قال تعالى:

﴿... وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ...﴾ (النحل، الآية ٢٥)

صَدَقَ اللهُ العَظِيمْ

الحديد والفولاذ

المعالجات الحرارية والسطحية

تأليف

الدكتور محمد عز الدهشان

أستاذ بقسم الهندسة الكيميائية

كلية الهندسة، جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

مكتبة جامعة الملك سعود
الرقم العام: ٦٤٤٧١٠
مكتبة: م
رقم الفهرسة: ١٥٧٧١٧

ح جامعة الملك سعود، ١٤٢٠هـ (١٩٩٩م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

الدهشان، محمد عز

الحديد والفولاذ: المعالجات الحرارية والسطحية.-الرياض

٤١٩ص، ١٧×٢٤سم

ردمك: ٥-٩٣٧-٠٥-٩٩٦٠

١ - الحديد ٢- الكيمياء غير العضوية ٣ - الفلزات

أ - العنوان

ديوي ٥٤٦,٦٢١ ١٩/٤٤٦٨

رقم الإيداع: ١٩/٤٤٦٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الخامس عشر للعام الدراسي ١٤١٥/١٤١٦هـ المعقود بتاريخ ١٤١٥/٩/٢٠هـ، الموافق ١٩٩٥/٢/٢٩م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٢٠هـ

المقدمة

تعد السبائك الهندسية المختلفة، خصوصا السبائك الحديدية المعروفة باسم الفولاذ، من أهم ثمار الثورة الصناعية في منتصف القرن الثامن عشر الميلادي، ولقد مثلت هذه السبائك الحجر الأساسي في التقدم التقني والنهضة المادية والتطور العمراني والإنشائي الحديث، أما سر أهميتها فهو خواصها المتفوقة على فلزاتها الأساسية منفردة. ومن المعلوم أن تحسين خواص المادة - ميكانيكية كانت أو كيميائية - لا تنفرد به صناعة السبائك فقط، ولكن يمكن - أيضا - تحقيق ذلك التفوق من خلال المعالجات الحرارية والسطحية، حيث إن تسخين المشغولات إلى درجات حرارة محدودة، وتبريدها بمعدلات معينة سواء كان ذلك أثناء تشكيلها أو بعد التشكيل، يمكن من الوصول إلى صفات أفضل. وعلى الرغم من إن المعالجات الحرارية كانت من الفنون القديمة التي رصدها الإنسان من التجربة والخطأ، إلا أنها تحولت حديثا إلى علم من العلوم فيزيائية الفلزات له أساسه العلمي وتفسيراته المقبولة. وتنقسم المعالجة الحرارية إلى أربع مجموعات أساسية: تلدين، ومراجعة، وتصليد، وتطبيع. وهي جميعا تهدف إلى تغيير التركيب الفيزيائي للقطع المعالجة، ومن ثم الوصول إلى خواص محددة تناسب استعمالات القطعة وظروف تشكيلها، فعلى سبيل المثال، أثناء تشكيل القطع يلزم تطريتها لتقليل مقاومة المشغولات للشد ولتخفيض القوة الخارجية اللازمة للتشكيل، كما يلزم إجراء عملية التلدين بعد تسوية السطح لإزالة الإجهادات الداخلية فيه. وتتطلب بعض أنواع الفولاذ - كما في فولاذ العدد - تصليد القطع للوصول إلى أعلى

قدر من الصلادة لتخفيض إمكانية حدوث التآكل الميكانيكي بها. وتهدف المراجعة، والتطبيع إلى رفع مقاومة المادة ومتانتها، وعلى الأخص رفع مقدار النسبة بين حد المرونة وحد الانهيار. ويمكن تحقيق هذه الخواص بدرجات مختلفة من الجودة على حسب درجة المعالجة. وتقوم المعالجة السطحية على أساس تكوين طبقات سطحية مختلفة، إما في تركيبها الكيميائي أو في تركيبها البنائي عن كامل الجسم، والهدف من ذلك - رفع مقاومة التآكل -، وزيادة الصلادة السطحية لتحسين مقاومة الحت والكحت والبري، أو تحسين المظهر الخارجي، وإضافة مسحة جمالية عليه. وتشمل المعالجة السطحية التصليد السطحي بالكربنة أو النتردة أو الكربنة المنتردة، أو وضع الطليات الفلزية وغير الفلزية في صورة عضوية أو أكاسيد وغيرها على السطح الخارجي للقطع.

لقد قطعت معظم الدول العربية شوطا متقدما في الصناعة الفلزية، وعلى وجه خاص استخلاص الحديد والفولاذ، وذلك بهدف تأمين مصدر ثابت لمواد الإنشاء وبالذات لمواد البناء. ولكن رغم بدء هذه الصناعات منذ زمن بعيد في الدول العربية، حيث بدأت صناعة الحديد في مصر في عام (١٩٤٨م)، إلا أن جميع منتجات الفولاذ من هذه الدول قد اقتصر استخدامها على الإنشاءات الاعتيادية فقط، ولم يتم تطويرها باستنباط سبائك جديدة أو تحسين الخواص الميكانيكية، أو الكيميائية لاستخدامها في تطبيقات متميزة. كما لم يصاحب انتشار الصناعات الحديدية في معظم البلدان العربية، للأسف الشديد، تأليف علمي بالعربية أو حتى ترجمة عدد من الكتب والمراجع العلمية المتخصصة في هذا المجال الحيوي المهم لكي يستفيد منها الدعامة البشرية الأساسية من المهندسين والمشرفين والفنيين والملاحظين الذين يمثلون عصب الإنتاج والعمود الفقري لهيكل الصناعة. ويعتبر هؤلاء جميعا - في واقع الأمر- هم المنفذون للخطط الإنتاجية، وأعمال التركيبات، والتشغيل، والصيانة وغيرها. ومن غير المتوقع أن يحدث تقدم وتطوير في إنتاج السبائك، أو التعرف على أساليب

المعالجات الحرارية والسطحية إن لم يكن القائمون بذلك على درجة عالية من فهم أساسيات هذه التقنيات ومبادئها. ولأن معظم المراجع العلمية مكتوب بلغات أجنبية، ولما كان مستوى اللغة الأجنبية لعدد منهم لا يسمح لهم بالاستيعاب المتفهم لأساسيات هذه العلوم، كانت هناك حاجة ماسة لتزويد ذلك القطاع من العاملين في الصناعة والإنتاج بالمعارف والخبرات اللازمة في مجالات تخصصاتهم، وكذلك بالمراجع والكتب والمنشورات التقنية باللغة العربية.

لقد كان لسكان منطقة الشرق الأدنى دور كبير في مضمار معالجة الحديد والفولاذ؛ إذ عرف الحدادون المصريون القدامى التصليد بطمس المشغولات بعد تشكيلها في الماء لتصليدها السطحي أو العميق، حسب سمك القطعة. كما أنهم عرفوا الطليات المختلفة لتغليف أسطح المواد الحديدية وغير الحديدية حماية لها من مؤثرات البيئة المحيطة. كما أن الأشوريين قد سبقوا دول العالم المتقدم في تصليد الفولاذ وتطبيعه؛ فهم أول من صنع السيوف الفولاذية الدمشقية ذائعة الصيت. وكانت تلك المعالجات من الأسرار التي تعمل كل أسرة على الاحتفاظ بها لنفسها لا تذاع ولا تصل للآخرين، بل ينقلها الآباء إلى الأبناء. وما زال الكثيرون يتكلمون عن السيوف الدمشقية المشهورة حتى يومنا هذا. وأبلغ تعبير عن المعالجات الحرارية ما جاء في القرآن الكريم، حيث ذكرت هذه التقنية في كلمات قليلة، لكنها بليغة في التعبير عن هذه المعالجة الصناعية، ففي سورة الكهف الآية (٩٦)، قال تعالى: **﴿آتُونِي زُبَرَ الْحَدِيدِ حَتَّى إِذَا سَاوَى بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ انفُخُوا حَتَّى إِذَا جَعَلَهُ نَارًا قَالَ آتُونِي أُفْرِغْ عَلَيْهِ قِطْرًا﴾**. ولقد فسر الزمخشري في "الكشاف عن حقائق التنزيل" (الجزء الثاني) هذه الآية بقوله: "قيل حفر الأساس حتى بلغ الماء وجعل الأساس من الصخر والنحاس المذاب والبنيان من زبر الحديد (يعني من قطع الحديد) بينهما الحطب والفحم حتى سد ما بين الجبلين إلى أعلاهما، ثم وضع المنافيخ حتى إذا صارت كالنار صب النحاس المذاب على الحديد المحمي، فاختلط والتصق بعضه ببعض وصار جبلا صلدا". وهكذا نجد أن تاريخنا وديننا يضربان لنا المثل في مجال المعالجات الحرارية. ولابد أن تأخذ اللغة العربية

مكانا بارزا مهما في هذا المجال لإحياء تاريخنا الطويل في ذلك، ولتسهيل توصيل المعلومات للعاملين في المجالات الهندسية.

لقد كانت اللغة العربية - في فترة من الفترات - لغة لأصول العلم وتفرعاته. ولقد مكّن لها أهلوها مركزا قياديا بدأبهم وكدهم في متابعة واستيعاب كل ما أمكنهم الحصول عليه من مجهودات علمية دونت بلغات شعوب كانت لها مكانتها العلمية في عصور سابقة، ولقد صاحب نشر هذه العلوم والفنون باللغة العربية إضافة جادة من العلماء والصناع العرب والمسلمين؛ فكانت النهضة العلمية في الدول الإسلامية، ولقد كانت النهضة الإسلامية بحق من المراحل المزدهرة في تاريخ الإنسانية حتى أصبح للعرب القول الفصل في فرض لغتهم على العلم نفسه. ولقد آن الأوان بعد فترة طويلة من الركود والتخلف، أن نعنى بعلوم المعاصرين من الشعوب التي تحمل لواء التقدم، وأن نتابع الاستحداثات العلمية السريعة التطور والتجدد، وأن نطوع لغتنا حتى تشمل وتستوعب كل جديد مما يمهد أمامنا طريق التقدم ويفسح لنا مجالا، وإن لم يكن ذلك للسبق القريب فليكن للسعي الحثيث للحاق والمحاذاة. وهذا الكتاب بأجزائه الخمسة محاولة طالب علم، وجهد متواضع منه لشغل جزء يسير من الفراغ في المكتبة الهندسية العربية، ووضع لبنة في بناء صرح علمي متكامل لتعريب التعليم الهندسي عامة، وهندسة الفلزات بصفة خاصة، إن شاء الله.

وكتاب الحديد والفولاذ - المعالجات الحرارية والسطحية - هو الجزء الثالث من سلسلة كتب وضعت لتغطي كافة أوجه علم الحديد والفولاذ، مع تقديم آخر ما وصل إليه العلم الحديث في مجال فيزيائية الفولاذ. ويقع الكتاب في خمسة أجزاء، صدر منها- بعون الله وتوفيقه - الجزآن الأول والثاني، ويقع الجزء الأول في سبعة أبواب تتناول: استخلاص الحديد، وتصنيع الفولاذ يضاف إلى ذلك دراسة التلوث البيئي الناتج عن الصناعات الحديدية، وكيفية التحكم في التلوث. أما الجزء الثاني من هذه السلسلة، فيشمل خمسة أبواب تهتم بالاتزان الحراري، وتطبيق هذه المعلومات على منحنيات الاتزان الحراري للسبائك الثنائية مع الحديد، والفولاذ الكربوني وكذا الفولاذ

منخفض السبائكية، وتأثير العناصر السبائكية في الخواص الميكانيكية والكيميائية وكذلك على التركيب البنائي للفولاذ، وكيفية ربط التركيب البنائي للفولاذ وخواصه. أما الجزء الثالث الذي بين أيدينا، يهتم بالمعالجات الحرارية والسطحية، فهو يشتمل على فصلين ويهدف إلى تحقيق ما يأتي:

١ - التعرف على الأساليب المختلفة للمعالجة الحرارية وكيفية تغيير التركيب البنائي مع المعالجات الواقعة على الفولاذ وارتباط ذلك بالخواص الناتجة.

٢ - ربط أنواع المعالجات الحرارية المتنوعة بظروف استخدام المواد المعالجة، مع الاهتمام بالنواحي الاقتصادية لهذه العملية، والتجهيزات الأساسية اللازمة.

٣ - ربط التركيب البنائي الناتج بنوع المعالجة المستعملة، وعلاقة هذا التركيب للسبائك بالخواص الهندسية الأساسية من: الإجهاد الأقصى للشد وإجهاد الخضوع، والاستطالة، والمتانة، ومقاومة التآكل.

٤ - المعالجة السطحية بأساليبها المختلفة، ويشرح الناحية الاقتصادية في كل عملية، وبيان أفضل تطبيقاتها.

٥ - المشكلات الناتجة عن المعالجات الحرارية والسطحية وأسبابها وكيفية التغلب عليها.

٦ - معدات المعالجات المختلفة وأجهزتها ومشكلات السلامة في هذه العمليات.

أما منهجي في جميع أجزاء هذه السلسلة - ما صدر منها وما سيصدر إن شاء الله - فهو اتباع أسلوب البحث، والشرح، والتفصيل وتقديم المعنى الفيزيائي لكل تعبير، والاعتماد على الكثير من الأشكال التوضيحية والرسوم البيانية، والصور الضوئية محاولة لتقريب المعنى للقارىء.

وكتب هذا الكتاب، بوجه خاص، لطلاب الصفوف الدراسية قبل الأخيرة والأخيرة في أقسام: الفلزات وهندسة المواد والهندسة الميكانيكية، والهندسة الصناعية وطلاب الكليات التقنية، وهؤلاء الذين سوف يدخلون مجالات الصناعة المختلفة

لاستحضار معلوماتهم، كما أنه يعد أيضا مرجعا مفيدا للمهندس المتمرن الذي سيصبح بعد ذلك متخصصا في العمليات التقنية في مجال المواد.

أدعو الله سبحانه وتعالى - بذلك الجهد المتواضع، وجهد المخلصين من أبناء الأمة العربية - أن تتبوأ اللغة العربية مكانتها العالمية بين اللغات الأخرى في التأليف والترجمة، حتى نشارك في تقدم الإنسانية ونهضتها كما شارك آباؤنا من قبل.

والله من وراء القصد.

المؤلـــف

المحتويات

الصفحة

الفصل الأول: المعالجة الحرارية

١,١ مقدمة ١

١,٢ تعريفات ٦

١,٣ تلدين ١٤

١,٣,١ تلدين كامل (شامل) ١٦

١,٣,٢ تلدين التشكيل ٢١

١,٣,٣ تلدين إزالة الإجهادات ٢٥

١,٣,٤ تلدين تكوير (استكوار) ٢٧

١,٤ مراجعة ٣١

١,٥ مخططات المعالجة الحرارية ٣٥

١,٦ تصليد بالتسقية ٥٥

١,٦,١ تأثير الكربون ٥٦

١,٦,٢ تأثير درجات حرارة التصليد ٦٠

١,٦,٣ معدل التسقية ٦٣

١,٧ أساليب التسقية وأوساطها ٦٧

١,٧,١ مراحل التسقية ٦٨

١,٧,٢ أوساط التسقية ٧٣
١,٧,٣ العوامل المؤثرة في معدلات التسقية..... ٨٢
١,٧,٤ آلية التسقية ٩٠
١,٧,٥ أواني التسقية ٩٢
١,٧,٦ الحركة بين المشغولات والسائل..... ٩٥
١,٧,٧ التركيب البنائي الناتج من التسقية..... ٩٦
١,٧,٨ التنظيف ١٠٠
١,٧,٩ الاستعدال..... ١٠١
١,٨ قابلية التصليد (الإصلادية)..... ١٠٢
١,٨,١ الإصلادية والعوامل المتحكمة فيها..... ١٠٢
١,٨,٢ اختبار قابلية التصليد بطريقة تسقية (تصليد) الطرف..... ١٠٧
١,٩ معالجة التطبيع ١١٠
١,٩,١ سوائل التطبيع..... ١١٢
١,٩,٢ ألوان التسخين والتطبيع (أو التلدين) ١١٣
١,٩,٣ مراحل التطبيع ١١٥
١,٩,٤ العوامل المؤثرة في التطبيع ١١٦
١,١٠ معالجة عند درجات حرارة تحت الصفر..... ١٢٠
١,١١ التطبيع المارتنزيتي..... ١٢٠
١,١٢ التطبيع الأوستونيتي (التطبيع الفائق)..... ١٢٢
١,١٣ التسقية الآيزوثرمية..... ١٢٣
١,١٤ التزمين المارتنزيتي ١٢٣
١,١٥ بعض مشكلات المعالجات الحرارية..... ١٢٤
١,١٥,١ تشققات التسقية وتشوهاتها ١٣٠

١,١٥,٢ تأثير التصميم في التشوهات والعيوب ١٣١
١,١٥,٣ نوع الفولاذ وعلاقته بمشكلات التسقية..... ١٣٢
١,١٥,٤ أساليب (تقنية) المعالجة الحرارية ١٣٣
١,١٦ الوجهة العملية للمعاملات الحرارية ١٤٠
١,١٦,١ أجهزة المعالجة..... ١٤٠
١,١٦,٢ جو الفرن ١٤٧
١,١٦,٣ الأحواض السائلة ١٥٠
١,١٦,٤ الأساليب العامة للتحكم في المعالجة الحرارية ١٥١
١,١٧ المراجع ١٥٥

الفصل الثاني: المعالجة السطحية

٢,١ مقدمة ١٦١
٢,٢ تصليد غلافي للفولاذ ١٦٢
٢,٣ عمليات الكربنة..... ١٦٣
٢,٤ الكربنة الجامدة (كربنة الرصات) ١٧٠
٢,٥ الكربنة السائلة ١٨٢
٢,٦ حمامات المواد المصهورة..... ١٩٣
٢,٦,١ اعتبارات عامة..... ١٩٣
٢,٦,٢ البواتق والأحواض..... ١٩٤
٢,٦,٣ رقابة حمامات الأملاح وصيانتها ١٩٥
٢,٧ الكربنة الغازية ١٩٦
٢,٨ الكربنة الموضعية ٢٠٢
٢,٩ السمات الأساسية للتصليد الغلافي ٢٠٣

٢,١٠ المعاملة الحرارية للفولاذ المكربن ٢١٠
٢,١٠,١ المعاملة الحرارية للقلب ٢١٢
٢,١٠,٢ المعاملة الحرارية للغلاف ٢١٣
٢,١١ فولاذ التصليد الغلافي بالكربنة ٢١٤
٢,١١,١ الفولاذ الكربوني للتصليد الغلافي ٢١٧
٢,١١,٢ الفولاذ السبائكي للتصليد الغلافي ٢١٨
٢,١٢ النتردة ٢٢١
٢,١٣ النتردة في حمام ملحي ٢٣٣
٢,١٤ الكربنة النتريدية ٢٣٥
٢,١٥ النتردة المكربنة بالغازات ٢٤٠
٢,١٦ تصليد اللهب ٢٤١
٢,١٧ تصليد الحث ٢٥٢
٢,١٨ مشكلات التصليد السطحي وكيفية تجنبها ٢٥٨
٢,١٩ أساليب أخرى للطلية الخارجية ٢٦٢
٢,٢٠ تنظيف السطح وإعداده للتغليف ٢٦٣
٢,٢٠,١ إزالة الشحوم ٢٦٣
٢,٢٠,٢ إزالة القشور ٢٦٧
٢,٢٠,٣ إزالة الرايش ٢٦٩
٢,٢١ الطلاء بالفلزات ٢٧١
٢,٢١,١ التصفيح الكهربائي ٢٧٢
٢,٢١,٢ التغطيس على الساخن في الفلز المنصهر ٢٧٤
٢,٢١,٣ الفلزنة (تشريب فلزي) ٢٧٦
٢,٢١,٤ التغطية بترسيب بخار الفلز ٢٧٩

٢,٢٢ السمنتة أو الطلاء بالتغلغل في سبائك الفولاذ ٢٨٠
٢,٢٢,١ الكرومة (تغلغل الكروم) ٢٨١
٢,٢٢,٢ السلكنة (تغلغل السليكون) ٢٨٣
٢,٢٢,٣ الألمنة (تغلغل الألومنيوم) ٢٨٤
٢,٢٣ التغليف بالأكاسيد ٢٨٥
٢,٢٤ التغليف بالتحولات الكيميائية ٢٨٧
٢,٢٥ التغطية العضوية ٢٨٨
٢,٢٥,١ الدهانات ٢٨٩
٢,٢٥,٢ المينا (الطلاء بالمينا) ٢٩٠
٢,٢٥,٣ اللك (اللاكية) ٢٩١
٢,٢٥,٤ كيفية إنجاز الدهانات العضوية ٢٩٢
٢,٢٦ التصفيح ٢٩٥
٢,٢٧ الطليات المزججة ٢٩٨
٢,٢٧,١ المينا الصينية ٢٩٨
٢,٢٧,٢ التغطية السيراميكية ٢٩٩
٢,٢٨ المراجع ٣٠٠
ملحق (١) تأثيرات المعالجة الحرارية في خواص بعض سبائك الفولاذ ٣٠٣
ملحق (٢) رسوم توضيحية لبعض عمليات المعالجة السطحية ٣١٩
ثبت المصطلحات ٣٢٣
١ - المصطلحات العلمية (عربي - إنجليزي) ٣٢٣
٢ - المصطلحات العلمية (إنجليزي - عربي) ٣٦٧
كشاف الموضوعات ٤٠٥

محتويات الأشكال

الصفحة

١,١ المعالجة الحرارية

(أ) دورة وحيدة للمعالجة الحرارية..... ٢

(ب) المعالجة الحرارية في دورتين..... ٢

١,٢ البنية البلورية للسمنتيت..... ١٢

١,٣ جزء من منحنى الاتزان الحراري للحديد-كربون، موضحا به درجات الحرارة الحرجة ومناطق المعالجة الحرارية المختلفة: المراجعة، والتلدين، والتكوير..... ١٤

١,٤ تمثيل بياني للتغيرات التي تحدث في التركيب الميكروسكوبي الدقيق أثناء تلدين سبيكة فولاذ كربوني محتوية على ٠,٢٪ كربون. (أ) التركيب البنائي الأصلي المكون من الفريت والبرليت. (ب) التركيب البنائي بعد التلدين عند درجة حرارة أعلى من خط (A_1)، لاحظ تحول البرليت إلى حبيبات دقيقة من الأوستونيت، بينما تظل حبيبات الفريت غير متغيرة. (جـ) التركيب البنائي بعد التلدين عند درجة حرارة أعلى من (A_3)، وهي مكونة من حبيبات الأوستونيت الدقيقة فقط. (د) التركيب البنائي بعد التبريد إلى درجة حرارة الغرفة وهي مكونة من حبيبات فريت دقيقة ومناطق صغيرة من البرليت..... ١٩

١,٥ البنية الميكروسكوبية الناتجة عن: (أ) تلدين مفرط، (ب) تلدين قاصر.. ٢١

١,٦ (أ) التركيب البنائي لشبكة السمنتيت المحيطة بحبيبات البرليت في الفولاذ فوق الأيوتكتيودي (×١٠٠) ٢٢
(ب) العينة الموضحة في الشكل (١,٦أ) عند قوة تركيب أعلى (×٥٠٠)..... ٢٣
١,٧ تغيرات في بنية الفولاذ الكربوني المشكل على البارد الناتجة عن التلدين.. ٢٣
١,٨ تغيرات البنية الميكروسكوبية الناتجة من تلدين الفولاذ الكربوني لأجزاء عمليات التشكيل التالية :
(أ) التركيب البنائي بعد التشكيل على البارد ٢٤
(ب) تلدين في مدى درجات الحرارة من ٥٥٠°م إلى ٦٥٠°م..... ٢٤
(جـ) التلدين في مدى درجات الحرارة إلى ٥٥٠°م لفترات زمنية طويلة.. ٢٥
١,٩ تأثير تلدين إزالة الإجهادات عند درجات حرارة في حالة قضيب تم إجراء السحب العميق عليه على البارد..... ٢٧
١,١٠ التركيب البنائي لسبيكة (SAE 3250) بعد معالجة التلدين الكوراني ، ولقد تم نمشها بمحلول نيتال بتركيز ٣٪..... ٢٩
١,١١ رسم تخطيطي يوضح سهولة تشغيل فولاذ التلدين الكوراني مقارنة بالفولاذ ذي التركيب البنائي الصفائحي..... ٢٩
١,١٢ التركيب البنائي للفولاذ المطروق على الساخن ، ويتضح فيه البناء الحزمي وخليط من الحبيبات..... ٣٣
١,١٣ الفولاذ الموضح في الشكل رقم (١,١٢) بعد تصحيح التركيب البنائي عن طريق معاملة المراجعة..... ٣٤
١,١٤ التركيب البلوري للمارتنزيت مقارنة بالتركيب البلوري للأوستونيت.. ٣٥
١,١٥ (أ) الخطوة الأولى في تأسيس منحنيات التحول الأويزوثرمي ، ويتم ذلك بتسقية سلسلة من العينات في حمام منصهر عند درجات حرارة مرتفعة. وتوضح المنحنيات بداية زمن التحول ونهايته عند درجة حرارة محددة..... ٣٩

(ب) الخطوة الثانية في التعرف على نواتج التحول الناتجة من تسقية العينة إلى درجات الحرارة المبينة والاحتفاظ بها حتى اكتمال التحولات وجميع العينات عند قوة تكبير × ٢٥٠٠ ..... ٣٩
(جـ) مخطط تحول أيزوثرمي مع منحنيات التبريد للفولاذ الكربوني الأيوتكتيودي..... ..... ٤٠
١,١٦ العلاقة بين التبريد المستمر والتحولات الأيزوثرمية مع اختبار الصلادة الطرفية للفولاذ الكربوني الأيوتكتيودي..... ٤٢
١,١٧ منحنى التحول الأيزوثرمي (T.T.T.) لأحد أنواع الفولاذ..... ٤٣
١,١٨ مراحل تكون البرليت والباينيت، حيث ينمو البرليت من بلورات الكربيدات، بينما ينمو الباينيت من بلورات الفريت، مع لفظ الكربيدات في صورة ألواح صغيرة غير مستمرة..... ٤٥
١,١٩ مقارنة بين التركيب البنائي للباينيت العلوي والباينيت السفلي للفولاذ الكربونى الأيوتكتيودي:
(أ) الباينيت العلوي المتحول من درجة الحرارة ٤٤٥°م.....
(ب) الباينيت السفلي المتحول عند درجة الحرارة ٣١٥°م..... ٤٩
٤٩
١,٢٠ مخطط التبريد الأيزوثرمي لسبيكة فولاذ كربوني عالي الكربون (AISI 1095) تمت أستنته عند درجة الحرارة ٨٨٥°م..... ٥٢
١,٢١ مخطط التبريد الأيزوثرمي للفولاذ النيكلي (AISI 2340) تمت أستنته عند درجة الحرارة ٧٨٥°م، علما بأن حجم الحبيبات بين ٧ و٨..... ٥٣
١,٢٢ مخطط التبريد الأيزوثرمي لفولاذ النيكل - كروم - موليبدنوم سبيكة (AISI 4340) وتمت أستنته عند درجة الحرارة ٨٤٥°م. علما بأن حجم الحبيبات بين ٧ و٨..... ..... ٥٤

١,٢٣ مخططات التبريد الأيزوثرمي لفولاذ العدد المصلد في الهواء بعد الأستنة عند درجة الحرارة ١٠١٠°م..... ٥٥

١,٢٤ تأثير نسبة الكربون في رفع صلادة الفولاذ الكربوني في حالتيه المارتنزيتية والبرليتية..... ٥٧

١,٢٥ تأثير نسبة الكربون في درجات حرارة بداية التحول المارتنزيتي ونهايته في سبائك الحديد - كربون..... ٥٩

١,٢٦ معدلات التبريد الحرجة لسبائك الفولاذ الكربوني وتأثير محتواه من الكربون، والمنجنيز، وحجم حبيباته في المعدلات الحرجة..... ٦٤

١,٢٧ تأثير حجم حبيبات الأوستونيت في عمق الصلادة الناتجة عن تسقية قضيب من الفولاذ الكربوني بقطر ٢,٥ سم، ويحتوي الفولاذ الكربوني على ١٪ كربون. والعينة رقم (١) من فولاذ غليظ الحبيبات، ولقد صلد تماما، بينما العينة رقم (٨) رقيقة الحبيبات والتصليد فيها سطحي..... ٦٧

١,٢٨ مراحل التبريد الثلاث أثناء تسقية أنبوب أسطواني من الفولاذ في الماء:

(أ) مرحلة دثار البخار عند بداية التسقية من درجة الحرارة ٨٤٥°م، يلاحظ تحرك موجات ناحية قمة العينة..... ٧٠

(ب) مرحلة انتقال البخار، كما يعض الفولاذ، فإن الحركة عنيفة بما فيه الكفاية، حيث تكسر طبقة الأكسيد، تأتي هذه المرحلة غالبا بعد ثانيتين من بداية التسقية..... ٧٠

(جـ) مرحلة تبريد السائل، وأصبح البخار غير موجود، ويتم التبريد بالتوصيل والحمل، ومعدل التبريد فيها أقل بكثير من المرحلتين السابقتين..... ٧٠

١,٢٩ التسقية في المحلول الملحي :
(أ) بداية التسقية في محلول ملحي يحتوي على ٢٠٪ من كلوريد الصوديوم، ويلاحظ فيها تكون سحابة من البلورات الملحية تنفجر مبتعدة عن سطح الفلز الساخن، وهكذا تؤدي إلى معدل تبريد سريع جدا ٧٢
(ب) نصف ثانية بعد بداية التسقية في الزيت، وتلاحظ فقاعات البخر في صورة دثار ثابت جدا يعزل المادة عن الظروف المحيطة بها عند إتمام عملية التسقية ٧٢
١,٣٠ العلاقة بين الفترة الزمنية لفلم البخار عند تبريد السطح أثناء التسقية في سوائل مختلفة وتأثير درجة حرارة السوائل ٧٨
١,٣١ تأثير التقليب في منحنيات تبريد القلب للفولاذ المقاوم للتآكل الذي تمت تسقيته في الزيت، علما بأن درجة حرارة الزيت ٥٢°م ٨٣
١,٣٢ منحنيات تبريد مركز عينات تمت تسقيتها في ماء الصنبور عند درجتي الحرارة ٢٤°م، و٥٢°م دون تقليب أو تدوير ٨٥
١,٣٣ تأثير الكتلة في منحنيات تبريد عينات من الفولاذ المقاوم للتآكل، وقد تمت التسقية في زيت عند درجة الحرارة ٥٢°م ٨٦
١,٣٤ منحنيات التبريد للسطح، والوسط، والقلب لقضيبين من الفولاذ مختلفي القطر ٩٠
١,٣٥ (أ) حمام تبريد بتيار ماء مباشر ٩٣
(ب) حمام تبريد بطريق غير مباشر ٩٣
(جـ) حمام زيت مبرد بالماء ويحرك بالهواء ٩٤
١,٣٦ التركيب البنائي للوجه المارتنزيتي ٩٨
١,٣٧ مقطع ميكروسكوبي في الفولاذ الكربوني المحتوي على ١٪ كربون بعد التسقية في الماء، ولقد تم نمشه في محلول نيتال بتركيز ٢٪ وتظهر فيه إبر مارتنزيتية في كنان أوستونيتي ٩٩

١,٣٨ تمثيل بياني لتأثير اختلاف التركيب الكيميائي لأحد أنواع الفولاذ في منحنيات التبريد الأيزوثرمي (ت-أ)، ولقد وضع على الرسم منحنى تبريد بداية التحول المارتنزيتي..... ١٠٤
١,٣٩ تأثير قطر قضيب من الفولاذ الكربوني في عملية التصليد بالماء..... ١٠٥
١,٤٠ قابلية التصليد لمقطع من الفولاذ الكربوني ومقطع من الفولاذ السبائكي منخفض السبائكية، ويظهر فيها القابلية العالية لتصليد الفولاذ السبائكي..... ١٠٦
١,٤١ تفاصيل اختبار جوميني بتسقية الطرف..... ١٠٨
١,٤٢ منحنيات قابلية التصليد لفولاذ كربوني وفولاذ سبائكي منخفض السبائكية..... ١٠٨
١,٤٣ تأثير درجة حرارة التطبيع في صلادة فولاذ (١-O) منجنيزي غير قابل للتشكيل الذي جرى تصليده في الزيت من درجة الحرارة ٨٠٠°م، ثم تم التطبيع لمدة ساعة..... ١١١
١,٤٤ تأثير درجة حرارة التطبيع في خواص الفولاذ الكربوني، يحتوي على ١٪ كربون تام التصليد، وقد قدرت الخواص باختبار روكويل للصلادة، ومقاومة صدمات اللي، واختبار شاربي لعينات غير مثلومة. ١١٨
١,٤٥ تأثير مدة التطبيع في الصلادة عند تطبيع فولاذ العدد المنجنيزي (٠,٨٪ كربون - ٠,٧٥٪ منجنيز) عند أربع درجات حرارة تطبيع... ١١٩
١,٤٦ الصلادة الثانوية التي تظهر في صورة (سنم) في منحنى تطبيع فولاذ سريع القطع يحتوي على الموليبدنوم والكوبلت تمت تسقيته من درجة الحرارة ١٢٣٠°ف..... ١١٩
١,٤٧ تمثيل بياني لعدة أساليب من معالجة التطبيع لمنحنيات (ت-أ) التقليدية. والمنحنيات الموضحة هي: (أ) للتسقية والتطبيع، (ب) التطبيع المارتنزيتي، (جـ) التطبيع الفائق، و(د) التسقية الأيزوثرمية.... ١٢١

١,٤٨ تأثير التصميم في المعاملات الحرارية :
(أ) تصميم خاطىء (ب) تصميم صحيح ١٣٢
١,٤٩ مقطع ميكروسكوبي في الفولاذ الذي أزيلت كربنته السطحية ١٣٦
١,٥٠ مقطع ميكروسكوبي في الفولاذ الذي ظهرت على سطحه بقع طرية ... ١٣٧
١,٥١ شكل مكعب من الفولاذ قبل المعالجة الحرارية (التسقية) وبعدها :
(أ) المكعب قبل التسقية ١٣٩
(ب) المكعب بعد التسقية وقد ظهر عليه الانبعاج ١٣٩
١,٥٢ منحنى تسخين وتسقية فولاذ محتو على ١٪ كربون (الخطوط المستمرة)، ويقارن بالتبريد البطيء (الخط المتقطع) ١٣٩
١,٥٣ بعض أفران المعالجة الحرارية ١٤٢
١,٥٤ رسم تخطيطي لأحد حمامات الأملاح المنصهرة المستخدمة في المعالجة الحرارية ١٤٦
١,٥٥ رسم تخطيطي لأحد أفران المهد المميع ١٤٩
١,٥٦ رسم توضيحي يبين الأجزاء المختلفة للبيرومتر الحراري - الكهربائي المستخدم في المعاملات الحرارية للفولاذ الكربوني ١٥٣
٢,١ الأساليب المختلفة للتصليد الغلافي للفولاذ ١٦٤
٢,٢ قطاع ميكروسكوبي في الفولاذ الكربوني العالي الكربون موضحا فيه إزالة الكربنة السطحية ١٦٧
٢,٣ الطبقات المختلفة المتكونة أثناء التصليد الغلافي بعد معالجة الكربنة ١٦٨
٢,٤ العلاقة بين سمك الطبقة المكربنة ودرجة حرارة الكربنة بعد المعالجة في فحم نباتي منشط ١٧٢
٢,٥ التركيب البنائي لقشرة البيض المكون في غلاف الكربنة ١٧٣

٢,٦ مظهر الغلاف المصلد :
(أ) في حالة المعالجة السليمة ١٧٦
(ب) في حالة المعالجة الخاطئة ١٧٦
٢,٧ طريقة قياس عمق الكربنة ١٧٨
٢,٨ علاقة زمن معالجة الكربنة ودرجة حرارتها وعمق القشرة المصلدة وكمية الكربون فيها ١٧٨
٢,٩ علاقة سمك قشرة الكربيد المتكونة على سبيكة الفولاذ الكربوني (AISI 1020) مع زمن المعالجة ١٨٨
٢,١٠ معدل كربنة الفولاذ عند درجات حرارة مختلفة باستخدام الغاز الطبيعي (عامل الكربنة غازي) ٢٠٠
٢,١١ العلاقة بين تركيز الكربون وعمق طبقة التصليد ٢٠٥
٢,١٢ مقياس الصلادة على أعماق مختلفة لأربعة أنواع من الفولاذ تم تصليدها بالحث ٢٠٦
٢,١٣ تأثير زمن الكربنة في عمق القشرة المصلدة للفولاذ (AISI 1020) المصلد عند درجة الحرارة ٨٤٣°م باستخدام الملح ٢٠٧
٢,١٤ العلاقة بين زمن الكربنة وسمك القشرة المتكونة في الفولاذ عند درجة الحرارة ٥٢٤°م ٢٠٧
٢,١٥ عمق قشرة الكربنة مع زمن الكربنة الاعتيادية للفولاذ السبائكي منخفض السبائكية ٢٠٩
٢,١٦ أسلوب المعالجة الحرارية للفولاذ المكربن ٢١١
٢,١٧ مقطع ميكروسكوبي في أحد المسننات بعد كربنتها بأسلوب صحيح ، ومن ثم تطبيعها ٢١٢
٢,١٨ (أ) العلاقة بين المسافة من السطح والصلادة الناتجة عن النتردة. ٢٢٢
(ب) قطاع ميكروسكوبي في طبقة النتردة موضحا فيها القشرة البيضاء الخارجية الرقيقة وطبقة الكربيد الداخلية ٢٢٤

٢,١٩ قطاع ميكروسكوبي في الطبقة الداخلية من النتردة..... ٢٢٥
٢,٢٠ مقارنة بين صلادة كل من طبقة النتردة وطبقة الكربنة بعد نفس الفترة من المعالجة..... ٢٣١
٢,٢١ العلاقة بين سمك الطبقة المتكونة من الكربنة النتريدية وصلادتها لنوعين من الفولاذ..... ٢٣٦
٢,٢٢ مقطع ميكروسكوبي في سبيكة (C 1213) بعد معالجتها بالكربنة النتريدية... ٢٣٨
٢,٢٣ موقع منطقة المارتنزيت المتكونة نتيجة التسخين بلهب التصليد..... ٢٤٣
٢,٢٤ أنواع لهب الأوكسي أستيلين المستخدم في التصليد باللهب..... ٢٤٤
٢,٢٥ أساليب التصليد السطحي باللهب. ٢٤٦
٢,٢٦ أساليب التسخين السطحي. ٢٤٧
٢,٢٧ ثلاث طرق من أساليب الغزل لتسخين اللهب..... ٢٤٨
٢,٢٨ رسم تخطيطي لأسلوب التصليد السطحي بالغزل والتقدم..... ٢٥٠
٢,٢٩ أساسيات التسخين بالحث عالي التردد..... ٢٥٣
٢,٣٠ تصميمات مختلفة لملفات التسخين (التصليد) بالحث..... ٢٥٤
٢,٣١ رسم تخطيطي لإزالة الشحوم بالبخار، وفيه تغمس الشغلة حيث يعمل البخار المكثف على إزالة الأوساخ المتعلقة بها، وتعمل الفقاعات المتولدة والمتفجرة عالية التردد على تنظيف السطح..... ٢٦٥
٢,٣٢ رسم تخطيطي لأجهزة التنظيف بالأسلوب فوق السمعي. وتعمل الفقاعات المتولدة والمتفجرة عالية التردد على تنظيف السطح..... ٢٦٦
٢,٣٣ طريقة البراميل الدوارة لتنظيف الأسطح..... ٢٧٠
٢,٣٤ أساسيات وحدات الترسيب الكهربائي..... ٢٧٣
٢,٣٥ رسم تخطيطي لوحدة تغطية الأسلاك بالرصاص..... ٢٧٦
٢,٣٦ الأسلوب المستمر لعملية الجلفنة الساخنة لألواح الفولاذ بالغمس في مصهور الزنك..... ٢٧٧

٢,٣٧ رسم توضيحي لأسلوب التغطية بترسيب بخار الفلز في غرف التفريغ. ٢٨٠
٢,٣٨ رسم توضيحي لترسيب بخار فلز الكروم الناتج عن تحلل كلوريد الكروم..... ٢٨٣
٢,٣٩ (أ) رسم تخطيطي لمكونات وترتيبات عمليات الدهان باستخدام الهواء المضغوط من خلال مسدسات الدهان..... ٢٩٣
(ب) أسلوب الدهان الالكتروستاتي ، حيث ينجذب الدهان لسطح الشغلة..... ٢٩٤
٢,٤٠ رسم تخطيطي لأسلوب تغطية أسطح الفلزات بالرش ، وتعمل تحت ضغط عال من الهواء..... ٢٩٧
٢,٤١ التركيب البنائي للوجه الصلد من سبيكة هاينز ستليت..... ٢٩٧
ملحق (٢) (أ) كربنة الحشو..... ٣٢٠
(ب) السيور المتحركة في أفران الكربنة المنتردة..... ٣٢٠
(جـ) رسم تخطيطي لنظام النتردة الغازية..... ٣٢١

محتويات الجداول

الصفحة

١,١ بعض من أساليب التلدين الاعتيادية..... ١٧

١,٢ درجات حرارة التحول المارتنزيتي (M_s) لسبائك الفولاذ المكربنة المستخدمة في صناعة المسننات..... ٤٦

١,٣ مقارنة بين معدلات التبريد الحرجة لكل من الفولاذ الكربوني والفولاذ النيكلي وكليهما متوسط حجم الحبيبات..... ٦٠

١,٤ شدة التسقية في أوساط التبريد المعروفة، وتأثير أسلوب التقليب، ولقد اتخذ الماء الساكن كدليل برقم (١)..... ٧٥

١,٥ معدلات التبريد لعدد من قضبان الفولاذ المقاوم للتآكل بقطر ١,٢٥ سم وارتفاع ٦,٥ سم، بردت من درجة الحرارة ٨١٥°م في أوساط تسقية مختلفة..... ٨٦

١,٦ العلاقة بين قطر القطعة المساقة في الماء وصلادة روكويل للسطح..... ٨٩

١,٧ تأثير نسبة الكربون في متوسط درجة حرارة التصليد في معدل التبريد الحرج للفولاذ الكربوني..... ٩١

١,٨ التركيب الكيميائي لسبيكة (AISI 4340) ومتوسط التركيب ونسبة الحيود..... ١٠٣

١,٩ معدل التبريد (°م/ث) عند مسافات مختلفة من الطرف المسقى بالماء الناتج عن اختبار قابلية التصليد بطريقة تسقية الطرف..... ١٠٩

١,١٠ المشكلات الشائعة في المعالجات الحرارية للفولاذ..... ١٢٥
١,١١ متاعب المعالجات الحرارية..... ١٢٨
١,١٢ بعض مخاليط الأملاح وتركيبها المستخدمة في حمامات الأملاح المنصهرة ودرجة حرارة استخدامها وأنواع الفولاذ المعالج فيها..... ١٤٦
١,١٣ الأجواء الغازية الاصطناعية المستخدمة في عمليات المعالجة الحرارية... ١٤٨
١,١٤ تفاصيل مزدوجات الفلزات النادرة ومزدوجات الفلزات غير النادرة.. ١٥٤
٢,١ علاقة عمق القشرة (بالبوصات) الناتجة عن الكربنة الجامدة عند درجات حرارة مختلفة..... ١٧٩
٢,٢ التركيب الكيميائي لأملاح السيندة المستخدمة في حمامات الكربنة السائلة عند درجات حرارة مختلفة..... ١٨٦
٢,٣ حمامات الكربنة المختلفة..... ١٩٠
٢,٤ علاقة سمك القشرة المصلدة مع زمن التصليد ودرجات حرارة الكربنة في الأوساط الغازية..... ٢٠٠
٢,٥ ظروف المعالجة الحرارية لأنواع مختلفة من الفولاذ بعد التصليد الغلافي في الكربون..... ٢١٣
٢,٦ (أ) ظروف المعالجة الحرارية لأنواع مختلفة من الفولاذ بعد التصليد الغلافي في الكربون..... ٢١٥
(ب) تأثير ظروف المعالجة الحرارية لأنواع مختلفة من الفولاذ بعد التصليد الغلافي في الكربون..... ٢١٦
٢,٧ مواصفات الفولاذ المستخدم في تصليد القشرة وأهم استخداماته..... ٢١٧
٢,٨ بعض أنواع الفولاذ المستخدم في تطبيقات التغليف بالكربنة وأهم خواصها..... ٢٢٠
٢,٩ التحليل الكيميائي لأنواع فولاذ النتردة..... ٢٢٦
٢,١٠ أنواع الفولاذ المصلد المعالج بالنتردة وخواصها بعد التصليد..... ٢٢٧

٢,١١ تأثير التردد في عمق طبقة التصليد بالحث..... ٢٥٥
١,أ الخواص الميكانيكية للفولاذ السبائكي المحتوي على نسب صغيرة من الكروم والموليبدنوم بعد المراجعة والتلدين..... ٣٠٥
١,ب الخواص الميكانيكية للفولاذ السبائكي منخفض الكروم بعد المراجعة والتلدين..... ٣٠٦
١,جـ الخواص الميكانيكية للفولاذ السبائكي المنخفض الكروم بعد التبريد السريع والتطبيع..... ٣٠٧
١,د الخواص الميكانيكية لعدد من سبائك الفولاذ الكربوني القابل للتصليد..... ٣٠٨
١,هـ الخواص الميكانيكية لعدد من سبائك الفولاذ السبائكي المنخفض المنجنيز بعد التبريد السريع والتطبيع..... ٣١٢
١,و الخواص الميكانيكية للفولاذ السبائكي المحتوي على نسب صغيرة من الكروم والموليبدنوم بعد التبريد السريع والتطبيع..... ٣١٣
١,ز الخواص الميكانيكية لسبيكة (AISI 1340) من الفولاذ السبائكي منخفض المنجنيز بعد المراجعة والتلدين..... ٣١٤
١,ح الخواص الميكانيكية للفولاذ السبائكي المحتوي على كميات صغيرة من الكروم والموليبدنوم بعد المراجعة والتلدين..... ٣١٥
١,ط الخواص الميكانيكية للفولاذ السبائكي المحتوي على نسب صغيرة من النيكل والكروم والموليبدنوم بعد التبريد السريع والتطبيع..... ٣١٦