"....وأُنزلنا الحديد فِيه بأسٌ شديدٌ ومنافعُ للنّاس"

(سورة الحديد آية ٢٥)

صدق الله العظيم

الحديد والفولاذ

الاستخلاص والتصنيع

تأليف

الدكتور محمد عز الدهشان

أستاذ الهندسة الكيميائية

كلية الهندسة - جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص .ب ٢٤٥٤- الرياض ١١٤٥١ - المملكة العربية السعودية

ح جامعة الملك سعود، ١٤١٩هـ (١٩٩٩م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

الدهشان، محمد بن عز

الحديد والفولاذ: الاستخلاص والتصنيع - الرياض.

٧٦٨ ص، ١٧×٢٤ سم

ردمك: ٥-٤٨٤-٠٥ -٩٩٦٠ (جلد)

٣ - ٤٨٥ - ٠٥ - ٩٩٦٠ (غلاف)

١- صناعة الحديد والصلب ٢- الصناعة المعدنية أ - العنوان

ديوي ١٤ ,٦٦٩ ١٧/٢٤٠٤

رقم الإيداع: ١٧/٢٤٠٤

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره في اجتماعه الأول للعام الدراسي ١٤١١/١٤١٢هـ .الذي عُقد بتاريخ ١٦/١٠/١٤١١هـ الموافق ٣٠/٤/١٩٩١م.

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٩هـ

إهداء

إلى ابني الحبيب رامي

أهدي هذا الكتاب

راجياً أن يرزقه الله من صفات الحديد شدة البأس في الحـــق وأن يجري عل يده منفعة الناس .

تقديم

يقول الله تبارك وتعالى وهو أصدق القائلين في كتابه الكريم "**{وأنزلنا الحديد فيه بأسٌ شديدٌ ومنافعُ للنّاس}** صدق الله العظيم (سورة الحديد آية ٢٥) . ولقد جمع العلي القدير أدق وأكمل وصف للحديد في هذه الآية الكريمة ذات الكلمات القليلة والمعاني الكثيرة والدلالات اللامتناهية عن الحديد. ففيه بأس شديد ومن ثم كانت زيادة قوة الإنسان وعظمته وجبروته فبالأمس كانت قوة المحارب المغوار في شجاعته وسيفه المصنوع من الفولاذ، ومن خلاله سادت أمم وتفوقت ، وليس أدل على ذلك من سيادة أسبانيا على دول العالم في القرن السادس عشر الميلادي، وبسط نفوذها على كثير من أجزاءه . ولقد ارتبط هذا التفوق بالنوعية المتفوقة من أنصال السيوف المشهور باسم توليدو Toled.

وفي الحقبة نفسها تقريباً بدأ إنتاج الحديد في بريطانيا من نوعية خاصة ساعد على إنتاجها استخدام أشجار الغابات لإنتاج الفحم النباتي، وبالتالي انتقل مركز التفوق العسكري من أسبانيا إلى بريطانيا لتسود العالم وتصبح هي مركز القوة فيه.

كانت الثورة الصناعية في بريطانيا وكان أهم منجزاتها إنتاج الفولاذ، ومن ثم كان زيادة تفوق وسيادة بريطانيا عالمياً . ولقد بلغ إنتاج بريطانيا في نهاية العهد الفيكتوري اضخم كمية من الفولاذ في العالم وانعكس أثر ذلك عل انتشار السطوة البريطانية، ومن ثم ظهور الإمبراطورية التي لا تغرب عنها الشمس وما كان غروب

شمس الإمبراطورية البريطانية بعد ذلك إلاّ من خلال ندرة خامات الحديد المحلية وتقدم دول أخرى في صناعة الفولاذ، سواء وجدت الخامات بكميات كبيرة وبنوعية أفضل، أو من خلال تطوير تقنيات محلية لاستخلاص الحديد من خامات مستوردة. وقد عمل ذلك كله على تغيير وجه العالم، ومراكز القوة فيه. ويعود الفضل في ظهور القوتين العظيمتين في العالم الآن - أمريكا والاتحاد السوفيتي السابق - أساساً إلى وجود ترسبات خام الحديد ذات الدرجة العالية - الغنية بالحديد - إما في داخل بلادهم أو بالقرب من دولهم وبهذا أصبح قادة العالم في إنتاج الفولاذ.

واليوم يكمن بأس الأمم في أسلحتها الحديدية الفتاكة من دبابات ومدافع وطائرات. ولو ألقينا نظرة على ترتيب إنتاج العالم من الفولاذ فسنجدها: الولايات المتحدة الأمريكية، والاتحاد السوفييتي السابق، واليابان وألمانيا، والصين، وفرنسا، وإيطاليا، ومجموعة دول البلقان وبريطانيا. ويتناسب هذا الترتيب طردياً مع القوة الاقتصادية والعسكرية لتلك الدول، وهناك دول تسعى الآن لزيادة إنتاجها من الفولاذ وبالتالي تأخذ وضعاً متقدماً في ترتيب قوة الدول، وتصبح من مراكز القوة في العالم ومن بينها كوريا. فالحديد إذن هو مصدر البأس الشديد في حياة البشرية وهو القول الفصل في القوة والمهابة.

في الحديد منافع للناس، وأي منافع يؤديها هذا الفلز العظيم لخدمة البشرية وإقامة مدينتهم ورفع صروح حضارتهم ومجدهم، وإنه لقول حق من الخالق البارئ، جلت قدرته في وصف سيد الفلزات وأنفعها للناس، وعندما نقول: أنفعها للناس فليس هناك أصدق أو أدل من أن كمية الحديد المستخدمة تعادل خمسين مثل مجموع الفلزات الأخرى مجتمعة.

ولقد كرّم الله هذا الفلز، حينما جاء ذكره في القرآن الكريم وسميت باسمه إحدى سوره، وليس أكرم لهذا الفلز من أن نبي الله داود عليه السلام عمل في الحدادة فقال تعالى: **﴿وألنّا له الحديد﴾** (سورة سبأ آية ١٠). وماذا عن المعالجة الحرارية وتقوية

الفولاذ المذكورة في القرآن الكريم قبل أن تعرفها الإنسانية بزمن طويل، فيقول سبحانه وتعالى: {**آتوني زُبر الحديد حتى إذا ساوى بين الصَّدفين قال انفخوا حتى إذا جعله ناراً قال آتوني أُفرِغ عليه قِطرا**}.(سورة الكهف الآية ٩٦).

ولقد اتسع التقدم التقني في مجال صناعة الحديد والفولاذ أتساعاً كبيراً وأدُخل على صناعاتهما الكثير من التعديلات والتحسينات في السنوات الأخيرة، ومازال التقدم مستمراً في هذا المجال، ومن أهم التقنيات الحديثة: الاختزال المباشر في مجال تصنيع الحديد، وقد أخذت به الكثير من الدول العربية منها: قطر، والمملكة العربية السعودية، والجزائر، ومصر، وحالياً ليبيا. أما المستجدات في صناعة الفولاذ فإنها متعددة وخاصة فيما يتعلق باستخدام الهواء الغني بالأكسجين أو دفع الأكسجين فقط - عوضاً عن الهواء المدفوع- إلى أفران التصنيع. ومما يدل على اهتمام الدول بالصناعات الحديدية وتطويرها إنشاء الصين الشعبية لجامعة كاملة هي "جامعة الحديد والفولاذ" تهتم فقط بالصناعات الحديدية.

ولقد حبا الله الوطن العربي بثروة كبير من خامات الحديد، وأقيمت في بعض الدول العربية صناعات حديدية، وقد اعتمدت في نشأتها على التقنية الغربية المستوردة، فهل نحاول أن نطور هذه الصناعات بأيدي أبناء المنطقة؟ وأن نكون من الدول الغنية في مواردها وخبراتها التقنية، ولا نكون من الدول الغنية بمواردها الفقيرة في خبرتها ورجالها وفنييها، وبهذا نظل دائماً عبئاً ثقيلاً على التقدم العالمي ونظل دائماً نستورد علمنا ومعرفتنا من الخارج بدلاً من أن نكون مثل الدول الفقيرة في مواردها وخاماتها وثرواتها الغنية في علمها ورجالها، كما هو الحال في ألمانيا واليابان، فالأولى تستورد جزءاً كبيراً من خامات الحديد من الخارج، بينما تستورد الثانية، جميع متطلبات صناعة الحديد من الخارج وبرغم ذلك فهما من أفضل الدول في نوعية الفولاذ المنتج وحالياً تمثل اليابان أول دولة عالمياً في إنتاجية الفولاذ.

وبجهد المقل أتقدم إلى المكتبة العربية بكتاب متكامل عن الحديد والفولاذ للدارسين في الجامعات والمعاهد العليا، مع تقديم أحدث ما وصل إليه العلم الحديث في مجالات فيزيائية الحديد وسبائكه، وربط هذه التقنية بظروف الوطن العربي وحاجته. ويقع الكتاب في خمسة أجزاء: يتناول الجزء الأول نظرة تاريخية ومقدمة عن نشأة الحديد وتطوره وإنتاجه، والتطورات الحديثة في هذا المجال، إضافة إلى أساليب إنتاج السبائك الحديدية، ويشتمل هذا الجزء أيضا على فصل عن صناعة الفولاذ وإنتاجه، ثم يلي ذلك دراسة التلوث الناتج عن الصناعات الحديدية وكيفية التحكم فيه. ويشمل الجزء الثاني والخاص بالاتزان الحراري والسبائك دراسة مفصلة عن منحنيات الاتزان الحراري، وكيفية إنشائها وكيفية قراءتها والحصول على البيانات والمعلومات منها، ومناقشة منحنى الاتزان الحراري للحديد-كربون، كما يشمل ذلك الجزء أيضاً دراسة منحنيات الاتزان الحراري للعناصر السبائكية المضافة للحديد مثل: الكوبلت والنيكل والكروم وغيرها، ثم يلي ذلك استعراض لسبائك الفولاذ بنوعيه: الفولاذ الكربوني: وخواصه واستخداماته، والفولاذ السبائكي منخفض السبائكية وطرق تكوينه.

ويستعرض الجزء الثالث كل من المعالجة الحرارية والسطحية، بينما يعالج الجزء الرابع السبائك الخاصة ويشمل ذلك كل من الفولاذ المقاوم للتآكل، وفولاذ العدد وحديد الزهر، ويقدم الجزء الخامس دراسة عن تآكل وأكسدة الحديد والسبائك المختلفة وأساليب تحسين مقاومة تآكل هذه المواد. ويلحق بكل جزء بيان بالمصطلحات العلمية المستخدمة فيه، مرتبة ألف بائياً باللغة العربية مرة، ومرة أخرى باللغة الإنجليزية.

ولا تقتصر الأجزاء الخمسة على الطرق التقنية للإنتاج والمعالجة الكيميائية أو الحرارية للسبائك، ولكن العرض في الأجزاء الخمسة يبحث ويشرح بتفصيل - في أحيان كثيرة- العمليات الكيميائية أو الفيزوكيميائية، وخاصة في تصنيع الحديد

والفولاذ وفي عمليات المعالجة الحرارية للسبائك أو معالجة الأسطح، ويتم ذلك من خلال تقديم المعني الفيزيائي لكل تعبير موجود في هذا الكتاب .

ويحتوي كل جزء على العديد من الأشكال التوضيحية والرسوم البيانية والصور الضوئية التي تساعد في توضيح المعاني المختلفة، وتساعد الطالب، والدارس، والقارئ على التعرف على التركيبات البنائية المختلفة، كما أنها مرجع للباحث عن أية اختلافات بنائية تكون نتيجة فشل المادة .

ولا يهدف الكتاب أن يكون فقط كتاباً دراسياً لمقررات استخلاص الحديد وتصنيع الفولاذ أو فيزيائية الحديد والفولاذ في الجامعات والمعاهد العليا، ولكنه - بحول الله - سيكون مفيداً جداً لمهندس الميكانيكا والمهندس المدني والمهندس الكيميائي، وكذا الزملاء المعماريين . وبإيجاز فإنه -بحول الله وتوفيقه- سيكون مرجعاً لجميع فروع الهندسة والمشتغلين في المواد الحديدية كافة، سواء في مجالات التصميم أو اختيار المواد للتطبيقات المختلفة أو في دراسة أسباب الفشل والقصور... إلخ. والله من وراء القصد.

المؤلف

المحتويات

رقم الصفحة

تقديم ..... ز

المحتويات ..... م

قائمة الأشكال ..... ذ

قائمة الجداول ..... ز ز

جداول الملاحق ..... م م

الفصل الأول: مقدمة ونظرة تاريخية عن الحديد وصناعته..... ١

١,١ مقدمة. ١

١,٢ تعريفات الحديد وأهميته. ١٨

١,٢,١ الحديد..... ١٨

١,٢,٢ تآصلية الحديد..... ١٨

١,٢,٣ استخدامات الحديد وسبائكه..... ٢٠

١,٣ نظرة تاريخية عن تطور صناعة الحديد ٢٤

١,٣,١ الحديد عند قدماء المصريين ٣٠

١,٣,٢ الحديد في الصين..... ٣٦

١,٣,٣ بابل وآشور وصناعة الحديد..... ٣٩

١,٣,٤ الحديد عند الفينيقيين. ٤٠

رقم الصفحة

١,٣,٥ دور الهند في صناعة الحديد. ٤١

١,٣,٦ صناعة الحديد في أفريقيا. ٤٢

١,٣,٧ صناعة الحديد في أوروبا وأمريكا ٤٤

١,٤ عصر الصبا في صناعة الحديد. ٤٧

١,٥ الثورة الصناعية والنهضة العلمية وأثرهما في تطور صناعة الحديد والفولاذ ٥٢

١,٦ صناعة الحديد والفولاذ في الدول العربية..... ٥٧

الفصل الثاني:المواد الخام لصناعة الحديد ٦٥

٢,١ مقدمة ٦٥

٢,٢ خامات الحديد. ٦٧

٢,٢,١ الهيماتيت. ٧٤

٢,٢,٢ الماجنيتيت..... ٧٤

٢,٢,٣ الليمونيت..... ٧٤

٢,٢,٤ السيدريت.. ..... ٧٥

٢,٢,٥ البيريت..... ٧٦

٢,٢,٦ الألمينيت. ٧٦

٢,٣ العوامل المتحكمة في استغلال الخام ٧٦

٢,٣,١ حجم ترسبات الخام. ٧٧

٢,٣,٢ جودة الخام ٧٧

٢,٣,٣ موقع الخام. ٧٩

٢,٣,٤ تركيب الشوائب المرتبطة بالخام. ٨٠

رقم الصفحة

٢,٣,٥	طرقُ المعالجة والتركيز.	٨٥
٢,٣,٦	طرق التعدين.	٨٦
٢,٣,٧	التأثير على البيئة المحيطة .	٨٧
٢,٣,٨	توافر الخدمات في منطقة الخام.	٨٧
٢,٤	خامات الحديد في الدول العربية .	٨٩
٢,٥	خامات الحديد في العالم.	٩٢
٢,٦	مصادر أخرى لفِلزْ الحديد.	٩٦
٢,٦,١	خبثُ أفران المجمرة المكشوفة .	٩٧
٢,٦,٢	رَماد مداخن المحولات	٩٨
٢,٦,٣	خَبَثُ الأفران الغاطسة وأفران التسخين بأقسام الدّلفنُة	٩٨
٢,٦,٤	مصادر أخرى.	٩٨
٢,٦,٥	الخُردة	٩٩
٢,٧	وقود الأفران العالية .	١٠٠
٢,٧,١	الكُوك	١٠١
٢,٧,٢	غاز الكُوك	١١٤
٢,٧,٣	غازالأفران العالية .	١١٤
٢,٧,٤	الغاز الطبيعي.	١١٦
٢,٧,٥	المازوت.	١١٦
٢,٨	المصهرات	١١٦
٢,٨,١	الحجر الجيري.	١٢٢
٢,٨,٢	الدولوميت.	١٢٣

رقم الصفحة

٢,٨,٣ الطباشير الفوسفوري. ١٢٤

٢,٨,٤ الرمل. ١٢٤

٢,٩ المواد الأولية لصناعة الحديد والفولاذ في الدول العربية ١٢٤

٢,٩,١ خام الحديد ١٢٤

٢,٩,٢ العامل المختزل..... ١٢٦

٢,٩,٣ الدولوميت..... ١٢٧

٢,٩,٤ الحجر الجيري. ١٢٨

٢,٩,٥ خام المنجنيز..... ١٢٨

٢,٩,٦ خردة الحديد. ١٢٨

٢,٩,٧ الفروسليكون والفرومنجنيز والفروكروم ١٢٩

الفصل الثالث : تجهيز الخامات. ١٣١

٣,١ مقدمة ١٣١

٣,٢ خواص الخام ١٤١

٣,٢,١ الخواص الفيزيائية ١٤١

٣,٢,٢ الخواص الكيميائية ١٤٣

٣,٣ إعداد الخام لتحسين خواصه الفيزيائية والميكانيكية..... ١٤٤

٣,٣,١ عمليات التجنيس ١٤٤

٣,٣,٢ عمليات التكسير ١٤٥

٣,٣,٣ عمليات الطحن. ١٥٦

٣,٣,٤ نقاط مهمة عن الكسر والطحن. ١٥٨

٣,٣,٥ تجميع نواعم الخام (التكتيل) ١٦٢

رقم الصفحة

٣,٤ إعداد الخام لتحسين خواصّه الكيميائية ١٧٨

٣,٤,١ التصنيف (الفرز) اليدوي ١٨١

٣,٤,٢ التصنيف (الفصل) بالجاذبية ١٨٢

٣,٤,٣ الفصل باستخدام الوسط الثقيل ١٩٢

٣,٤,٤ الفصل بالسيكلون الهيدرولي. ١٩٥

٣,٤,٥ أسلوب المعالجة الحلزونية ١٩٨

٣,٤,٦ الفصل بالتعويم ٢٠٠

٣,٤,٧ الفصل المغناطيسي. ٢٠٧

٣,٤,٨ الفصل الكهربائي ٢١٥

٣,٥ معالجات أخرى ٢١٦

٣,٥,١ التجفيف. ٢١٦

٣,٥,٢ الكلسنة. ٢١٩

٣,٥,٣ التحميص ٢٢٢

٣,٥,٤ التحميص المغناطيسي. ٢٢٥

٣,٦ التصنيف الحجمي - الفصل بالمناخل. ٢٢٦

٣,٧ تصنيف الخردة وإعدادها. ٢٣٢

٣,٧,١ التصنيف اليدوي ٢٣٢

٣,٧,٢ الكبس ٢٣٣

٣,٧,٣ القص - القطع ٢٣٤

الفصل الرابع : صناعة الحديد ٢٣٥

٤,١ مقدمة ٢٣٥

رقم الصفحة

٤,٢ نظرة تاريخية إلى تطور أفران الحديد وصناعته. ٢٣٨

٤,٢,١ صناعة الحديد في الهند ٢٤٢

٤,٢,٢ صناعة الحديد في أفريقيا. ٢٤٥

٤,٢,٣ صناعة الحديد في أوروبا. ٢٤٨

٤,٣ إنتاج الحديد في الفرن العالي ٢٦٥

٤,٣,١ وصف الفرن العالي ٢٦٦

٤,٣,٢ الوحدات المساندة في الفرن العالي ٢٧٦

٤,٣,٣ شحنة الفرن العالي ٢٨١

٤,٣,٤ عمل الفرن والتفاعلات الكيميائية فيه ٢٩١

٤,٣,٥ نواتج الفرن العالي ٣١١

٤,٣,٦ متاعب إنتاج الحديد في الأفران العالية ٣١٧

٤,٣,٧ بعض النقاط المهمة عن الأفران العالية والاتجاهات الحديثة في طرق تشغيلها ٣٢٢

٤,٤ إنتاج الحديد بالاختزال المباشر ٣٢٧

٤,٤,١ مميزات الاختزال المباشر وأسلوب تصنيع الفولاذ بطريقة الاختزال المباشر/فرن الكوس الكهربائي DR/EAF ٣٣٨

٤,٤,٢ إنتاج غازات الإختزال المباشر. ٣٤١

٤,٤,٣ كيمياء الإختزال المباشر. ٣٤٣

٤,٤,٤ أساسيات تصميم عمليات الإختزال المباشر ٣٤٤

٤,٤,٥ أسلوب الأتون الدوار للإختزال المباشر ٣٥١

٤,٤,٦ اختزال أكاسيد الحديد بالغازات في المهد الثابت ٣٥٦

رقم الصفحة

٤.٤.٧ الإختزال الغازي لأكاسيد الحديد في مهد مميع في أفران رأسية ٣٥٩

٤.٤.٨ خواص الحديد الناتج من الإختزال المباشر واستخداماته..... ٣٦٣

٤,٥ الطرق المستقبلية في صناعة الحديد ٣٦٥

٤,٥,١ الاختزال بالبلازما. ٣٦٦

٤,٥,٢ طريقة"أرند"..... ٣٦٧

الفصل الخامس : تقنية السبائك الحديدية Ferroalloys وطرق إنتاجها..... ٣٦٩

٥,١ مقدمة. ٣٦٩

٥,١,١ عامل إختزال. ٣٧٠

٥,١,٢ عنصر سبائكي ٣٧١

٥,١,٣ عامل جرفته ٣٧١

٥,٢ الفروبورن ٣٧٦

٥,٣ الفروتنجستن..... ٣٧٩

٥,٣,١ مركز التنجستن ٣٨٤

٥,٣,٢ الكوك ٣٨٤

٥,٣,٣ سبيكة فروسليكون ذات تركيب ٧٥٪ ٣٨٥

٥,٣,٤ برادة الحديد..... ٣٨٥

٥,٣,٥ طبقة فلزية ٣٨٥

٥,٤ الفروتيتانيوم. ٣٨٧

٥,٥ الفروزركونيوم ٣٩٤

٥,٦ الفروسليكون. ٣٩٦

٥,٦,١ المواد الحاملة للسليكون ٤٠٠

رقم الصفحة

٥,٦,٢ عامل اختزال ٤٠٢

٥,٦,٣ المواد الحاملة للحديد..... ٤٠٤

٥,٧ الفروفانديوم ٤١١

٥,٧,١ إنتاج الفانديوم من خامات القشرة الأرضية..... ٤١٨

٥,٧,٢ استخلاص الفانديوم من الخامات الفقيرة..... ٤١٩

٥,٨ الفروكروم ٤٢٣

٥,٨,١ إنتاج الفروكروم الكربوني. ٤٢٩

٥,٨,٢ إنتاج الفروكروم السليكوني. ٤٣٣

٥,٩ الفرومنجنيز. ٤٣٥

٥,٩,١ إنتاج الفرومنجنيز الكربوني ٤٤٣

٥,٩,٢ إنتاج سبائك الفرومنجنيز السليكوني ٤٤٥

٥,٩,٣ إنتاج الفرومنجنيز منخفض الكربون. ٤٤٧

٥,٩,٤ حديد التمساح المنجنيزي ٤٤٨

٥,١٠ الفروموليبدنوم. ٤٤٨

٥,١٠,١ تصنيع سبائك الفروموليبدنوم ٤٥٢

٥,١١ الفرونيوبيوم ٤٥٤

الفصل السادس : صناعة الفولاذ ٤٥٧

٦,١ مقدمة. ٤٥٧

٦,٢ نظرة على تاريخ صناعة الفولاذ ٤٦٥

٦,٢,١ صناعة الفولاذ في الهند ٤٦٥

٦,٢,٢ أسلوب السمنته في تصنيع الفولاذ. ٤٦٧

رقم الصفحة

٦,٢,٣ أولى مراحل تصنيع الفولاذ من حديد التمساح ٤٧٠
٦,٢,٤ عودة مرة أخرى، لصناعة الفولاذ بالسمنتة ٤٧١
٦,٢,٥ أولى مراحل صناعة فولاذ البوتقة. ٤٧٤
٦,٢,٦ صنع الفولاذ بأسلوب المحولات ٤٧٧
٦,٢,٧ صناعة الفولاذ بأسلوب سيمينز - مارتن. ٤٨٥
٦,٢,٨ الأفران الكهربائية لصناعة الفولاذ. ٤٨٨
٦,٣ الأساس العلمي لصناعة الفولاذ. ٤٨٩
٦,٤ المحولات ٤٩٦
٦,٤,١ إنتاج الفولاذ في محول بسمر (المحول الحمضي) ٤٩٩
٦,٤,٢ محول توماس (المحول القاعدي). ٥٠٤
٦,٤,٣ بعض النقاط المهمة عن المحولات ومزاياها ونواحي القصور فيها . ٥٠٦
٦,٥ أفران المجمرة المكشوفة ٥٠٩
٦,٥,١ فرن المجمرة المكشوفة القاعدي ٥١٤
٦,٥,٢ فرن المجمرة المكشوفة الحمضي. ٥١٦
٦,٦ الأفران الكهربائية لصناعة الفولاذ ٥١٩
٦,٦,١ أفران القوس الكهربائي ٥٢٢
٦,٦,٢ فرن الحث الكهربائي ٥٣٩
٦,٧ الاكسجين والاتجاهات الحديثة في صناعة الفولاذ ٥٤١
٦,٧,١ طرقة (لينز دوناوتز) (L.D.) ٥٤٥
٦,٧,٢ طريقة كالدو. ٥٤٧
٦,٧,٣ أسلوب الدوران .لصناعة الفولاذ..... ٥٤٩

رقم الصفحة

٦,٧,٤ أفران الأكسجين القاعدية ٥٥١

٦,٧,٥ التطورات الحديثة في صناعة الفولاذ. ٥٥٤

٦,٨ صب الفولاذ ٥٥٤

٦,٨,١ الصب في قوالب منفردة ٥٥٤

٦,٨,٢ الصب المستمر ٥٥٥

٦,٩ التركيب البنائي لصبات. الفولاذ ٥٥٥

٦,٩,١ فولاذ حفافي (فولاذ غلافي). ٥٥٩

٦,٩,٢ فولاذ مقلَس ٥٦٠

٦,٩,٣ فولاذ شبه مُخمد. ٥٦١

٦,٩,٤ فولاذ مخمد ٥٦١

٦,١٠ منظومة تصنيع الفولاذ ٥٦٢

٦,١١ نظرة على مستقبل صناعة الفولاذ ٥٦٤

الفصل السابع : تلوث البيئة من الصناعات الحديدية وطرق التحكم فيه ٥٦٩

٧,١ مقدمة. ٥٦٩

٧,٢ تجميع الحبيبات الجامدة من الغازات المنصرفة ٥٨٠

٧,٢,١ غرفة التهبيط ٥٨٤

٧,٢,٢ الحلزونات. ٥٨٦

٧,٢,٣ مجمع الحلزونات ٥٨٨

٧,٢,٤ الأكياس المرشحة ٥٩٠

٧,٢,٥ أبراج الرش ٥٩٢

رقم الصفحة

٧,٢,٦ جهاز فنتوري لغسل الغازات ٥٩٥

٧,٢,٧ المرسبات الكهروستاتيكية ٥٩٧

٧,٢,٨ أجهزة الغسل المائي للغازات ٦٠١

٧,٣ تنظيف الغاز من المركبات الغازية الملوثة ٦٠٢

٧,٣,١ صناعة حمض الكبريتيك بأسلوب التلامس ٦١٢

٧,٣,٢ صناعة عنصر الكبريت ٦١٥

٧,٣,٣ انتزاع ثاني أكسيد الكبريت باستخدام أكسيد الكالسيوم ٦١٦

٧,٤ تبديد الغازات من المداخن الطويلة ٦١٧

٧,٥ الاسترجاع الحراري. ٦٢٠

٧,٥,١ الحرارة المحسوسة ٦٢٠

٧,٥,٢ الغازات قوية الاحتراق ٦٢٣

٧,٦ تنظيف الماء ٦٢٥

٧,٦,١ التغليظ ٦٢٧

٧,٦,٢ الترشيح المخلخل. ٦٢٩

٧,٦,٣ تصفية (صرف) حمض المناجم. ٦٣١

٧.٧ التحكم في التلوث الناتج عن صناعة الحديد والفولاذ. ٦٣٣

٧.٧.١ التحكم في التلوث في وحدات التكويك. ٦٣٤

٧.٧.٢ التحكم في التلوث في وحدات صناعة الحديد ووحدات الصب ٦٣٥

٧.٧.٣ التحكم في التلوث في وحدات تصنيع الفولاذ. ٦٣٧

الملاحق : بعض المعلومات العامة عن الحديد والفولاذ..... ٦٤١

المراجع ٦٦١

رقم الصفحة

اولا : المراجع العربية ٦٦١
ثانيا : المراجع الإنجليزية ٦٦٢
ثبت المصطلحات العلمية..... ٦٦٧
أولا : عربي - إنجليزي ٦٦٧
ثانيا : إنجليزي - عربي ٧١١
كشاف الموضوعات..... ٧٥٥

قائمة الأشكال

رقم الشكل		رقم الصفحة
١.١	الإنتاج العالمي من بعض الفلزات واللدائن والفولاذ.	٣
١,٢	العلاقة بين الإنتاج العالمي من المواد المختلفة وتكلفة الطن لكل مادة .	٦
١,٣	الحفارات المستخدمة في حفر آبار النفط المصنوعة من الفولاذ.	١١
١,٤	منحنى التبريد للحديد مبيناً الأوجه المختلفة به عند درجات الحرارة المختلفة .	٢٤
١,٥	التغير في أبعاد بلّورة الحديد مع تغير درجة الحرارة .	٢٥
١,٦	التطور في إنتاج الفولاذ منذ بداية صناعته في عام ١٨٧٠م حتى عام ١٩٧٧م.	٢٦
١,٧	العلاقة بين المقاومة/الكثافة للفولاذ وبعض السبائك الأخرى.	٢٩
١,٨	الحديد عند قدماء المصريين	٣١
١,٨-أ	الرمز الكيميائي للحديد عند قدماء المصريين .	٣١
١,٨-ب	منظر لعملية صب المعادن عند قدماء المصريين وجدت على بعض الآثار المصرية القديمة ، وهذه الصورة هي شعار الجمعية العالمية لسباكة الفلز .	٣١
١,٩	قطاع في فرن بدائي لصهر الحديد عرف لأول مرة في أوغندا.	٤٤
١,١٠	الطريقة البدائية لصهر الحديد في أوغندا قديماً، ويظهر فيها بداية دفع الهواء للأفران.	٤٥
١,١١	خريطة توضح الموقع الأول لبداية صناعة الحديد حيث بدأت في الشرق الأوسط ثم انتشرت في العالم بعد ذلك ، وفي النهاية تعود من الغرب إلى الشرق.	٥٢
٢,١	رسم تخطيطي لمراحل استخلاص الحديد والفولاذ من الخامات الأولية وعمليات التصنيع .	٧٠

رقم الشكل		رقم الصفحة
٢.٢	أفران التكويك.	١١٣
٢.٢.أ	رسم تخطيطي لأفران التكويك المستخدمة قديماً، . ولم تعد تستخدم الآن .	١١٣
٢.٢-.ب	رسم تخطيطي لأفران التكويك الحديثة	١١٣
٢,٣	منحنى الاتزان الحراري لأكسيدي الحديد والسليكون.	١١٧
٢,٤	منحنى الاتزان الحراري للألومينا سليكا.	١١٨
٢,٥	منحنى الاتزان الحراري لنظام أكسيد الكالسيوم - أكسيد الألومنيوم.	١١٩
٣,١	رسم تخطيطي لمراحل إستخلاص الفلز من خاماته الأولية.	١٣٥
٣,٢	رسم تخطيطي لدائرة تكسير الخام.	١٤٧
٣,٣	رسم تخطيطي لكسارة الفك.	١٥٠
٣,٤	رسم تخطيطي لكسارة دوارة.	١٥١
٣,٥	رسم تخطيطي لإحدى الكسارات الاسطوانية	١٥٣
٣,٦	رسم تخطيطي لكسارة المطارق.	١٥٥
٣,٧	رسم تخطيطي لطاحونة الكريات ومعها المقسم في دائرة مغلقة	١٥٧
٣,٨	آلية الكسر تحت تأثير قوى الإنضغاط	١٥٩
٣,٩	رسم تخطيطي لوحدة تعمل باسلوب الكسر الثلاثي.	١٦١
٣,١٠	رسم تخطيطي لعمليات التطويب والتلبيد المتبعة مع خامات الحديد.	١٦٥
٣,١١	رسم تخطيطي لعملية التطويب.	١٦٦
٣,١٢	رسم تخطيطي لوحدة التلبيد	١٧١
٣,١٣	رسم تخطيطي لماكينة التلبيد.	١٧٤
٣,١٤	مقطع في طبقة التلبيد و توزيع درجات الحرارة فيها	١٧٥
٣,١٥	رسم تخطيطي لعملية غسل خام الحديد	١٨٥

رقم الشكل رقم الصفحة

٤,٣ شكل أفران إنتاج أفران الحديد بعد استعمال البطانة الحرارية ونفخ الهواء بطريقة منظمة عن طريق المساقط المائية ٢٤٥
٤,٤ رسم تخطيطي لفرن كاتالان لاختزال الحديد..... ٢٥٠
٤,٥ رسم تخطيطي لبداية فرن ستوكوفن لاختزال الحديد..... ٢٥٦
٤,٦ رسم تخطيط للفرن المستخدم لإنتاج الحديد في القرن السابع عشر الميلادي الذي استخدمه داربي. ٢٥٨
٤,٧ استخدام المطارق الثقيلة في عملية تسويط الحديد المليف. ٢٦٣
٤,٨ الفرن العالي ٢٦٧
٤,٨ - أ الشكل العام للفرن العالي المستخدم في الوقت الحالي والأجزاء المساندة. . ٢٦٧
٤,٨ -ب قطاع في قاعدة الفرن العالي موضحاً إنشاءات: بوش والقصبات والمجمرة. . ٢٦٨
٤,٩ رسم تخطيطي لتوزيع درجات الحرارة في الفرن العالي والتفاعلات الكيميائية في كل منطقة ٢٧٣
٤,١٠ رسم تخطيطي تفصيلي لمكونات قمة الفرن العالي. ٢٧٥
٤,١١ مواقد الغازات في الفرن العالي ٢٧٧
٤,١٢ رسم تخطيطي لمصنع لإنتاج الحديد بأسلوب الفرن العالي. ٢٧٩
٤,١٣ رسم تخطيطي للفرن العالي والوحدات المساندة ٢٨٠
٤,١٤ رسم تخطيطي مبسط لوحدة متكاملة لإنتاج الحديد والفولاذ. ويدل وجود دائرة في منطقة معينة على نقطة اختيار مهمة واتخاذ قرار بالنسبة للخطوة التالية . ٢٨٣
٤,١٥ التداخل بين خواص الكوك وأداء الفرن العالي. ٢٨٦
٤,١٦ معدل استهلاك الوقود في الأفران العالية في اليابان. ٢٩٢
٤,١٧ علاقة الطاقة الحرة ودرجة الحرارة لغازي أول وثاني أكسيد الكربون. ٢٩٦

رقم الشكل		رقم الصفحة
٣,١٦	تركيز الخام بالخضاضات.	١٨٨
٣,١٧	رسم تخطيطي للمناضد المنحدرة	١٩١
٣,١٨	رسم تخطيطي لتركيز خامات الحديد بالوسط الثقيل.	١٩٣
٣,١٩	رسم تخطيطي للسيكلون الأيدرولي المستخدم في الفصل والتركيز. ..	١٩٧
٣,٢٠	رسم تخطيطي للمركز الحلزوني (نوع همفري).	١٩٩
٣,٢١	رسم تخطيطي لخلية تركيز تعمل بالرغوة	٢٠٢
٣,٢٢	رسم تخطيطي لوحدة تركيز مبسطة تعمل بأسلوب معالجة التعويم .	٢٠٤
٣,٢٣	رسم تخطيطي لأسلوب الفصل المغناطيسي المبتل	٢١٠
٣,٢٤	أساسيات الفصل المغناطيسي لعمليات التركيز	٢١١
٣,٢٥	رسم تخطيطي لخام الحديد المغناطيسي ونواتج التركيز.	٢١٣
٣,٢٦	رسم تخطيطي لإحدى وحدات التركيز المغناطيسي لخامات الحديد، ويتضح فيها سريان خام الحديد بعد الفصل المغناطيسي المزدوج.	٢١٤
٣,٢٧	المجفف الدوار ذو الغلاف المزدوج.	٢١٨
٣,٢٨	علاقة ضغط تحلل بعض الكربونات وأحد الهيدروكسيدات مع درجة الحرارة .	٢٢١
٣,٢٩	الاتزان الحراري للنظام الثلاثي : حديد - اكسجين- كبريت ، ومنه يتضح أن تكوين الكبريتات مفضلة عند درجات الحرارة المنخفضة بينما تكون الأكاسيد مفضل عند درجات الحرارة المرتفعة	٢٢٤
٣,٣٠	نموذج من أحد المناخل الصناعية ذات الطبقتين من النوع الهزاز.	٢٢٨
٤,١	الطرق البدائية الأولية لاستخلاص الحديد فيما قبل التاريخ	٢٤٢
٤,٢	تطور الأفران القديمة المستعملة في عمليات استخلاص الحديد.	٢٤٣
٤,٢- أ	رسم تخطيطي لأحد الأفران البدائية لإنتاج الحديد	٢٤٣
٤,٢ ب	خطوة تالية متقدمة لأفران إنتاج الحديد الموضحة في شكل رقم ٤,٢ -أ حيث أستعملت البطانة الحرارية، كما تم بناء الفرن بطريقة تسمح للرياح بالدخول إليه.	٢٤٤

رقم الشكل		رقم الصفحة
٤,١٨	منحنى الاتزان لتفاعل "بودوارد."	٢٩٧
٤,١٩	الاتزان الحراري بين الحديد وأكاسيد الكربون.	٣٠٠
٤,٢٠	الاتزان الحراري بين غازي أول وثاني أكسيد الكربون في وجود الكربون الجامد.	٣٠١
٤,٢١	كمية الإنتاج من حديد التمساح والليد والكريات في الفترة من ١٩٦٠ إلى ١٩٨٠م.	٣٢٥
٤,٢٢	التغير في الإنتاج العالمي من حديد التمساح والفولاذ خلال الفترة من ١٩٦٠ إلى ١٩٨٠م.	٣٢٨
٤,٢٣	مساري إنتاج الفولاذ عن طريقي الاختزال المباشر/فرن القوس الكهربائي، والفرن العالي/فرن الفولاذ القاعدي.	٣٣٧
٤,٢٤	إنتاج غازات الإختزال من الغاز الطبيعي.	٣٤٣
٤,٢٥	منحنى الاتزان الحراري بين الهيدروجين وبخار الماء في وجود أكاسيد الحديد والحديد عن درجات حرارة مختلفة	٣٤٤
٤,٢٦	رسم تخطيطي لعملية الاختزال المباشر الناتج عن التسخين الخارجي ومن أمثلة ذلك أسلوب SL/RN.....	٣٤٦
٤,٢٧	تمثيل تخطيطي لعملية الإختزال المباشر مع إعادة تدوير الغاز، من أمثلة الواحدت العاملة بذلك : ميدركس، وبدرفيز، وهيل.	٣٤٧
٤,٢٨	رسم تخطيطي لأسلوب الأتون الدور لإنتاج الحديد الإسفنجي الاختزال المباشر.....	٣٥٣
٤,٢٩	أسلوب SL/RN بالفرن الدوار لإنتاج الحديد الإسفنجي بالاختزال المباشر.	٣٥٤
٤,٣٠	خطوات الاختزال في وحدة هيل "LyH"	٣٥٧
٤,٣١	رسم تخطيطي لوحدة "ويبرج"	٣٦٠
٤,٣٢	رسم تخطيطي يوضح اساسيات وحدة "ميدركس".	٣٦٢
٤,٣٣	رسم تخطيطي لأسلوب ارند في إنتاج الفولاذ من خام الحديد.	٣٦٧

رقم الشكل		رقم الصفحة
٥,١	شكل الفرن القائم لصهر سبائك الفروتيتانيوم واختزالها	٣٩٣
٥,٢	تأثير الفانديوم على حجم حبيبات الفولاذ	٤١٢
٥,٢ - أ	مقطع في الفولاذ الكربوني المحتوي على ٠,١٪ كربون بدون إضافة الفانديوم. .	٤١٢
٥,٢ -ب	حجم حبيبات الفولاذ الموضح في الشكل ٥,٢ - أ بعد إضافة ٠,١٪ فانديوم.	٤١٢
٥,٣	تكوين الكربيدات والنتريدات والهيدريدات وعلاقة ذلك بالطاقة الحرة بتكوينها ...	٤١٣
٥,٣ - أ	ثبات الكربيدات وعلاقتها بالطاقة الحرة لتكوينها.	٤١٤
٥,٣ ب	ثبات الكربيدات وعلاقتها بالنسبة المئوية للعنصر المضاف، ونسبة الكربون في السبيكة	٤١٤
٥,٤	العلاقة بين ذائبية الكربون في مصهور الفروكروم مع محتويات مختلفة من السليكون.	٤٣٤
٥,٥	العلاقة بين الكربون والسليكون في السليكون منجنيز ومحتوي السليكون في السليكون منجنيز	٤٣٨
٦,١	إحدى المطارق التي عُثر عليها في إنجلترا وهي مصنوعة في القرن التاسع وقد ثُبت على وجهها صفيحة رقيقة من الفولاذ.	٤٦٩
٦,٢	فرن تصنيع الفولاذ من الحديد المليف (أسلوب التسويط).....	٤٧٣
٦,٣	محول بسمر أول محول استخدم في تصنيع الفولاذ، لاحظ أن المحول من النوع الثابت.	٤٨٠
٦,٤	مقارنة بين الكبريتيدات المتكونة في الفولاذ.	٤٩٤
٦,٤ -أ	كبريتيدات المنجنيز المتكونة بداخل الحبيبات	٤٩٤
٦,٤ -ب	كبريتيدات الحديد المتكونة على حدود الحبيبات.	٤٩٤
٦,٥	مقطع رأسي في محول بسمر.	٤٩٧

رقم الشكل رقم الصفحة

٦.٦ خطوات شحن المحولات بالحديد المصهور، ثم صب الفولاذ الناتج . ٥٠٠
٦.٧ التغيرات الكيميائية في تركيب شحنة المحول أثناء الأكسدة ٥٠١
٦.٨ التغيرات الكيميائية التي تطرأ على مكونات شحنة محول توماس (القاعدي) أثناء الأكسدة. ٥٠٥
٦.٩ النسب المئوية للفولاذ المنتج بأساليب التصنيع المختلفة. لاحظ تدني الإنتاج بفرن المجمرة المكشوفة وزيادة الإنتاج بالأفران الكهربائية ٥٠٧
٦.١٠ رسم تخطيطي لأحد أفران المجمرة المكشوفة يعمل بوقود غازي ويوضح الشكل خط سير الهواء فيها ٥١٢
٦.١١ فرن الحث الكهربائي عالي التردد لصناعة الفولاذ، ويظهر الشكل مظهر الفرن والدوائر الالكترومغناطيسية التي تؤدي إلى توليد حركة التقليب في الحمام الفلزي المنصهر. ٥٢١
٦.١٢ رسم تخطيطي لفرن القوس الكهربائي موضحاً به الشحنة وممر التيار الكهربائي وموضع الخبث. ٥٢٢
٦.١٣ البطانة الحرارية القاعدية والحمضية. في أفران القوس الكهربائي عالي التردد لصناعة الفولاذ ٥٢٤
٦.١٤ تغير تركيب الشحنة في عملية إنتاج الفولاذ بطريقة المعالجة المزدوجة ٥٣٢
٦.١٥ رسم تخطيطي لانتاج الفولاذ بأسلوب الأكسجين المدفوع من أعلى . ٥٤٦
٦.١٦ أفران كالدو لصناعة الفولاذ. ٥٤٨
٦.١٧ رسم تخطيطي للفرن الدوار لصناعة الفولاذ ٥٥٠
٦.١٨ التغيرات الكيميائية التي تطرأ على شحنة الفرن الدوار أثناء المعالجة لإنتاج الفولاذ. ٥٥١

رقم الشكل رقم الصفحة

٦,١٩ نموذج لأفران الأكسجين القاعدية ٥٥٢
٦,٢٠ نموذج لأحد قوالب صب الفولاذ من نوع الشكل الزجاجي للصبات المنفردة ... ٥٥٥
٦,٢١ رسم تخطيطي لكيفية إزالة الغازات من الفولاذ المنصهر في جو مخلخل. ٥٥٦
٦,٢٢ رسم تخطيطي لأسلوب الصب المستمر للفولاذ. ٥٥٧
٦,٢٣ رسم تخطيطي لصبات من الفولاذ الحفافي والفولاذ المقلس، والفولاذ شبه المخمد، والفولاذ المخمد. ٥٥٩
٧,١ تأثير غاز ثاني أكسيد الكبريت على الخضروات ، ويزيد التأثير الضار للغاز مع زيادة نسبته وطول فترة التعريض. ٥٧٥
٧,٢ التشريعات المختلفة في الولايات المتحدة الأمريكية للمحافظة على البيئة .
٧,٣ حجم الحبيبات الجامدة بالغازات وأنسب الأجهزة المستخدمة لاسترجاعها من الغازات. ٥٧٧
٧,٤ مقارنة بين حجم الحبيبات وكفاءة الأجهزة المختلفة لتجميع الأتربة ٥٨٣
٧,٥ رسم تخطيطي لإحدى غرف التهبيط. ٥٨٤
٧,٦ رسم تخطيطي لحلزون تجميع الحبيبات من الغازات ٥٨٩
٧,٧ رسم تخطيطي لأحد الأكياس المرشحة ٥٩١
٧,٨ أبراج فصل الأجسام الجامدة بالحمامات المائية ٥٩٤
٧,٩ شكل تخطيطي لجهاز الفنتوري لتنظيف الغازات. ٥٩٦
٧,١٠ الترشيح الإلكتروستاتى ٥٩٨
٧,١٠ -أ مبادئ أسلوب الترشيح الكهروستاتي. ٥٩٨
٧,١٠-ب رسم تخطيطي لأحد الأجهزة المستخدمة لأسلوب الترشيح الكهروستاتي في الصناعات المعدنية ٥٩٩

رقم الشكل		رقم الصفحة
٧,١١	أسلوب تنظيف الغازات بأجهزة الغسل المائي.	٦٠٠
٧,١٢	العلاقة بين عدد الوفيات ومستويات التلوث أثناء دخان لندن في ديسمبر عام ١٩٥٢م.....	٦٠٦
٧,١٣	رسم توضيحي لإنتاج حمض الكبريتيك من غاز ثاني أكسيد الكبريت منخفض التركيز	٦١٤
٧,١٤	رسم توضيحي لإنتاج حمض الكبريتيك من غاز ثاني أكسيد الكبريت عالي التركيز	٦١٤
٧,١٥	رسم توضيحي لإنتاج عنصر الكبريت من غاز ثاني أكسيد الكبريت .	٦١٥
٧,١٦	الاستفادة من الطاقة الحرارية المحمولة مع الغازات المنبعثة من عمليات تصنيع الفلزات	٦٢٢
٧,١٧	رسم تخطيطي موضحا كيفية الاستفادة من الطاقة الناتجة من غازات الأفران في وحدة تصنيع الحديد والفولاذ المتكاملة	٦٢٤
٧,١٨	توصيلات الغلايات العاملة بحرارة غازات أفران التحميص.	٦٢٥
٧,١٩	الشكل العام لحوض التغليظ المستخدم في معالجة المياه الناتجة من عملية فصل الغازات بالاسلوب المبلل	٦٢٩
٧,٢٠	رسم تخطيطي لعملية الترشيح المستمرة تحت ضغط مخلخل.	٦٣٢
٧,٢١	كبائن الغازات الموضعية على المحولات.	٦٣٨
٧,٢٢	خطوط تجميع الغازات والتحكم في التلوث في أجزاء المصنع المختلفة.	٦٣٩

قائمة الجداول

رقم الجدول		رقم الصفحة
١.١	متوسط الإنتاج العالمي من الفلزات المعروفة في ثلاث حقب زمنية مختلفة (طن/سنة).	٤
١,٢	كمية الإنتاج العالمي من الفلزات المختلفة في عام ١٩٧٩م.	٥
١,٣	الصناعات المغذية لصناعة الحديد والفولاذ.	١٢
١,٤	الصناعات المستهلكة لمنتجات الفولاذ العادي.	١٢
١,٥	الصناعات المتسهلكة لفولاذ خاص.	١٣
١,٦	صناعات منشأة على أساس منتجات جانبية لصناعة الحديد والفولاذ.	١٤
١,٧	مقارنة للإرتباطات الأمامية والخلفية للصناعات المختلفة في أربع دول صناعية .	١٤
١,٨	خواص الحديد ذي النقاوة التجارية.	٢٠
١,٩	أهم الخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية للحديد.	٢١
١,١٠	تغير البناء البلوري لعدد من الفلزات مع تغير درجات الحرارة.	٢٣
١,١١	التطور في الإنتاج العالمي من الفولاذ منذ عام ١٨٧٠م حتى عام ١٩٧٧م.	٢٧
١,١٢	أسعار بعض الفلزات مقدرة بالدولار للرطل عام ١٩٨٥م.	٢٨
١,١٣	مصانع الحديد والفولاذ نصف المتكاملة التي أنشئت في البلدان العربية .	٥٨
١,١٤	مجمعات الحديد والفولاذ المتكاملة في البلدان العربية.	٥٩
١,١٥	متوسط حصة الفرد السنوية من الفولاذ لبعض الدول الصناعية والنامية والعربية .	٦١

رقم الجدول رقم الصفحة

١,١٦ متوسط حصة الفرد من استهلاك الفولاذ ومعامل ارتباطه بمستوى التصنيع والناتج الوطني. ٦٢

١,١٧ كميات الحديد والفولاذ(في أشكال متنوعة) التي إستوردتها وصدرتها المملكة العربية السعودية في الفترة من ١٩٧٧م الى ١٩٨١م..... ٦٤

٢,١ النسبة المئوية للعناصر في القشرة الأرضية ٦٨

٢,٢ أهم معادن الحديد. ٧١

٢,٣ التركيب الكيميائي لعدد من خامات الحديد في بعض دول العالم. .. ٧٢

٢,٤ إنتاج الدول العربية من الخامات والمركزات المعدنية في عام ١٩٧٣م (مقدرة بالطن). ٧٣

٢,٥ احتياطات خامات الحديد في البلدان العربية ونسبة الحديد فيها ٩٠

٢,٦ خامات الحديد في المملكة العربية السعودية ٩١

٢,٧ توزيع الاحتياطي العالمي من الحديد على بعض دول العالم المختلفة مقدرة بملايين الأطنان. ٩٣

٢,٨ الاحتياطي العالمي من خامات الحديد (مقدرة بملايين الأطنان). ٩٧

٢,٩ التركيب الكيميائي لكوك الفرن العالي. ١١١

٢,١٠ التحليل الكيميائي لغاز الأفران العالية ١١٥

٢,١١ درجات حرارة إنصهار بعض الأكاسيد- في شحنة الفرن العالي- من خام الحديد و الكوك و المصهرات. ١١٧

٢,١٢ التركيب الكيميائي لعدد من المصهرات القاعدية ١٢١

٢,١٣ مقارنة إنتاج الدول العربية بالإنتاج العالمي من الفولاذ في عدة سنوات ١٢٥

٢,١٤ احتياطيات الدول العربية من الفحم الحجري. ١٢٦

رقم الجدول **رقم الصفحة**

٢,١٥ إمكانيات الدول العربية من الغاز الطبيعي والغاز المرتبط (مليار متر مكعب).....١٢٧

٣,١ متوسط تحاليل الصخور النارية لأكثر الفلزات الشائعة وأكثر المعادن المعروفة ١٣٣

٣,٢ تأثير حجم الخام على إنتاجية الفرن العالي ومعدل إستهلاك الكوك فيه، في بعض الشركات العالمية المنتجة للحديد. ١٣٨

٣,٣ بعض أنواع الخامات المتوافرة في القشرة الأرضية وبيان الشروط المطلوبة للخام للشحن في الفرن العالي وأساليب معالجة هذه الخامات. ١٣٩

٣,٤ الطاقة اللازمة لكل طن من المواد أثناء الكسر أو الطحن. ١٥٩

٣,٥ التركيب الكيميائي لبعض منتجات التلبيد.....١٧٨

٣,٦ التحليل الكيميائي لخام الحديد قبل الغسل ، والمُركز الناتج من الغسل. ١٨٧

٣,٧ التحليل الكيميائي لنواتج تشغيل وحدات الفصل بالوسط الثقيل لتركيز خام الحديد. ١٩٦

٣,٨ المواد المستخدمة في تعويم خامات الحديد. ٢٠٧

٣,٩ كفاءة أسلوب التعويم في تركيز خامات الحديد. اتخذ الحديد ٢٠٨

٣,١٠ قوى الجذب المغناطيسي النسبية لعدد من المعادن اتخذ الحديد كأساس قدره (١٠٠). ٢٠٩

٣,١١ التحليل الكيميائي لخام الحديد قبل الفصل والتركيز المغناطيسي وبعده. ٢١٥

٣,١٢ فتحات المناخل وأقطار اسلاك المناخل طبقا للمواصفات القياسية الأمريكية .٢٣١

٤,١ المكونات الأساسية للطوب الحراري المستخدم بالفرن العالي. ٢٦٩

٤,٢ كميات المواد الخام اللازمة لإنتاج طن من حديد التمساح. ٢٨٤

٤,٣ المركبات الكيميائية لأكاسيد الخبث ودرجة حرارة انصهارها. ٣٠٨

٤,٤ التصنيف الكيميائي لأكاسيد الخبث. ٣١٠

٤,٥ التركيب الكيميائي لحديد التِمساح المنتج من الفرن العالي وكيفية التحكم في كمية الشوائب به ٣١٤

رقم الجدول رقم الصفحة

٤,٦ التركيب الكيميائي النمطي لخبث الأفران العالية ٣١٦
٤,٧ التركيب الكيميائي للغازات المنبعثة من الفرن العالي ٣١٧
٤,٨ تطور الإنتاج العالمي من الحديد في الفرن العالي في الفترة من ١٩٧٣ إلى ١٩٨٣م ٣٢٩
٤,٩ وحدات الاختزال المباشر لإنتاج الحديد الإسفنجي منذ عام ١٩٧٠م حتى عام ١٩٨٥م. ٣٣٢
٤,١٠ نسب اتزان غازات الاختزال في تفاعلات اختزال أول أكسيد الحديد إلى الحديد عند درجات الحرارة المختلفة ٣٤٧
٤,١١ نواتج أكسدة غاز الميثان عند درجات حرارة مختلفة. ٣٤٩
٤,١٢ تركيب الغازات المستخدمة في عمليات الإختزال المباشر ٣٥٠
٤,١٣ ظروف الإختزال المباشر..... ٣٥٠
٤,١٣ -أ الخواص الفيزيائية لمواد الاختزال المباشر ٣٥٠
٤,١٣ -ب العمليات المختلفة لإنتاج الحديد الأسفنجي ٣٦٥
٤,١٤ الطاقة المطلوبة وكمية الإنتاج سنوياً ودرجة نقاوة الحديد في طرق الإختزال المباشر. ٣٧٦
٥,١ التركيب الكيميائي لعدد من السبائك الحديدية. ٣٨١
٥,٢ التركيب الكيميائي لعدد من سبائك الفروتنجستن القياسية..... ٣٨٦
٥,٣ التركيب الكيميائي للخبث الناتج من صهر وإختزال الفروتنجستن. ٣٨٩
٥,٤ التركيب الكيميائي لسبيكة الفروتيتانيوم. ٣٩٠
٥,٥ أكاسيد التيتانيوم وأهم خواصها. ٣٩٠
٥,٦ التركيب الكيميائي لعدد من خامات الكوارتزيت. ٤٠٢

رقم الجدول		رقم الصفحة
٥,٧	التركيب الكيميائي للكوك ومسحوق الكوك الناعم .	٤٠٤
٥,٨	التركيب الكيميائي للخبث الناتج من إنتاج سبائك الفروسليكون.	٤٠٩
٥,٩	التركيب الكيميائي لسبيكة الفروفانديوم .	٤١٥
٥,١٠	التركيب الكيميائي لبعض خامات الفانديوم.	٤١٧
٥,١١	التركيب الكيميائي للخبث الناتج من تصنيع الفروكروم.	٤٣٠
٦,١	الزيادة في الاستهلاك العالمي من الفولاذ في عامي ١٩٨٠و١٩٨٥م. بالمليون طن.	٤٦١
٦,٢	مقارنة تبين تطور الإنتاج العالمي من الفولاذ في الفترة ما بين عامي١٩٦٦ و١٩٧٦م في بعض المناطق وبعض الدول الرئيسية .	٤٦٢
٦,٣	التركيب الكيميائي للخبث المتكون في المحولات الحمضية والمحولات القاعدية .	٤٩٩
٦,٤	التركيب الكيميائي للخبث الناتج من عمليات تصنيع الفولاذ في أفران المجمرة المكشوفة .	٥١٧
٦,٥	مقارنة بين التركيب الكيميائي للخبث المؤكسد والخبث المختزل.	٥٣١
٦,٦	مقارنة بين إنتاج الفولاذ بفرن المجمرة المكشوفة وفرن القوس الكهربائي .	٥٣٧
٦,٧	التخفيض في عدد ساعات العمل المطلوبة لإنتاج طن من الفولاذ مع تقدم تقنية تصنيع الفولاذ.	٥٤٤
٦,٨	مقارنة بين ترتيب الدول المنتجة للفولاذ في عامي ١٩٧٣م و ١٩٨٣م وكميات الفولاذ المنتج في هذين العامين.	٥٦٥
٦,٩	أهم الدول المنتجة للفولاذ عام ١٩٧٥م.	٥٦٧
٧,١	أجهزة تجميع الحبيبات الجامدة وكفاءة كل منها.	٥٨٢

رقم الجدول رقم الصفحة

٧,٢ المواد المستخدمة في تصنيع أكياس الترشيح وأهم خواصها. ٥٩٠

٧,٣ الشروط المطلوبة للعمليات المختلفة لتصنيع غاز ثاني أكسيد الكبريت. ٦١٠

٧,٤ علاقة كفاءة إزالة غاز ثاني أكسيد الكبريت وتركيزه في الغازات المعالجة ٦١٧

٧,٥ الوحدات المستهلكة لحرارة الغازات في مصانع الحديد والفولاذ ومتوسط الاستهلاك لكل وحدة ٦٢٣

٧,٦ الأبعاد القياسية لأحواض التغليظ ٦٢٩

جداول الملاحق

رقم الصفحة

١ مقارنة بين إنتاجية الأفران القديمة التي استخدمت لصناعة الحديد. ..٦٤١

٢ تأثير إزالة الحبيبات الدقيقة من شحنة الفرن العالي .على زيادة الإنتاجية ٦٤١

٣ تأثير نوع كريات خام الحديد في شحنة الفرن العالي على أداء الفرن. ...٦٤٢

٤ نسبة الاتزان بين أول أكسيد الكربون/ثاني أكسيد الكربون في وجود الجرافيت عند درجات الحرارة المختلفة. ٦٤٢

٥ أبعاد الفرن العالي الذي ينتج ٢٠٠٠ طن من حديد التمساح في اليوم ويلاحظ أن الحجم الداخلي الكلي الفعال٢٠٠٠ م٣ . .....٦٤٣

٦ أشهر الأفران العالية الضخمة في العالم ٦٤٣

٧ بعض التركيبات النموذجية لأنواع حديد التمساح المنتج في مناطق مختلفة من العالم . ٦٤٤

٨ التركيب الكيميائي لفولاذ العدد (بريطاني الصنع) ٦٤٦

٩ التركيب الكيميائي لفولاذ العدد (أمريكي الصنع) ٦٤٩

١٠ بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية لفلز التنجستن. ٦٥٢

١١ بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية لعنصر السيلكون. ٦٥٣

١٢ بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية لفلز الموليبدنوم. ٦٥٤

١٣ التركيب الكيميائي لعدد من سبائك الفولاذ الفريتي. المقاوم للتآكل ٦٥٥

١٤ التركيب الكيميائي الاسمي لعدد مختار من سبائك الفولاذ المقاوم للتآكل شبه الأوستونيتي القابلة للتصلد بالترسيب.....٦٥٦

رقم الصفحة

١٥ التركيب الكيميائي الاسمي لعـــدد من سبائك الفولاذ المارتنـــزيتي المقـــاوم للتآكل المصلدة بالترسيب ٦٥٧
١٦ التركيب الكيميائي لبعض سبائك النيكل المتفوقة ٦٥٨
١٦أ سبائك النيكل المتفوقة الطروقة ٦٥٨
١٦ب سبائك النيكل المتفوقة المصبوبة ٦٥٨
١٧ التركيب الكيميائي لبعض سبائك الكوبلت المتفوقة ٦٥٩
١٧أ سبائك الكوبلت المتفوقة الطروقة ٦٥٩
١٧ب سبائك الكوبلت المتفوقة المصبوبة ٦٥٩