مجلة ديالى
للعلوم الهندسية

ISSN 1999 - 8716

المجلد الثالث , العدد الأول , صفحات البحث(١٧-٢٧) , حزيران ٢٠١٠

معالجة التشققات للمقاطع النحاسية باستخدام المعاملة الحرارية

د. مصطفى احمد رجب النجار
أستاذ مساعد
المعهد التقني/بعقوبة . هيئة التعليم التقني

علاء احمد مجيد
مدرس
المعهد التقني/بعقوبة . هيئة التعليم التقني

(الاستلام:-٢٦/٧/٢٠٠٩ ، القبول:-٤/٧/٢٠١٠)

الخلاصة

أوضحت نَتائِجَ هذا البحثِ بأنّ المعاَملة الحراريةَ لسبيكة النحاس-قصدير المستخدمة في البحث بدرجة (900)° م لمدة (15) دقيقة ، مع التقسية بالماءِ, ومن ثم إعادة التسخين بدرجة (600)°م لمدة (3) ساعات, أعطت أفضل الخصائص الميكانيكيةِ ،المتضمنة على, مقاومة الشدّ، المتانة، قابلية التشكيل, بسبب البنية المجهرية الدقيقة والتوزيع المتجانس للأطوار ضمن أرضية التركيب, مما يقود إلى تأثير قوي على الخواص الميكانيكية.

١- المقدمة

عمليات التشكيل تؤدي دائماً إلى تشويه دائمي في المعادن من خلال تسليط اجهادات تتجاوز مقاومة الخضوع حيث تحدث تغيرات في الخواص الفيزياوية بالإضافة إلى تغيرات في الشكل وقد تجرى عمليات تشكيل بدرجة حرارة الغرفة(التشكيل على البارد) أو في درجات حرارية عالية(التشكيل على الساخن)، لذا يلاحظ إن اختلاف التأثير في الخواص يكون باختلاف درجة حرارة التشكيل المستخدمة[١،٢].

وبالنظر لانخفاض مقاومة الخضوع للمعدن المشكل بارتفاع درجة الحرارة، فأن مقداراً معيناً من التشكيل على الساخن يمكن تحقيقه تحت أجهادات أقل من مثيلاتها بنفس المقدار من التشكيل على البارد ولا يمكن تشكيل الأجزاء الكبيرة التي تحتاج إلى تغيير كبير في التشكيل على البارد، لأن متطلبات القوى تكون أكبر من طاقة الأجهزة المتوفرة، لذلك فأن تسخين المعدن قبل تشكيله يصبح ضرورياً، وعليه فأن العمليات الأولية لتشكيل الأجزاء والمقاطع الهندسية تجرى دائماً بدرجات

الحرارة عالية نسبيا[٣،٤]. هناك بعض الأمور الواجب مراعاتها أثناء عملية الانحناء متمثلة بخشونة السطح لأن المواقع الخشنة تعتبر مناطق تمركز الإجهاد مما يؤدي إلى تقليل قابلية المعدن للانحناء كما وأن هناك أمر أخر يتعلق بتركيب معدن الجزء ومدى احتوائه على الشوائب لأن ذلك يؤثر بشكل كبير على كفاءة عملية الانحناء[٥]. أن سبيكة النحاس– قصدير المستخدمة في البحث تعتبر من المعادن الشائعة الاستخدام في الصناعات الهندسية وذلك لقابليته الجيدة للتوصيل الحراري والكهربائي ولمقاومته العالية للتآكل وقابليته للتشكيل. وهو يستخدم بكثرة في الصناعات الكهربائية مثل الموصلات بكافة أنواعها وفي الصناعات الكيماوية وفي الأعمال الإنشائية[٦].

وبالرجوع إلى مخطط التوازن الحراري للنحاس– قصدير المبين في الشكل (1) , يلاحظ أن القصدير يذوب في النحاس إلى حد (14%) مكوناً محلول جامد ، بحيث نرى ظهور الطور الهش في السبائك اذا كانت نسبة القصدير هي (7%) فقط، ويمكن إن نرى هذا الطور الهش أيضا عند تبريد السبائك تبريد مفاجئ عندما تكون نسبة القصدير (5%) فقط[٧،٨]. في حين يلاحظ ان سبائك البرونز – القصدير التجاري من النادر تحتوي على أكثر من (15%) قصدير، لذا فان السبائك قد تتضمن الطور اللين فقط أو يوتكتويد صلد في أرضية لينة من الطور اللين[٥]. أما السبيكة التي تتضمن على (95%) نحاس و (٤٪) قصدير و (١٪) خارصين, نجد بان وجود الخارصين فيها يكون بمثابة عنصر مختزل وتكون السبيكة ذات مطيلية عالية لكن بعد التشكيل على البارد تحتاج إلى إجراء عملية تخمير ويلاحظ من خلال البنية المجهرية لهما ان جسيمات المحلول الجامد تتميز بظهور التوائم[٣]. أما السبيكة التي تتضمن على (88%) نحاس & (١٠٪) قصدير &(٢٪) خارصين يلاحظ أن العنصر في هذه السبيكة بالإضافة إلى كونه عنصر مختزل لكنه في نفس الوقت يكسب السبيكة خاصية التسبيك لذا يلاحظ ان مكونات هذه السبيكة من خلال البنية المجهرية لها تتكون من يوتكتويد صلد مغمور في أرضية من محلول جامد[٦]. أما السبيكة المحتوية على (70% نحاس و29% خارصين و1% قصدير) فتدعى سبيكة النحاس المقوى(Admiralty Brass) وتستخدم في صناعة المكثفات البحرية(Marine Condenser) وأنواع أخرى من المبادلات الحرارية[٣،٩]. و أن أحد الأنواع الأساسية لسبائك البرونز القصديري هي سبيكة البرونز القصديري المحتوي على (15%) قصدير, يستعمل هذا النوع من البرونز في الحالة المصبوبة كسبائك تحميل، ذلك لكونه مكون من جسيمات صلدة من يوتكتويد هو(α+β) في أرضية لينة من طور (α). وتدخل هذه السبيكة أيضاً في بعض الصناعات, وذلك بعد إخمادها من درجة حرارة (600)°م حيث تتكون بنيتها في هذه الحالة من (β). يضاف

الرصاص عادة إلى هذه السبيكة بنسبة (1% - 0.5) لغرض تحسين خواص التشغيل ولغرض تحسين خواص التحميل يضاف الرصاص بنسبة (15%- 5) أيضاً[١٠].

٢- الجانب العملي

في البداية تم إجراء التحليل الكيميائي والفحص المجهري لنماذج من العينات أحداهما من المعدن الأصلي الذي كان يستخدم سابقا (دون حدوث مشكلة التشققات في المقاطع المحنية) والأخرى من المعدن البديل. حيث أخذت عدة عينات من المعدن البديل, تم التحليل الكيميائي لها في المعهد المتخصص للصناعات الميكانيكية, والجدول (١) يوضح ذلك.

جدول (1):- يبين التركيب الكيماوي لسبائك النحاس الأصلية والبديلة المستخدمة في البحث

العنصر	C	Si	Mn	Sn	Cr	Mo	Zn	Fe	V	Cu
السبيكة الأصلية %	0.04	0.05	0.08	0.102	0.001	0.04	0.03	0.989	0.002	Rem.
السبيكة البديلة %	0.06	0.06	0.07	0.105	0.001	0.02	0.02	0.99	0.002	Rem.

كما تم إجراء الفحص ألمجهري للعينات قبل وبعد المعاملة حرارية، ومن ثم فحصها من خلال جهاز اختبار الانحناء) (Instron 2100)لغرض بيان مقدار التشقق الحاصل فيها. وقد تم إجراء المعاملات الحرارية باستخدام فرن كهربائي متوسط الحجم من نوع (E.S.F.I.PID), من شركة (carbolite) ، في البداية يتم ضبط الفرن على الدرجة الحرارية المطلوبة, وعندما يصل الى هذه الدرجة ينتظر لفترة من الزمن مقدارها (نصف ساعة) لغرض استقرار القراءة ثم توضع العينات داخل الفرن لزمن مقداره (15) دقيقة عند درجة حرارة (900)°م ثم التقسية بالماء, بعد ذلك إعادة التسخين لزمن معين (ساعة واحدة) عند درجات حرارية مختلفة (500–600–700)°م، لبيان مدى تأثير درجة حرارة المعاملة, ثم التسخين إلى درجة حرارة (٦٠٠) م° وبأزمان مختلفة (١, ٢, ٣) ساعات, لبيان مدى تأثير زمن المعاملة الحرارية, ثم بعد ذلك يتم فحص البنية المجهرية لكل عينة من تلك العينات. أن الاختبارات الميكانيكية التي أجريت, هي اختبار الشد , إختبار الصلادة بطريقة برينيل , وإختبار المتانة بطريقة آيزود . الشكل (٢) يوضح أبعاد عينات الشد القياسية المستخدمة في البحث. وجد من خلال الاختبارات الميكانيكية التي أجريت على المعدن الأصلي (الذي كان يستخدم في تصنيع الجزء دون حدوث التشققات أثناء عملية الانحناء) أنها من نوع سبيكة النحاس–قصدير المشكلة والخصائص الميكانيكية لها:

مقاومة الشد مساوية (Tensile Strength) = 186 (N/mm2)

الاستطالة مساوية (Elongation) = 35 %

هذا النوع من المعدن يكون خالي من الاكاسيد المتبقية وذات قابلية عالية للتوصيل الكهربائي (oxygen-free high conductivity), حيث وجد من خلال الفحوصات الميكانيكية التي أجريت له أن نسبة الاستطالة المئوية عالية مما يعطي قابلية التشكيل (Formability) عالية متمثلة بقابلية الانحناء دون حدوث الشقوق (Cracks)، لكن استخدام معدن آخر بديل عنه أدى الى حدوث مشكلة التشققات أثناء انحناء الجزء، حيث وجد بعد إجراء الفحوصات الميكانيكية للمعدن البديل أنها:-

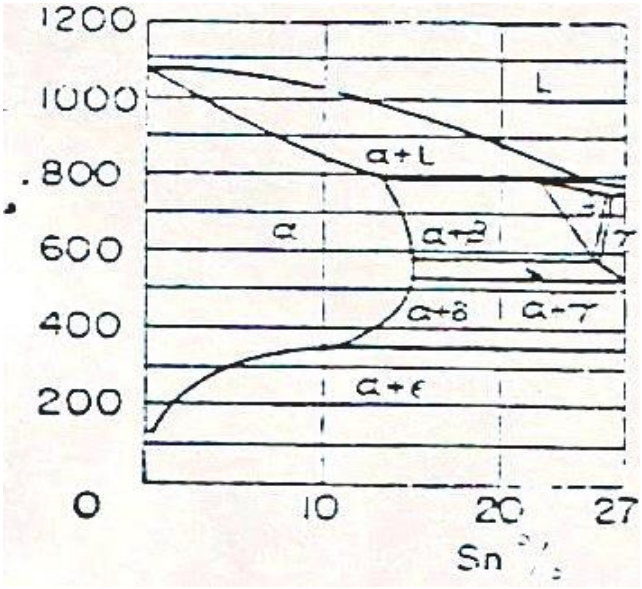
مقاومة الشد (Tensile Strength = 220 N/ mm2)

الاستطالة (Elongation=7.5%)

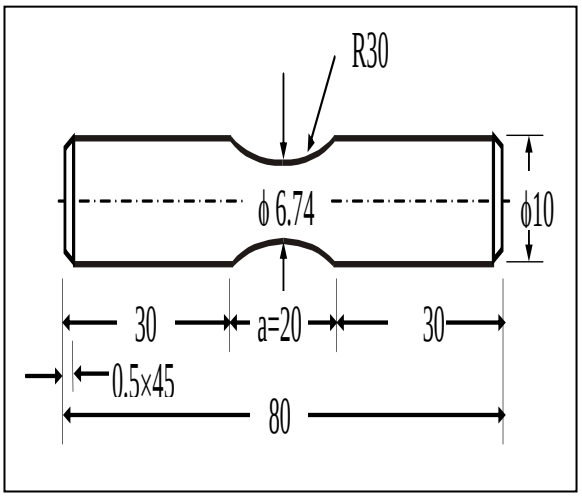
وتلك الخصائص تشير الى مقاومة شد عالية مع قابلية تشكيل (انحناء) واطئة أدت إلى حدوث مشكلة تلك التشققات، وان وجود بعض العناصر مثل الخارصين ، القصدير ، الألمنيوم ، النيكل بالإضافة الى الكروم ، البيريليوم وبنسبة قليلة ومتفاوتة يعتبر بمثابة شوائب(٧).

جدول (2):- يبين الخصائص الميكانيكية للعينات من المعدن البديل المستخدمة في البحث

ت	مقاومة الشد N/mm^2	صلادة برينل HB	إجهاد الخضوع N/mm^2	المتانة (أيزود) Joule	نوع المعاملة الحرارية
1	220	64.8	127.36	15.9	العينة بدون معاملة حرارية
2	340	100.5	239.4	11.4	العينة معاملة حراريا بدرجة (900)م° لمدة (15) دقيقة
3	300.5	88	210.3	20.1	العينة معاملة ثم مراجعة حراريا بدرجة (500)°C لمدة ساعة واحدة
4	280.7	82.4	176	22.3	العينة معاملة ثم مراجعة حراريا بدرجة (600)°C لمدة ساعة واحدة
5	259	76	161.2	23.8	العينة معاملة ثم مراجعة حراريا بدرجة (700)°C لمدة ساعة واحدة
6	253	74.2	149	25	لعينة معاملة ثم مراجعة حراريا بدرجة (600)°C لمدة ساعتين
7	229.4	67.5	132.6	28.7	العينة معاملة ثم مراجعة حراريا بدرجة (600)°C لمدة (٣) ساعات



شكل (1):- مخطط التوازن الحراري لسبيكة النحاس- قصدير



شكل (2):- يوضح أبعاد عينات الشد القياسية المستخدمة في البحث

٣- النتائج والمناقشة

استخدمت أحد سبائك النحاس-قصدير المشكلة لإنتاج أحد المقاطع الهندسية المحنية بزاوية (°90) واتضح بعد ذلك ضعف قابلية التشكيل لهذه السبيكة بعد إجراء عملية الانحناء من خلال تكون ونمو الشقوق (Cracks) على امتداد الحافة المحنية التي تم تشكيلها. بعد الإطلاع على المقاطع النحاسية وعمليات الانحناء التي تجرى لها، وجد أن مشكلة حدوث التشققات لتلك المقاطع أثناء عمليات الانحناء لم تكن تظهر سابقا عندما كان المعدن المستخدم مطابقا للمواصفات

الأصلية، والذي كان عبارة عن سبيكة النحاس–قصدير وبدرجة نقاوة Cu (99.9)%. لكن استخدام معدن آخر بديل عنه وبمواصفات غير قياسية ، أدى إلى حدوث تلك التشققات (Cracks) أثناء عمليات الإنحناء التي تجرى لتلك المقاطع. وعند إجراء الفحص المجهري لعينات المقاطع النحاسية المستخدمة من المعدن البديل وجد بأن البنية الدقيقة للسبيكة عبارة عن بلورات شجيرية للمحلول الجامد (α)، في أرضية من يوتكتويد خليط هو (α + γ), وهذا اليوتكتويد يؤدي إلى إكساب السبيكة قصافة وهشاشية ، أدت إلى حدوث التشقق للمقاطع النحاسية أثناء عمليات الإنحناء لها. وقد تم معالجة ذلك من خلال إجراء معاملة حرارية تضمنت: التسخين إلى درجة حرارة مقدارها (900)°م ثم التقسية بالماء، بعد ذلك التطبيع عند درجات حرارة مختلفة (700, 600, 500)°م, فعند التسخين إلى درجة (900)°م تكون السبيكة مكونة من طور متجانس واحد هو المحلول الجامد (β){ الذي يشبه الاوستينايت(γ) في الصلب}، وعند الإخماد بالماء يتحول الطور (β) الى طور آخر أبري الشكل وصلد هو (α) {مشابه للمارتنزايت في الصلب}. أما عملية التطبيع عند درجات الحرارة المختلفة (700, 600, 500)°م فتعمل على تحويل الطور (α) إلى بنية أخرى متينة هي ($\alpha+\gamma$) وذلك لترسيب جسيمات من الطور (γ) وهذا مشابه أيضا لما يحصل عند تطبيع المارتنزايت للحصول على السوربايت في الصلب والشكل (3) يوضح البنية المجهرية لمراحل المعاملة الحرارية لسبيكة النحاس–قصدير التي تم معالجتها. إن درجة حرارة التثبيت مهمة لأنها تحدد نوع البنية التي يمكن إنتاجها والمعدل الذي تتم به التغيرات في البنية، اما التسخين إلى درجة حرارة (٦٠٠) م° وبأزمان مختلفة (١, ٢, ٣) ساعات, لبيان مدى تأثير زمن المعاملة الحرارية, فيعني ان زمن التثبيت مهم لتحديد المدى الذي تتم به تغيرات البنية باتجاه بلوغ التوازن، بالإضافة إلى ذلك نحتاج من الناحية الاقتصادية أن يكون زمن التثبيت أقل مايمكن، والى التحكم بمعدل التبريد لتأثيره على البنية النهائية وقد يكون معدل التبريد البطيء جداً ضروريا للحصول على حالة توازن تامة، مع إن معدل التبريد السريع جدا قد يستعمل للإبقاء على الطور الحالي عند درجة حرارة المحيط وقد ينتج معدل التبريد المتوسط بنى وسطية شبه مستقرة. إن وجود هذا اليوتكتويد الصلد يمنع من تشكيل السبيكة بطريقة التشكيل على البارد، وقد يتم التغلب على تلك المشكلة من خلال إجراء المراجعة الحرارية لها بدرجات حرارية مختلفة (700,600,500)°م لمدة ساعة ثم التبريد داخل الفرن، وقد وجد بان أفضل ترابط للخصائص الميكانيكية تم الحصول عليه من حيث مقاومة الشد والصلادة وقابلية التشكيل للحالات السابقة كانت عند درجة مراجعة (600)°م. من خلال ما سبق ذكره لوحظ انه عند إجراء الفحص المجهري لعينات المقاطع النحاسية المصنعة من المعدن البديل عبارة عن بنية شجيرية من المحلول الجامد الغير متجانسة التوزيع في أرضية البنية, وهذه البنية تؤدي الى إكساب السبيكة قصافة وهشاشية, أدت

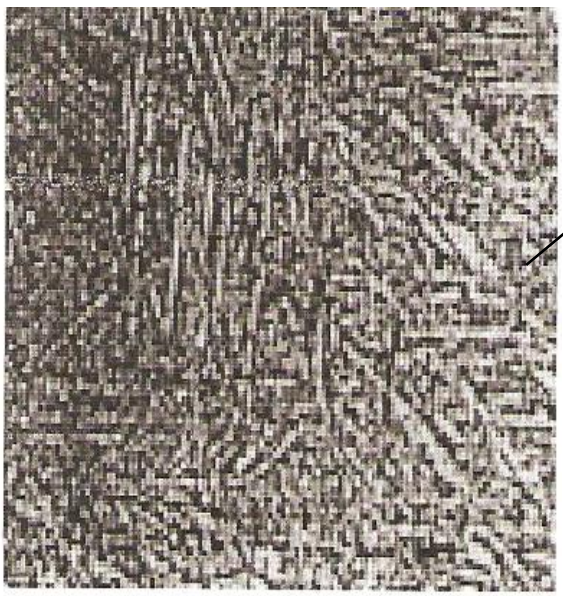
بالنتيجة الى حدوث التشقق للمقاطع النحاسية أثناء عمليات الانحناء, لان معدل انتشار كل من النحاس والقصدير في بعضهما البعض أقل بكثير مما هو عليه في سبائك النحاس– خارصين , حيث يؤدي ذلك الى مكونات حلقية (Coring) أثناء عملية التجمد الفعلية, وعليه فان معدل التصليد الانفعالي خلال التشكيل على البارد يكون أكبر بالمقارنة مع سبائك النحاس– خارصين. وعليه فان وجود القصدير في سبائك النحاس– قصدير, يزيد من صلادة ومقاومة هذه السبائك, وفي الوقت نفسه تتحسن قابلية التشكيل للسبائك المشكلة (Wrought Alloy) عند التلدين (Annealing), لكن وجود القصدير بنسبة كبيرة يؤدي إلى إنخفاض في خاصية المطيلية (Ductile) على الرغم من استمرار ارتفاع المقاومة, وقد يعزى ذلك إلى إنخفاض قابلية ذوبان القصدير في النحاس عند درجة حرارة الغرفة, لهذا فان وجود اليوتكتويد الصلد يمنع من تشكيل السبيكة على البارد , وعليه ظهرت التشققات خلال عملية الانحناء. لهذا تم معالجة ذلك مرة أخرى من خلال إجراء معاملة حرارية تضمنت التسخين إلى درجة حرارة (600)°م وبأزمان مختلفة (3, 2, 1) ساعة, وقد أوضحت نتائج الفحص المجهري المبينة من خلال الشكل (3) الذي يوضح البنية المجهرية للسبيكة المستخدمة في البحث قبل و بعد إجراء المراجعة الحرارية، باختلاف درجة حرارة وزمن التلدين, ان زمن التلدين (3) ساعات كان الأفضل, لأنه أعطى بنية ناعمة ومتجانسة التوزيع في أرضية المعدن. حيث ان البنية المجهرية بعد المراجعة تتضمن على دقائق صلدة ضمن أرضية لينة.

٤– الاستنتاجات

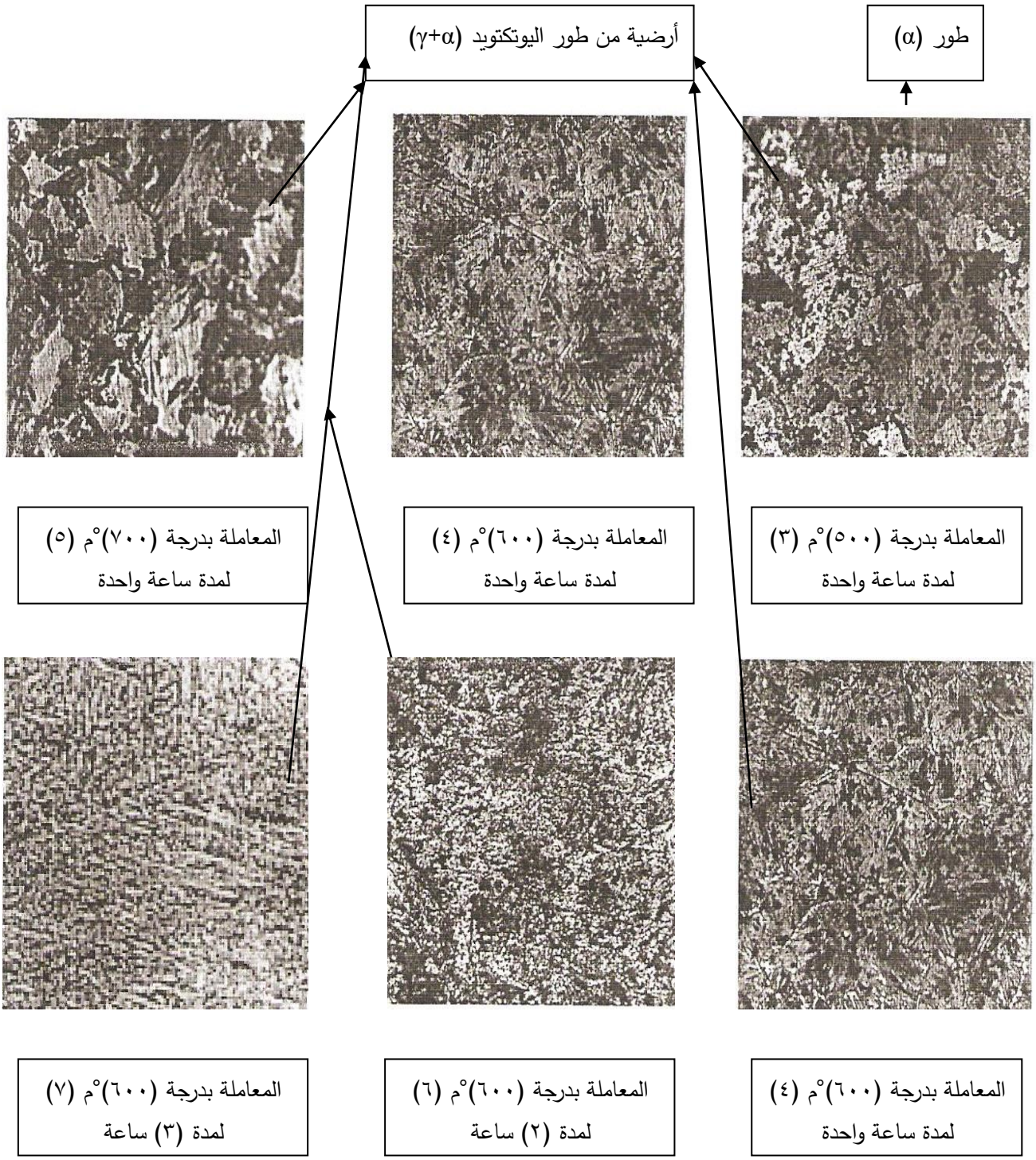
١ . أنّ المعاملة الحراريةَ لسبيكة النحاس–قصدير المستخدمة في البحث بدرجة 900 °م لمدة (15) دقيقة، مع التقسية بالماءِ ’ثم المراجعة بدرجة 600 °م لمدة (3) ساعات، تعطي أفضل الخصائص الميكانيكيةِ من حيث، مقاومة الشدّ، المتانة، قابلية التشكيل.

٢ . المعاملة الحرارية بدرجة أعلى من 600 °م، أو أقل من 600 °م لم تعطي الخصائص الميكانيكية المطلوبة, بسبب كبر حجم الجسيمات الناتجة وظهور الطور الهش أو عدم التوزيع المتجانس للأطوار ضمن أرضية البنية.

الشكل (a٣):- الذي يبين البنية المجهرية للسبيكة المستلمة والمستخدمة في البحث قبل أجراء المعاملة الحرارية(١)، والمتضمنة على طور (α) في أرضية اليوتكتويد (α+γ).



الشكل (3b):- الذي يبين البنية المجهرية للسبيكة المسخنة من درجة (٩٠٠)°م ثم التقسية بالماء (٢)، والمتضمنة على



الشكل (c٣):- الذي يبين البنية المجهرية للسبيكة المستخدمة في البحث بعد أجراء المراجعة الحرارية.

٥- المصادر

1. S.Sayar,(Heat Transfer During Melting and Solidification In Heterogeneous Materials) M.Sc. Thesis Mech. Eng. Univ. of Virginia Polytechnic Virginia ,2000.
2. F.M.Kotlyayrski and V.I.Belik (Effect of Heat Removal Rates on Formation of Silurian Casting) , Liteinoe. Proizvadstvo , 1990, No.6 , P.10-12.
3. K.M.Daws , (Computer Simulation For Casting Mould Design) Ph.D. Thesis, Mach. Eng. ,Univ. of Baghdad, Baghdad ,1997.
4. K.Y.Lee , S.M.Lee and C.P.Hong ,(Modeling of Fluid Flow and Solidification Grain Structures of AL-Cu Crystalline Ribbons in Planar Flow Casting) 2001.
5. J.A.Dantzig (Molding Solidification Processes Using FIDAP, Crystal. Res. Technol.1999 ,Vol.34 ,P. 417-424.
6. S.G.Humberto and D.F.Osmario, (Simulation of the Mushy Zone Solidification of a Binary Alloy) ,2000 , European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Barcelona, September, P.1-12.
7. A.K.Singh , R.Pardeshi and B.Bash, (Modeling of Convection During Solidification of Metal) , Sadhana ,2001, Vol.26. part 1&2 February-April, P.139-162.
8. Yaping Wu, (Numerical Analysis of Direct-Chill Casting of AL Ingot) , M.Sc., Thesis , Mech. And Aerospace Eng. ,Univ. of West Virginia, West Virginia, 1999.
9. V.A.Efimov, (Influence of Connective Heat and Mass Transfer on Casting Formation), 1990, Liteinone. Proi. Zvodstvo, No.11, P. 1-8.
10. Y.Kamotani, F.B.Weng and S.Ostrach (Oscillatory Natural Convocation of a Liquid Metal in Circular Cylinder) 1999, Journal of Heat Transfer, Vol. 116, August , P.627-632.

Treating the Cracks of Copper Sections Under the Effect of Heat Treatment

Mostafa Ahmed Rijab, Alaa Ahmed Majeed

Technical Institute Baquba, Iraq

ABSTRACT - The results of this research show that the heat treatment of the Copper-Tin alloy which used in this research with (900) °C at (15) min, with quenching in water, and reheating with (600) °C at (3) hours lead to best the mechanical properties, which include, tensile strength, toughness, Formability, because of a microstructure in which the fine phase is well dispersed uniformly in the matrix which leads to a remarkable reinforcement effect on mechanical properties.