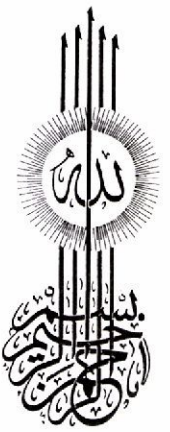

﴿ ءَاتُونِي زُبَرَ الْحَدِيدِ حَتَّىٰٓ إِذَا سَاوَىٰ بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ انفُخُوا۟ حَتَّىٰٓ إِذَا جَعَلَهُۥ نَارًا قَالَ ءَاتُونِيٓ أُفْرِغْ عَلَيْهِ قِطْرًا ﴾

(سورة الكهف: الآية ٩٦)

الفلزات الخفيفة وسبائكها

تأليف

الدكتور محمد عز الدهشان

أستاذ الهندسة الكيميائية

كلية الهندسة ـ جامعة الملك سعود

إصدار: النشر والمطابع

النشر و المطابع ـ جامعة الملك سعود

ص.ب. : ٢٤٥٤ ـ الرياض ١١٤٥١ ـ المملكة العربية السعودية

ⓒ ١٤١٨هـ (١٩٩٧م) جامعة الملك سعود
الطبعة الأولى: ١٤١٨هـ (١٩٩٧م).

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية

الدهشان، محمد عز

الفلزات الخفيفة وسبائكها.

٥٢٨ص، ١٧×٢٤ سم

ردمك ١ ـ ٣٨٨ ـ ٠٥ ـ ٩٩٦٠ (غلاف)

× ـ ٣٨٩ ـ ٠٥ ـ ٩٩٦٠ (جلد)

١ ـ الفلزات ا ـ العنوان

ديوي ٥٤٦,٣١ ١٧/٠٥٨٧

رقم الإيداع: ١٧/٠٥٨٧

حكّمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكّلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس على نشره ـ بعد اطلاعه على تقارير المحكمين ـ في اجتماعه السابع للعام الدراسي ١٤١٠/١٤١١هـ، الذي عُقد بتاريخ ٢٦/٥/١٤١٠هـ الموافق ٢٤/١٢/١٩٨٩م.

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٨هـ

الإهـــــداء

إلى والـدي الكـريم

عـز الدهشـان

تغمـده الله برحمتـه

المقدمـــة

لقد غير اكتشاف الفلزات والتعرف على خواصها ثم استخدامها طريقة معيشة الناس، كما أنها ساعـدت شيئًا فشيئًا في تحديد المكان الذي يعيشون فيه ونوع العمل الذي يستطيعون القيام به. وساعد اكتشاف المواد الفلزية أيضًا في تحديد ما يأكله الناس وما يلبسونه، وكيف يلعبون وكيف يمرحون؟. ولقد عاش القدماء منذ آلاف السنين على صيد الحيوانـات وجمـع النبـاتـات الـبرية، مستخـدمين في ذلك المعدات والأدوات الحجرية. ولهذا فإنهم كانوا يضطرون إلى التنقل من مكان لآخر بحثًا عن الطعام، ثم استطاع الإنسان بعد ذلك ـ بمعاونة المعدات والآلات المصنّعة من المواد الفلزية ذات الكفاءة الأعلى ـ أن يستوطن القرى للزراعة.

ثم جاءت الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر الميلادي، وقد كانت بحق ثورة في علوم المواد والفلزية منها على وجه الخصوص، فاكتشف العديد من الفلزات وتم التعرف على خواصها، ثم بدأ استخلاصها بكميات تجارية خصوصًا الحديد والفولاذ، كما تم تحسين خواص المواد الفلزية الأخرى. ووافق ذلك الكثير من المخترعات منها؛ آلات الغزل والنسج والمحرك البخاري، ولقد أحدثت هذه المخترعات تغييرًا واسعًا في حياة الناس إذ اندفعوا أفواجًا إلى المدن ليعملوا في المصانع، وقد وجدت الحياة العصرية التي نعرفها ونعيشها الآن بسبب التطور الكبير في المواد الفلزية حيث إن التوصل إلى مواد فلزية جديدة ـ خصوصًا السبائك ذات الخواص المتقدمة ـ قد مكن الإنسان من السيطرة على الظروف المحيطة به وأن يحيا حياة أفضل وأسهل من ذي قبل، بل يمكن القول: إن هذه المواد ـ بمشيئة الله تعالى ورحمته بعباده ـ ساعدت على استمرار الإنسان في البقاء على الرغم من مخاطر البيئة، ومن ثم تمكن من تطوير مجتمع متمدن.

تشكل السبائك في الوقت الراهن جزءاً مهمًّا من الاقتصاد العالمي، وهي عصب الصناعات الهندسية المختلفة، وقد أدى تطوير السبائك وتحسين خواص المعروف منها والكشف عن سبـائـك جديدة إلى قفـزة كبـيرة في الحياة المعـاصرة، ولم يكن العلماء والمهندسون بقادرين على الوصول إلى أهدافهم وتطوير كفاءة المعدات ما لم تتوافر المواد التي تفي بمطالب التطور وتحقق كل متطلبٍ جديدٍ. وعلى الرغم من التقدم الكبير في مجال هندسة المواد، نجد أن مصممي الآلات الحديثة ومنفذي الاختراعات الجديدة يتطلعون دائمًا إلى مواد ذات خواص أفضل مما هو معروف الآن. ولا يتحقق ذلك إلا من خلال الكشف واستحداث سبائك جديدة أو بتغيير صفات المواد المعروفة حاليًّا، وذلك بإضافة عناصر جديدة إليها أو تغيير أساليب معالجتها.

إن نجاح الجهود في التوصل إلى سبائك جديدة، أو تحسين خواص المعروف منها الآن لن يؤثر على الإنشاءات فحسب بل سيمتد أثره إلى المعدات والآلات وأساليب تصميمها وطرق تشكيلها رافعًا من كفاءة عملها بصورة كبيرة، وهكذا يتضح جليًّا أن تحقيق أحلام الناس والإسهام في تنفيذ تطلعاتهم المتنامية لن يتم إلا من خلال تطوير وتحسـين السبائك المعروفة حاليًّا سواء بالإضافات الكيميائية أو بطرق ميكانيكية أو بعمليات ميتالورجية أو بالكشف عن سبائك جديدة. ومما لا شك فيه أن هذه المواد هي التي ستحدد ملامح الحياة في الغد ـ إن شاء الله ـ وسيمتد أثرها بإذن الله إلى القرن الحادي والعشرين وستكون هذه المواد هي نجوم هذه الحقبة. لهذه الأسباب جميعًا كان من الضروري التعرف على السبائك الفلزية وكيفية تكوينها وخواصها وأساليب التحكم في هذه الخواص، وهي موضوعات غاية في الأهمية للمهندسين وجميع العاملين في مجال المواد، ومما لا شك فيه أيضًا أن أي مهندس ـ بغض النظر عن تخصصه ـ سيتعامل مع المـواد بطريقـة أو بأخرى سواء لاختيار المادة المناسبة لتطبيق معين أم دراسة أسباب القصور في أداء المادة أم فشلها تحت ظروف عمل معينة، أم في أحسن الحالات محاولة تطوير المادة وتحسين خواصها.

وحتى تلحق الـدول العـربية بركب الـدول الصناعية المتقدمة، وحتى تكون ضمن الأمم الغنية المتطورة وهي الأمم المتميزة بمواردها الطبيعية الكثيرة ومصادر طاقتها الغنية ومن بينهـا الثـروات المعدنية التي حبا الله الدول العربية بالكثير منها، والغنية

بثروتها البشرية القادرة على استغلال الثروات الطبيعية المتوافرة في أراضيها، ولا نكون بين الأمم (الغنية ـ المتخلفة) وهي الدول الغنية بالمواد الأولية ومصادر الطاقة، ولكنها فقيرة في العناصر البشرية القاصرة عن الاستفادة من هذه المصادر وتنمية موارد وطنها. ولكي تكون الدول العربية قوية عزيزة فلابد أن تربط بين ما حباها الله به من مواد أولية وبين القوى البشرية القادرة على استغلال هذه الثروات. وفي بعض دول العالم تعد القوى البشرية هي الثروة الحقيقة، وهذه الدول هي (الفقيرة ـ الغنية) فقيرة في مصادر المواد الخام ولكنها غنية في القوى البشرية. ولن نستطيع تحقيق هذه المعادلة البسيطة إلا من خلال تنمية القـوى البشرية من خلال التثقيف والتعليم والتعرف على التقنيات العـالمية المتقـدمـة والتفاعل معها لنصل في النهاية إلى أخذ دورنا في الإضافة للتقدم العلمي وبوجه خاص علوم المواد التي هي الركيزة الأولى والأساسية للنهضة والحضارة المادية. ومن هذا المنطلق كانت محاولات المؤلف لوضع إحدى اللبنات في صرح علمي تقني باللغة العربية بحيث يسهل علينا فهم هذا الموضوع وغيره حينما نقرؤه بلغتنا الأم وإذا فهمنا، فسيأتي الإبداع بعد ذلك بلا شك، ولا أمل في إبداع أو مشاركة علمية دون فهم من المتلقي.

وهذا الكتاب الذي بين أيدينا هو واحد من ثلاثة كتب عن السبائك الفلزية يتنـاول الكتـاب الأول (الفلزات الخفيفـة وسبـائكها) والثاني (السبائك الفلزية غير الحديدية)، أما الكتاب الثالث (فهو سلسلة من خمسة أجزاء عن الحديد والفولاذ)، وهذه الكتب جميعًا هي لَبِنات في التعليم الهندسي ومرجع للمهندسين العاملين في حقل المواد سواء أكان مهندسًا كيميائيًا أم مهندس فلزات أم مهندسًا ميكانيكيًا. وغيرهم من العاملين في مجالات الإنشاءات والصناعات المختلفة. ويحتوي كتاب السبائك الفلزية الخفيفة على خمسة فصول، يتناول الفصل الأول فكرة عامة عن نظرية السبائك وطرق تكوين السبائك وكيفية تأثير العناصر السبائكية على الخواص المختلفة، أما الفصول الأربعة الباقية فهي عن سبائك الألومنيوم والبيريليوم والتيتانيوم والمغنسيوم وكلها فلزات خفيفة الوزن، ومن ثم فإن سبائكها أيضًا خفيفة الوزن، ولقد أُعدّ هذا الكتاب بحيث يشتمـل كل فصـل على: نبـذة تاريخية عن الفلز وظروف وجوده وكيفية استخلاصه وخـواصه المختلفة، وتوضيح لمنحنيات الاتزان الحراري الثنائية لسبائك كل فلز مع

عناصره السبائكية. وبيان التركيب الكيميائي للأنواع المختلفة من سبائك كل فلز مع توضيح أهمية وتأثير العناصر السبائكية مع كل سبيكة وتأثيرها على خواصها الكيميائية والميكانيكية وتطبيقات كل سبيكة وتوضيح البنيان الداخلي للسبائك وكيفية تغير البنيان مع ظروف المعـالجة الحرارية مع ربط التركيب البنائي الدقيق للسبيكة مع خواصها الكيميائية والميكـانيكية. ولقـد أخذ المصدران: سميث (١٩٨١)، وبولمر (١٩٨٩) كمـرجعـين رئيسين لعرض الفصلين الثاني والرابع، وبولمر (١٩٨٩) كمرجع رئيسي لعرض الفصل الخامس.

والله نسأل أن يجعل هذا العمل ذا فائدة ونفع، والله من وراء القصد وهو يهدي السبيل.

المؤلـــف

المحتويـــات

الصفحـة

المقدمـــة ..... ز
قائمة الجداول ..... ف
قائمة الأشكال ..... ث

الفصـل الأول : السبائك : نظرة عامة

(١,١) تمهيـــد ١
(١,٢) نبذة عن تاريخ السبائك ٤
(١,٣) الخـــام ١٠
(١,٤) الفلـــز ١٥
(١,٤,١) الخصائص الفيزيائية للفلزات ٢١
(١,٤,٢) الخصائص الكيميائية للفلزات ٢٣
(١,٤,٣) الفلز غير السبيك ٢٥
(١,٥) السبائـــك ٢٧
(١,٥,١) تقسيم السبائك ٣١
(١,٦) المحلول الجامـــد ٣٩
(١,٦,١) المحلول الجامد بالإحلال ٤٣

(١,٦,٢) المحلول الجامد بالفرجات ٥٠
(١,٦,٣) المحاليل الجامدة في صورة مركبات أيونية ٥٢
(١,٧) بعض التعريفات المهمة ٥٣
(١,٧,١) الوجـــه ٥٣
(١,٧,٢) الفلـــز النقـــي ٥٦
(١,٧,٣) المركـــب الكيميائـــي ٥٦
(١,٨) المعالجـــة الحراريـــة ٦١
(١,٨,١) تمهيـــد ٦١
(١,٨,٢) التصليد بالتشكيل (تصليد الانفعال) ٦٣
(١,٨,٣) تصليد التزمين ٧١
(١,٩) التلدين وإعادة البلورة ٨٢
(١,١٠) المراجـــع ٩٤

الفصل الثاني : الألومنيوم وسبائكه

(٢,١) تمهيـــد ٩٧
(٢,٢) استخلاص الألومنيوم ١٠٠
(٢,٣) خواص الألومنيوم ١٠٣
(٢,٤) استخدامات الألومنيوم ١٠٤
(٢,٥) سبائك الألومنيوم ١١١
(٢,٥,١) تحضير سبائك الألومنيوم ١١٢
(٢,٥,٢) منحنيات الاتزان الحراري لسبائك الألومنيوم الأساسية ١١٣
(٢,٥,٣) تأثير عناصر السبائكية والشوائب على خواص الألومنيوم ١٢٢
(٢,٥,٤) تقسيم سبائك الألومنيوم وتسميتها (ترقيمها) ١٢٨
(٢,٥,٥) تصليد سبائك الألومنيوم الطروقة بالتشكيل ١٤٣
(٢,٥,٦) المعالجة الحرارية لسبائك الألومنيوم ١٤٦
(٢,٥,٧) ترقيـــم السبائـــك ١٥١

(٢,٦) سبائك الألومنيوم التجارية ١٥٧
(٢,٦,١) سبائك الألومنيوم الطروقة غير المعالجة حراريًّا ١٥٨
(٢,٦,٢) سبائك الألومنيوم عالية النقاوة وذات النقاوة التجارية مجموعة (1XXX) ١٦١
(٢,٦,٣) سبائك الألومنيوم ـ منجنيز مجموعة (3XXX) ١٦٦
(٢,٦,٤) سبائك الألومنيوم ـ مغنسيوم مجموعة (5XXX) ١٦٩
(٢,٦,٥) سبائك متنوعة من الألومنيوم مجموعة (8XXX) ١٧٧
(٢,٧) سبائك الألومنيوم التجارية الطروقة المعالجة حراريًّا ١٨٠
(٢,٧,١) سبائك الألومنيوم ـ نحاس ١٨٠
(٢,٧,٢) سبائك الألومنيوم ـ نحاس ـ مغنسيوم ١٨٩
(٢,٧,٣) سبائك الألومنيوم ـ مغنسيوم ـ سليكون مجموعة (6XXX) ١٩٨
(٢,٧,٤) سبائك الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم مجموعة (7XXX) ٢٠٤
(٢,٧,٥) سبائك الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم ـ نحاس ٢١٦
(٢,٨) سبائك الألومنيوم التجارية المصبوبة ٢٢٣
(٢,٨,١) سبائك الألومنيوم ـ مغنسيوم المصبوبة ٢٣٥
(٢,٨,٢) سبائك الألومنيوم ـ سليكون المصبوبة ٢٣٦
(٢,٩) سبائك الألومنيوم المصبوبة القابلة للمعالجة الحرارية ٢٤٠
(٢,٩,١) سبائك الألومنيوم ـ سليكون ـ مغنسيوم المصبوبة ٢٤٠
(٢,٩,٢) سبائك الألومنيوم ـ نحاس المصبوبة ٢٤٥
(٢,٩,٣) سبائك الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم المصبوبة ٢٤٨
(٢,١٠) سبائك الألومنيوم ـ قصدير للمحامل ٢٥٠
(٢,١١) مقاومة الألومنيوم وسبائكه للتآكل ٢٥٢
(٢,١٢) المراجـع ٢٥٥

الفصـل الثالث: البيرليوم وسبائكه

(٣,١) تمهيـد ٢٥٩
(٣,٢) فلـز البيرليوم ٢٦٠
(٣,٣) استخلاص البيرليوم ٢٦٠
(٣,٤) اختزال البيرليوم ٢٦١
(٣,٤,١) التحليل الإلكتروليتي ٢٦٢
(٣,٤,٢) عملية بيروزا ٢٦٣
(٣,٥) مشكلات استخلاص البيرليوم وتصنيعه ٢٦٤
(٣,٦) خواص البيرليوم ٢٦٩
(٣,٧) استخـدامات البيرليوم ٢٧٣
(٣,٨) سبائك البيرليوم ٢٧٤
(٣,٨,١) سبائك البيرليوم ـ نحاس ٢٧٤
(٣,٨,٢) سبائك البيرليوم ـ ألومنيوم ٢٧٦
(٣,٨,٣) سبائك أخرى متنوعة ٢٨٠
(٣,٩) المراجـع ٢٨١

الفصـل الرابع: التيتانيوم وسبائكه

(٤,١) تمهيـد ٢٨٣
(٤,٢) استخلاص التيتانيوم ٢٨٤
(٤,٢,١) إنتاج التيتانيوم الإسفنجي ٢٨٤
(٤,٢,٢) إعداد قالب التيتانيوم ٢٨٧
(٤,٢,٣) التشكيل الأولي ٢٨٨
(٤,٢,٤) كسـر القالـب ٢٨٨
(٤,٣) خواص التيتانيوم ٢٩٠
(٤,٤) استخدامات التيتانيوم ٢٩٤
(٤,٥) سبائك التيتانيوم ٣٠٣

(٤,٥,١) منحنيات الاتزان الحراري للسبائك الثنائية ٣٠٣
(٤,٥,٢) تقسيم سبائك التيتانيوم ٣١١
(٤,٥,٣) المعالجة الحرارية لسبائك التيتانيوم ٣١٢
(٤,٥,٤) التيتانيوم ذو النقاوة التجارية ٣١٤
(٤,٥,٥) سبائك التيتانيوم ألفا ٣٢٢
(٤,٥,٦) سبائك التيتانيوم شبيهة ألفا ٣٢٨
(٤,٥,٧) سبائك التيتانيوم (ألفا + بيتا) ٣٣٥
(٤,٥,٨) سبائك التيتانيوم بيتا ٣٥٣
(٤,٦) المراجـــع ٣٦٨

الفصل الخامس: المغنسيوم وسبائكه

(٥,١) تمهيـــد ٣٧١
(٥,٢) استخلاص المغنسيوم ٣٧٣
(٥,٢,١) التحليل الكهروكيميائي ٣٧٣
(٥,٢,٢) طريقة إلكترون ٣٧٥
(٥,٣) خواص المغنسيوم ٣٧٥
(٥,٤) استخدامات المغنسيوم ٣٨٠
(٥,٥) سبائك المغنسيوم ٣٨٥
(٥,٥,١) تأثير عناصر السبائكية على خواص المغنسيوم ٣٨٥
(٥,٥,٢) منحنيات الاتزان الحراري لسبائك المغنسيوم ٣٨٦
(٥,٥,٣) ترقيم (تسمية) سبائك المغنسيوم ٣٩٠
(٥,٥,٤) تصغير حبيبات سبائك المغنسيوم ٣٩٦
(٥,٥,٥) سبائك المغنسيوم المصبوبة ٣٩٧
(٥,٥,٦) سبائك المغنسيوم الطروقة ٤٢٠
(٥,٦) مقاومة سبائك المغنسيوم للتآكل ٤٣٣
(٥,٧) المراجـــع ٤٣٥

ثبت المصطلحات العلمية ٤٣٧
أولا : عربي ـ إنجليزي ٤٣٧
ثانيا : إنجليزي ـ عربي ٤٧٩
كشاف الموضوعات ٥٢١

قائمة الجداول

رقم الجدول — الصفحة

(١,١) متوسط تحاليل الصخور النارية لأكثر الفلزات الشائعة وأكثر المعادن المعروفة ١١

(١,٢) أسعار بعض الفلزات مقدرة بالدولار الأمريكي والجنيه الاسترليني للكيلوجرام، يوليه (١٩٩١م) ١٢

(١,٣) النسب المئوية للعناصر في القشرة الأرضية ١٤

(١,٤) خواص بعض المواد الهندسية ١٨

(١,٥) درجات حرارة انصهار بعض الفلزات ٢٢

(١,٦) درجات نقاوة فلز الألومنيوم غير السبيك ٢٦

(١,٧) الخواص الميكانيكية للنحاس غير السبيك عند درجة حرارة الغرفة ٢٦

(١,٨) تأثير النسبة بين أنصاف أقطار ذرات الفلزات ونسبة الذوبان في المحاليل الجامدة ٤٥

(١,٩) علاقة أقصى درجة ذوبانية مع عامل التكافؤ في عنصر النحاس ٤٧

(١,١٠) تغير التركيب البلوري لبعض الفلزات مع درجات الحرارة ٥٥

(١,١١) بعض المركبات الإلكترونية ٦٠

(١,١٢) تأثير التركيب الكيميائي والتزمين على الخواص الميكانيكية لبعض سبائك النحاس ـ بيريليوم ٨١
(١,١٣) درجات حرارة إعادة البلْوَرة لعدد من الفلزات والسبائك ٨٨
(٢,١) أهم الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية للألومنيوم ١٠٦
(٢,٢) تأثير شوائب الحديد على خواص سبيكة الألومنيوم ـ ١٠٪ سليكون المصبوبة في ظروف تبريد ثم تعديل السبيكة ١٠٧
(٢,٣) تأثير الحديد كشائبة على الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم ـ نحاس المبردة فجائيًا من منطقة المحلول الجامد ١٠٧
(٢,٤) تأثير مستوى الشوائب على صلابة بعض سبائك الألومنيوم الطروقة عالية المقاومة ١٠٨
(٢,٥) مجالات الاستعمالات الحديثة للألومنيوم، والنسب المستخدمة في كل مجال ١١١
(٢,٦) حدود ذوبانية العناصر المختلفة في عنصر الألومنيوم في حالتيه السائلة والجامدة ١٢٢
(٢,٧) تأثير التزمين على خواص إحدى سبائك الألومنيوم (2014) ١٣٥
(٢,٨) تأثير التعديل وطريقة الصب على الخواص الميكانيكية لسبيكة الألومنيوم ـ ١٣٪ سليكون ١٣٧
(٢,٩) نظام ترقيم سبائك الألومنيوم الطروقة ١٥٢
(٢,١٠) نظام ترقيم سبائك الألومنيوم المصبوبة ١٥٣
(٢,١١) مدلول الحروف في تطبيع سبائك الألومنيوم أو تعديلها ١٥٤
(٢,١٢) التركيب الكيميائي لعدد من سبائك الألومنيوم الطروقة غير المعالجة حراريًا ١٥٩
(٢,١٣) الخواص الميكانيكية لعدد من سبائك الألومنيوم الطروقة غير القابلة للمعالجة الحرارية وأهم استخداماتها ١٦٠
(٢,١٤) التركيب الكيميائي للألومنيوم التجاري النقاوة واستخداماته المختلفة ١٦٢

(٢,١٥) الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم ذات النقاوة التجارية ١٦٥
(٢,١٦) التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم ـ منجنيز مجموعة (3XXX) وأهم استخداماتها ١٦٧
(٢,١٧) الخواص الميكانيكية لبعض سبائك الألومنيوم ـ منجنيز وسبائك الألومنيوم ـ منجنيز ـ مغنسيوم غير القابلة للمعالجة الحرارية ١٧٠
(٢,١٨) التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم ـ مغنيسيوم المطبَّعة غير القابلة للمعالجة الحرارية وأهم استخداماتها ١٧١
(٢,١٩) الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم ـ مغنسيوم المطبَّعة غير القابلة للمعالجة الحرارية وأهم استخداماتها ١٧٨
(٢,٢٠) الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم ـ نحاس القابلة للمعالجة الحرارية ١٨٣
(٢,٢١) التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم ـ نحاس الطروقة وأهم استخداماتها ١٨٦
(٢,٢٢) التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم ـ نحاس ـ مغنسيوم وأهم استخداماتها ١٨٧
(٢,٢٣) الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم ـ نحاس ـ مغنسيوم الطروقة القابلة للمعالجة الحرارية ١٩٣
(٢,٢٤) التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم ـ مغنسيوم ـ سليكون الطروقة وأهم استخداماتها ١٩٩
(٢,٢٥) الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم ـ مغنسيوم ـ سليكون الطروقة القابلة للمعالجة الحرارية ٢٠٥
(٢,٢٦) التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم وأهم استخداماتها ٢١٠
(٢,٢٧) الخواص الميكانيكية للسبيكة (7005) من سبائك الألومنيوم ـ مغنسيوم ـ زنك الطروقة القابلة للمعالجة الحرارية ٢١٣

(٢,٢٨) محتويات سبائك الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم والألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم ـ نحاس من المغنسيوم والزنك والنسب بينها ٢١٥
(٢,٢٩) التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم ـ نحاس وأهم استخداماتها ٢١٨
(٢,٣٠) الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم ـ نحاس الطروقة القابلة للمعالجة الحرارية ٢٢٠
(٢,٣١) التركيب الكيميائي لسبائك الألومنيوم المصبوبة وأهم استخداماتها ٢٢٤
(٢,٣٢) بعض خواص سبائك الألومنيوم المصبوبة ٢٢٨
(٢,٣٣) التركيب الكيميائي لبعض سبائك الألومنيوم المصبوبة ٢٣١
(٢,٣٤) الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم المصبوبة في كل من: الرَمل، وقوالب ثابتة، وقوالب تحت الضغط ٢٣٤
(٣,١) اختلاف الخواص الميكانيكية لفلز البيريليوم باختلاف طريقة التصنيع ٢٦٩
(٣,٢) بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية لفلز البيريليوم ٢٧٠
(٣,٣) مقارنة بين الخواص الفيزيائية لفلزي البيريليوم والمغنسيوم ٢٧١
(٤,١) مقارنة بين بعض الخواص الميكانيكية والفيزيائية لعناصر التيتانيوم والألومنيوم والحديد ٢٩٠
(٤,٢) بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية لفلز التيتانيوم ٢٩١
(٤,٣) عناصر السبائكية لسبائك التيتانيوم وتأثيرها على تثبيت الأوجه المختلفة ٢٩٢
(٤,٤) النسبة بين (c/a) لمجموعة من الفلزات المتبلورة في صورة مسدس عالي الحشو ٢٩٣
(٤,٥) معدل ذوبانية الأكسجين والنيتروجين والكربون والهيدروجين في التيتانيوم والحديد والألومنيوم عند درجة الحرارة العادية ٢٩٤
(٤,٦) التطور في الكميات المستخدمة من سبائك التيتانيوم في صناعة الطائرات ٣٠٢

(٤,٧) التركيب الكيميائي لسبيكة (B265) (التيتانيوم التجاري) واستخداماتها ٣١٥
(٤,٨) الخواص الميكانيكية لبعض سبائك التيتانيوم ذات النقاوة التجارية ٣٢١
(٤,٩) التركيب الكيميائي لسبائك التيتانيوم ألفا وأهم استخداماتها ٣٢٣
(٤,١٠) تأثير درجات الحرارة على الخواص الميكانيكية لسبائك التيتانيوم ألفا الملدنة ٣٢٧
(٤,١١) التركيب الكيميائي لسبائك التيتانيوم الشبيهة بألفا وأهم استخداماتها ٣٢٩
(٤,١٢) تأثير درجات الحرارة على الخواص الميكانيكية لسبائك التيتانيوم الشبيهة بألفا ٣٣٣
(٤,١٣) التركيب الكيميائي لسبائك التيتانيوم (ألفا + بيتا) وأهم استخداماتها ٣٣٦
(٤,١٤) خواص سبيكة التيتانيوم (ألفا + بيتا) الملدنة ذات التركيب (Ti-6A1-4V) ٣٣٨
(٤,١٥) الخواص الميكانيكية لعدد من سبائك التيتانيوم (ألفا + بيتا) ٣٥٤
(٤,١٦) التركيب الكيميائي لسبائك التيتانيوم بيتا وأهم استخداماتها ٣٥٨
(٤,١٧) الخواص الميكانيكية لمجموعة من سبائك التيتانيوم بيتا ٣٦٢
(٤,١٨) التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية لسبائك التيتانيوم التجارية ٢٦٤
(٥,١) بعض الخواص الميكانيكية والكيميائية والفيزيائية لفلز المغنسيوم ٣٧٩
(٥,٢) تركيب بعض سبائك المغنسيوم الطروقة وطرق تشكيلها ٣٨١
(٥,٣) مقارنة بين التشغيلية بالمكنات لعدد من الفلزات ٣٨٢
(٥,٤) تدني الخواص الميكانيكية ومعدلات تآكل بعض سبائك الألومنيوم والمغنسيوم والفولاذ الطري بعد عامين ونصف من الاختبار ٣٨٤
(٥,٥) دلالات الرموز (الحروف) في تقسيم سبائك المغنسيوم ٣٩٥

(٥,٦) التركيب الكيميائي الأسمى والخواص الميكانيكية لبعض سبائك المغنسيوم المصبوبة ٣٩٨
(٥,٧) مقارنة بين خواص وسبائك المغنسيوم المصبوبة في الرمل والسبائك المصبوبة في قوالب ٤٠١
(٥,٨) تأثير معدل التبريد بعد المعالجة المحلولية الحرارية المتبوعة بالتزمين على خواص سبائك المغنسيوم المصبوبة في الرمل ٤٠٦
(٥,٩) خواص الشد لسبيكتي (ZK61) و (ZE62) المصبوبتين بعد المعالجة المحلولية الحرارية في أجواء محتوية على ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين المبلل لمدة (٢٤) ساعة عند درجة الحرارة ٥٠٠°م والتزمين لمدة (٦٤) ساعة عند درجة حرارة (١٢٥°م) ٤١٥
(٥,١٠) التركيب الكيميائي الأسمى وخواص الشد لبعض سبائك المغنسيوم الطروقة ٤٢٣
(٥,١١) التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية لسبائك المغنسيوم الطروقة ٣٢٦

قائمة الأشكال

رقم الشكل		الصفحة
(١,١)	سحابة الإلكترونات التي تسبح فيها الأيونات الموجبة مكونة الرابطة الفلزية	١٦
(١,٢)	علاقة طاقة المادة الفلزية النقية وحالاتها	٢٤
(١,٣)	تأثير إضافة فلز النيكل على الخواص الميكانيكية والفيزيائية لسبائك الكوبرنيكل (Cu-Ni)	٢٨
(١,٤)	تأثير إضافة الكروم على معدل أكسدة الكوبالت في الهواء عند درجات حرارة مختلفة	٢٩
(١,٥)	تقسيم السبائك طبقًا لتركيبها البنائي	٣٢
(١,٦)	منحنى الاتزان الحراري للبزموث ـ أنتيمون (العناصر التامة الذوبانية في الحالتين السائلة والجامدة)	٣٣
(١,٧)	منحنى الاتزان الحراري للزنك ـ كادميوم (إذابة تامة في الحالة السائلة وانفصال تام في الحالة الجامدة)	٣٤
(١,٨)	منحنى الاتزان الحراري للبزموث ـ قصدير (تام الذوبانية في الحالة السائلة ويذوبان في بعضهما جزئيًا في الحالة الجامدة)	٣٥
(١,٩)	تأثير نسبة الزنك المضاف لسبائك النحاس الأصفر على خواصها الميكانيكية والفيزيائية	٣٧

(١,١٠) التركيب البنائي لإحدى السبائك موضحًا به تكوين وجهين مختلفين ٣٨
(١,١١) منحنى التبريد (درجة الحرارة ـ الزمن) لكمية صغيرة من مصهور فلز الأنتيمون ٤١
(١,١٢) منحنى التبريد (درجة الحرارة ـ الزمن) لكمية محدودة من سبيكة ٥٠٪ أنتيمون ـ ٥٠٪ بزموث ٤١
(١,١٣) منحنى التبريد لفلز البزموث الذي يبدأ في التجمد عند درجة الحرارة ٢٧١°م ٤٢
(١,١٤) تأثير النسبة بين حجم ذرات العناصر المختلفة وحجم ذرة النحاس على حدود الذوبانية في المحلول الجامد ٤٦
(١,١٥) محلول جامد مكون بالإحلال ٥٠
(١,١٦) محلول جامد مكون بالفرجات ٥٢
(١,١٧) محلول جامد لمركب أيوني تكون بالإحلال حيث حلت أيونات الحديد (Fe^{2+}) محل أيونات المغنسيوم (Mg^{2+}) في مركب مكون من أكسيد المغنسيوم (MgO) ٥٣
(١,١٨) تغير التركيب البنائي لسبائك الألومنيوم ـ سليكون مع تغير التركيب الكيميائي للسبائك ٥٤
(١,١٩) منحنى تبريد مركب شبيه بالفلز ٥٨
(١,٢٠) تأثير التشكيل على البارد على مقاومة الألومنيوم المطاوع ٦٢
(١,٢١) (أ) تأثير الدلفنة على البارد على حجم الحبيبات وشكلها وتأثر الخواص الميكانيكية تبعًا لذلك ٦٤
(ب) تأثير نسبة التشكيل على البارد على بعض الخواص الميكانيكية للحديد والنحاس ٦٥
(جـ) تأثير نسبة التشكيل على البارد على بعض الخواص الميكانيكية لسبيكتين من النحاس الأصفر ٦٦
(١,٢٢) (ا) تأثير التشكيل على البارد على مقاومة الشد وإجهاد الخضوع لفلز النحاس ٦٧

(ب) التشكيل على البارد وعلاقته بمقاومة الشد وإجهاد الخضوع لبعض سبائك الفولاذ ٦٧
(١,٢٣) العلاقة بين التوصيلية ومقاومة الشد والتحولات الحرارية لإحدى سبائك الألومنيوم ٦٩
(١,٢٤) تشققات تآكل الإجهاد الناتجة عن الظروف المحيطة بإحدى سبائك النحاس ٧٠
(١,٢٥) منحنى التبريد لسبيكة مكونة من (15%B - 85%A) ٧٢
التركيب البنائي لمكونات السبيكة عند درجات حرارة مختلفة .....
(١,٢٦) التركيب البنائي للسبائك بعد المعالجة الحرارية ٧٣
(١,٢٧) البناء الميكروسكوبي لسبيكة مكونة من (15%B - 85%A) وتأثير المعالجات الحرارية عليها ٧٤
(١,٢٨) تأثير درجات الحرارة على منحنيات التزمين خلال التصليد بالترسيب، وهذه المنحنيات لسبيكة الفولاذ المحتوي على (٠,٦٪) كربون ٧٥
(١,٢٩) تمثيل التشوه الحادث في مستويات التركيب البنائي الشبكي القريبة من المناطق المحيطة بمنطقة (GP) ٧٦
(١,٣٠) (ا) تمثيل مناطق (GP) بالانخلاعات المتحركة ٧٩
(ب) تمثيل الانخلاع بحبيبات متباعدة مارة عبر حدود الحبيبات ٧٩
(١,٣١) تأثير وقت التزمين على الخواص ٨٠
(١,٣٢) الجزء الغني بالنحاس من منحنى الاتزان الحراري للنحاس ـ بيريليوم ٨٢
(١,٣٣) تأثير درجة حرارة التلدين على حجم الحبيبات والخواص الميكانيكية والإجهادات المتولدة ٨٤
(١,٣٤) مرحلة إعادة نمو حبيبات بسيطة والتخلص من الإجهادات الداخلية ٨٥
(١,٣٥) العلاقة بين درجة حرارة الانصهار ودرجة حرارة إعادة البلورة لعدد من الفلزات، ومنها يتضح أن درجة حرارة إعادة البلورة تقع ـ تقريبًا ـ بين ثلث ونصف درجة حرارة الانصهار ٨٧

(١,٣٦) العلاقة بين درجة الحرارة ورقم برنل للصلادة لسبيكة ٦٥٪ نحاس ـ ٣٥٪ زنك ـ ذات نسب مختلفة من التشكيل على البارد ٨٩
(١,٣٧) نمو الحبيبات أثناء تلدين الفلز لدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة إعادة البلورة ٩١
(١,٣٨) مراحل إعادة البلورة ونمو الحبيبات في إحدى سبائك النحاس ـ زنك ٩٢
(٢,١) معدل إنتاج الألومنيوم في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا ٩٩
(٢,٢) خطوات عملية باير لإنتاج الألومينا من البوكسيت ١٠١
(٢,٣) الخلية الكهروكيميائية المستخدمة في استخلاص الألومنيوم ١٠٣
(٢,٤) تأثير النسبة المئوية لشوائب الحديد والسليكون في الألومنيوم على المقاومة وإجهاد الخضوع في اختبار الشد ١٠٩
(٢,٥) الإنتاج العالمي من بعض الفلزات والسبائك ١٠٩
(٢,٦) العلاقة بين إجهاد الخضوع والاستطالة في اختبار الشد ومحتوى بعض سبائك الألومنيوم التجارية من المغنسيوم ١١٢
(٢,٧) العلاقة بين ذوبانية الهيدروجين في الألومنيوم ودرجة الحرارة ١١٤
(٢,٨) الجزء الغني بالألومنيوم في منحنى الاتزان الحراري للألومنيوم ـ نحاس ١١٥
(٢,٩) الجزء الغني بالألومنيوم في منحنى الاتزان الحراري للألومنيوم ـ مغنسيوم ١١٦
(٢,١٠) تأثير إضافة عنصر المنجنيز على خواص الشد لسبيكة الألومنيوم ـ ٤٪ نحاس ـ ٥٪ مغنسيوم بعد المعالجة الحرارية عند درجة الحرارة (٥٢٥°م) ١١٧
(٢,١١) الجزء الغني بالألومنيوم في منحنى الاتزان الحراري للألومنيوم ـ منجنيز ١١٨
(٢,١٢) منحنى الاتزان الحراري للألومنيوم ـ سليكون ١١٩
(٢,١٣) منحنى الاتزان الحراري للألومنيوم ـ زنك ١٢٠

(٢,١٤) منحنى الاتزان الحراري للألومنيوم ـ مغنسيوم ١٢١
(٢,١٥) مجموعات سبائك الألومنيوم الأساسية ١٢٤
(٢,١٦) طاقة الصلابة في مستوى الانفعال للوح من سبيكة الألومنيوم ـ نحاس ـ مغنسيوم التجارية المحتوية على نسب مختلفة من الحديد والسليكون ١٢٧
(٢,١٧) تأثير العناصر المضافة على كثافة سبائك الألومنيوم الثنائية ١٢٩
(٢,١٨) تأثير إضافة العناصر على لزوجة الألومنيوم ١٢٩
(٢,١٩) تأثير إضافة العناصر على معامل مرونة الألومنيوم ١٣٠
(٢,٢٠) العلاقة بين حد الإطاقة ومقاومة الشد (نسبة الكلال) لسبائك الألومنيوم وبعض المواد الفلزية الأخرى ١٣٣
(٢,٢١) تأثير عمليات المعالجة الحرارية على خواص الكلال لسبيكة الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم ـ نحاس التجارية (7075) ١٣٣
(٢,٢٢) العلاقة بين طاقة الصلابة على مستويات الانفعال وإجهاد الخضوع لسلسلة سبائك (2XXX) و (7XXX) ١٣٤
(٢,٢٣) عملية الصب المستمرة لإنتاج القضبان والألواح في قوالب متحركة ١٣٦
(٢,٢٤) عمليات الصب المباشر مع التبريد المفاجيء ١٣٦
(٢,٢٥) (ا) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة الألومنيوم ـ ١٢٪ سليكون كما هي بعد الصب دون أي تعديل ١٣٨
(ب) سبيكة الألومنيوم ـ ١٢٪ سليكون المبينة في شكل (٢,٢٥ ا) بعد الصب، وبعد تعديلها بإضافة الصوديوم ١٣٩
(جـ) قطاع ميكروسكوبي لسبيكة الألومنيوم ـ ١٢٪ سليكون الموضحة في الشكل (٢,٢٥ ا) بعد تعديلها بإضافة كمية زائدة من الفوسفور ١٣٩
(٢,٢٦) تأثير إضافة كميات قليلة من الفوسفور على تصغير حجم صفائح السليكون الأولية في سبيكة (A390) ١٤٠

(٢,٢٧) تأثير تخفيض تركيز الحبيبات الدقيقة على خواص سبيكة الألومنيوم ـ نحاس ـ مغنسيوم ١٤١
(٢,٢٨) تأثير إعادة البلْوَرة وحجم الحبيبات وشكلها على صلابة بعض سبائك الألومنيوم ـ زنك ـ مغنسيوم ـ نحاس ١٤٢
(٢,٢٩) منحنيات التصليد بالتشكيل لعدد من سبائك الألومنيوم ١٤٤
(٢,٣٠) منحنيات التصليد بالتشكيل لسبيكة (1100) (٩٩٪) ألومنيوم الملدنة ١٤٥
(٢,٣١) الجزء الغني بالألومنيوم في منحنى الاتزان الحراري للألومنيوم ـ نحاس، وفيه تظهر التغيرات الميكروسكوبية الحادثة نتيجة المعالجات الحرارية المختلفة ١٤٨
(٢,٣٢) تأثير زمن معاملة الترسيب ودرجة حرارتها على التركيب البنائي ومقاومة الشد لعدد من السبائك ١٥٠
(٢,٣٣) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة (1100-H18) بعد الدلفنة على البارد ... ١٦٣
(٢,٣٤) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة (1100-O) شُكلت على البارد ثم تم تلدينها ١٦٤
(٢,٣٥) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة (3003) (المحتوية على ١,٢٪ منجنيز) بعد تلدينها ثم شُكلت على البارد ١٦٧
(٢,٣٦) شريحة بالميكروسكوب الإلكتروني النفاذ في سبيكة (3003) المحتوية على ١,٢٪ منجنيز بعد تسخينها إلى درجة الحرارة ٥٤٣°م ١٦٨
(٢,٣٧) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة (5456) بعد الدلفنة على البارد وإزالة الإجهاد عند درجة الحرارة ٢٤٦°م ١٧٣
(٢,٣٨) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة (5086-H34) بعد تشكيلها على البارد، ثم التثبيت عند درجة الحرارة ١٢٠°م ١٧٥
(٢,٣٩) قطاع ميكروسكوبي في السبيكة (5456) بعد الدلفنة على البارد والتلدين عند درجة الحرارة (٢٤٦°م) ١٧٦
(٢,٤٠) قطاع ميكروسكوبي في السبيكة (2014-T4) بعد الطّرق ثم المعالجة

الحرارية عند درجـة الحرارة (٥٠٠°م) لمدة ساعتين ١٨٢
(٢,٤١) قطـاع بالميكروسكـوب الإلكتـروني النفـاذ في سبيكة (2219) بعد المعالجة المحلولية الحرارية ثم التزمين الاصطناعي ١٨٨
(٢,٤٢) جهاد الكسر لسبائك الألومنيوم الطروقة عند درجات الحرارة (٢٠٤°م)، و (٣١٦°م) ١٨٩
(٢,٤٣) (ا) قطاع بالميكروسكوب الإلكتروني النفاذ في سبيكة (2024-T6) بعد المعالجة المحلولية الحرارية ثم التبريد المفاجيء والتزمين ... ١٩٢
(ب) قطاع بالميكروسكوب الإلكتروني النفاذ في سبيكة (2024-T86) بعد المعالجة المحلولية الحرارية ثم التبريد المفاجيء ثم التشكيل على البارد بنسبـة ٦٪ لمـدة (١٢) ساعة عند درجـة الحـرارة ١٩٠°م ويتكون البناء من مناطق (GP) وصفائح (S) الأكبر حجمًا والأكثر عددًا من تلك المشاهدة في شكل (ا) السابق ... ١٩٢
(جـ) التركيب البنائي لسبيكة (2024-T86) من خلال الميكروسكوب الإلكتـروني النفاذ بعد المعالجة المحلولية الحراريـة والتبريـد المفاجيء، ثم التشكيل على البارد بنسبة ١,٥٪ بعد تزمين السبيكة لمدة (١٢) ساعة عند درجة الحرارة ١٩٠°م ويتكون البناء في هذه الحالة من مناطق (GP) وصفائح (S) الأصغر حجمًا والأكثر عددًا مقارنة بشكل (ب) السابق ١٩٤
(٢,٤٤) تأثير درجة المعالجة الحرارية على خواص الشد لألواح من سبيكتي (2014-T4) و (2014-T6) ١٩٥
(٢,٤٥) خواص التزمين لسبيكة (2014-T4) ١٩٦
(٢,٤٦) تأثيـر التزمـين عند درجـات الحـرارة العالية على خـواص سبيكـة الألومنيوم (2024) ١٩٧
(٢,٤٧) قطاع بالميكروسكوب الإلكتروني النفاذ في سبيكة ($Al-1.3\,Mg_2Si$) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة ٥٦٥°م ثم التبريد

المفاجىء، ثم يلي ذلك التزمين لمدة ٢٤ ساعة عند درجة الحرارة ١٦٠°م. وتصل السبيكة نتيجة تلك المعالجات إلى أقصى مقاومة نتيجة الترسيب. ويتكون بناء السبيكة من مناطق (GP) والوجه (ß) المترسب ٢٠٣

(٢,٤٨) سبيكة (Al-1.3Mg$_2$Si) عند أعلى مقاومة التصليد والترسيب وذلك من خلال التزمين لمدة (٢٤) ساعة عند درجة الحرارة (١٦٠°م) ثم إعادة التسخين لمدة (١٥) دقيقة عند درجة الحرارة (٢٧٥°م). ويتركب البناء من الوجه (ß) الإبرية السميكة ٢٠٣

(٢,٤٩) تأثير التزمين على الخواص الميكانيكية لسبيكة (6061) ٢٠٧

(٢,٥٠) (ا) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة الألومنيوم ـ ٥٪ زنك ـ ٢٪ مغنسيوم بعد تزمينها لمدة خمسة أيام عند درجة الحرارة (٢٠°م)، ثم لمدة (٤٨) ساعة عند درجة الحرارة (١٢٠°م) وبلغت السبيكة أقصى مقاومة لها وقدرها (350 MPa). ويتكون التركيب البنائي من مناطق (GP) فقط ٢١١

(ب) قطاع بالميكروسكوب الإلكتروني النفاذ في سبيكة الألومنيوم ـ ٥٪ زنك ـ ٢٪ مغنسيوم تم تزمينها لمدة (١٦) ساعة عند درجة الحرارة (٨٠°م) ثم لمدة (٢٤) ساعة عند درجة الحرارة (١٥٠°م) وأقصى مقاومة شد لهذه السبيكة (330MPa) ٢١٢

(٢,٥١) تأثير نسبة محتوى السبيكة من الزنك إلى المغنسيوم على نزعة السبيكة للتشققات الناتجة عن تآكل الإجهاد ٢١٤

(٢,٥٢) (ا)قطاع في سبيكة (7075-T651) تامة التصليد. ويتضح في هذه الحالة تكون مناطق (GP) والوجه (η) في كنان السبيكة وبعض المناطق الخالية من الترسبات على حدود الحبيبات أما الترسبات الكبيرة (سوداء اللون) فهي غنية بالكروم ٢١٩

(ب) قطاع بالميكروسكوب الإلكتروني النفاذ في سبيكة (70785-T651) بعد تزمينها لمدة تسع ساعات عند درجة

الحرارة (١٧٥°م) ثم جرى عليها فوق التزمين (T7351) ويتكون عندئذ الوجهان (η) و(η) وتظهر حدود حبيبات البناء الأصلي خالية من الترسبات ٢١٩

(٢,٥٣) تأثير تزمين سبيكة (7075) عند درجتي الحرارة (١٢٠°م) و(١٥٠°م) على خواصها الميكانيكية ٢٢١

(٢,٥٤) (ا) قطاع في سبيكة (443-F) ، وتركيبها ألومنيوم ـ ٥٪ سليكون، تم سبكها في الرمل. والشكل الشجري الواضح في الصورة هو نتيجة التبريد البطيء في قالب الرمل (السليكون داكن اللـون) أمـا الوجـه (Fe_3SiAl_2) فلونه رمادي متوسـط والوجه ($FeSi_2Al_9$) لونه رمادي خفيف ٢٣٨

(ب) سبيكة (443-F) مصبوبة في قوالب دائمة. المركبات كما في شكل (ا) السابق والاختلاف فقط في حجم الأفرع، حيث أنها أصغر في هذه الحالة، ويرجع ذلك إلى سرعة معدل التبريد مقارنة بحالة الصب في الرمل ٢٣٩

(جـ) سبيكة (443-F) مصبوبة في القوالب والناتج له التركيب نفسه نفسه في الشكلين (٢,٥٤ أ)، (٢,٥٤ ب) ولكن الاختلاف الأساسي هو حجم خلايا التركيب الشجري، وهي في هذه الحالة أصغر بكثير من الحالتين الأخريين، ويرجع ذلك إلى معدل التبريد، والذي يكون سريعًا جدًّا في حالة الصب في القوالب ٢٤٠

(٢,٥٥) (ا) قطاع ميكروسكوبي لسبيكة ألومنيوم ـ ٧٪ سليكون المصبوبة في الرمل بدون إضافة الصوديوم أي بدون تعديل ٢٤١

(ب) قطـاع ميكروسكـوبي لسبيكة الألومنيـوم ـ ٧٪ سليكـون المصبوبة في الرمل بعد إضافة الصوديوم للتعديل، لاحظ التهذيب الحادث في التركيـب البنائي ٢٤١

(٢,٥٦) الخواص الميكانيكية لسبائك الألومنيوم ـ سليكون ٢٤٢

(ا) في حالة الصب في الرمل كما هو دون تعديل بإضافة الصوديوم ٢٤٢
(ب) الصب المبرد فجائيًا، كما هي في حالة الصب بدون تعديل ٢٤٢
(٢,٥٧) التركيب البنائي لسبيكة (356) المركبة من ألومنيوم ـ ٧٪ سليكون ـ ٣٪ مغنسيوم وذلك في ظروف مختلفة
(ا) مصبوبة في الرمل ثم التزمين الاصطناعي ٢٤٤
(ب) بعد التعديل بإضافة (٠٢٥,٪) صوديوم والصب في الرمل ٢٤٤
(جـ) بعد التعديل بإضافة الصوديوم، والصب في الرمل، ثم المعالجة الحرارية ٢٤٤
(٢,٥٨) قطاع في سبيكة (242-T571) المصبوبة في قوالب ثابتة، وتم تزمينها اصطناعيًا، ويتكون التركيب البنائي من زعانف من الوجه ($NiAl_3$) (رمادية داكنة) في وسط رمادي من حروف مكونة من ($CuNiAl_6$) وكذلك حبيبات ($CuAl_2$) (فاتحة اللون) والوجه (Mg_2Si) (أسود اللون) ٢٤٦
(٢,٥٩) قطاع في سبيكة (77-242) مصبوبة في الرمل ومعالجة حراريًا، ويتكون التركيب البنائي من حبيبات ($NiAl_3$) و (Cu_3NiAl_6) دائرية الشكل نتيجة المعالجة المحلولية الحرارية، ويرجع الترسيب إلى تعرض السبيكة إلى ما بعد التزمين ٢٤٦
(٢,٦٠) ألواح الوجه ($CuA1_2$) المترسبة في سبيكة (201) المكونة من الألومنيوم نحاس ـ مغنسيوم ـ فضة بعد تصليدها لأقصى صلادة عند درجة الحراة (١٧٠°م) ٢٤٧
(٢,٦١) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة (7075-O) الملدنة، يتكون التركيب البنائي في هذه الحالة من حبات خشنة: (ا) سوداء اللون تركيبها ($MgZn_2$) وعدد قليل من حبيبات، (ب) غير الذائبة وهي رمادية اللون وبناء السبيكة هو محلول جامد غني بالألومنيوم ٢٤٩
(٢,٦٢) التركيب البنائي لسبيكة الألومنيوم ـ ٢٠٪ قصدير مبينة فيها طبقات القصدير المترسبة على حدود الحبيبات ٢٥١

(٢,٦٣) قطاع ميكروسكوبي لسبيكة الألومنيوم ـ ٢٠٪ قصدير بعد الدلفنة على البارد وتظهر السبيكة ملصقة على سطح الفولاذ نتيجة الدلفنة والمعالجة الحرارية النهائية ويتضح من الشكل تكون حبيبات القصدير كروية الشكل ٢٥٢
(٣,١) رسم تخطيطي لطريقة استخلاص البيرليوم ٢٦٥
(٣,٢) تأثير درجة الحرارة على الاستطالة الطولية والمستعرضة للبيرليوم ٢٦٨
(٣,٣) تأثير درجة الحرارة على الإجهاد الحرج للانزلاق والتوأمة والكسر لفلز البيرليوم ٢٧٢
(٣,٤) تأثير درجة الحرارة على أقصى إجهاد للشد وكذا إجهاد الخضوع لفلز البيرليوم ٢٧٣
(٣,٥) منحنى الاتزان الحراري للبيرليوم ـ نحاس ٢٧٦
(٣,٦) منحنى الاتزان الحراري للبيرليوم ـ ألومنيوم ٢٧٧
(٣,٧) التركيب البنائي لسبيكة ٧٥٪ بيرليوم ـ ٢٥٪ ألومنيوم تم صبها في قالب من الجرافيت ٢٧٨
(٣,٨) صورة للسبيكة نفسها في شكل (٣,٧) ولكنها في مقطع بالقرب من نهاية التجمد ٢٧٨
(٣,٩) التركيب البنائي لسبيكة ٧٥٪ بيرليوم ـ ٢٥٪ ألومنيوم تم تصليدها في اتجاه محدد باستخدام قالب من النحاس المبرد بالماء ٢٧٩
(٤,١) خطوات إنتاج التيتانيوم الإسفنجي من رابع كلوريد التيتانيوم باستخدام الصوديوم وتعرف هذه الطريقة باسم (عملية هنتر) ٢٨٦
(٤,٢) رسم توضيحي للقوس الكهربائي تحت الخلخلة لإنتاج صبات من التيتانيوم ٢٨٧
(٤,٣) منحنيات الزحف لبعض سبائك التيتانيوم التجارية ٢٩٥
(٤,٤) العلاقة بين درجة الحرارة وإجهاد الاستدلال النوعي (النسبة بين إجهاد الاستدلال والكثافة) لبعض السبائك الخفيفة وسبائك الفولاذ والنيكل ٢٩٦

(٤,٥) بعض التطبيقات لاستخدام التيتانيوم وسبائكه في صناعة التربينات الغازية وأجزاء الطائرات ٣٠١
(٤,٦) الأنواع الأساسية من منحنيات الاتزان الحراري لسبائك التيتانيوم ٣٠٤
(٤,٧) منحنى الاتزان الحراري للتيتانيوم ـ ألومنيوم ٣٠٥
(٤,٨) منحنى الاتزان الحراري للتيتانيوم ـ ألومنيوم (الجزء الغني بالتيتانيوم) ٣٠٦
(٤,٩) منحنى الاتزان الحراري للتيتانيوم ـ فانديوم ٣٠٨
(٤,١٠) نظام بيتا الأيوتكتيودي، وأهم عناصره هذا النظام مع التيتانيوم هي الكروم والحديد والسليكون ٣٠٩
(٤,١١) منحنى الاتزان الحراري للتيتانيوم ـ كروم ٣٠٩
(٤,١٢) منحنى الاتزان الحراري للتيتانيوم ـ منجنيز ٣١٠
(٤,١٣) منحنى الاتزان الحراري للتيتانيوم ـ زركونيوم ٣١١
(٤,١٤) منحنى الاتزان الحراري للتيتانيوم ـ قصدير ٣١٢
(٤,١٥) تمثيل بياني للمعالجة الحرارية لسبائك التيتانيوم في صورة بيتا (ß) شبه المنتظمة ٣١٣
(٤,١٦) زيادة مقاومة الشد الناتجة عن وجود النيتروجين في فلز التيتانيوم النقي ٣١٦
(٤,١٧) (ا) التركيب الميكروسكوبي للتيتانيوم التجاري النقاوة بعد التلدين لمدة ساعة عند درجة الحرارة (٧٠٠°م) والتبريد في الهواء. ويتكون البناء الميكروسكوبي من حبيبات ألفا ذات الاتجاه الواحد، والوجه بيتا الذي تم تثبيته بإضافة (٣,٠٪) حديد ٣١٨
(ب) التركيب الميكروسكوبي للتيتانيوم ذي النقاوة التجارية بعد الدلفنة على الساخن، وتظهر فيه حبيبات الوجه ألفا الممطوطة نتيجة التشكيل ٣١٩
(٤,١٨) تأثير الأكسجين والنيتروجين والكربون على الخواص الميكانيكية للتيتانيوم ٣٢٠

(٤,١٩) تأثير عناصر الفرجات على طاقة الصدمات للتيتانيوم عالي النقاوة في حالة حبيبات دقيقة (0-01-0.5mm) وحبيبات منتظمة الاتجاه ٣٢٠
(٤,٢٠) تأثير الألومنيوم على تقصف سبائك التيتانيوم ـ ألومنيوم (Ti-A1) ... ٣٢٤
(٤,٢١) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة (Ti-6Al-4V) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحراة (٨٤٣°م) لمدة ساعة ثم التبريد السريع في الماء. ويتكون التركيب البنائي من الوجه بيتا والوجه المتبقي بعد المعالجة، في كنان الوجه ألفا ٣٢٦
(٤,٢٢) تأثير معدل التبريد على صلابة السبيكة (Ti-5A1-2.5Sn) عند درجة الحرارة (-٢٥٣°م) ٣٢٦
(٤,٢٣) مقطع ميكروسكوبي في سبيكة (Ti-8Al-1Mo-1V) بعد المعالجة الحرارية المزدوجة ويتكون البناء الداخلي من حبيبات ألفا موحدة الاتجاه وحبيبات بيتا الصغيرة ٣٣٠
(٤,٢٤) رسم تخطيطي لمنحنى الاتزان الحراري للتيتانيوم ـ ٨٪ ألومنيوم عند إضافة الموليبدنوم والفانديوم وفيه الوجه (α) وهو مسدس، والوجه (α_2) مسدس منتظم، والوجه (ß) مكعب متمركز الجسم وتدل (M_s) على بداية التحـول المارتنزيتي ٣٣٢
(٤,٢٥) رسم تخطيطي لمنحنى الاتزان لسبيكة (Ti-6%A1) عند إضافة الفانديوم (M_s) بداية التحول المارتنزيني ٣٤٠
(٤,٢٦) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة تيتانيوم ـ ٦٪ ألومنيوم ـ ٤٪ فانديوم بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (١٠٦٦°م) لمدة ٣٠ دقيقة ثم التبريد المفاجىء في الماء. ويتركب البناء الداخلي من الوجه ($\overline{\alpha}$) كما يلاحظ ترسب الوجه بيتا على حدود الحبيبات ٣٤١
(٤,٢٧) الوجه ($\overline{\alpha}$) التيتانيوم المارتنزيتي المتكون في سبيكة (Ti-6A1-4V) المبردة فجائيًا من درجة الحرارة (١٢٠٠°م). ويظهر الوجه المارتنزيني في صورة ألواح غير منتظمة الحجم وهي ذات بناء بلوري مسدس، كمـا يظهـر في ذلك الوجـه أحيانًا الانخلاعـات، وأحيانًا أخـرى

التوأمية ٣٤٢
(٤,٢٨) التركيب الميكروسكوبي لسبيكة (Ti-6Al-4V) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (١٠٦٦°م) ثم التبريد في الهواء. ويتضح من الشكل أن التركيب البنائي للوجه ألفا إبري الشكل، كما يظهر الوجه بيتا على حدود الحبيبات ٣٤٣
(٤,٢٩) البناء الميكروسكوبي لسبيكة (Ti-6A1-4V) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (١٠٦٦°م) ثم التبريد في الفرن. والتركيب الداخلي للوجه ألفا يشبه الصفائح مع ترسيب الوجه بيتا بين الحبيبات ٣٤٤
(٤,٣٠) مقطع ميكروسكوبي في سبيكة (Ti-6Al-4V) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (٩٥٤°م) ثم التبريد الفجائي في الماء. ويتكون البناء الداخلي من الوجه (α) الأبيض اللون (الفاتح اللون والوجه (α) المتحول ولونه رمادي ٣٤٥
(٤,٣١) التركيب البنائي للسبيكة الموضحة في شكل (٤,٣٠) عند قوة تكبير أعلى ٣٤٥
(٤,٣٢) بنيان سبيكة (Ti-6Al-4V) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (٩٥٤°م)، وهو عبارة عن الوجه ($\overline{\alpha}$) في كنان الوجه بيتا المتحولة ٣٤٦
(٤,٣٣) التركيب الميكروسكوبي لسبيكة (Ti-6Al-4V) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (٩٥٤°م) ثم التبريد في الفرن. ويتضح من الشكل تكون حبيبات الوجه ألفا في اتجاه محوري واحد (فاتح اللون) وحبيبات الوجه بيتا (داكن اللون) المترسبة على حدود الحبيبات ٣٤٧
(٤,٣٤) التركيب البنائي لسبيكة (Ti-6Al-4V) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (٨٤٣°م) لمدة ساعة ثم التبريد الفجائي في الماء. والتركيب الداخلي بعد هذه المعالجة هو الوجه بيتا المترسب

في كنان الوجه ألفا ٣٤٨
(٤,٣٥) التركيب البنـائي الداخـلي لسبيكة (Ti-6Al-4V) بعـد طرقها عند درجة الحرارة (٩٨٢°م) لتخفيض (٧٥٪) من سمكها، يلي ذلك تسخينها لمدة ساعتين عند درجة الحرارة (٧٣٢°م) وتلا ذلك تبريدها في الهواء. والتركيب الداخلي شبه صفائحي في اتجاه واحد وأساسه الوجه ألفا مع كميات صغيرة من الوجه بيتا المتحول ٣٤٩
(٤,٣٦) البنيان الميكروسكوبي لسبيكة (Ti-6Al-4V) بعد طرقها عند درجة الحرارة (٨٩٩°م) لتخفيض ٧٥٪ من سمكها ثم تزمينها لمدة ساعتين عند درجة الحرارة (٧٣٢°م) ثم تلا ذلك التبريد في الهواء. والتركيب في هذه الحالة عبارة عن خليط من حبيبات الوجه ألفا بالإضافة إلى الوجه بيتا الدقيق الممتد ٣٥٠
(٤,٣٧) تأثير المعالجة المحلولية الحرارية على الخواص الميكانيكية لسبيكة (Ti-6Al-4V) بعد الطرق. ولقد تم تطبيع المادة لمدة ثماني ساعات عند درجة الحرارة (٢٩٣°م) بعد المعالجة المحلولية الحرارية ٣٥١
(٤,٣٨) نمو كسر الكلال الواقع على حدود حبيبات سبيكة (Ti-6Al-4V) الملدنة عند درجة حرارة أعلى من خط تحول الوجه بيتا ثم بردت فجائيًا ليجرى عليها عندئذ اختبار الكلال ٣٥٢
(٤,٣٩) تأثير التأخير في الزمن قبل التبريد المفاجىء بعد المعالجة المحلولية الحرارية على خواص الشد لسبيكة (Ti-6Al-4V) وفي هذه الحالة فقد تمت معالجة السبيكة حراريًا عند درجة الحرارة (٩٥٤°م) وبردت فجائيًا في الماء ثم تم تزمينها. ويلاحظ التخفيض في مقاومة الشد إذا تم تأخير التبريد المفاجىء لمدة أقل من عشر ثوان ٣٥٣
(٤,٤٠) تأثير درجة حرارة الاختبار على خواص الشد لعدد من سبائك التيتانيوم (ألفا + بيتا) ٣٥٧
(٤,٤١) البنية الميكروسكوبية لسبيكة (Ti-13V-11Cr-3Al) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (٧٨٨°م) لمدة (٣٠) دقيقة ثم

تبريد السبيكة تبريدًا فجائيًّا في الماء. ويتضح من التركيب تكون الوجه بيتا شبه المستقر ٣٦١
(٤,٤٢) البناء الميكروسكوبي لسبيكة (Ti-13V-11Cr-3Al) بعد المعالجة المحلولية الحرارية عند درجة الحرارة (٦٠٠°م) ثم التبريد المفاجىء في الماء ثم تزمينها عند درجة الحرارة (٤٠٠°م) لمدة (٣٦٠) ساعة. ويتضح من الشكل ترسب الوجه ألفا في كنان الوجه بيتا ٣٦١
(٥,١) رسم تخطيطي لإنتاج المغنسيوم من ماء البحر ٣٧٦
(٥,٢) رسم تخطيطي لعملية إنتاج المغنسيوم من كربونات المغنسيوم (طريقة إلكترون Elektron) ٣٧٧
(٥,٣) الجزء الغني بالمغنسيوم في منحنى الاتزان الحراري للمغنسيوم ـ ألومنيوم ٣٨٧
(٥,٤) منحنى الاتزان الحراري للمغنسيوم ـ زنك ٣٨٨
(٥,٥) الجزء الغني بالمغنسيوم في منحنى الاتزان الحراري للمغنسيوم ـ ليثيوم ٣٨٩
(٥,٦) منحنى الاتـزان الحـراري للمغنسيوم ـ يتريوم ٣٩٠
(٥,٧) منحنى الاتزان الحراري للمغنسيوم ـ نيوديميوم ٣٩١
(٥,٨) منحنى الاتزان الحراري للمغنسيوم ـ سريوم ٣٩٢
(٥,٩) منحنى الاتزان الحراري للمغنسيوم ـ براسوديميوم ٣٩٢
(٥,١٠) الجزء الغني بالمغنسيوم في منحنى الاتزان الحراري للمغنسيوم ـ زركونيوم ٣٩٣
(٥,١١) منحنى الاتـزان الحراري للمغنسيوم ـ ثوريوم ٣٩٤
(٥,١٢) التركيب الميكروسكوبي لسبيكة (AZ80) المبردة فجائيًّا بعد صبها يلاحـظ تكـون الوجـه بيتا المترسـب على حدود الحبيبات وتركيبـه ($Mg_{17}Al_{12}$) ٤٠٢
(٥,١٣) التركيب الميكروسكوبي لسبيكة (AZ80) المبردة ببطء بعد الصب. يلاحـظ عدم استمـرار الترسـيب أو انتظامه، كما يلاحـظ البنـاء

النخروبي للوجه المترسب ٤٠٣
(٥,١٤) تأثير درجات الحرارة على إجهاد الاستدلال لسبائك المغنسيوم المصبوبة في الرمل ٤٠٧
(٥,١٥) العلاقة بين زمن التبريد والإجهاد لبعض سبائك المغنسيوم المصبوبة في الرمل عند (٥,٠٪) انفعال لدن ٤٠٨
(٥,١٦) قطاع ميكروسكوبي في سبيكة (EZ33A) المصبوبة في الرمل، ويتكون البناء الميكروسكوبي في هذه الحالة من شبكة متواصلة من مركبات المغنسيوم والعناصر الأرضية النادرة (الداكنة اللون) في محلول جامد غني بالمغنسيوم (الفاتح اللون) ٤١٠
(٥,١٧) التركيب الميكروسكوبي لسبيكة مغنسيوم ـ عناصر أرضية نادرة ـ زنك ـ زركونيوم كما هي في حالة الصب ثم التزمين لمدة ثماني ساعات عند درجة الحرارة (٣٥٠°م) ٤١١
(٥,١٨) تأثير التميؤ على التركيب البنائي لسبيكة (ZE63):
(ا) في حالة الصب ٤١٣
(ب) بعد المعالجة المحلولية الحرارية في جو من الهيدروجين عند درجة الحرارة (٤٨٠°م) وكذلك التطبيع (T6) ٤١٣
(٥,١٩) مقطع ميكروسكوبي في إحدى سبائك المغنسيوم ـ عناصر أرضية نادرة ـ زركونيوم بعد فحصها بالميكروسكوب الإلكتروني النفاذ، ويتضح من الشكل تكون كميات كبيرة من هيدريدات العناصر الأرضية النادرة على حدود الحبيبات وكذلك الشكل الإبري داخل الحبيبات ويحتمل أن يكون تركيبها هو هيدريدات الزركونيوم (ZrH_2) ٤١٤
(٥,٢٠) تأثير إضافة بعض العناصر الأرضية النادرة على الإجهاد اللازم لحدوث (٠,٥٪) استطالة في (١٠٠) ساعة عند درجة الحرارة (٢٥٠°م) ٤١٦
(٥,٢١) منحنيات الزحف عند درجة الحرارة (٣١٥°م) لبعض سبائك

(Mg-Th-Zr) و (Mg-Th-Zn-Zr) المصبوبة في الرمل. لاحظ تحسن خواص مقاومة الزحف نتيجة إضافة الزنك ٤١٧
(٥,٢٢) منحنى الاتزان الحراري للمغنسيوم ـ فضة ٤١٨
(٥,٢٣) علاقة الإجهاد وزمن الكسر لسبائك (QH21A) و (QE22A المحتوية على عنصر الفضة عند درجة الحرارة (٢٥٠°م) ٤٢٠
(٥,٢٤) تأثير الإجهاد على الزمن اللازم لحدوث انفعال مقداره (٠,٢٪) عند درجة الحرارة (٢٥٠°م) لأربع من سبائك المغنسيوم. تركيبها مبين فيمايلي:

1.Mg-2.5Ag-2 RE-0.6Zr-4y
2. Mg-2.5 Ag-2 Re-0.6 Zr-2y
3. QH21 (Mg-2.5 Ag-1 RE-1 TH-0.6 Zr)
4. QE22 (Mg-2.5 Ag-1 RE-1 Th-0.6 Zr)

..... ٤٢١
(٥,٢٥) التركيب الميكروسكوبي لسبيكة (AZ31) بعد التلدين ٤٢٧
(٥,٢٦) التركيب البنائي الميكروسكوبي لسبيكة (AZ63A-T6) وتركيبها الكيميائي (Mg-6Al-3Zn-0.2Mn) بعد المعالجة المحلولية الحرارية والتلدين ٤٢٨
(٥,٢٧) البناء الميكروسكوبي لسبيكتي (AZ92A-F) و (AZ92A-T4) الأولى بعد الصب مباشرة والثانية بعد المعالجة المحلولية الحرارية ... ٤٢٩
(٥,٢٨) مقطع ميكروسكوبي في سبيكة (ZK61) من قضيب مبثوق، ويظهر في البناء الميكروسكوبي انتظام الحبيبات وصغرها المتناهي ٤٣٠