The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol.9, No.3, 2009

دراسة تحسين الخواص الميكانيكية لمصبوبات سبيكة الألمنيوم- نحاس باستعمال معدلات أنجماد ومعاملات حرارية مختلفة

د. مهندس علي حسين عتيوي
الجامعة التكنولوجية- قسم هندسة المواد
أستاذ مساعد

المهندس جمال جلال داود
الجامعة التكنولوجية – قسم هندسة المواد
مدرس مساعد

الخلاصة

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية تحسين الخواص الميكانيكية لمصبوبات تم الحصول عليها من صهر وسباكة أنابيب سبيكة الألمنيوم – نحاس مشكلة باستعمال قالب معدني ومعدلات تبريد مختلفة أثناء عملية الانجماد ومن ثم أجراء المعاملة المحلولية على المصبوبات بدرجة حرارة (515 ^{o}c) مدة (4 hr) يعقبها تبريد بمعدلات مختلفة الى درجة حرارة الغرفة ومن ثم أجراء عملية التقادم الاصطناعي بدرجة حرارة (175^{o}c) لمدة (1-3 hr) أو التقادم الطبيعي.

من خلال أجراء فحص مقاومة الشد والصلادة والكلال تم الحصول (بعد عملية التقادم الاصطناعي) على أقصى قيمة لمقاومة الشد حوالي (268.7 MPa) للمصبوبة المعاملة حرارياً مقارنة مع قيمة مقاومة الشد (170.42 MPa) لنفس المصبوبة بدون معاملة حرارية. ولوحظ أن هناك تحسن ملحوظ في الصلادة وخواص الكلال ايظاً عند أجراء التعتيق الاصطناعي للمصبوبة مقارنة مع التعتيق الطبيعي.

تم تحديد الأطوار المتكونة في المصبوبة وذلك من خلال فحص حيود الأشعة السينية ودراسة التراكيب المجهرية للمصبوبة حيث تبين وجود الطور (α) في المصبوبة والذي يكون هو المسؤول عن الزيادة الحاصلة في الخواص الميكانيكية.

Summary:

The aim of this work is to study the development of mechanical properties of castings, obtained by melting and casting of worght Al-Cu alloy pipes, by using metallic mold different cooling rates of solidification. The castings are then subjected to asolution treatments at (515 ^{o}c) for (4 hrs) and then cooled at different rates to room temperature. Then the specimeus are naturally and artifivially aged at (175^{o}c)for(1-3hrs).Hardness, tensile and fatigue test are conducted it is obtained after artificial aging ultimate tensile strength of (268.7 MPa), for the heat treated casting compared to (170.42 MPa) for the same casting without heat treatment. It is also noted the improvement of hardness and fatigue properties after artificial aging as its compared to natural aging. The phases developed by castings are identified by using x-ray diffraction. It is noted the existence of phase (α) which is responsible for the improvement in mechanical properties.

المقدمة:

سبيكة البحث الحالي نوع ديور ألومين (Duralumin, 2024). المتكونة من حوالي(4.5 % نحاس , 95 % ألمنيوم) وكما موضح في الجدول رقم (2) [1].

ونظراً لوجود مخلفات كثيرة منها فقد سعى البحث الحالي الى أعادة صهر هذه المخلفات وأعاده سباكتها واجراء معاملات حرارية مختلفة على المسبوكات للحصول على بعض الخواص الميكانيكية ومقارنة هذه الخواص مع خواص المخلفات المشكلة وبيان مدى تقارب هذه الخواص.

ونظرا لأهمية دراسة ظاهرة الكلال فقد سعى البحث الحالي الى دراسة العوامل التي تزيد عمر الكلال للمسبوكات.

تعد المعاملة الحرارية للمعادن والسبائك من أهم العمليات التي تجرى عليها في أثناء تصنيعها ويمكن الحصول على الخواص المطلوبة للأجزاء المصنعة حسب العمل الذي تعد له هذه الأجزاء. وقد تم اختيار أسلوب المعاملة الحرارية لأنه الأوسع انتشارا في التقنيات الحديثة لتغير خواص المعادن وتشمل المعاملة الحرارية في هذا البحث دراسة التغيرات التي تحدث في تكوين المعدن وخواصه تحت تأثير حراري والتي لا تزول بعد زوال هذه التأثيرات [2].

ويعرف الكلال بأنه ظاهرة تقود إلى الفشل تحت تأثير اجهادات متكررة أو ترددية [3].

ويوجد هناك كثير من البحوث السابقة بحثت موضوع الكلال لمختلف السبائك المعدنية وفيما يأتي عرض بسيط لبعض بحوث الكلال

في عام 1991 قام الباحث (Al-Alkawi) بدراسة ظاهرة الكلال لسبيكة الألمنيوم ذات الرمز (2124-T351) وذلك بتسليط اجهادات دورية ثابتة ومعقدة من نوع الانحناء الصافي في درجة حرارة الغرفة, ومن خلال قياس أطوال الشقوق السطحية الصغيرة والطويلة وكذلك عدد الدورات تم بناء نموذج رياضي يصف حركة الشقوق القصيرة والطويلة وقد اثبت هذا الموديل كفاءة جيدة لأنه أعطى نتائج اقل من النتائج العلمية وهذا يعني إن هذا النموذج يعطي تخمين محافظ أي يعطي تحذير وهذا مهم جدا وخاصة إن السبيكة أعلاه تستخدم في صناعة أجزاء الطائرات الحربية والمدنية [4].

بين Mohammed Abd-Allah عام (2003) زيادة في عمر الكلال لعينات من سبيكة الألمنيوم 2024 المشكلة المقصوفة بالكرات الفولاذية وكانت الزيادة متناسبة بصورة طردية مع وقت القصف إذ أن التحسن في عمر الكلال بلغ 26 % عند أجهاد (400 MPa) للعينات التي قصفت مدة 5 دقائق. أما بالنسبة للعينات التي قصفت مدة 10 دقائق فكانت نسبة التحسن 53 %

لنفس مستوى الإجهاد كما بلغت النسبة للتحسن 107% للعينات التي قصفت مدة 15 دقيقة ولنفس مستوى الإجهاد [5].

الجزء العملي:

يتضمن الجزء العملي جزئيين.الجزء الأول يشمل دراسة الخوص الميكانيكية من مقاومة شد ومقاومة كلال وصلادة لسبيكة ألمنيوم 2024 مستلمة بمعاملة حرارية T4, فضلاً عن فحوصات التحليل الكيمياوي والأشعة السينية والفحص ألمجهري.

أما الجزء الثاني فيتضمن صهر السبيكة أعلاه وسباكتها بوساطة قالب معدني إلى عينات قياسية وتبريد هذه العينات بظروف تبريد مختلفة. ويتم أجراء الفحوصات المذكورة في أعلاه على هذه العينات قبل وبعد أجراء المعاملات الحرارية عليها. بالنسبة لعينات الجزء الأول سوف تسمى بالعينات المشكلة أما عينات الجزء الثاني فسوف تدعى بالعينات المسبوكة.

والعينات المسبوكة بدورها قسمت إلى عينات جمدت في قالب معدني بردت بالهواء مرة وثانياً داخل الرمل, ويمثل الجدول (1) الرموز التي استعملت لكافة العينات المفحوصة. تم أجراء التحليل الكيماوي لسبيكة 2024 المشكلة المستلمة والسبيكة المصبوبة

وكانت نتيجة التحليل في الجدول (2).

تم صهر أجزاء من سبيكة 2024 المستلمة حيث تمت عملية الصهر في فرن كهربائي, و تتميز هذه الأفران بنظافة استعمالها ودقة التحكم في درجة الحرارة. وبعد أن تمت عملية الصهر, سكب المنصهر في قالب معدني قطره (25mm) وطوله (190mm).ولغرض دراسة تأثير معدل التبريد خلال ألانجماد في التركيب ألمجهري وخواص المسبوكات تم تبريد المسبوكات خلال أنجماد ها بطريقتين الطريقة الأولى بجعل سطح القالب المعدني معرض بصورة مباشرة إلى الهواء الجوي (العينات CA) أما الطريقة الثانية فقد تم الحصول على المسبوكات من خلال تغطية القالب المعدني بوساطة الرمل (العينات CS).

فيما يخص العينات المشكلة تم استلامها معاملة حرارياً بصيغة T4 ولم تجرى أي معاملات حرارية أضافية لها. أما العينات المسبوكة فقد تم أجراء المعاملة الحرارية باستعمال فرن كهربائي على العينات المسبوكة المجمدة بالهواء ذات الرمز CA وتم أجراء المعاملة الحرارية عليها وفق التسلسل الآتي:

1. رفعت درجة حرارة الفرن إلى $515^{\circ}c$.
2. وضعت العينات (عينات الشد والصلادة والكلال) في الفرن مدة ثلاث ساعات.
3. قسم من العينات بردت بالماء CAW وقسم أخر بردت بالهواء CAA.

4.عملية التعتيق لكل من العينات في (3) أعلاه تمت بطريقتين:

آ. **تعتيق اصطناعي:** وضع العينات في فرن بدرجة حرارة $175^{\circ}c$ مدة أربع ساعات بعد ها بردت في الهواء. (الرموز CAAA, CAWA)

ب. **تعتيق طبيعي:** ترك العينات بالهواء في درجة حرارة الغرفة مدة سبعة أيام(الرموز CAAN, CAWN)

<u>ألفحوصات ألميكانيكية :</u>

تتضمن الفحوصات الميكانيكية الأتي:

1. **فحص الصلادة:** تم قياس صلادة العينات المشكلة والمسبوكة بطريقة برينل التي هي أداة تغلغل كروية مصنوعة من الفولاذ ذات قطر (2.5mm) وضغطت هذه الكرة على سطح العينة مدة (10-15 Sec) وتمت تحت حمل مقداره (1837.5 N) .
2. **فحص الشد:** تم أجراء ألفحص أعتماداً على المواصفة (DIN 50125) .
3. **فحص الكلال:** تم أجراء ألفحص بطريقة الانحناء (Wohler Rotating Bending) حيث يتم تعريض عينة الاختبار إلى الإجهاد عن طريق عزم انحناء حيث يبقى إجهاد الانحناء ثابتا طيلة فترة الانحناء (R=-1) ويتم تسليط الحمل على النهاية الحرة للعينة والذي يكون عموديا على محورها السيني وهذا بدوره يعرض سطح العينة الى إجهاد شد وإجهاد ضغط خلال الدوران ويتم حساب عزم الانحناء من خلال:

$$\sigma_b = \frac{M * y}{Z} \quad \text{(1-1)}$$

$$\sigma_b = \frac{P * L}{\left(\pi * \frac{d^3}{32}\right)} \quad \text{(1-2)}$$

$$\because L = 125.7\ mm \qquad d = 4\ mm$$

$$\therefore \sigma_b = \frac{P * 125.7}{\left(\pi * \frac{4^3}{32}\right)} \quad \text{(1-3)}$$

M: عزم الانحناء(N.mm) .

Z معامل المقطع : (mm^3).

d قطر تخصر العينة :(mm).

L ذراع الحمل المسلطة (mm).

P الحمل :(N).

y نصف قطر تخصر العينة : (mm).

النتائج والمناقشة:

الفحوصات الميكانيكية قبل أجراء المعاملات الحرارية:-

1. فحوصات الشد والصلادة:-

اجري فحص الشد والصلادة للسبيكة المشكلة (W) والسبائك المصبوبة (CA) ,(CS) ويبين الجدول (3) نتائج الفحص التي تتضمن قيم كل من (مقاومة الشد القصوى "UTS" والاستطالة والصلادة) للسبائك أعلاه.

نلاحظ من الجدول أعلاه ان قيمة مقاومة الشد القصوى للمصبوبة (CA) أعلى من مقاومة الشد القصوى لمصبوبة(CS) بنسبة (6%).ولكلا المصبوبتين لاتزال قيمة مقاومة الشد اقل بكثير بمقدار(65%) مقارنة مع السبيكة المطاوعة (W). فضلاً عن ذلك نلاحظ أن قيم الصلادة تواكب قيم المقاومة في المصبوبات أعلاه حيث أن قيمة الصلادة للمصبوبة (CA) أعلى من قيمة الصلادة للمصبوبة (CS) .أن الاختلاف في النتائج للسبائك أعلاه نتيجة الأسباب الآتية:-

1. تعاني المعادن المنصهرة من تقلص حجمي بسبب عملية الانجماد وينتج عن انفعالات التقلص شقوق تقلل من خواص المصبوبة.

2. بما أن الغازات أكثر ذوباناً في منصهر المعدن من المعدن الصلب, لذلك فأن هذه الغازات الذائبة يمكن أن تتحرر أثناء الانجماد مولدة المسامات أو الثقوب الغازية والتي تعد عيوباً في المصبوبة.

3. أن سبب الاختلاف في نتائج المصبوبة (CS) والمصبوبة (CA) يعود إلى الحجم الحبيبي في المصبوبات الذي يعتمد على العلاقة بين معدل نمو البلـــورات ومعدل تكوين النويات. فإذا كان معدل تكوين النويات عالياً فانه سوف يحتوي على حبيبات صغيرة أما إذا كان معدل التخليق واطئا فان النتيجة تكون حبيبات ذات عدد قليل وحجم كبير. ومن العوامل المهمة في تحديد معدل التخليق وبالتالي الحجم الحبيبي هو معدل التبريد فعند تعريض سطح القالب المعدني إلى الهواء الجوي (حالة المصبوبات CA) يكون مقدار الانخفاض في درجات الحرارة مع الفترة الزمنية سريعاً والذي يؤدي إلى خلق عدد كبير من النويات وبالتالي إلى حجم حبيبي ناعم وذات تركيب قريب الى الشكل الكروي كما أن توزيع هذه الحبيبات يكون متجانساً ومنتظماً. بينما في حالة

تغطية سطح القالب المعدني بالرمل (حالة المصبوبات CS) يكون مقدار الانخفاض في درجات الحرارة مع الفترة الزمنية بطيئاً والذي يؤدي الى تكوين اقل عدد من النويات وينتج عنه حجم حبيبي اكـــبر ويكون شكل الحبيبة غير منتظم مع احتمالية تجمع الحبيبات مع بعضها البعض. وعليه فأنا لمصبوبات ذات الحبيبات الصغيرة (المصبوبات CA) تكون مقاومتها وصلادتها أعلى من المصبوبات ذات الحبيبات الكبيرة(المصبوبات CS). ونلاحظ من خلال التصوير ألمجهري للمصبوبتين (CA) و (CS) الفرق في حجم الحبيبات الذي أدى إلى الاختلاف في نتائج الفحص. حيث يظهر من الشكل (1) حجم حبات (CA) اصغر من (CS).

2 . فحص الكلال :-

لغرض رسم منحنى الـ (S-N) للسبيكة المشكلة (W) والسبائك المصبوبة (CA, CS) تم الاعتماد على البيانات التي حصل عليها من جهاز فحص الكلال نوع (HSM 19 Mk3,HI-TECH England Company). حيث يمثل المحور الصادي سعة الإجهاد أما المحور السيني فيمثل لوغاريتم عدد دورات الفشل. ويبين الشكل(2) العلاقة العكسية بين سعة الإجهاد وعدد الدورات وتكون سعة الإجهاد لمصبوبة (CA) أعلى قليلاً من سعة الإجهاد لمصبوبة(CS)عند نفس عدد الدورات بمـقدار (4%). وعليه نستنتج من خلال مقارنة نتائج فحص عينات الشد والصلادة والكلال لكلا النوعين من المصبوبات (CS,CA) أن نتائج المصبوبات (CA) أفضل من نتائج المصبوبات (CS) .لذلك ولتقريب الخواص بصورة أفضل للسبائك المشكلة أجريت المعاملة الحرارية (تعتيق طبيعي واصطناعي) لمصبوبات (CA) فقط .

الفحوصات الميكانيكية بعد اجراء المعاملات الحرارية:-

1. فحوصات الشد والصلادة:-

يبين الجدول (3) نتائج هذه الفحوصات للمصبوبات (CAAA,CAAN) .

وعند مقارنة النتائج اعلاه مع نتيجة مقاومة الشد للمصبوبة(CA) نلاحظ أن المصبوبة (CAAA) ذات مقاومة شد أعلى من المصبوبة (CA) بمقدار (30%). كذلك نلاحظ أن قيمة الصلادة لمصبوبة (CAAA) أعلى من المصبوبة (CA) بمقدار (5%). أن هذا التحسن في الخواص بسبب عملية الترسيب الناتج من المعاملات الحرارية.هذا التحسن بالخواص يتم بعمليتين الأولى بسبب التوزيع المنتظم لجزيئات المرسب ألمجهري(الطور $CuAl_2$) الذي ينتشر بشكل دقيق خلال الشبكة البلورية ومرتبطٍ معها. والأخر بسبب التشويه الذي يصيب الشبكة البلورية من جراء الجزيئات نفسها قبل نموها الى أحجام مرئية, وأن هذا التشويه هو المسؤول عن الزيادة السريعة للصلادة ومقاومة الشد إثناء التعتيق. فضلاً عن ذلك أن ترك المصبوبات (CAAA,

(CAAN في الهواء الجوي بعد المعالجة المحلولية يؤدي الى ظهور الطور ($CuAl_2$) في كلا المعاملتين إضافة للطور (Guinier Preston Zone
("$G.P.Z_1$" في التقادم الطبيعي. وفي كلا الحالتين تكون هذه الأطوار مرتبطة (Coherent) بالشبكة البلورية مما يؤدي إلى زيادة المقاومة. في كلا المعاملتين تظهر منطقة "$G.P.Z_1$" بتجمع ذرات النحاس
الموجودة في المحلول الجامد فوق الإشباع في مناطق معينة منه على شكل أقراص من ذرات قليلة وأن هذه المناطق تعيق حركة الانخلاعات مسببة زيادة في الصلادة والمقاومة للمصبوبات أعلاه. ونلاحظ تقارب قيم الشد القصوى قيم الصلادة لتلك المصبوبات أن هذا التقارب بسبب ترسيب نفس الأطوار في كلا النوعين من المصبوبات (CAAA, CAAN) وبنسب متقاربة وأن طبيعة هذه المترسبات يظهر فـي الجدول (4) الذي يوضح نتائج فحص حيود الأشعة السينية لمصبوبتي (CAAA, CAAN) .

أما بالنسبة إلى المصبوبتيـــن (CAWA,CAWN) فيبين الجدول (3) نتائج فحص الشد والصلادة عليهما. ويظهر تحسن في مقاومة الشد والصلادة مقارنة مع نتائج هذه الفحوصات للمـــــــصبوبتين (CAAA,CAAN) .وأن هذه الزيادة في الخواص نتيجة الإخماد السريع بالماء بعد المعالجة المحلولية للمصبوبات(CAW) حيث أن الإخماد السريع لايسمح بترسيب أي مترسبات مستقرة وبذلك نحصل على محلول جامد فوق الإشباع أن التعتيق في درجة حرارة الغرفة (المصبوبات CAWN) يؤدي الى تكوين المناطق (G.P.Zone) فقط.هذه المناطق تكون مرتبطة بالشبكة البلورية والتي تعرقل حركة الانخلاعات نتيجة لذلك تزداد مقاومة السبيكة. وأن التعتيق في درجة حرارة مرتفعة نسبياً (المصبوبات CAWA) يؤدي الى تكوين المناطق (G.P.Zone) بسرعة ثم ظهور المترسب مرتفعة يؤدي الى إذابة المناطق(G.P.Zone) أثناء تكوينها ليستعاض عنها بالمترسب الوسطي (θ') (coherent) وأن السبب الرئيس لزيادة الصلادة هو تكون المترسب الوسطي (θ') في جميع درجات الحرارة نتيجة لارتباط شبكته البلورية مع الشبكة البلورية للبنية الأساس مما يؤدي الى أجهاد المنطقة المحيطة بالطور وإعاقة حركة الانخلاعات والتي بدورها تؤدي الى زيادة الخواص الميكانيكية. أن الفرق بين نتائج التعتيق الاصطناعي عن الطبيعي بسبب معدل الانتشار الذي يكون بطيئاً في درجات الحرارة الواطئة ويكون الترسيب في التعتيق الاصطناعي أفضل من الطبيعي لذلك ظهرت نتائج التعتيق الاصطناعي أفضل ويبين الجدول (5) نتائج فحص حيود الأشعة السينية لمصبوبتي (CAWA,CAWN) والتي تبين وجود الأطوار الرئيسة وهي المحلول الجامد من النحاس الذائب في الألمنيوم (α) والأطوار الوسطية للنحاس والألمنيوم.

2. فحص الكلال :-

يمثل الشكل (3) العلاقة بين سعة الاجهاد وعدد الدورات للمصبوبات (W, CA, CAAA, CAAN) ونلاحظ أن مقدار الفرق لسعة الاجهاد لنفس عدد الدورات بين المصبوبة (CA) والمصبوبات (CAAA, CAAN) هو:-

1. الفرق بين سعة أجهاد المصبوبة (CAAN, CA) بنسبة (62%).
2. الفرق بين سعة أجهاد المصبوبة (CAAA, CA) بنسبة (67%).

ونلاحظ من خلال المقارنة اعلاه أن الفرق بسعة الاجهاد وبين (CAAA, CAAN) متقاربة لنفس الأسباب التي تم ذكرها عند تقارب قيم الشد القصوى والصلادة لنفس المصبوبات اعلاه ونلاحظ أيضا أن خواص مصبوبة (CAAA) تحسنت مقارنةً مع المصبوبة(CA) يمثل الشكل (4) العلاقة بين سعة الاجهاد وعدد الـــدورات للسبائك(CAWA (W,CA,CAAN,CAAA,CAWN

ونلاحظ أن مقدار الفرق لسعة الاجهاد لنفس عدد الدورات بين المصبوبة (CA) والمصبوبات (CAWN,CAWA) هو كما يأتي :

1. الفرق بين سعة أجهاد المصبوبة (CA) و(CAWN) بنسبة (70%)
2. الفرق بين سعة أجهاد المصبوبة (CA) و (CAWA) بنسبة (76 %)

لذلك تكون المصبوبة(CAWA) هي الأفضل لإعطاء خواص ميكانيكية أعـــلى مقارنةً مع المصبوبات الأخـــرى (CA , CAAN , CAAA , CAWN).

الاستنتاجات:-

1.يكون لمعدل التبريد خلال عملية تجمد المصبوبة دور كبير للحصول على البنية المجهرية الناتجة .حيث بزيادة معدل التبريد يقل الحجم الحبيبي ويكون أكثر انتظاما واقرب إلى الإشكال الكروية.

2. ظهور الطور ($CuAl_2$) مع المحلول الجامد فوق الإشباع عند التبريد بالهواء بعد المعالجة المحلولية.

3. التبريد السريع بالماء البارد يساعد على تثبيت المحلول الجامد فوق الإشباع ويقلل من مقدار الطور ($CuAl_2$) مقارنة مع الحالة(2) اعلاه.

4. أن المصبوبة ذات الخواص الميكانيكية الأقرب الى خواص السبيكة المشكلة هي المصبوبة نوع (CAWA) التي تم صبها داخل قالب معدني مبرد بالهواء واجريت عليها معاملة محلولية عند

درجة حرارة (515^oC) مدة (4) ساعات ثم بردت بالماء وعتقت اصطناعيا عند درجة حرارة (175^oC) مدة ساعتين.

5. تم الحصول عل مقاومة الشد القصوى (UTS) للمصبوبة (CAWA) مقدارها (268.7 MPa).

6. تم الحصول على علاقة سلوك السبيكة المصبوبة (CAWA) عند تعرضها لكلال وفق المعادلة الآتية

$$\text{Log}\,[\sigma_a] = -0.171 * \text{Log}\,[N_f] + 7.219$$

المصادر:

1. R.L. Norton "**Machine Design, An Integrated Approach**" Prentice. USA, 1998.

2. أيان جون هيران " **ميكانيك المواد**" ترجمة الأستاذ الدكتور صباح محمد جميل ملاعلي, دار الحكمة للطباعة والنشر, جامعة, الموصل 1990.

3. J.R.Davis,"**Metals Hand Book**", 2nd Edition, ASM. International handbook Committee, 1998.

4. H. J. Alalkawi," **Short And Long Fatigue Cracks Behavior In 2124-T351 Aluminum alloy** " Journal Of The Military College Of Engineering ,No.7,1991

5. Mohammed, Abd- Allah," **The Effect Of Shot Peening On The Fatigue Life Of 2024 Aluminum alloy"** M.S.c, Al-Mustansiria University College Of Engineering, 2003.

الجدول (1): الرموز التي استعملت لكافة العينات المفحوصة.

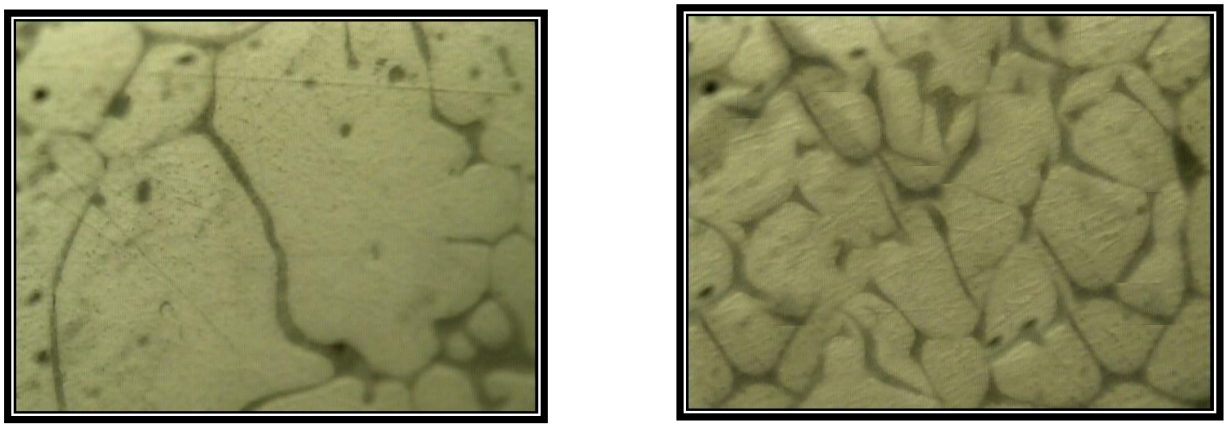
الرموز	معناها
W	السبائك المشكلة
C	السبائك المسبوكة
CA	السبائك المسبوكة في قالب معدني والمبردة بالهواء عند عملية التصلب
CS	السبائك المسبوكة في قالب معدني والمبردة بالرمل عند عملية التصلب
CAW	السبائك المسبوكة والمبردة بالهواء عند عملية التصلب وأجريت عليها معاملة محلولية وبردت
CAA	السبائك المسبوكة المبردة بالهواء عند عملية التصلب وأجريت عليها معاملة محلولية وبردت
CAWA	السبائك المسبوكة المبردة بالهواء عند عملية التصلب وأجريت عليها معاملة محلولية وبردت تبريداً
CAWN	السبائك المسبوكة المبردة بالهواء عند عملية التصلب وأجريت عليها معاملة محلولية وبردت تبريداً
CAAA	السبائك المسبوكة المبردة بالهواء عند عملية التصلب وأجريت عليها معاملة محلولية وبردت
CAAN	السبائك المسبوكة المبردة بالهواء عند عملية التصلب أجريت عليها معاملة محلولية وبردت بالهواء الحر ثم تعتق طبيعي

الجدول (2): التركيب الكيمياوي للسبائك المشكلة والمسبوكة المستعملة في البحث.

Elements		Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Cr	Zn	Ni	Ti	Al
Standard (ASTM)	Wt%	4.5	1.5	0.6	0.5	0.5	0.1	0.25	–	–	92.05
Wrought	Wt%	4.40	1.47	0.66	0.26	0.14	0.12	0.11	0.01	0.08	92.76
Cast	Wt%	4.39	1.33	0.65	0.24	0.13	0.11	0.11	0	0.07	91.98

الجدول (3): بيانات فحص الشد والصلادة لسبائك البحث (W, CS, CA, CAAN, CAAA, CAWN, CAWA)

Alloy Type	UTS (N/mm^2)	EL (%)	Hardness (HB)
W	479	20.5	154
CS	160.22	0.2	95
CA	170.42	0.2	100
CAAN	227.8	0.66	105
CAAA	242	0.7	105
CAWN	254.3	0.73	110
CAWA	268.7	1.8	115



A . مصبوبة (CA) B. مصبوبة (CS)

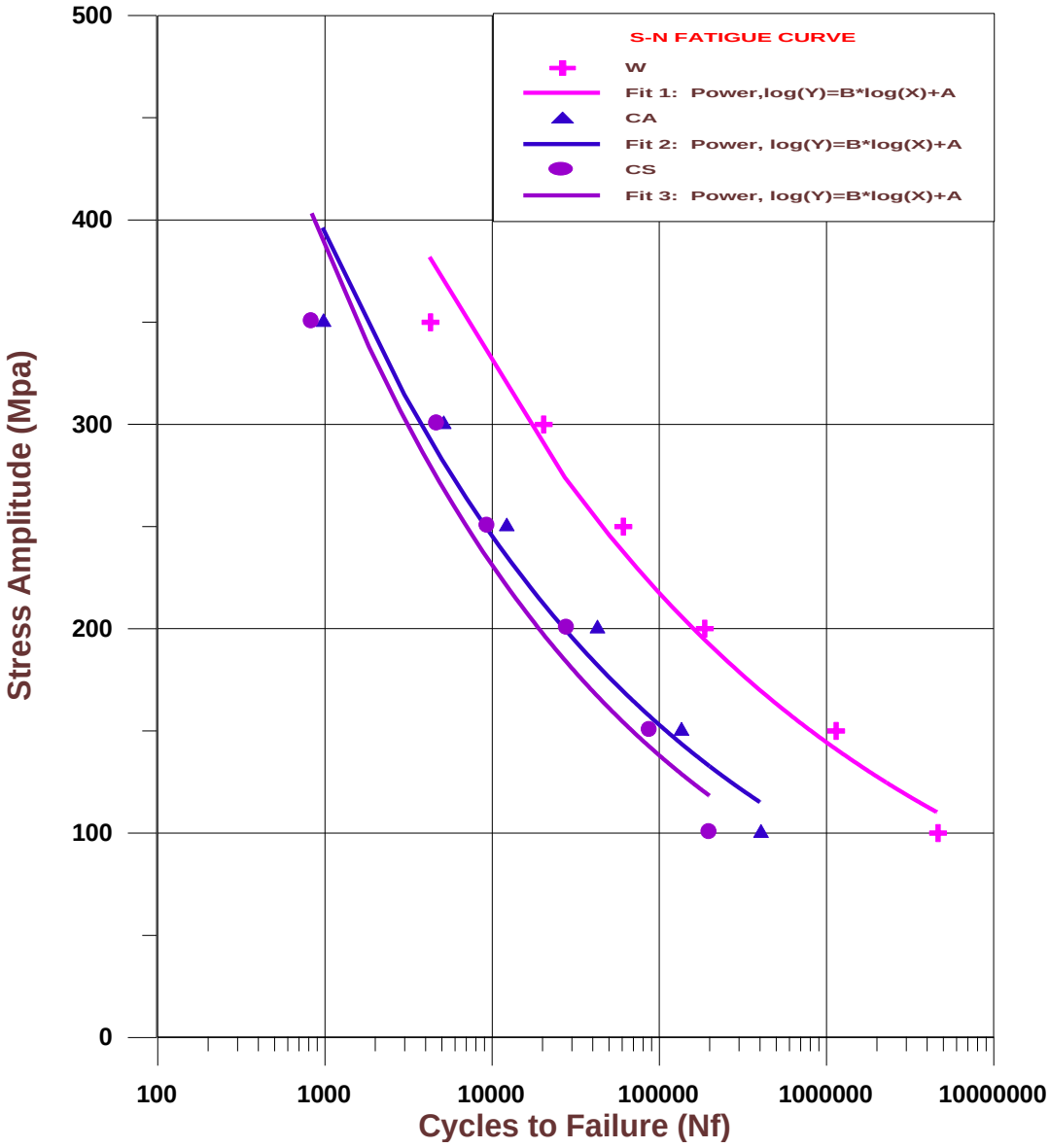
الشكل (1): شكل وحجم الحبيبات للمصبوبات (CS,CA) بتكبير(200X)

الجدول (4) نتائج حيود الأشعة السينية للمصبوبة (CAAN,CAAA).

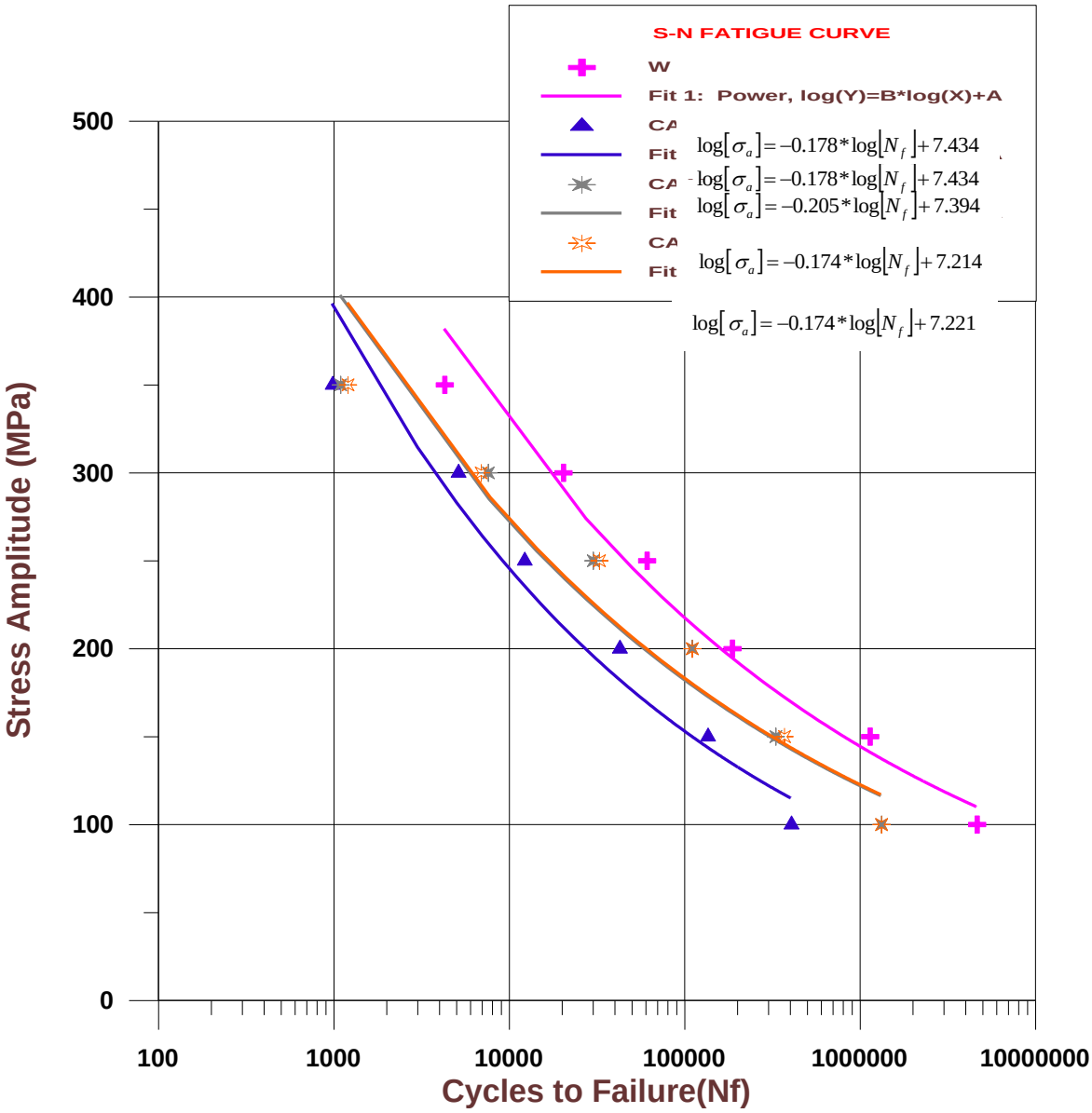
Alloy Type	2θ	D (measured) A°	D (standard) A°	Intensity	Phase
CAAN	37.48	2.3378	2.338	100	AL
	39.4	2.286	2.37	46	Al_2Cu
	42.2	2.2433	2.03	100	CuAL
	44.2	2.0491	2.024	47	AL
	48.2	1.888	1.237	40	CuAL
	62.1	1.38	1.38	9	Al_2Cu
	64.6	1.4427	1.431	22	AL
	66.8	1.4042	1.237	40	CuAL
CAAA	38	2.3679	2.338	100	AL
	39.1	2.3038	2.37	46	Al_2Cu
	39.8	2.3095	2.03	100	CuAL
	42.2	2.1415	2.12	73	Al_2Cu
	44.26	2.0465	2.024	47	AL
	61.0	1.5189	1.237	40	CuAL
	62.0	1.4968	1.237	40	CuAL
	64.68	1.4411	1.431	22	AL

الجدول (5) نتائج حيود الأشعة السينية للمصبوبة (CAWA,CAWN)

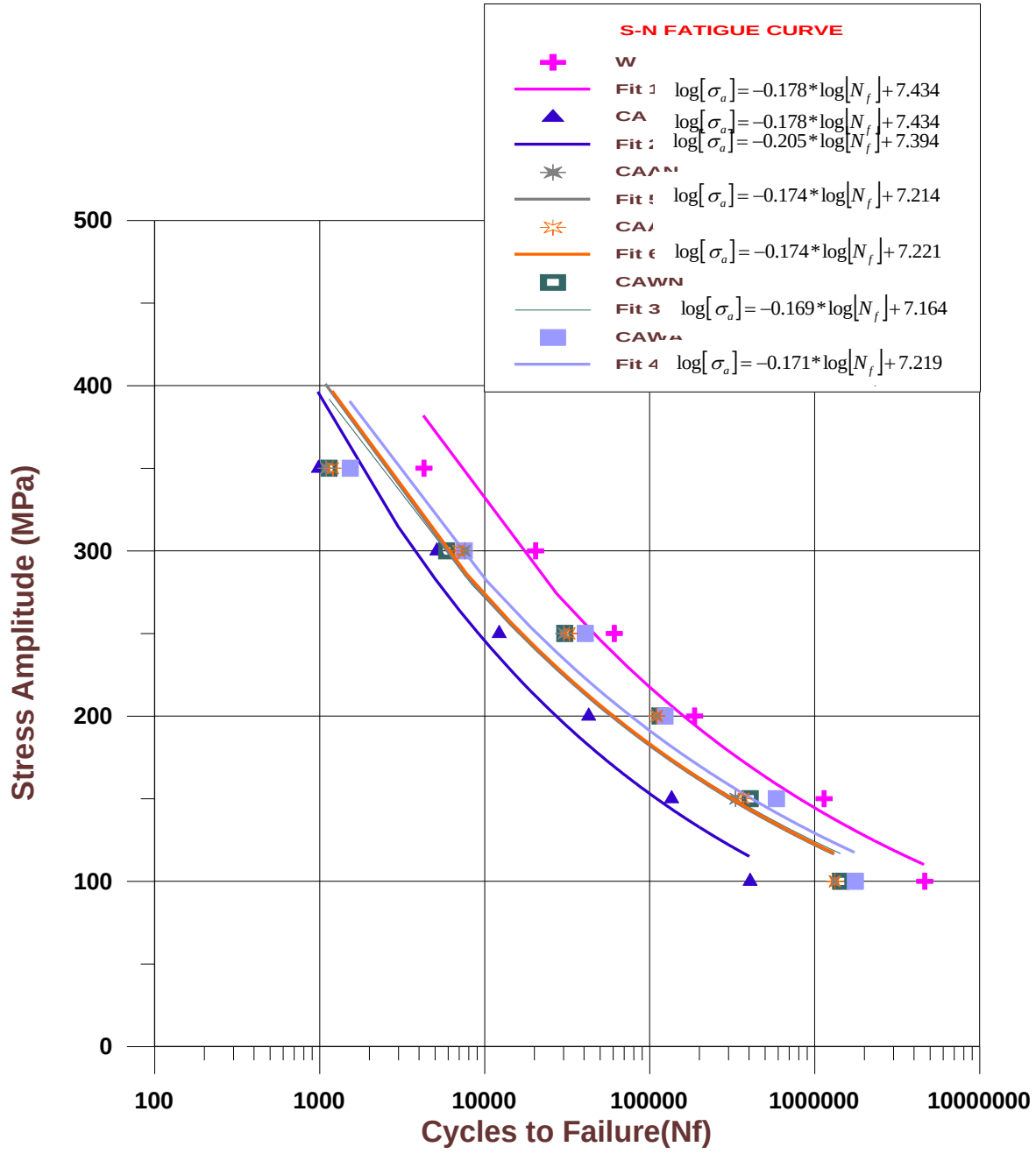
Alloy Type	2θ	D (measured) A°	D (standard) A°	Intensity	Phase
CAWN	38.2	2.356	2.338	100	AL
	39.8	2.2649	2.03	100	CuAL
	42.6	2.116	2.12	73	Al_2Cu
	44.4	2.0403	2.024	47	AL
	45.5	1.9977	2.01	100	CuAL
	59.6	1.5512	1.237	40	CuAL
	64.8	1.4387	1.431	22	AL
CAWA	38	2.139	2.338	100	AL
	39.4	2.2869	2.03	100	CuAL
	44.26	2.0465	2.024	47	AL
	47.2	1.9256	1.237	40	CuAL
	64.68	1.4411	1.431	22	AL
	68	1.38	1.38	9	Al_2Cu



الشكل(2): العلاقة بين عدد دورات الفشل وسعة الإجهاد لسبيكة (W)و(CA) و(CS)



الشكل(3): العلاقة بين عدد دورات الفشل وسعة الإجهاد للسبائك (W) و(CA) و(CAAN) و(CAAA)



الشكل(4): العلاقة بين عدد دورات الفشل وسعة الإجهاد لسبيكة (W)و(CA) و (CAWN) و(CAWA) و(CAAN) و(CAAA)