بالجاذبية. وقد توصلوا على الرغم من أختلاف البُنية المجهرية للمسبوكات الثلاث والعيوب المتكونه فيها الأ أن خواص الكلال كانت متشابهه في المسبوكات الثلاثة.

وفي عام 2006 قام الباحث Basavarajappa وجماعتهُ [7] بدراسة سلوك البلى الأنزلاقي الجاف لمواد مركبة من سبيكة الألمنيوم – نحاس نوع (2219) مقواة بدقائق SIC

بنسب (0-15)%. وأجري اختبار البلى تحت أحمال متغيرة من (0-60) نيوتن وعند سرع مختلفة ومسافة أنزلاق ثابته (5000) متر. وقد توصلوا ألى إن معدل البلى للمواد المركبة كان أقل مما هو عليهِ في حالة السبيكة الأساس.

ويهدف البحث الحالي الى دراسة سلوك البلى الأنزلاقي الجاف لمواد مركبة محضرة بطريقتي السباكة بالجاذبية والسباكه بالعصر. والمادة المركبة هي ذات أرضيه من سبيكة **(Al Si) 12 %** – مقواة بدقائق كاربيد السيليكون(SiC 5%).

2- الجزء العملي

2-1 المواد المستعملة

أ) تم استعمال سبيكة الالمنيوم -12% سليكون حسب المواصفه القياسيه (DIN 1725) وتم اختيار سبيكة(Al-12% Si) وذلك لاستخدامها في العديد من الاجزاء الاحتكاكية المهمة كالمكابس ورؤوس الاسطوانات [8]. والجدول(1) يمثل تحليل التركيب الكيمياوي لها والذي تم اجراءه في وزارة العلوم والتكنولوجيا.

ب) دقائق كاربيد السليكون(SiC) بحجم حبيبي من 53-75µm

2-2 تحضير السبيكه الاساس والماده المركبة بطريقة السباكه بالجاذبية

تم تحضير السبيكه الاساس(Al-12% Si) وذلك بتقطيع المصبوبه المستلمه الى قطع صغيره وكان الوزن الكلي للقطع 200 غرام اذ تم صهر السبيكه الاساس بوضع القطع في بودقه من الالومينا ثم ادخلت البودقه الى فرن الصهر الكهربائي عند درجة حرارة 700℃ وبعد انصهارها تم صب المعدن المنصهر في قالب الصب الذي سخن الى درجة 200℃وتركها لتتجمد وتبرد. ولغرض تحضير الماده المركبه تم اجراء نفس الخطوه السابقه اذ اخرجت البودقه من الفرن وتم اضافة دقائق SiC 5% الى منصهر سبيكة (Al-12%Si) علما بأنه تم تجفيف دقائق SiC في درجة حرارة 300℃ لمدة ساعه وتم تغليفها برقائق من الالمنيوم النقي. ثم اجريت عملية الخلط الميكانيكي للمنصهر بطريقة الدوامه (Vortex) بأستعمال خلاط كهربائي وكانت مدة الخلط (5 min) وتم اخراج البودقه مره اخرى واجريت عملية الخلط قبل الصب لضمان الحصول على توزيع متجانس لدقائق SiC في المنصهر بعد ذلك تم صب الخليط في قالب الصب المسخن مسبقا الى درجة حرارة 200℃ بعدها تم اخراج المصبوبة لغرض اجراء الفحوصات عليها.

2- 3 تحضير السبيكة الاساس والماده المركبة بطريقة السباكة بالعصر

تتكون منظومة السباكه بالعصر من مكبس هيدروليكي عمودي (الماني الصنع) يتكون من (Ram) ذو قطر (70 mm) يقوم بتسليط الضغط وعصر المعدن المنصهر في قالب السباكه وتكون سعة الضغط للمكبس ($1\text{-}70Kg/cm^2$) مع سرعه ثابته (25 cm/min) وقد تم تصميم المكبس والقالب(Punch & Die) من الفولاذ السبائكي المنخفض وكما موضح في جدول (2).

اما بالنسبه لتحضير السبيكه الاساس والماده المركبة تجري نفس الخطوات المتبعة في فقرة(2) ولكن بعد اخراج البودقة الحاوية على المنصهر من الفرن. ويتم صب المنصهر للسبيكه الاساس (Al-12% Si) او الخليط المنصهر (من سبيكة الالمنيوم ودقائق SiC 5%) في حالة تحضير الماده المركبه في قالب الصب المسخن مسبقا الى درجة حرارة 200℃ وهي درجة حراره القالب عند الصب وبعد ان تصل درجة حرارة المنصهر الى 600℃ يتم كبسه بواسطة المكبس الهيدروليكي عند ضغط عصر 38MPaولمدة نصف دقيقه وبعد التجميد يتم اخراج المصبوبة من القالب لغرض اجراء الفحوصات عليها.

3- الفحوصات والاختبارات

1- الفحص المجهري Microstructure test

تم تحضير العينات من السبيكه الاساس والمواد المركبه المحضره بطريقتي السباكه بالجاذبيه والسباكه بالعصر حيث تم قطع عينات اسطوانيه بقطر (10mm) وطول (5mm) لكل صبة لغرض اجراء الفحص المجهري والصلاده. ثم اجري عليها التنعيم الرطب بالماء بأستعمال اوراق تنعيم من SiC بدرجات نعومه مختلفه (1000,500,320) على التوالي. ثم اجريت عملية الصقل بأستعمال قماش صقل خاص ومحلول الالومنيا ذو حجم حبيبي (5µm). ثم غسلت العينات بالماء والكحول وجففت بالهواء. واخيرا تمت عملية اظهار العينات بأستعمال محلول يتكون من($1\%HF + 99\%H_2O$) .

2- قياس الصلادة

تم استخدام طريقة فيكرز لقياس الصلاده واستخدام جهاز فيكرز نوع (Einsingenbei U/M Mode 2323) بأستعمال حمل مسلط (300 gm) لمدة 10 sec وكان عدد القراءات من(5-3) قراءه ثم اخذ المعدل وتم حساب الصلاده.

3- اختبار البلى

استخدم جهاز البلى نوع المسمار على القرص (Pin – on Disk) طبقا الى مواصفات (ASTM) 83- D2625 [9]. واجرى الاختبار على عينات اسطوانيه بقطر

(10mm) وطول (20mm). وقد تم تحضير سطح واحد من عينة البلى وبنفس الخطوات المتبعه في الفقرة (1).

يتكون جهاز البلى من محرك كهربائي يدور بسرعة دورانية ثابتة (940 rpm) ثم يتم نقل الحركه من المحرك الى القرص الفولاذي حيث تكون سرعة دوران القرص (510 rpm) كما يحتوي الجهاز على ذراع مستطيل المقطع توضع في نهايته اثقال الموازنه فضلا عن وجود عمود تثبت فيه العينه المراد فحصها بواسطة ماسك. وفي هذا البحث تم تحديد اربعة احمال هي (5,10,15,20 N) وسرعة انزلاق ثابته 2.7 m/sec وصلادة القرص هي 35HRC وزمن الاختبار 20min .

ويتم حساب معدل البلى للعينات بأستخدام الطريقة الوزنية[10] من المعادله الاتية:

$$\text{Wear rate (w. r)} = \frac{\Delta W}{DtN} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

$$\Delta W = W_0 - W_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

D=7 cm
t=20 min
N=510 rpm

حيث ان:

WR= معدل البلى (gm/cm)

ΔW =الوزن المفقود (gm)

W_0 ,W_1= وزن العينه قبل وبعد الاختبار

D= قطر مركز الدوران للقرص الفولاذي

t= زمن الانزلاق (min)

N= عدد دورات القرص الفولاذي

4- النتائج والمناقشة Result and Discussion

1- نتائج البنية المجهرية:

يلاحظ من الشكل (1) البنية المجهرية لسبيكة Al-12%Si بعد عملية السباكة بالجاذبية والسباكة بالعصر تتكون من طورين رئيسين يظهران في ارضية السبيكة والتي تتمثل بطور ألألمنيوم (α) وطور اليوتكتك (Si-Al).اضافة الى وجود طور السيليكون الاولي والذي يظهر على شكل مكعبات (Cuboids) كما في شكل(A1-1). ويمكن ملاحظة هذه الاطوار في حالة السبيكة المحضرة بطريقة السباكة بالعصر ولكن يحدث تحويروتنعيم لطور اليوتكتك مع الاختفاء طور السليكون الاولي كذلك ظهور البنية الشجيرية لطور الألمنيوم (α) كما في

شكل(A2-1). اما المادة المركبة المتكونة من السبيكة الأساس (Al-12% Si) ودقائق 5%SiC ونتيجة كفاءة عملية الخلط في تحضير المادة المركبة تتوزع دقائق SiC بانتظام تقريبا في ارضية اليوتكتك كما في الشكل (B1,B2)-1)

2- نتائج اختبار الصلادة والبلى:

تؤثر البنية المجهرية والاطوار في ارضية السبيكة على خصائص البلى ومعدل البلى وكذلك الصلادة ، ويمكن زيادة الصلادة ومقاومة البلى للسبيكة المحضرة بالسباكة بالعصر كون ان الصلادة تعتمد على التركيب المجهري للارضية مقارنة بالتركيب المجهري للسبيكة المحضرة بالسباكة بالجاذبية ، اذ ان زيادة الصلادة تؤدي الى انخفاض معدل البلى [11] وهذه النتائج تتوافق مع نتائج باحثين اخرين [12]. والجدول (3) يبين نتائج الصلادة للسبيكة للاساس والمواد المركبة .

ومن الشكل (2)الذي يبين العلاقة بين الحمل المسلط ومعدل البلى للسبيكة الاساس والمواد المركبة المنتجة بطريقتي السباكة بالعصر والسباكة بالجاذبية يلاحظ ان السبائك تمر بمراحل مختلفة من البلى وهي مرحلة البلى الطري (الاوكسيدي) والبلى الانتقالي والبلى المعدني (الشديد) اما المواد المركبة المنتجة بطريقة السباكة بالعصر فتسلك سلوك مختلف عن السبيكة الاساس ويكون التغير في معدل البلى تدريجياً وبمعدل بلى اقل عما في حالة السبيكة الاساس عند الحمل (20N). وهذا يعود الى البنية المجهرية الناعمة التي تكونت خلال عملية الكبس على المعدن المنصهر وهو داخل القالب وهو في مرحلة التجمد مما ادى الى تكوين حبيبات ناعمة من طور الالمنيوم (α) والسيلكون (Si) وهذا بدوره يؤدي الى انخفاض معدل البلى وزيادة الصلادة . وهذه النتائج تتوافق مع نتائج باحثين اخرين [13]. ومن الشكل السابق يلاحظ ان معدل البلى للمادة المركبة المنتجة بطريقة الدوامة اعلى مما هو عليه للمادة المركبة المنتجة بالعصروعند جميع الاحمال المستعملة. وهذا يعزى الى ان في حالة السباكة بالعصر فان ضغط الكبس المسلط على المعدن المنصهرداخل القالب وهو لايزال في مرحلة التجمد سوف يساعد على تحسين قابلية الترطيب لدقائق SiC في أرضية السبيكة وسوف يمنع من تكتل دقائق السيلكون (SiC) وبالتالي يساعد على زيادة استبقاء دقائق SiC في الارضية وهذا يؤدي الى زيادة الصلادة ومقاومة البلى للمادة المركبة.

يوضح **الشكل (3)** الصور الفوتوغرافية لاسطح البلى للسبيكة الأساس والمواد المركبة المنتجة بطريقتي السباكة بالجاذبية والسباكة بالعصر عند تسليط حمل مقداره(20N) وسرعة انزلاق ثابتة (2.7 m/sec) بعد مرور (20) دقيقة.ويلاحظ خطوط واثار البلى عند سطح البلى اذ تكون خطوط البلى عريضة وعميقة وحدوث شقوق كبيرة وصغيرة وحفر (Grooves)

وظهور بعض حطام البلى على سطح البلى لسبيكة الألمنيوم-12%سليكون كما موضح في**الشكل (3-A1)**.

اما في حالة سبيكة الألمنيوم-12%سليكون المحضرة بطريقة السباكة بالعصرفيلاحظ ان خطوط البلى دقيقة ورفيعة وغير عميقة بسبب وجود طوري الأيوتكتيك وألألمنيوم (α) وكذلك نعومة هذه الأطواروالتي تعمل على تقليل معدل البلى وبالتالي يؤدي الى تكوين حطام بلى ناعم وبكميات قليلة كما موضح في **الشكل (3-A2)**. اما بالنسبة للمواد المركبة المحضرة بطريقتي السباكة بالجاذبية والبسباكة بالعصر فتكون خطوط البلى دقيقة ورفيعة مما يؤدي الى نعومة سطح البلى. وهذا يعود الى وجود دقائق كاربيد السيلكون الصلدة في أرضية السبيكة وزيادة صلادة الطبقة السطحية مما يؤدي الى تقليل معدل البلى بالاضافة الى البنية المجهرية الناعمة لطوري السليكون والألمنيوم مما تؤدي الى زيادة صلادة السبيكة والتي بدورها تقلل الاحتكاك والبلى [14] لاحظ **الشكل (3-B1,B2)** .

5- الاستنتاجات

1. مقاومة البلى للسبيكة الاساس المحضرة بطريقة السباكة بالجاذبية اقل مما هو عليه في حالة السباكة بالعصر.
2. مقاومة البلى للمادة المركبة المنتجة بالسباكة بالعصر اعلى مماهو في حالة السباكة بالجاذبية.
3. السبيكة الاساس والمواد المركبة المنتجة بالسباكة بالعصر تمتلك صلادة اعلى وبنية مجهرية اكثر نعومة مما هو عليه في حالة السبيكة المحضرة بالسباكة بالعصر.

REFERENCES

1. S. Elomari, R. Boukhili, C. San Marchi, A. Mortensen and D. J. Lloyd, "Thermal Expansion Responses of Pressure Infiltrated SiC/AI Metal Matrix Composites" , Journal of Materials Science ,Vol.32, 1997,PP,2131-2140.
2. S. F Mustafa., "Wear and Wear Mechanisms of Al-22% Si-203 Composite", Wear Journal., Vol. 185, 1995, P.189.
3. M.Takagi, H. Ohta., T. Imura, V. Kawamura, and M. Inoue, "Wear Properties of NonCrystalline Aluminum Alloys and Their Composites". Scripta Materials, Vol. 44, 2001, P.2145.
4. J.R. Davis, "Casting Metals Handbooks", 2nd edition, Part 3, 1998.
5. I. J. Polmear, "Light Metals", Edward Arnold, London, 1989.
6. C. J. Davidson, J. R. Griffiths and A. Zanda, "Fatigue Properties of Squeeze, Semi Solid and Gravity Die Cast Al-Si-Mg Alloy", SIF 2004, Structural Integrity and Fracture.

7. S. Basararjappa, G. Chandramohan, R. Subramanian and A. Choudrasakar, "Dry Sliding Wear Behavior of Al-2219/ SiC Metal Matrix Composites", Materials Science, Poland, Vol. No. 21, 2006.
8. T. S. Eyer, "Wear Characteristic of Casting Used in Internal Combustion Engines", Met. Techno., 1984".
9. ASTM, "Metals Test Method and Analytical", Vol. 05.02, 1989.
10. T.S. Eyer, "Wear Characteristic of Metals", British Foundryman Vol.70, No.2, 1977, P.349.
11. W. Bolten, "Engineering Material Technology". Butter Worth-Heinemann, London, 1988.
12. S. A. Najeeb, "A Study on Squeeze Casting Parameters Effects on Improving the Metallurgical and Mechanical Properties of Aluminum Alloys", PhD Thesis, University of Technology, 2007.
13. Muna K. Abbass, " Study of Dry sliding Wear Behavior of Al-12% Si alloy produced by Squeeze Casting", The Iraqi journal for Mechanical Materials Engineering, Babylon University, College of Engineering ,No.3, Vol.9, 2009.

14-Mikell P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing Materials Processes and Systems", John Wiley and sons Inc., 1999.

جدول (1) يبين التركيب الكيمياوي للسبيكة الاساس

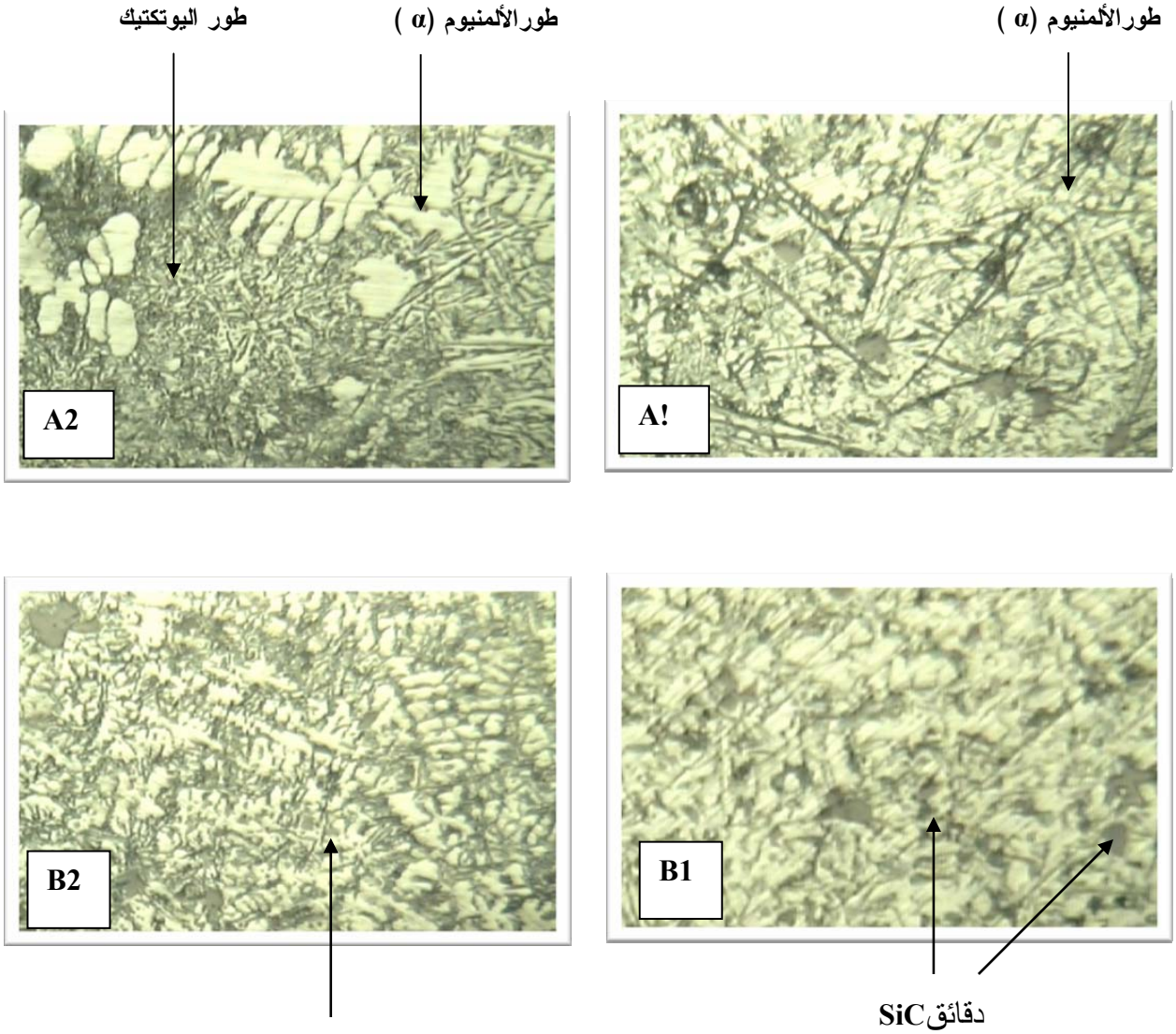
Element Wt%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
	12.1	0.65	0.83	0.2	0.27	0.45	0.02	Rem

جدول (2) يبين التركيب الكيمياوي للمكبس والقالب

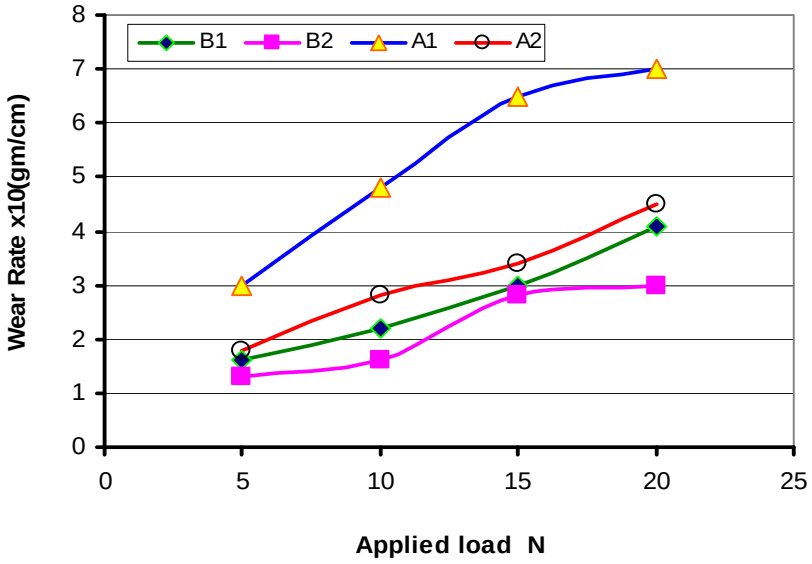
Element Wt%	C	Cr	Ni	Si	Mg	Cu	Co	Nb	Ti	V	Fe
	1.0	2.84	0.936	0.227	0.383	0.585	0.02	0.01	0.02	0.02	Rem

جدول (3) يبين صلادة العينات للسبيكة الاساس والمواد المركبة

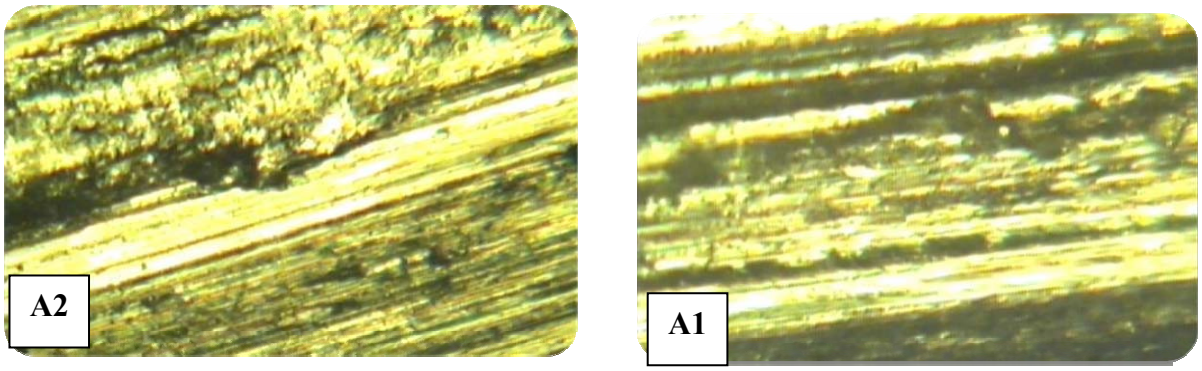
Sample symbol	Material composition	Casting condition	HV Kg/mm^2
A_1	Base alloy (Al-12% Si)	Gravity casting	64
A_2	Base alloy(Al-12% Si)	Squeeze casting	100
B_1	Composite(Al-12% Si+5%SiC)	Vortex casting	80
B_2	Composite(Al-12% Si+5%SiC)	Squeeze casting	118

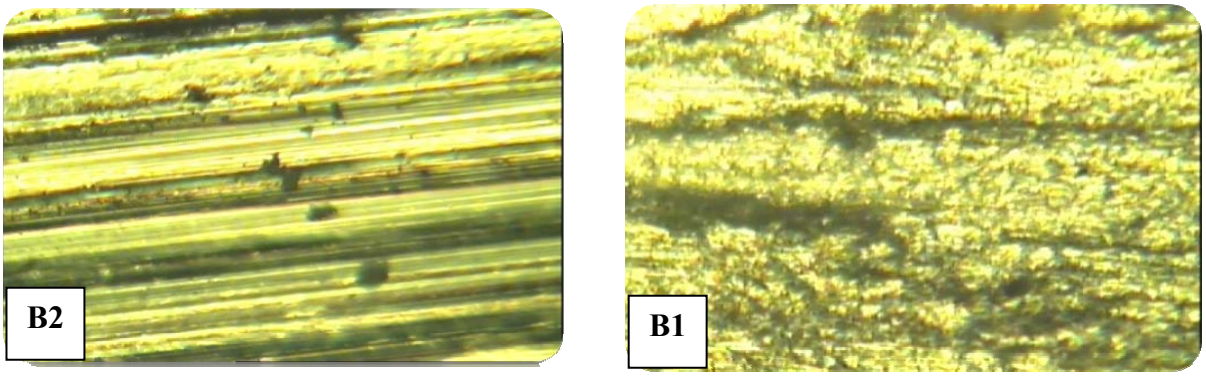


شكل (1) البنية المجهرية للسبيكة الأساس(Al-12%Si) والمواد المركبة المحضرة بطريقتي السباكة بالجاذبية والسباكة بالعصر ،قوة التكبير125X



شكل (2) العلاقة بين الحمل المسلط ومعدل البلى للسبيكة الاساس والمواد المركبة المنتجة بطريقتي السباكة بالعصر والسباكة بالجاذبية عند سرعة الأنزلاق (2.7 m / sec) وزمن الأنزلاق (20 min).





شكل (3) سطح البلى للسبيكة الأساس والمواد المركبة المنتجة بطريقتي السباكة بالعصر والسباكة بالجاذبية **عند حمل مسلط (20 N) وسرعة انزلاق (2.7 m/sec) وزمن انزلاق (20 min)، قوة التكبير125X**