

鑄鉄鑄物製造現場の Q&A

はじめに

日本の鋳造業界はここ数年の間にリーマンショック、東日本大震災、長引いた円高、現在でも苦勞している電気料金の高騰などものづくりの危機を体験してまいりました。このような時代背景を基に本年経済産業省より新素形材産業ビジョンが発行され中長期的な素形材産業のあり方が示されました。これを受け一般社団法人日本鋳造協会では鋳造産業ビジョンを策定中です。この中で最も重要な項目の一つが「世界で勝てる技術力を持つ」であります。この「技術力」は世界の最先端技術のみを指している訳ではありません。鋳造現場で日々発生する問題解決も「技術力」です。

鋳造は他の加工法とは比較にならない多くの技術分野の知識が必要で、暗黙知が多く存在しているのも事実です。鋳造に関する多くの知識を修得した人材を育て、暗黙知を形式知化し生産工程管理を高度化し高付加価値の鋳物を効率よくお客様にお届けすることも「世界で勝てる技術力を持つ」こととなります。

さて、一般社団法人日本鋳造協会では前身の旧社団法人日本鋳物工業会当時から長きにわたり、現場技術者の技術力の向上を目的に「鋳造技術研修会」を開催してまいりました。この研修会では、通常の研修会と異なり、現場からの様々な質問に対して講師が回答する時間を設けていました。そこでは、たいへん多くの質問が出され、各事業所や現場で同じような問題、課題を抱えながら、ひとりで悩み苦しんでいる現場の鋳造技術者の姿が見えていました。

このような経緯から、鋳造技術研修会で講師をされた故園 清見先生をはじめとして、多くの先生方から、「技術・技能」の正しい伝承として、この貴重な生の情報を鋳造に携わる方々に役立てていただくために「Q&A」集を編纂したいという声があがり、「Q&A 編集委員会」を新たに立ち上げ、約 3 年の歳月をかけてようやく刊行されるに至ったものです。

本書は、これまでに開催された現場技術者のための鋳造技術研修会において、知識と経験が豊富な講師の方々が、回答されてきた 800 問以上の「Q&A」の中から、厳選した約 500 問の設問に対して、鋳造現場での実務に十分に活用できる内容に再編集いたしました。

本書には、類似した質問がたくさんあり、それだけ鋳物造りの難しさがありますが、その回答も着眼点を変えて、できるだけ解りやすく丁寧に解説しています。微妙な言葉の表現を読み取っていただきたいと思います。

また、本書は、鋳鉄鋳物の全分野にわたる様々な疑問に対して、回答だけでなく、解説もしています。したがって、本書を熟読することは、皆様にとっても大変勉強になるものと信じます。

同じ鋳物製品を造るために 100 社 100 種の鋳造方案があると聞きます。つまり、自分の工場や自分の職場に合った答えがある筈です。本書によって、その答えを引き出していただければ幸いに思います。また、本書の回答をそのまま鵜呑みにすることなく、自分の製造現場に合うようにアレンジして活用し、応用していただきければ、さらなる発展が望めるものと思います。

編集委員長をはじめとして、委員の先生方々や事務局の方には、お忙しい中、並々ならぬ協力をいただきました。その御苦勞に対して、ここに感謝を申し上げます。

今回のこの「鋳鉄鋳物製造現場の Q&A」が皆様方の鋳物造りの現場へ一助となれば幸甚に思います。

平成 25 年 12 月
一般社団法人 日本鋳造協会
技術部会部会長 斎藤 勝広

技術部会 技術普及委員会

	氏名	所属
委員長	鈴木 伸二	(一社)日本鑄造協会 技術顧問
委員	納谷 喜郎	川口鑄物技術センター委員
委員	竹内 純一	新東工業(株) 顧問
委員	張 博	(有)張技術事務所 所長
委員	小林 良紀	小林技術士事務所 所長
委員	伊勢木 洋昭	(有)ハイ・キャスト 代表取締役
委員	櫻井 俊昭	浅間技研工業(株) 社友
委員	荒井 信治	前川口金属株式会社役員
委員	佐藤 兼弘	(一社)日本鑄造協会 技術顧問
(委員)	園 清見(故人)	(一社)日本鑄造協会 技術顧問

—本書の使い方—

(1) 鑄鉄鑄造現場での疑問の解決

本書は、鑄鉄鑄造現場での作業において、生じた疑問に対して、専門の講師の先生方がご自分の経験と幅広い知識を駆使して回答されたものを取りまとめたものです。したがって、目次は、質問者が質問用紙に記載してきた内容を極力再現しています。場合によっては、質問者の補足説明もいれています。

目次の中から皆さんの疑問にあうものがあれば、その回答を熟読されて、参考にしてください。また、比較的同じ内容のものでも別の質問としてあえて取り上げたものもあります。同じような質問でも見方を変えた回答として参考にしてください。

(2) 関連質問番号の参照

回答文中に「Q〇〇〇・・・を参照」とあるのは、関連した項目です。一度目を通されることをお勧めします。

(3) 乱読の勧め

本書の内容は、材料、溶解、造型、仕上げ等、章ごとに分けてまとめています。また、原則として、質問番号ごとに完結しています。したがって、どこから読まれても問題ありませんが、まず第一に自分の業務分野、次に他の業務分野、そして最後に全体を通して読んでください。問題を解決手段は、自分の業務分野ではなく、他の分野の影響があるかもしれません。設問内容においては、同じことを繰り返して回答しているものもあります。つまり、それだけ重要であるということです。単に問題解決の手段ではなく、新しい知識を得る手段として利用してください。

(4) 索引に関して

1) 複数ページの引用

本書は基本的に1つの質問と回答で完結しています。したがって、同じ内容の用語が各所に繰り返し出てきます。そのため、索引の引用ページも複数挙げている用語もあります。同じ用語でも各ページで説明や対処方法が異なる場合もあります。できれば、1ページずつ対応するページを開き、回答を読んでください。

2) 索引への引用ページ数を少なくするために、極力サブ索引を作成しています。つきましては、いくつかの方法で必要な用語を探してください。

例えば、「耐火材の密度」を検索する場合、以下の3種類の場合が考えられます。

- ①耐火材の密度
- ②密度－耐火材の
- ③耐火材－密度

3) 数式の索引

本書には、数多くの数式があります。これも重要と考えて、索引の後半に回帰式・計算式という項目で、極力数式も検索できるようにしています。参考にしてください。

4) 図表の索引

本書の索引には、図表の説明も取り入れたものになっています。索引の最後に図表という項目で本書内に掲載された図表を示しています。計算式同様に活用してください。

—目次—

1. 材 質

1.1 共通項目

1.1.1 組織

- Q001: Fe-C 系平衡状態図
- Q002: 元素記号と周期表
- Q003: 冷却速度による黒鉛形状の相違
- Q004: 鑄鉄の共析温度に与える諸元素の影響

1.1.2 性質

- Q005: FC と FCD の見分けかた
- Q006: 鑄鉄の硬さ及び機械的性質は予測できるか？
- Q007: 軟らかい材質とは、組織がどのように変化するのか？
- Q008: 鑄鉄鑄物の肉厚感受性
- Q009: FC 材と FCD 材の特長と用途(使用場所)

1.2 ねずみ鑄鉄

1.2.1 組織

- Q010: 鑄鉄の成長とは
- Q011: FC200 材の加工性
- Q012: FC250 から FC300 にするには Mo 添加以外には何があるのか？
- Q013: FC 材は鑄込温度が高いと焼着き、低いと鑄肌が悪くなる理由

1.2.2 性質

- Q014: FC 材におけるステダイトの晶出と P 含有のデメリット
- Q015: 鑄鉄の圧縮強さの特徴
- Q016: 密度の高い鑄鉄の製造
- Q017: 鑄鉄が機械装置のフレームやベースに多用されるのは何故か？
- Q018: FC250 のサルファプリント

1.3 球状黒鉛鑄鉄

1.3.1 組織

- Q019: 球状黒鉛鑄鉄の黒鉛はなぜ丸くなるのか？
- Q020: FCD 鑄造品における部分的黒鉛球状化不良の原因
- Q021: 残留 Mg 量の分析精度
- Q022: FCD450 の引張強さを維持するための Cu 添加量は
- Q023: 球状黒鉛鑄鉄中の元素の許容限度
- Q024: 高強度 FCD (FCD600~FCD800)の製造方法
- Q025: 伸び 25%以上を確保する FCD 材の製造法
- Q026: 伸び 18%の FCD400 の製造方法について
- Q027: FCD 材の凝固時の膨張機構
- Q028: FCD 材で例えば、S が 0%だと球状黒鉛にはならないのか？
- Q029: FCD400/伸び 18%材への適正原材料と接種要領
- Q030: 伸び 18%の FCD400 材の耐力不足に対し、Mn 添加量を 0.16%から 0.2%にすると効果は？
- Q031: FCD において Mg 量が少なくなると引張り、伸びは下がるのか？
- Q032: 引張強さ>490N/mm², 耐力>320N/mm², 伸び>12% の特性をもつ FCD 材
- Q033: 機械的性質の伸びの安定性

1.3.2 性質

- Q034: 鑄放しによる耐低温衝撃性に優れた FCD350 の製造
- Q035: FCD 材の低温脆性
- Q036: 球状化不良の原因と対策
- Q037: FCD 材の低温韌性に影響を与える要因

- Q038: チャンキー黒鉛と爆発状黒鉛の違いは？
Q039: FCD450 と FCD600 では凝固時間が変わるのか？
Q040: 厚肉製品の硬度、強度変化及び実体強度(引張強さ、衝撃特性)
Q041: 球状黒鉛鑄鉄の用途開発

1.4 CV 黒鉛鑄鉄

- Q042: CV 黒鉛鑄鉄とはどんな鑄鉄か？
Q043: CV 黒鉛鑄鉄の機械加工での面粗度が悪い理由

1.5 合金鑄鉄

- Q044: 低熱膨張合金鑄物
Q045: 高合金耐熱鑄鉄

1.5.1 オーステンパ球状黒鉛鑄鉄

- Q046: 「オーステンパ球状黒鉛鑄鉄」はどんな鑄鉄か？
Q047: オーステンパ球状黒鉛鑄鉄(ADI)の水脆化

1.5.2 耐熱鑄鉄

- Q048: 耐熱性の良い鑄鉄を造りたい

1.5.3 オーステナイト鑄鉄(ニレジスト鑄鉄)

- Q049: ニレジスト鑄鉄の成分と物理的性質

1.5.4 耐摩耗鑄鉄

- Q050: 工作機械の耐摩耗性
Q051: 耐摩耗性研磨板
Q052: ある程度の靱性と耐摩耗性を有する高硬度白鑄鉄
Q053: 白鑄鉄の製造
Q054: 耐摩耗性を増すための硬化法は、何があるか？
Q055: チルド鑄物の製造
Q056: 鑄鉄製シリンダライナ

1.5.5 低熱膨張鑄鉄

- Q057: 低熱膨張鑄鉄の溶解手順と低コスト化の方法

2. 溶解

2.1 共通項目

2.1.1 炉の種類、構造、特徴

- Q058: キュポラ溶解と電気炉溶解の大きな違いは何か？
Q059: キュポラと誘導電気炉の溶湯性状の違い
Q060: 高周波誘導炉と低周波誘導炉の区分と共通する省エネ方法
Q061: 低周波誘導炉とキュポラとの溶湯性状の相違
Q062: 誘導電気炉の実操業中の諸問題

2.1.2 溶解操業

- Q063: CE メータによる溶湯管理
Q064: 誘導電気炉操業における溶湯成分の調整方法
Q065: 溶解炉によって鑄鉄の黒鉛化、凝固・収縮に差が出るか？
Q066: チル試験の標準作業
Q067: 炉前、球状化処理後の溶湯管理として何が必要なのか？
Q068: 溶湯の湯面模様の判定とその発生機構
Q069: 溶湯内の SiO₂ の挙動と溶湯の色
Q070: チル試験の特徴と方法
Q071: 溶湯の色による肉眼による溶湯温度鑑別法
Q072: 超音波による球状黒鉛鑄鉄の迅速な黒鉛球状化率判定方法
Q073: 溶湯中の元素の酸化の順序

2.1.3 溶湯管理

- Q074: 誘導電気炉における FC 材の湯がキュポラの溶湯より硬くなった理由

Q075: 3%C-2.3%Si の共晶鑄鉄の酸素量と温度の関係

Q076: キュポラ-低周波誘導炉の二重溶解の場合の溶湯の性質の変化

2.1.4 その他

Q077: 流動性がよく不純物等の湯流れ阻害要因が少ない湯の条件

Q078: 溶湯のガス含有量が少ないこと

Q079: 銑鉄の使用及びその他溶湯性状の定量的判定方法

Q080: 溶解炉の耐火材

Q081: P の含有量に注意

2.2 誘導電気炉溶解

2.2.1 溶解作業

Q082: 効率的な溶解による電力費低減方法

Q083: 熱効率を高く電力量原単位の低い溶解方法は？

Q084: 高周波誘導炉において速く溶解する方法

Q085: 誘導電気炉における最高溶解温度は？

Q086: 電気炉の耐火物を長持ちさせる溶解方法

Q087: 電気炉のライニング寿命延長対策

Q088: 溶湯中の P の切削性及び硬度への影響

Q089: 電気炉溶解における FCD300 相当材の引け防止策

Q090: FCD 材の原材料の選択と溶解

Q091: 溶湯中に Mn が固溶すると硬度が上がる理由

Q092: 溶解で FCD450 を作る時、戻り屑の使用は何%まで可能か？

Q093: のろの発生を少なくする方法

Q094: 薄肉 FCD(肉厚 3~4mm)を鑄造する場合の溶解条件

Q095: のろかみを少なくするために気をつける溶解作業について

Q096: 低周波誘導炉の最適材料投入順序

Q097: 電気炉溶解における Ni, Cu, Mo 等の添加条件と歩留りについて

Q098: 材料の最適投入順序

Q099: 合わせ湯で FC200 以上の材質を得る方法

Q100: 誘導電気炉用耐火物

Q101: 停電時における誘導電気炉のチャンネル部の凝固防止

2.2.2 溶湯管理

Q102: SiC の使用に関して

Q103: 引けが出にくい FCD 溶湯にするための留意点

Q104: 低周波誘導炉溶湯で発生する欠陥

Q105: 溶湯中の酸素量と黒鉛核

Q106: 複数の材質を溶解しているとき、残湯の処理は？

Q107: 出湯成分の最適値は？

Q108: 溶湯中の成分

Q109: 敏感な湯と鈍感な湯とは何か？

Q110: ダライ粉投入による湯の性状への影響

Q111: 炉の焼結に用いた溶湯を FCD の湯に用いるときの問題点

Q112: 溶湯の酸化

Q113: FC250 の湯を炉前で FC300、FC200 には出来ないか

Q114: 電気炉築炉時のシンター後の溶湯処理方法

Q115: 炉壁、取鍋の安価な補修方法

Q116: 鑄物工場への溶湯の運搬

Q117: 電気炉の寿命について

Q118: 低周波誘導炉に供される耐火物に要求される特性

Q119: 硬い湯と軟らかい湯

Q120: 低周波誘導炉の夜間保持と炉壁の浸食

- Q121: 鋳物用銑鉄を使用しない場合に起こり得る材質特性
- Q122: Zn 鋼板の使用方法和ガス欠陥の限界
- Q123: 製品硬度のばらつきを少なくするための溶湯成分等での管理方法

2.3 キュポラ溶解

- Q124: 適切なキュポラ操業の要点
- Q125: キュポラ溶解における溶湯の酸化防止策
- Q126: キュポラにおけるスチール缶スクラップの利用
- Q127: キュポラの安定操業に関するいくつかの指針
- Q128: キュポラの炉床用の砂
- Q129: 冶金用コークス使用時の配合率、操業条件
- Q130: キュポラ溶解に起因する鑄造欠陥
- Q131: キュポラ溶解のため窒素ガスの許容溶解量は？
- Q132: セラミックフィルタを返り屑と一緒に再溶解しても炉体に影響はないか？

2.4 地金・原材料

2.4.1 主要材料

- Q133: スクラップ中の Zn、Mn、Mo 等の増加による鑄物品質への影響と対策
- Q134: 溶解原材料として鋼屑の配合割合を増やした場合に生じる不具合とその対策
- Q135: ダライ粉を使用する上での諸問題

2.4.2 合金鉄 (FeSi、FeMn など)

- Q136: 高 Mn 鋼板スクラップの動向
- Q137: 製品に問題を生じない FCD500 の Mn 含有量の許容値は？
- Q138: 回収した FCD450 の戻り屑をそのまま再溶解すれば、また FCD450 になるのか？
- Q139: Mn 低減方法(酸化鉄の使用方法)

2.4.3 地金 (スクラップ) の汚染

- Q140: スクラップ汚染の現状と FCD に及ぼす影響

2.4.4 その他

- Q141: 溶解原材料の高騰による原価低減策
- Q142: 溶湯の酸化膜低減方法 (ドロス対策を含む)
- Q143: 原材料や副資材の高騰への対処方法(使用量削減)
- Q144: 油分の多い鋼屑あるいはダライ粉使用による炉体及び溶湯への影響
- Q145: ファイヤライト

3. 溶湯処理

3.1 接種

3.1.1 接種機構

- Q146: 接種作用と接種効果の評価
- Q147: 球状黒鉛鑄鉄の製造時に後期接種をする理由
- Q148: 接種に関係する諸問題

3.1.2 接種剤

- Q149: 適切な接種剤の選択法
- Q150: FC 溶湯に強い接種をすると引け傾向が大きくなる場合がある
- Q151: 溶解における種々の接種剤の効能
- Q152: 種々の接種剤の効能
- Q153: 接種と接種剤
- Q154: 接種方法と接種剤

3.1.3 接種方法

- Q155: 適切な接種方法
- Q156: 接種工程以前に黒鉛粒数を増やす技術的な事項
- Q157: FCD の球状化率を 90%以上にキープするにはどうすべきか？
- Q158: 注湯流接種を行いたいが、どの様な治具を作成すれば良いか？

3.2 黒鉛球状化

3.2.1 黒鉛球状化剤

Q159:黒鉛球状化剤中の Mg 量が黒鉛形態に及ぼす影響

Q160:黒鉛球状化剤

3.2.2 添加方法

Q161:球状化処理用取鍋のポケットにのろが付着しにくくなる方法

Q162:球状化処理のためのカバー材の種類と添加量

Q163:FCD 処理で Si 系カバー材のほうが Mg の歩留りが上がる？

3.2.3 添加量とばらつき

Q164:厚肉 FCD 材の中心部の異常黒鉛化(チャンキー黒鉛など)対策

Q165:サンドイッチ法による残留 Mg の歩留り向上方法

3.2.4 レアアースの低減

Q166:最近のレアアース関連の問題

Q167:溶湯処理におけるレアアース低減の影響

4. 鑄込み・注湯

4.1 取鍋の種類と製作

Q168:取鍋内溶湯の温度を低下しにくくする取鍋材やアイテムはないのか？

Q169:取鍋のライニングの種類

Q170:パッチング材の成分

Q171:出湯口や取鍋に黒鉛をぬる理由は、単に傷みにくくするためか？

Q172:取鍋内壁の部分補修方法は？

Q173:取鍋の予熱方法

4.2 注湯温度と注湯時間

Q174:注湯温度の大事なところ

Q175:注湯方法の大事なところと発生する不具合

Q176:FC および FCD の最適鑄込温度

Q177:何故、注湯は「静かに速く」が重要なのか？

4.3 フェイディング

Q178:低 RE の Mg 球状化剤で鑄造する場合のフェイディング時間を長くする方法は？

Q179:球状黒鉛鑄鉄品のフェイディング時間を長くする方法は？

4.4 注湯・鑄込み作業の管理項目

Q180:溶解温度、鑄込温度、鑄込速度が製品に及ぼす影響

Q181:堰鉢に溶湯を入れ鑄型に(湯口から) 溶湯が入る際に渦を巻く

Q182:鑄物の張り気対策

Q183:溶解・注湯作業のポイント

4.5 自動注湯機

Q184:FCD 用の自動注湯機

Q185:圧力ポンプ式自動注湯機

Q186:ストップロッド付き取鍋方式

Q187:取鍋傾動式自動注湯機

4.6 その他

Q188:鑄込み作業をスピードアップする装置

Q189:注湯中のキャビティ内の爆発対策としてガス抜き以外に効果的な対策

Q190:鑄込み作業場にもコンクリートの床が使われる

5. 造型・砂処理

5.1 鑄枠の種類・材質

5.1.1 ピン・クランプ

Q191:型ズレの原因と対策

5.1.2 離型材

- Q192: 離型剤に含まれる成分と離型のメカニズム
- Q193: 抜型のための離型剤、離型方法

5.2 生型造型法

- Q194: シリカプログラムとオーリチックスについて
- Q195: 生砂の砂質管理方法
- Q196: 造型時砂詰まりの悪い、しま部等の改善方法
- Q197: 生型における効果的なガス不良対策
- Q198: 鑄造工場での脱クロマイト対策
- Q199: 鑄物砂における粒度と熱膨張の関係
- Q200: 生型自動造型ラインのメリット及びデメリット
- Q201: サンドメタル比が 8 程度のコールドボックス中子砂の限界混入量と砂性状への影響

5.3 その他の鑄造型法

5.3.1 ガス硬化鑄型

- Q202: β セットは、硬化後長く放置するとガス発生量は減少するか？硬化は進むのか？
- Q203: CO₂ 中子は、造型後何日以内に使用するのが良いか？
- Q204: β セットは、混練後の中子砂を一日置いておくと赤くなる理由は何か？
- Q205: β セットは α セットに比べガスの発生量が多い理由

5.3.2 自硬性鑄型法

- Q206: 自硬性鑄型の鑄込温度
- Q207: 自硬性鑄型のブローホール対策
- Q208: 自硬性鑄型における偏肉鑄物の造型時の鑄造不良防止対策法
- Q209: 鑄型のなりよりの性
- Q210: 自硬性鑄型に起因する不具合(ガス欠陥、面引け)

5.3.3 フラン造型法

- Q211: フラン鑄型の欠陥対策
- Q212: フラン造型において少ない樹脂量で強度を出す方法
- Q213: フラン鑄型に注湯後に発生するガスの成分
- Q214: フラン鑄型の性状が FCD 材製造時に表面組織に及ぼす影響
- Q215: フラン鑄型製造上の注意
- Q216: フラン砂の強熱減量(イグロス = L.O.I.)値の許容範囲
- Q217: フラン鑄型での焼着き対策
- Q218: フラン鑄型におけるガス欠陥防止方法

5.3.4 シェルモールド法

- Q219 中子のくびれ部に生じるバリ
- Q220: シェル鑄型で焼きの甘いものは焼着きの原因になるのか？
- Q221: シェルモールド法の不良発生原因とその対策
- Q222: シェル鑄型などから出るガスの成分は？
- Q223: シェル中子造型の技術、作業、設備面における管理ポイントは？

5.3.5 人工砂

- Q224: 人工砂+アルカリフェノールバインダにおける引け巣発生原因と対策
- Q225: けい砂に人工砂をブレンドした場合の効果と人工砂の種類

5.3.6 消失模型プロセス法

- Q226: フルモールド化の状況
- Q227: 消失模型鑄造品の鑄抜き穴の検査見逃し
- Q228: フルモールドの鑄造法とロストフォーム鑄造法
- Q229: 「消失模型鑄造法」とは何か、そしてそのメリットとデメリットは？
- Q230: 消失模型鑄造品の内部欠陥による加工後の巣
- Q231: 消失模型鑄造法における湯じわ、湯境の不良等の湯流れに起因する不良対策
- Q232: 消失模型鑄造法における不良原因とその対策

- Q233:フルモールド鑄造法における砂かみの原因と対策
- Q234:フルモールド鑄造法におけるドロスの原因と対策
- Q235:フルモールド鑄造法における鑄肌不良(残渣,すず欠陥)の原因と対策
- Q236:フルモールド鑄造法における塗型すくわれの原因と対策
- Q237:フルモールド鑄造法における塗型飛ばされの原因と対策
- Q238:フルモールド鑄造法における焼着きの原因と対策

5.3.7 その他

- Q239:中子のガス欠陥防止方法
- Q240:凍結鑄造における効果的な不良対策(ガス、きらい不良)(鑄肌不良)

5.4 塗型

5.4.1 鑄型と塗型の種類

- Q241:有機自硬性鑄型で製造する大型鑄物のピンホール欠陥に効果的な塗型剤は？
- Q242:アルコール性ジルコン塗型による欠陥は何か？
- Q243:工作機械鑄物の引け巣欠陥、中子砂の焼着き、材質の硬度不足の欠陥対策
- Q244:耐焼着き性、崩壊性、ガス発生抑制可能な砂または塗型剤

5.4.2 塗布方法

- Q245:塗型不良による焼着きについて、事例の紹介とその注意点
- Q246:中子にアルコール性塗型を2回したらボロボロになった
- Q247:塗布方法の種類と比較

5.4.3 乾燥方法

- Q248:アルコール性塗型の乾燥時間・塗型の濃度
- Q249:自硬性鑄型の熱風乾燥の重要性について

5.4.4 塗型作業における品質特性・管理特性

- Q250:黒鉛系塗型剤は攪拌しないと酸性化して焼着きの原因になる理由は？

5.5 調砂・砂処理

5.5.1 鑄型材料(砂、粘結材、添加材)

- Q251:焼き砂と新砂との違い
- Q252:ベントナイトの添加方法と時期など

5.5.2 鑄物砂の調整

- Q253:製品の大小が混流している場合、砂のばらつきを小さくするには何が有効か？
- Q254:混練に必要な時間
- Q255:砂の混練条件
- Q256:システムサンドの量と質の安定化及び改善例
- Q257:鑄物砂の強度の確保
- Q258:薄肉球状黒鉛鑄鉄(肉厚3~4mm)を鑄造する場合の条件
- Q259:夏場での鑄物砂の水分を保つ方法
- Q260:砂の粒度は細かいのが良いのか、2種の粒度を混ぜるのが良いのか？

5.5.3 鑄物砂の試験方法・管理項目

- Q261:生砂の通気度の標準はどのくらいか？
- Q262:鑄物砂の湿態抗圧力15.5~16.5N/cm²の妥当性と高過ぎる場合の弊害

5.5.4 砂の回収および再生

- Q263:混練前の砂温低下方法

6. 鑄造方案

6.1 模型方案

- Q264:FC, FCD材の造型における模型材料と型寿命

6.2 湯口方案

6.2.1 湯口方案

- Q265:鑄造方案設計での注意点
- Q266:湯口比

- Q267: 流動長さに及ぼす要因
Q268: 湯口底の効果はどの程度あるのか？また、平形状と球形状のどちらが良いのか？
Q269: 鑄造方で堰を付ける場所の基本は？
Q270: FC と FCD の押湯への堰形状
Q271: 堰とスリーブ (陶管) の違い

6.2.2 鑄込温度

- Q272: 鑄込温度による引け巣の違い
Q273: 鑄物のモジュラス MS と肉厚 T の関係

6.2.3 鑄込時間

- Q274: 鑄込時間と鑄込重量との関係
Q275: 鑄込時間の求め方

6.3 押湯方案

6.3.1 押湯の目的と役目

- Q276: 引け巣対策として効果的な方案、堰形状、押湯形状は？
Q277: FCD の製品で発生する引け巣に対する方案は？

6.3.2 押湯の種類

- Q278: サイド押湯の理屈
Q279: FC 材と FCD 材の押湯に違いがあるのか？
Q280: FCD 材の押湯の径に対するネックの大きさと厚み
Q281: サイド押湯で製品と押湯の距離の決め方

6.3.3 押湯スリーブ

- Q282: スリーブ (発熱または断熱) の設置
Q283: スリーブ中にガスが溜まり、その中に溶湯が上がらないことがあるか？
Q284: FC、FCD に使用する大量のスリーブが返り材に混入した時の元湯への影響は？
Q285: スリーブを使用したときの歩留り 90% は可能であるか？

6.3.4 押湯の大きさの決定

- Q286: 押湯の有効範囲と発熱スリーブの数の決定法
Q287: FCD の押湯の大きさ(Mr)と押湯の有効範囲

6.4 無押湯方案

- Q288: 無押湯鑄物製造の有効性
Q289: 安全弁押湯とは

6.5 ガス抜きと揚がり

- Q290: 中子のガス抜き方法
Q291: 中子からの発生ガスと引け巣の関係
Q292: 複数の中子が入る製品に対するガス抜き方案(自硬性鑄型)
Q293: 揚がりの付け方

6.6 冷し金

6.6.1 冷し金

- Q294: 冷し金の使用目的
Q295: 冷し金の選定と使用時のメリット・デメリット及び使用例
Q296: 冷し金の使用基準
Q297: チルの深さと冷し金の厚さ、その他の要因との相互関係
Q298: 冷し金の材質と必要な性質
Q299: 冷し金の使用方法(肉厚、有効範囲などを含めて)
Q300: FCD 材の部分硬化における Bi 添加と冷し金の使い方
Q301: 砂を介しての間接的に冷し金を当てる場合の砂厚
Q302: 冷し金を使った厚肉製品で見つかる加工時の巣

6.6.2 黒鉛冷し

- Q303: 黒鉛冷しの有効距離(表面から何 cm)は？
Q304: 下型下部の堰前に使用した場合の黒鉛冷しの効果は？逆に保温材になるのでは？

6.7 鑄造方案例

6.7.1 横型鑄造方案

- Q305: FC200 材の肉厚変動部の表面や内部の引け巣発生に対する対策
- Q306: 円盤・回転体形状の厚肉鑄物の歩留り向上策
- Q307: 長尺板状製品の湯道方案と曲がりの発生と対策(その 1)
- Q308: 長尺板状製品の湯道方案と曲がりの発生と対策(その 2)
- Q309: FC300 の厚肉部に生じた引け巣対策
- Q310: 小物多数個込めの鑄造方案
- Q311: 肉厚差のある引け巣対策(冷し金使用不可)
- Q312: のろ(不純物)の入りにくい方案

6.7.2 縦型鑄造方案

- Q313: 縦型鑄造の方案設計の考え方(流速・溶湯ヘッド圧・流量制御等)
- Q314: 縦込め生型ラインの FC、FCD 材の湯道方案設計と歩留り向上策(多数個 MAX)
- Q315: 縦込め方案における引け巣対策事例
- Q316: DISA 造型機による製品の真円度

6.8 フィルタ(ストレーナ)

- Q317: セラミックフィルタの選定、使用時のメリット・デメリット及び使用事例
- Q318: フィルタ(セデックス)の耐熱性、耐久性
- Q319: 溶湯の粘性とぬれ性が良い酸化物フィルタの補足率との相関性
- Q320: 各社のフィルタの圧縮強度

6.9 ケレン

- Q321: 鑄鉄鑄物用のケレン(中子押さえ)
- Q322: ケレンが問題を起こす

6.10 凝固解析・湯流れ解析

6.10.1 湯流れ

- Q323: 鑄鉄の湯流れ性
- Q324: 鑄鉄の溶湯温度と粘性の関係

6.10.2 凝固解析

- Q325: 凝固解析の効果的活用法
- Q326: 凝固シミュレーションによる FCD 材の引け巣対処方法
- Q327: 鑄型内の空気やガスを溶湯内に巻き込む(巣)欠陥の位置予想のシミュレーション技術
- Q328: シミュレーションソフト(CAE)の現状と今後の動向

6.11 その他

- Q329: 厚肉の板状の鑄物に発生する「吹寄せ」欠陥の対策法
- Q330: 湯口方案が悪いと引け巣ができる

7. 鑄造品の限界製造方法

- Q331: FC 材による薄肉鑄物(4~5mm)製造の管理ポイントは?
- Q332: 鑄鉄鑄物の薄肉の限界
- Q333: 肉厚 5mm の薄肉鑄物を鑄造する時に良い方法は?
- Q334: 鑄物品の鑄造可能な穴の直径や深さの限界
- Q335: 薄肉高延性球状黒鉛鑄鉄(曲がる鑄物)

8. 鑄仕上げ

8.1 型ばらし・解枠

- Q336: 製品の形状重量に対する冷却時間・型ばらしまでの時間の関係
- Q337: FC 厚肉製品の解枠が遅すぎるとフェライト化が進み、き裂や硬度低下を招くか?

9. 熱処理

- Q338: FC の内部応力除去

Q339:FC300 材、肉厚 100mm の製品を応力除去焼鈍後、ショットブラストで研掃しても良いか？

Q340:FC 材の加工変形の防止策

Q341:焼鈍工程での理想的温度

10. 鑄造欠陥とその対策

10.1 材質・熱処理

10.1.1 異常組織

Q342:球状化不良を阻止する方法

Q343:黒皮下のフェライト発生防止対策

Q344:FC の試験片における D 型黒鉛の混在組織の原因

Q345:鑄物品の浸食、腐食の原因と対策(FCD 鑄物上を異種金属の溶解物が流れる場合)

Q346:鑄物表面の赤錆発生原因と対策

Q347:鑄鉄品の冷却速度の違いによる黒鉛形状

10.1.2 硬さ、引張強さ

Q348:厚肉 FC 材に発生するハードスポットの原因

Q349:カーボンブロックの設置による材質的な問題はないのか

Q350:工作機械鑄物製品の硬度不足の対策として、Sn の有効性

Q351:鑄型の冷却速度による硬度差を防ぐ方法

10.2 化学成分

10.2.1 5 元素(C, Si, Mn, S, P)その他

Q352:Mg のフェイディングと過剰添加

Q353:ロシア銃に起因する引け

10.2.2 不純物、微量元素

Q354:鑄鉄中の微量元素とその影響

Q355:生砂(AVS)鑄造品でのガス欠陥と石炭粉の関係

Q356:鑄込み時のガス抜きの方法と重要性(巣対策)

Q357:筒型チルタペット内側のモットル部に発生する巣

Q358:チルタペットのチル部に発生するモットル (晶出黒鉛)の抑え方

Q359:FCD の引張強度を維持するため、元湯の元素を Cu から Mn へ変更できるか？

Q360:亜鉛を多く含む SS 材を使用したときに発生する鑄造欠陥

Q361:FCD における浮上黒鉛の原因とその影響

Q362:鉄の性質に及ぼす鉛の影響

Q363:Sn の効果(引張強さの上昇には逆効果なのでは？(0.1%まででも))

Q364:冷し金部に現れる“引け巣”の原因

10.3 鑄造欠陥とその対策

10.3.1 欠陥の究明の仕方と対策

Q365:鑄物には何故欠陥がつきものなのか？

Q366:一般的な不具合対策手順

Q367:製品不良の種類やその発生原因とその防止法

10.3.2 引け巣とガス欠陥の判定方法

Q368:ブローホールと引け巣の区別

Q369:ピンホールと引け巣の判定方法

Q370:FCD の押湯としての発熱スリーブのネック部付近の球状化不良とその防止策

10.3.3 堰先の鑄造欠陥とその対策

Q371:厚肉品の堰断面部のザク巣の原因と対策

Q372:肉厚 15mm 以上の製品の堰先での球状化率の低下の原因

10.3.4 その他

Q373:中子取りの吹込み口周辺への中子砂の“しみつき”

10.4 引け巣欠陥

10.4.1 引け巣発生の原因

- Q374: 引け巣の発生機構
- Q375: FCD450 材 (厚肉品、500kg) のボス上面に生じる引け巣対策
- Q376: 突然発生した引け巣に考えられる原因
- Q377: 凝固収縮によって生じる引け巣欠陥と対策

10.4.2 引け巣 (ザク巣)

- Q378: 厚肉鋳物の引け巣
- Q379: 押湯が不適当なための引け巣
- Q380: C 量の増加による鋳型壁の移動と引け巣の関係
- Q381: プレーキドラムにざく巣が生じる。
- Q382: 鋳鉄鋳物の欠陥を充填する注入剤
- Q383: 生砂における FC の外引けの要因と対策
- Q384: 中子面に発生する引け巣欠陥(きらい引け)
- Q385: 大型シリンダ鋳物の引け巣対策
- Q386: シリンダライナで多孔質性の引け巣が生じる。
- Q387: 鋳鉄定盤に粗晶組織がでる
- Q388: 引け巣対策でチルコート(Te 含有塗型)使用時の黒鉛や基地組織への影響
- Q389: 湯口を高くすれば引け巣は無くなるのか

10.5 表面欠陥

10.5.1 肌荒れ

- Q390: FC 鋳物の鋳肌改善
- Q391: 砂型の砂粒の間に金属が浸み込まずに鋳物ができるのは何故か?
- Q392: FC200 材の鋳肌改善策

10.5.2 すくわれ

- Q393: すくわれ欠陥の発生要因とその予防法

10.5.3 洗われ

- Q394: 洗われ不良を起こさせる方案

10.6 鋳型による表面欠陥

10.6.1 目差し(差し込み)

- Q395: 鋳鉄製ドラムに生じた差し込み不良
- Q396: 目差し不良対策
- Q397: マンホールの“肌荒れ”と“目差し”防止法

10.6.2 焼着き

- Q398: 注湯温度も 1400° C 以下で FC250 材のみで突発的に発生する焼着不良対策
- Q399: FC と FCD の焼着きの違い
- Q400: 焼着きの少ない鋳造法
- Q401: FC 製品の自動造型における焼着き不良対策
- Q402: 中子の“焼着き”防止対策
- Q403: 焼着き防止対策
- Q404: 油圧バルブ関係の焼着き
- Q405: 油圧バルブシエル中子の焼着き対策
- Q406: ホットスポット部の焼着き防止対策

10.7 ガスによる欠陥

- Q407: ガス欠陥対策でよい方法がないか?
- Q408: FCD450 材 (厚肉品) の上型面に生じるガス欠陥対策
- Q409: 造型時にがら砂を入れると、全体のガスの抜けは違ってくるのか?
- Q410: FCD のガス欠陥 (ピンホール、ブローホール)に対する溶湯の問題
- Q411: 鋳鉄品の O₂ 吸収量とガス欠陥
- Q412: 上型の特定箇所に生じるピンホール欠陥
- Q413: 鋳型や中子から逃すガス抜き用材料の種類とその具体例
- Q414: ガス欠陥の不良でガス穴を開けたら、穴の周りが余計ひどくなった。なぜか?

- Q415:季節によって出やすい不良はあるのか？
Q416:シリンダーブロックの“きれい”防止対策
Q417:シェルモールド法によるピンホール、ブローホールの発生原因と対策
Q418:シリンダライナのピンホールはガスによって生じる
Q419:ガス欠陥に対する対策と予防方法
Q420:シリンダボア内径に発生するピンホール不良
Q421:FCD の鋳造品の下型面に生じたピンホールの原因と対策
Q422:鑄ぐるみにおける欠陥とその防止方法
Q423:不適切な炉前処理に起因するガスの多い溶湯や合金鋳鉄に発生するピンホール
Q424:凹角部に生じるブローホール
Q425:あばた(オレンジピール)の原因は？

10.8 鑄ぐるみ欠陥

- Q426:鋳鉄に鋼板を鑄ぐるむ時の注意事項
Q427:鑄ぐるみには完全な融着が必要
Q428:パイプを鑄ぐるんだ鑄物試作

10.9 溶解・注湯法による欠陥

10.9.1 湯回り不良

- Q429: $t=2-3\text{mm}$ 、 $l=50\text{mm}$ 程度の FC 部材のシリンダ体のフィン部の湯回り不良
Q430:鋳鉄製ライナの斑点は冷却速度が原因
Q431:鑄物の湯回り不良

10.10 介在物による欠陥

10.10.1 砂かみ

- Q432:中子砂の“砂かみ”不良対策
Q433:砂かみ欠陥の対策と予防方法
Q434:生型砂の“砂かみ”不良対策

10.10.2 のろかみ

- Q435:のろかみ不良の原因と対策

10.10.3 ドロス

- Q436:ドロス欠陥とはどのような欠陥か？また、どのような原因で発生するのか？
Q437:溶湯の表面や溶湯中に湯垢(通称:あか、ドロス等)が生成しないキュポラ溶湯
Q438:FCD 材のインモールド法におけるドロス対策

10.11 熱ひずみによる欠陥

10.11.1 き裂

- Q439:肉厚変動の大きい FC200、FC300 材の割れ対策
Q440:熱間き裂と冷間き裂の原因と対策
Q441:熱間割れと冷間割れの原因と対策
Q442:鑄物のき裂の検出
Q443:厚さ 15cm を超える厚肉の亜共晶組成の FC 鑄物が稼働後短時間で破損に至った理由は？
Q444:FC 材の割れや外引け対策
Q445:熱衝撃がき裂の原因になるのか？

10.11.2 反り

- Q446:“反り”が起こる仕組み
Q447:鑄物の反りの発生
Q448:バルブ鑄物のフランジ反りの防止と反り代
Q449:ショットブラストは薄肉の鉄鑄物を反らせることがある

10.12 その他

10.12.1 打痕

- Q450:製品の打痕対策

10.12.2 塗型

- Q451:“塗型剥離”とその対策

10.12.3 チル（セメントait）

- Q452: 溶湯保持温度とくさびクリアチルの関係は
- Q453: チル深さ
- Q454: 薄肉鋳物の FCD 材の逆チル対策
- Q455: 逆チルについて
- Q456: 球状黒鉛鋳鉄品におけるセメントait化のメカニズム
- Q457: FCD 材のチル化対策
- Q458: FC200～300, FCD450 材の薄肉鋳物のチル防止方法
- Q459: 端面のチル防止法
- Q460: FC のチルと FCD のチルは同じか？

10.12.4 切削不良

- Q461: FC 材の切削性(工具寿命)に差が出るのは何故か
- Q462: FC200～FC250 の肉厚 10～15mm の鋳物で硬度が高く切削性が悪い
- Q463: パーライト量と切削性の関係
- Q464: 切削性の良い鋳物を造るには？

11. 品質保証・品質管理

11.1 試験・検査

11.1.1 分析試験・機械試験

- Q465: 溶湯の測温計器
- Q466: 鋳鉄の化学分析値にばらつきがある、その内容は？
- Q467: 蛍光 X 線分析装置による鋳鉄分析の信頼性

11.1.2 材料・材質検査

- Q468: シャルピー衝撃試験
- Q469: 鋳鉄は何故化学成分を JIS で規定していないのか？
- Q470: 鋳物の耐圧性テストの種々の方法
- Q471: 線膨張係数の測定方法と試験片形状
- Q472: 球状化不良の早急な発見方法はあるか？

11.1.3 破面検査

- Q473: 延性破壊、脆性破壊及び疲労破壊

11.2 品質保証

- Q474: 鋳造欠陥における原因と対策
- Q475: 鋳造不良の発生原因調査方法
- Q476: 添加元素及び黒鉛形状と透磁率との関係は？
- Q477: 自動車部品の軽量化の流れと鋳造欠陥の判定などの今後の管理面について
- Q478: 鋳物製造における問題点や困っていること
- Q479: 不良対策要員が減っている
- Q480: 作業者の不注意による不良の防止法

12. 作業環境と廃棄物

12.1 作業環境

12.1.1 粉じん・発煙

- Q481: 工場内粉じん対策
- Q482: FCD の球状化処理時の発煙処理対策

12.1.2 有害物質と臭気

- Q483: 鋳物工場の脱臭

12.2 安全

- Q484: 鋳物製造業の労働災害の現状
- Q485: 鋳造に関係する災害事例があったら教えてほしい

12.3 産業廃棄物

Q486: 鋳物産業廃棄物の溶融化とその利用の可能性

13. その他

13.1 ショット材

Q487: 金属ショットの製造

13.2 南部鉄瓶の製造法

Q488: 南部鉄瓶の製造法

Q489: 黒染とその皮膜の厚さ

13.3 ポーラス金属

Q490: ラスク(多孔質鋳鉄)の構造

Q491: ポーラス金属の現状と問題点

13.4 鋳造設備

Q492: 鋳枠の共通化による保有数の削減方法

14. 索引

1. 材質

1.1 共通項目

1.1.1 組織

Q001: Fe-C 系平衡状態図

— 回答 —

図 1 に Fe-C 系平衡状態図を示す。

この図は、通常二重線で示されており、実線は、Fe-Fe₃C 系(準安定系)、点線は、Fe-C 系(安定系)を表している。理論的には Fe-C 系の状態図が鉄と炭素の平衡関係を示すが、普通 Fe-C 系の状態図というと、Fe-Fe₃C 系の状態図を指している。(図中のアルファベット A 点～S 点は全て Fe-C 系平衡状態図で統一されている。)

セメンタイト(Fe₃C)は、重量%で 6.67%C に相当するが、実用的には、これ以上の C を含む部分はあまり必要でないので、普通 Fe-C 系状態図は 5～6.67%(D 点または F 点)までしか示されていない。

α 鉄は、727°C で最大 0.02%(P 点)まで炭素を固溶する。この α 固溶体をフェライトという。

γ 鉄は、1147°C で最大 2.14%(E 点)まで炭素を固溶する。この γ 固溶体をオーステナイトという。

鋼のオーステナイト γ がフェライト α とセメンタイト(Fe₃C)に共析するとき起こる γ から α への共析変態を A₁ 変態といい、鋼、鋳鉄のみに存在するものである。この変態の起こる温度(共析温度)を A₁ 変態点といい、炭素含有量とは無関係に 727°C である。加熱時の A₁ 変態を A_{C1} 変態、冷却時の変態を A_{r1} 変態という。(共析とは、1 つの固相から複数の固相が生じる現象のことである。)

鋳鉄は、組成範囲の上では 2.14%(E 点)～6.67%(D 点)の合金を指すが、実際に用いられているのは大体 2～4.0%C の範囲である。

鋳鉄の組成範囲の合金を冷却すると、普通最終的にはフェライトとセメンタイトの混合物が得られる。しかし、特定条件のもとでは、セメンタイトが分解して鉄と炭素になる。炭素は合金中では黒鉛として存在するので、この場合は、Fe-C 系の平衡状態図の中の破線で示す鉄-黒鉛系の平衡関係で示される。

4.28%C の組成をもつ融液が、1153°C の温度に達すると液相 L からオーステナイト γ と黒鉛が同時に晶出する。この温度を共晶温度、この点を共晶点(C 点)と呼ぶ。(晶出とは、液相から固相が生じる現象のことである。)

共晶点より、C% が少ない合金組成を亜共晶組成、C%が多い合金組成を過共晶組成と呼んでいる。

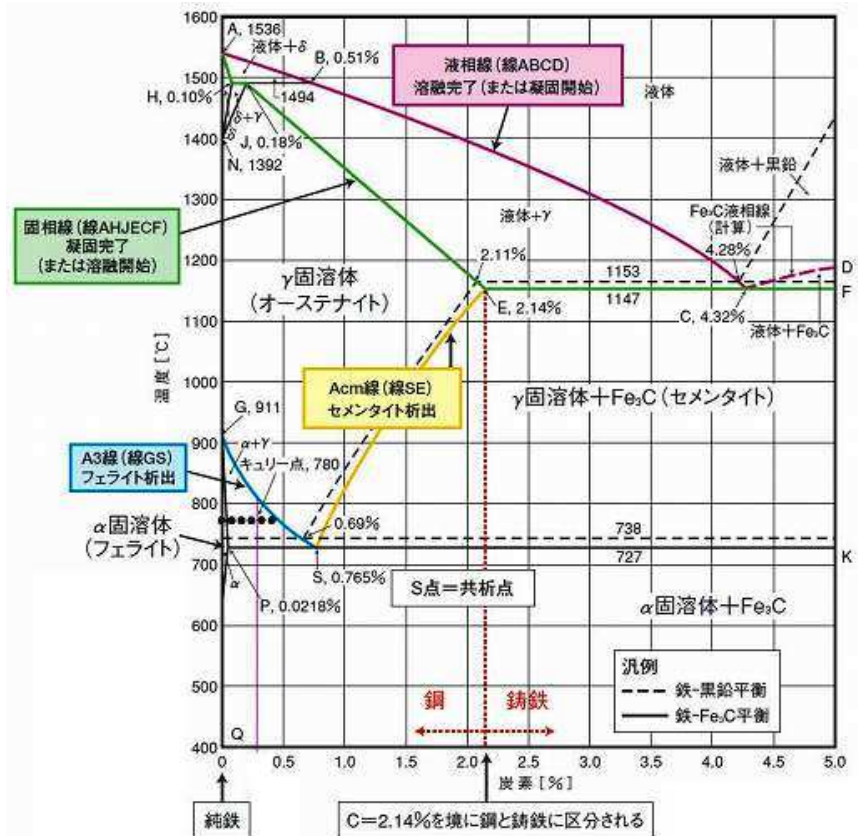


図 1 Fe-C 系平衡状態図⁽¹⁾

参考文献

(1) 金属熱処理のあれとこれ！ <http://netusyori.seesaa.net/article/170671567.html>

Q002:元素記号と周期表

—回答—

表 1 元素記号と原子番号一覧表

原子番号	元素記号	日本語名	原子番号	元素記号	日本語名	原子番号	元素記号	日本語名	原子番号	元素記号	日本語名
1	H	水素	29	Cu	銅	57	La	ランタン	85	At	アスタチン
2	He	ヘリウム	30	Zn	亜鉛	58	Ce	セリウム	86	Rn	ラドン
3	Li	リチウム	31	Ga	ガリウム	59	Pr	プラセオジム	87	Fr	フランシウム
4	Be	ベリウム	32	Ge	ゲルマニウム	60	Nd	ネオジム	88	Ra	ラジウム
5	B	ホウ素	33	As	ヒ素	61	Pm	プロメチウム	89	Ac	アクチニウム
6	C	炭素	34	Se	セレン	62	Sm	サマリウム	90	Th	トリウム
7	N	窒素	35	Br	臭素	63	Eu	ユウロピウム	91	Pa	プロトアクチニウム
8	O	酸素	36	Kr	クリプトン	64	Gd	ガドリニウム	92	U	ウラン
9	F	フッ素	37	Rb	ルビジウム	65	Tb	テルビウム	93	Np	ネプツニウム
10	Ne	ネオン	38	Sr	ストロンチウム	66	Dy	ジスプロシウム	94	Pu	プルトニウム
11	Na	ナトリウム	39	Y	イットリウム	67	Ho	ホルミウム	95	Am	アメリシウム
12	Mg	マグネシウム	40	Zr	ジルコニウム	68	Er	エルビウム	96	Cm	キュリウム
13	Al	アルミニウム	41	Nb	ニオブ	69	Tm	ツリウム	97	Bk	バークリウム
14	Si	ケイ素	42	Mo	モリブデン	70	Yb	イッテルビウム	98	Cf	カリホルニウム
15	P	リン	43	Tc	テクネチウム	71	Lu	ルテチウム	99	Es	アインスタインウム
16	S	硫黄	44	Ru	ルテニウム	72	Hf	ハフニウム	100	Fm	フェルミウム
17	Cl	塩素	45	Rh	ロジウム	73	Ta	タンタル	101	Md	メンデレビウム
18	Ar	アルゴン	46	Pb	パラジウム	74	W	タングステン	102	No	ノーベリウム
19	K	カリウム	47	Ag	銀	75	Re	レニウム	103	Lr	ローレンシウム
20	Ca	カルシウム	48	Cd	カドミウム	76	Os	オスミウム	104	Rf	ラザホージウム
21	Sc	スカンジウム	49	In	インジウム	77	Ir	イリジウム	105	Db	ドブニウム
22	Ti	チタン	50	Sn	スズ	78	Pt	白金	106	Sg	シーボーギウム
23	V	バナジウム	51	Sb	アンチモン	79	Au	金	107	Bh	ボーリウム
24	Cr	クロム	52	Te	テルル	80	Hg	水銀	108	Hs	ハッシウム
25	Mn	マンガン	53	I	ヨウ素	81	Tl	タリウム	109	Mt	マイトネリウム
26	Fe	鉄	54	Xe	キセノン	82	Pb	鉛	110	Ds	ダームスタチウム
27	Co	コバルト	55	Cs	セシウム	83	Bi	ビスマス	111	Rg	レントゲニウム
28	Ni	ニッケル	56	Ba	バリウム	84	Po	ポロニウム	112	Cn	コベルニシウム

—元素の周期表—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																		
1 H 水素 1.008	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 原子番号 元素記号 元素名 原子量 </div> </div>																2 He ヘリウム 4.003																		
3 Li リチウム 6.941	4 Be ベリウム 9.012	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 元素記号の元素は単体が常温で 標準状態は固体 下線の要素は液体 斜体の要素は気体 </div> </div>														10 Ne ネオン 20.18																			
11 Na ナトリウム 22.99	12 Mg マグネシウム 24.31	13 Al アルミニウム 26.98	14 Si ケイ素 28.09	15 P リン 30.97	16 S 硫黄 32.07	17 Cl 塩素 35.45	18 Ar アルゴン 39.95	19 K カリウム 39.1	20 Ca カルシウム 40.08	21 Sc スカンジウム 44.96	22 Ti チタン 47.88	23 V バナジウム 50.94	24 Cr クロム 52	25 Mn マンガン 54.94	26 Fe 鉄 55.85	27 Co コバルト 58.93	28 Ni ニッケル 58.69	29 Cu 銅 63.55	30 Zn 亜鉛 65.39	31 Ga ガリウム 69.72	32 Ge ゲルマニウム 72.61	33 As ヒ素 74.92	34 Se セレン 78.95	35 Br 臭素 79.9	36 Kr クリプトン 83.8										
37 Rb ルビジウム 85.47	38 Sr ストロンチウム 87.62	39 Y イットリウム 88.91	40 Zr ジルコニウム 91.22	41 Nb ニオブ 92.91	42 Mo モリブデン 95.94	43 Tc テクネチウム (99)*	44 Ru ルテニウム 101.1	45 Rh ロジウム 102.9	46 Pd パラジウム 106.4	47 Ag 銀 107.9	48 Cd カドミウム 112.4	49 In インジウム 114.8	50 Sn スズ 118.7	51 Sb アンチモン 121.8	52 Te テルル 127.6	53 I ヨウ素 126.9	54 Xe キセノン 131.3	55 Cs セシウム 132.9	56 Ba バリウム 137.3	57~71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム 178.5	73 Ta タンタル 180.9	74 W タングステン 183.8	75 Re レニウム 186.2	76 Os オスミウム 190.2	77 Ir イリジウム 192.2	78 Pt 白金 195.1	79 Au 金 197.0	80 Hg 水銀 200.6	81 Tl タリウム 204.4	82 Pb 鉛 207.2	83 Bi ビスマス 209.0	84 Po ポロニウム (210)	85 At アスタチン (210)	86 Rn ラドン (222)
87 Fr フランシウム (223)	88 Ra ラジウム (226)	89~103 アクチノイド	104 Rf ラザホージウム (261)*	105 Db ドブニウム (262)*	106 Sg シーボーギウム (263)*	107 Bh ボーリウム (264)*	108 Hs ハッシウム (265)*	109 Mt マイトネリウム (268)*	110 Uun ウンウンニウム (269)*	111 Uuu ウンウンニウム (272)*	112 Uub ウンウンビウム (277)*	113 Uuq ウンウンクワジウム (289)*	114 Uuq ウンウンヘキウム (289)*	115 Uuh ウンウンヘキウム (289)*	116 Uuh ウンウンヘキウム (289)*	117 Uue ウンウンヘキウム (289)*	118 Uuo ウンウンオクテチウム (286)*																		

*をつけた元素は人工的につくられたもので、天然には存在しない*原子番号110番以降は暫定的名称で性質は説明されていない

()をつけた値は、その元素の代表的な放射性同位体の質量数である(IUPAC)

Ver. 2.10 4/30/2005 著作: 清藤英樹@理科雑学アドベンチャー(<http://www.hello.to/science>)

57~71 ランタノイド	57 La ランタン 138.9	58 Ce セリウム 140.1	59 Pr プラセオジム 140.9	60 Nd ネオジム 144.2	61 Pm プロメチウム (145)	62 Sm サマリウム 150.4	63 Eu ユウロピウム 152.0	64 Gd ガドリニウム 157.3	65 Tb テルビウム 158.9	66 Dy ジスプロシウム 162.5	67 Ho ホルミウム 164.9	68 Er エルビウム 167.3	69 Tm ツリウム 168.9	70 Yb イッテルビウム 173.0	71 Lu ルテチウム 175.0
89~103 アクチノイド	89 Ac アクチニウム (227)	90 Th トリウム 232.0	91 Pa プロトアクチニウム 231.0	92 U ウラン 238.0	93 Np ネプツニウム (237)*	94 Pu プルトニウム (239)*	95 Am アメリシウム (243)*	96 Cm キュリウム (247)*	97 Bk バークリウム (247)*	98 Cf カリホルニウム (252)*	99 Es アインシュタインウム (252)*	100 Fm フェルミウム (257)*	101 Md メンデレビウム (256)*	102 No ノーベリウム (259)*	103 Lr ローレンシウム (260)*

Q003:冷却速度による黒鉛形状の相違

—回答—

ねずみ鑄鉄の凝固時に晶出する黒鉛形状は図 1 に示すように分類されている。

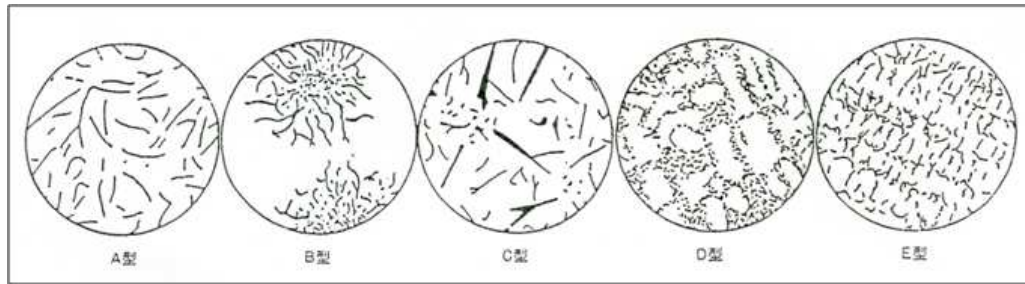
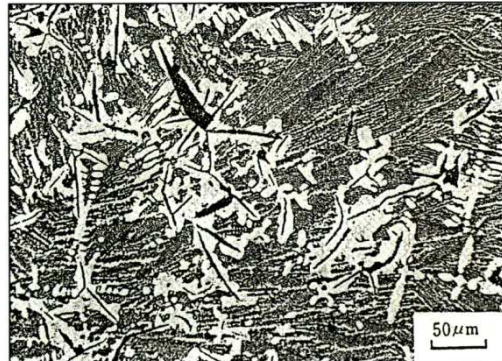


図 1 ねずみ鑄鉄の黒鉛形状分類

鑄鉄溶湯中の溶解炭素が過飽和になって溶湯から黒鉛が直接晶出する場合、図 1 の C 型のような形状を示し、キッシュ黒鉛と呼ばれている。この黒鉛は液体中から晶出するので溶湯中で C の濃度差や溶湯中での介在物により黒鉛晶出サイトが影響される以外、この黒鉛の成長に対しては他に抵抗するものがない。したがって、黒鉛は黒鉛成長の優先方位にしたがって、平板状黒鉛形状となりやすい。これに対して図 1 に表した A, B, D および E 型の片状、バラ状、共晶状および樹枝状間黒鉛などの共晶反応で晶出する場合は、キッシュ黒鉛のように平板状と異なって湾曲したり枝分かれたりする形状の黒鉛が多くなる。このように黒鉛形状が変化するのは、凝固速度が速い場合は、キッシュ黒鉛または粗い片状黒鉛のように黒鉛先端への溶解炭素の拡散時間がないために、黒鉛先端への優先成長は抑制されて湾曲や枝分かれが多くなりやすいためと説明されている。これらの考え方は黒鉛がオーステナイトよりも優先して晶出することを前提としているが、図 2 に示すように 5.08% C の過共晶溶湯を 1550°C から 1200°C まで急冷して、液体から晶出する黒鉛は多方向に成長しているもののその黒鉛の形状は平板であり、必ずしも急冷して急成長した場合に黒鉛が湾曲したり枝分かれが多くなるとは限らない。



1550°Cで溶解後1200°Cまで冷却し、その後焼入れた Fe-5.08% C 合金中のキッシュ黒鉛

図 2 液体から多方向に成長する黒鉛

したがって、共晶凝固で黒鉛が湾曲したり枝分かれが多くなるのはオーステナイトとの共晶凝固のときのみ起る現象と考えられる。しかし、同じ共晶凝固でも一方向性凝固させた場合、比較的急冷しても黒鉛は平板状に成長する。このように考えると、一般の鑄鉄のような凝固状態で凝固速度が速いほど黒鉛形状が湾曲したり枝分かれが多くなるのは、共晶凝固で晶出するオーステナイトが凸凹の多い複雑な形状で晶出するためにその影響を受けているものと推察できる。すなわち、共晶オーステナイトの晶出状態や形状が複雑になるに伴って、共晶時に晶出する黒鉛も複雑な形状になるのである。オーステナイトは面心立方格子で単純な多面体結晶であるが、凝固速度が速くなるとこの多面体結晶は複雑な構造にもなりやすことが推察される。

以上のように、共晶凝固において晶出する黒鉛とオーステナイトの結晶構造の特性より判断すると、冷却速度が速いほど D 型黒鉛に近づくのは、熱伝導および物質の移動のうち後者の物質移動の速度が遅いため、熱に関する平衡は保障されるが、物質に関する平衡は保障されないため、平衡濃度からのずれを残したまま凝固が進行する。このような状況下ではオーステナイト相は微細で複雑な構造となり、必然的に黒鉛の微細な枝分かれ構造を

もたらす。すなわち、黒鉛はオーステナイト相の占めた領域の隙間に成長し、その隙間は複雑な構造であるため、黒鉛の形態も複雑に枝分かれした構造にならざるを得ない。したがって、E型黒鉛のように低CE値で高い亜共晶組成では、凝固に際して初晶オーステナイトが樹枝状に多量晶出し、そのあとに残った融液が共晶凝固するので黒鉛も自然と初晶および共晶オーステナイトの隙間に晶出した形状となる。

冷却速度がさらに速くなって、熱的にも物質的にも非平衡状態になれば、オーステナイト相にしたがって、黒鉛の大きさや形態はさらに微細で複雑なものとなるであろう。

このように急冷されるほど黒鉛は微細化し、枝分かれも激しくなるのは、オーステナイトの黒鉛成長に対する妨害作用であると考えられる。以上の説明は参考文献(1)による。

参考文献

- (1) 井ノ山・山本・川野:「反応論からみた鑄鉄」, (社)新日本鑄鍛造協会(1992)227

Q004: 鑄鉄の共析温度に与える諸元素の影響

—回答—

鑄鉄の共析温度は合金元素量によって変化し、図1にはSiの影響を示している。上の線は冷却時における変態開始温度、下の線は変態終了温度(A_{F1}変態)である。また、これ以外の諸元素の影響を表1に示す。球状黒鉛鑄鉄の標準組成である3.5%C、2.5%Si、0.4%Mn、4.31%CEについて図1と表1により共析温度区間を求めると805°Cから735°Cまでとなる。

表1 鑄鉄の共析温度に及ぼす合金元素1%当りの影響⁽¹⁾

元素とその量(%)	Si(0.3~3.5)	P(0~0.2)	Mn(0~1.0)	Ni(0~1.0)	Cu	Mo
上部温度への影響	+37°C	+220°C	-37°C	-17°C		
下部温度への影響	+29°C	+220°C	-130°C	-24°C		
S.I.Karsayの著書			-17°C	-14°C	-5.5°C	
田中らの研究	+26.1°C (1.1~2.8%)			-24°C (0.3~1.4%)	-21.7°C (0~1.4%)	+28°C (0.1~0.7%)

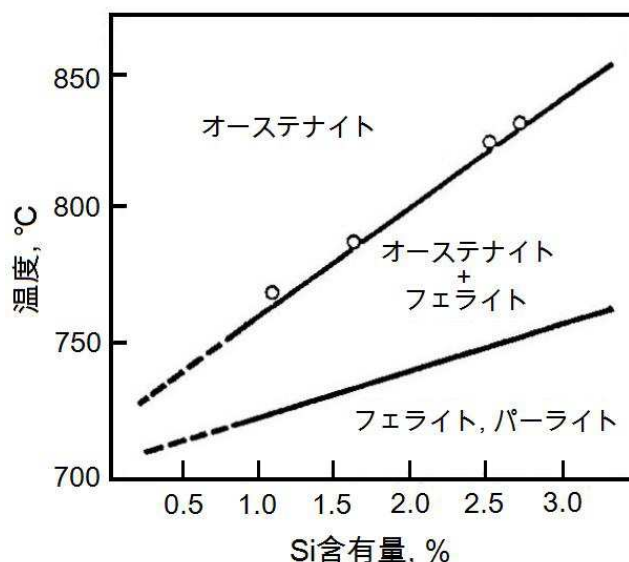


図1 鑄鉄の共析温度に及ぼすSiの影響(冷却速度5°C/hの場合、○印は田中らの研究結果)

参考文献

- (1) 改訂第4版鑄物便覧:日本鑄物協会編, (丸善) (1986)614

1.1.2 性質

Q005:FCとFCDの見分けかた

—回答—

FCとFCDとの目視あるいは五感による見分け方として、各工場独自のものがあるが、一般的な方法について概説する。

(1) 打音による方法

この方法は最も手軽で、黒鉛の球状化が進むほど金属音となり、音＝振動の吸収性の違いを利用する方法である。FC材が最も振動を吸収しやすいので打音は鈍く、FCD材の場合には鋼に近い打音を発する。FC材とFCD材の中間の組織であるCV黒鉛鑄鉄の打音もFC材とFCD材の中間的な金属音を発する。

図1は鋼、FCDおよびFCの振動減衰能を略図で示す。各試験片の振動寿命は普通ねずみ鑄鉄を1とすると、球状黒鉛鑄鉄が1.8、そして鋼が4.3になる。減衰能と弾性係数は密接な関係を有しており、ねずみ鑄鉄中の超音波の減衰は、黒鉛が球状化するに従い著しく減少することが知られている。この現象を利用して、黒鉛球状化率を非破壊で測定し、材質を判別することが可能である。(Q072:「超音波による球状化率判定」を参照)

(2) 湯口や堰の折れやすさ

製品材質の判別が可能なのは湯口系の除去作業であり、FC材ではほとんど抵抗なく除去できるのに対しFCD材では基地に粘性があるために比較的大きな破断力が必要である。

(3) 破断面の破断状況

棒状のものを破断したときの状況がFC材の場合にはほぼ平面を呈するが、FCD材では多少の差はあるが破断面に段差を生じる。強度の高いFCD材の場合には特に顕著に段差がつく。

(4) 破断面のマクロ状況

黒鉛の球状化が進んだテストピース等の破断面を目視観察すると、FC材はまさに黒色を帯びたねずみ色を呈するのに対して、FCD材で球状化が進んでいると白色に近い銀色を呈し、緻密な組織になっている。白銑鑄物との違いはFCD材では結晶方向が見えない点である。

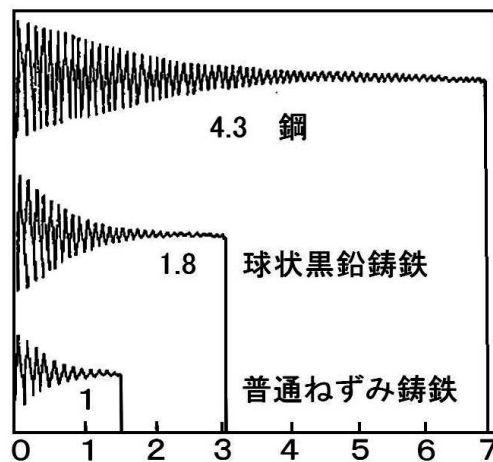


図1 鋼と鑄鉄の振動寿命 (Golloway) ⁽¹⁾

参考文献

(1) 鑄造工学会ホームページ

<http://www.j-imonono.com/column/daredemo/04.html>

<省略>

1.2 ねずみ鉄

1.2.1 組織

Q010: 鑄鉄の成長とは

—回答—

鑄鉄の A_1 変態点(727°C) の上下の温度で加熱・冷却が繰り返されたときに起こる不可逆的な異常膨張現象を鑄鉄の成長と呼んでいる。成長は鑄鉄特有の現象であり、割れや著しい強度の低下が生じる。成長理論としては、酸化説、き裂説、黒鉛不可逆移動説などが提唱されてきたが、近年、黒鉛の不可逆移動によるものとして理論的な解明がなされている¹⁹⁾。鑄鉄の成長を防ぐには、1.5～2.0%から数10%のCr添加が効果的である。なお、成長が生じない限界温度は、447°C(720K)である。

鑄鉄の成長現象の原因

- (1)パーライト中のセメンタイトの分解による黒鉛化
- (2)黒鉛片に沿って侵入する高温の酸化性ガスによるフェライト化固溶元素及びSiの酸化
- (3) A_1 , A_3 変態に伴う膨張、収縮の繰り返しによって生じる微細き裂の発生
- (4)黒鉛と基地の鉄の熱膨張係数の相違(黒鉛: $7.9 \times 10^{-6}/K$ 、フェライト: $12.5 \times 10^{-6}/K$)のため、その境界に生じる空隙の生成

これらの内部き裂や空隙が高温の酸化性ガスの侵入を容易にするために内部酸化を生じやすくし、成長を促進するものと考えられる。

A_1 変態とは、Fe-C 系平衡状態図において、オーステナイトからフェライトとセメンタイトを同時に析出(固相中にほかの固相が生じること)する現象のこと。共析変態ともいう。

A_3 変態とは、純鉄の冷却過程において、 γ 鉄(面心立方格子)が α 鉄(体心立方格子)に変態する現象のこと。純鉄の A_3 変態温度は 910°C である。

White^らが報告した A_1 変態点を超えて加熱・冷却を繰り返したときの球状黒鉛鑄鉄およびねずみ鉄の成長に及ぼすSi含有量の影響を比較した結果を図1に示す。

成長量は、球状黒鉛鑄鉄(図中①～⑤のMg処理品、記号1N～5Nの破線表示)のほうがねずみ鉄(図中①～⑤の実線表示)よりも小さい。

<省 略>

1.2 ねずみ鉄

Q011: FC200 材の加工性

—回答—

鑄物製品に要求される品質、コスト、納期は当然のことで、決して競争力とはならないのが現状であり、特に最近では“切削加工性”の良否で受注が左右される時代である。したがって、この加工性に関するテーマは最も時機を得たものであろう。

国内の某鑄物メーカーの加工性は他社の製品に比べて通常の切削で工具の寿命が4～5倍あり、ブローチ加工に至っては10数倍といわれている。

この寿命の差は表面的な要因だけで説明できるものではない。すなわち溶解原材料、溶解条件(特にキュポラ操業条件)、化学成分、鑄型砂の特性、鑄込み後の冷却条件等の総合的な結果が加工性を左右している。

ここで、ひとつのヒントになるのが鋼の“快削鋼”の考え方である。すなわち鋼は鑄鉄に比べて著しく加工性が劣るが、この欠点を克服する手段によって得られる鋼が“硫黄快削鋼”であり、硫黄(S)とともに適量のMnを加え、地鉄の中にMnSという硫化物を積極的に作って分散させることにより切り粉を細かく分断するものである。

一般的なFC200材の場合についてポイントを略述すると次の通りである。

(1) 適正Mn量とS量

Sは有害元素として扱われるが、この害(黒鉛の成長を阻害)をMnの添加で中和する。その場合に必要Mn量は式(1)で求められ、式中の α は目標強度(FC材の種類)によって例のように変わる。

$$\text{必要 Mn 量\%} = 1.71 \times \text{S\%} + 0.3\% + \alpha\% \dots(1)$$

例えば、FC150 $\Rightarrow \alpha = 0.1 \sim 0.2\%$

FC200 $\Rightarrow \alpha = 0.2 \sim 0.3\%$

FC250 $\Rightarrow \alpha = 0.3 \sim 0.5\%$

FC300 $\Rightarrow \alpha = 0.5 \sim 0.7\%$

電気炉溶解による溶湯の場合には、キュボラ溶湯に比べてS量が少ないから、上式で得られるMn量よりも小さい値をとることになる。多くの要因の中で最も顕著な影響を与えるのがこのMn量とS量のバランスである。これまで必要以上のMnを添加し、これからMn量をバランスさせるために減らすと、強度不足を生じる可能性がある。その場合にはCE値の見直しが必要となる。

(2) 溶解原材料の選択

最近、問題視されているのが、製品の硬度と切削性が必ずしも相関関係にない点である。

すなわち、硬度が低いにも拘らず切削性が悪いケースがある。結論的には製品の材質が非常に粘いために工具の寿命が短く、あるいは切削時の抵抗が大きくなることに起因する。

換言すると、原材料の純度が高く、基地が純粋なパーライトの場合は材料として靱性に富んだ良質のものであるが、加工性の面からむしろ適度な“脆さ”が必要であろうと考える。適度な脆さを得る手段としては、鋳物用銑鉄の配合(鋼屑に比べると不純元素が多く、切削性のよい工場では40%台の配合)、あるいは電炉メーカ製品から発生する鋼屑(老廃鋼屑からの再生品から発生する低廉な鋼屑)の使用であろう。

(3) 黒鉛組織

加工性に影響する大きな要因の一つが黒鉛組織であり、FC200材では黒鉛の出方によってほどほどのフェライトを伴う。強度が補償される程度のフェライト量の場合には、黒鉛組織は微細なほど加工性は良い。非常に加工性の良い製品(例えばエアコン用スクロール)の場合にはAFS黒鉛分類のD型あるいはE型の組織を目標とし、Tiなどが添加される。

CE値が同じでもSiを高めとしたCE値の方が黒鉛組織は小さくなる傾向があるので、CE値のCとSiの組み合わせも再考することが必要であろう。

(4) 溶解条件

国内で最も加工性のよい製品を生産している工場ではキュボラによる溶解を行っている。出湯温度は1570°C

<省 略>

Q037: 球状化不良の原因と対策

— 回答 —

黒鉛球状化阻害元素として、第1に考慮すべき元素は、「S」である。元湯中のS含有量は少ない方が望ましく、球状化処理の前に脱硫処理を行うことが大切である。

これ以外に多くの黒鉛球状化阻害元素が明らかになっており、表1にその限界量を示している⁽¹⁾。

また、堀江⁽²⁾は表2に示すように黒鉛球状化阻害元素の分類を行っている。

球状黒鉛鋳鉄の場合は、球状黒鉛が晶出する際に、冷却速度が速い、即ち薄肉鋳物には影響が少ないが、冷却速度が遅い、大物鋳物の場合に顕著に影響が現れることがある。例えば、TiやPbがそうである。これらの元素も極力元湯中に存在しない方が望ましい。

これまでは、自動車用鋼板屑は鉄系原材料として安心であったが、今日これらは高張力鋼となったために、添加元素として、有害なTiを含有するようになってきた。また、防錆処理としてZnによる表面処理が一般的になってきている。さらに、Alの切削屑が混入し、これが表面酸化しているものやPb系の塗料を塗布されている鋼板等も選別する必要に迫られている。

厚肉部に出やすいチャンキー黒鉛の形成を促進する元素として、Ce、Ca、Si、Ni元素が、また、片状黒鉛がセル粒界に晶出するのを促進する元素として、Bi、Pb、Sb、As、Cd、Al、Sn、Cu元素が挙げられる。

表 1 黒鉛球状化阻害元素の限界量

元素	限界量(%)	備考	元素	限界量(%)	備考
Al	0.01~0.3	—	Se	0.01~0.05	—
Ti	0.04~0.1	<0.2%という文献もあるが、一般には<0.1%。大物 鋳物に注意。	Te	0.001~0.05	—
Pb	0.002~0.009	0.011%で完全に阻害するといわれている。	Sn	0.05~0.13	—
As	0.05~0.08	—	Cu	2.0~3.0	—
Sb	0.004~0.026	—	B	0.005	—
Bi	0.002~0.006	0.0005%以上というデータもある。	Nb	0.15	—
Zr	0.025	データが少なく、明確ではない。	Ta	0.20	—

表 2 黒鉛球状化阻害元素の分類

番号	阻害型	阻害作用	黒鉛形態	元素
I	Mg 消費型	黒鉛の球状化に必要な Mg を消費することにより阻害する。	擬片状黒鉛、共晶状黒鉛、片状黒鉛	O,S,Se,Te
II	粒界偏析型	黒鉛の球状化に必要な Mg には影響を与えないが、オーステナイト粒界に偏析し、不規則形状黒鉛を晶出して阻害する。	不規則形状黒鉛(糸くず状、粒状、擬球状、凝集状など)	Sb,Sn,As,B, Al,Ti,Cu
III	混合型	黒鉛の球状化に必要な Mg を消費し、また、オーステナイト粒界に偏析し、不規則形状黒鉛を晶出することにより阻害する。	不規則形状黒鉛、擬片状黒鉛、共晶状黒鉛、片状黒鉛	Pb,bi

図 1 に黒鉛球状化不良の例を示す。

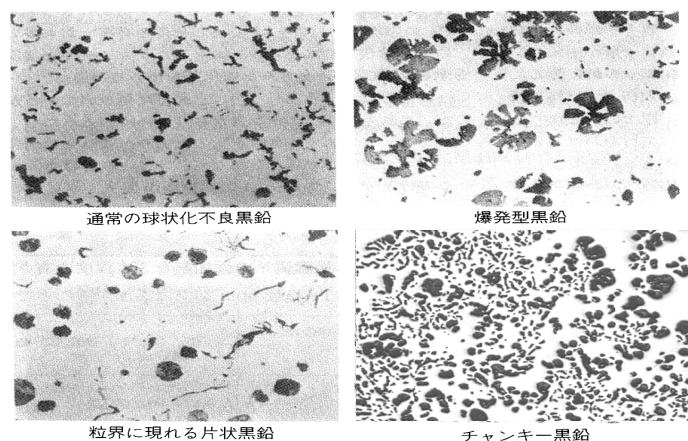


図 1 黒鉛球状化不良の例

この中の爆発型黒鉛は鋳物製品の上部に晶出することが多く、これは、炭素当量が多すぎるか、Mg が多すぎるか、Ce 等の希土類元素の含有が高すぎた場合に発生する。また、Ni が多いときも発生しやすい。

生型の厚肉部の表面層のごく一部に片状黒鉛が晶出することがある。この対策としては、残留 Mg 量を高めにして、鋳型の水分量を少なくし、鋳型砂中の S 量を 0.1% 以下にすることと、鋳型雰囲気還元性にするような塗型を行うことである。

<省 略>

2. 溶解

2.1 共通項目

2.1.1 炉の種類、構造、特徴

Q058: キュポラ溶解と電気炉溶解の大きな違いは何か？

キュポラ溶解と電気炉溶解の大きな違いは何か？また、FC 材を生産する上でキュポラ溶解と電気炉溶解で注意すべき点があれば教えてほしい。

－回答－

キュポラは 200 年以上も前に主に英国で開発され⁽¹⁾、鑄鉄用の溶解炉としてその後改善が進み現在に至っている。キュポラと電気炉の大きな違いは溶解用熱源であり、キュポラはコークスを熱源とし電気炉は文字通り電力を熱源としている。この違いが最終的には溶湯の特性の大きな違いとして現れる。

(1) 熱源の違い

ここで詳細な説明は省くが、即ち熱源としてコークスを用いる炉がキュポラであり、コークスに代わる熱源に電力を用いる炉が電気炉である。またキュポラには特殊な炉もあるがコークスを使わないコークレスキュポラ(実際には補助的に少量使用する)や同じキュポラでも送風温度を変える熱風キュポラや細かくは送風湿度をコントロールする調湿操業などがある。ここでは主として熱源が異なることによる相違点を記した。

(2) 溶解量と溶湯の特性

熱源の違いは上述した通りであるが、同じ熱源でもコークスを用いるキュポラからもたらされる溶湯には、コークス(源は石炭)に含まれる諸々の不純元素を含むことになる。したがって、キュポラからもたらされる溶湯には鑄鉄に欠かせない主要 5 元素 C(炭素)、Si(けい素)、Mn(マンガン)、P(りん)、S(硫黄)の他に多くの元素を有している。これらの元素の中で鑄鉄に有用な元素は当然限られる。非常に大きな影響を及ぼす“S(硫黄)”は含有されるとその量によって、あるいは製品の用途によっては有用な働きをする。この S さえ無ければ球状黒鉛鑄鉄(以下 FCD と表す)も大いに活かせる溶湯である。S は脱硫処理によって容易に除去できるが、温度降下と処理コストの面から FCD 溶湯の大半は電気炉で溶解されている。

キュポラでも脱硫が出来れば成分面では電気炉溶湯に近い溶湯が得られる。ただし、キュポラで得られる溶湯と電気炉溶解で得られる溶湯の最大の相違点は、キュポラではコークスを燃焼させるために空気を羽口から連続的に炉内に吹き込んでコークスを燃焼して、炉内の温度を上昇させて装入地金類を溶解、昇温させている。換言するとキュポラでは空気中の酸素の力を借りて溶解している。つまり、キュポラでは溶解過程で鑄鉄にはあまり好まれない酸素を用いて溶解していることになる。

この点でキュポラ溶解は操業条件に多くの制約があり、特に鑄鉄に余分な酸素を持ち込まない溶解条件が要求される。制約が厳しい溶解条件を羅列して例を挙げると次の通りである。

- ①送風条件(炉の溶解帯断面積に適った送風量)
- ②送風圧力
- ③単位時間当たりの装入地金
- ④地金量に適ったコークス量
- ⑤装入地金量に適った造滓材の量(石灰石など)
- ⑥補助コークス装入タイミングと装入量
- ⑦その他(コークス粒度、装入物サイズ)

以上の様に、キュポラを理想的な状態で諸条件を満足させながら操業を行なうためには、経験の長い熟練者が

<省 略>

2.1.3 溶湯管理

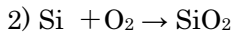
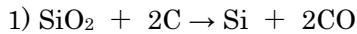
Q075:3%C-2.3%Siの共晶鑄鉄の酸素量と温度の関係

—回答—

球状化処理前の溶湯はFC材溶湯に比べて高C・低Siであるから、還元作用が進行するための必要最低温度はFC材の場合よりも低温でよいはずである。しかし、球状化処理による温度低下は避けられないから、自ずとFC材の場合よりも溶解温度は若干高くならざるを得ない。また球状化処理前の溶湯はFC材より高C・低Siであるが、黒鉛球状化処理後はむしろFC材より高C・高Si(球状化剤からSiがもたらされる)となり、FC材溶湯よりも溶湯の酸化が進行しやすくなる。

溶湯中には少なからず酸素(その大半はSiO₂の形)が懸濁しており、この酸化物は溶湯中の豊富なC(炭素)と反応する可能性を持っている。

この反応は



のいずれかであり、どの反応が起こるかは温度によって決まる。(Q073:「溶湯中の元素の酸化の順序」を参照)

1)の反応は高温域で、2)の反応は低温域で進行する。理論的には1)の反応と2)の反応の平衡臨界温度は化学成分(Si/C²)によって変わるが、図1の場合は、両反応曲線は、約1420°Cの所で交差する。(P点)

即ち、1420°C以下では曲線2の反応が起こり、Siが溶湯中のOと酸化反応を起こして、SiO₂を生じ、溶湯中に懸濁していく。SiO₂が溶湯中に懸濁して残ると、添加したMgがMgOとなる(Mgは酸素と非常に結びつきやすい)ために黒鉛の球状化を徹底するためにはより多くのMgの添加が必要となり、過剰Mgの添加による弊害(ドロスの生成やチル化などの欠陥)を伴うことになる。

その一方、1420°C以上になると曲線1の反応が起こり、SiO₂が還元され、COガスが発生するため、球状黒鉛の晶出しやすい還元性の溶湯を得ることができる。

一般的な鑄鉄成分の場合には、およそ1500±20°Cとみてよく、実際にはC、Si以外の化学成分や雰囲気などさまざまであり、P点は理論的な臨界温度よりは高くなるといわれている⁽¹⁾。

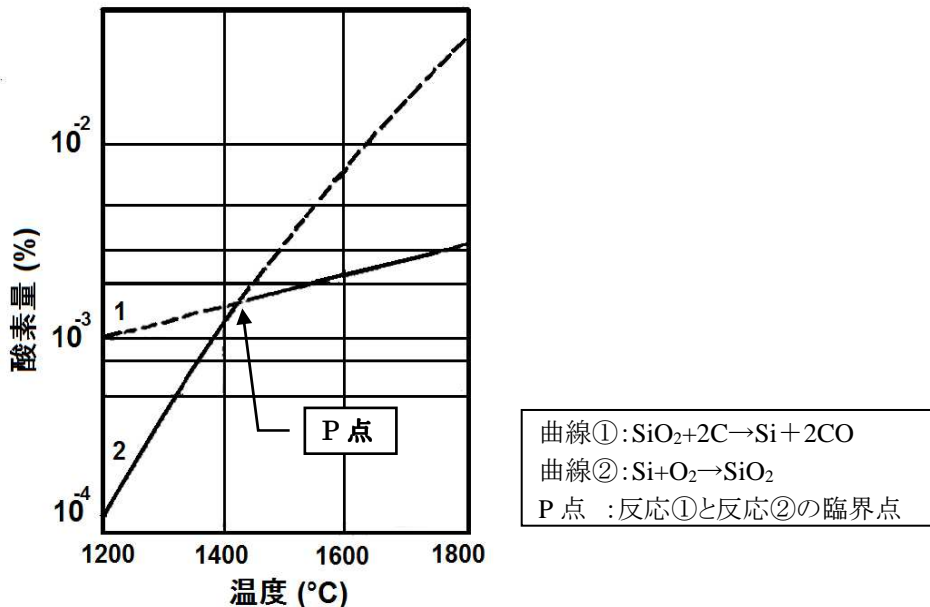


図1 酸素量と温度の関係 (3.3%C-2.3%Siの鑄鉄)⁽¹⁾

上記のように球状黒鉛の生成条件としては、溶解、凝固の過程でSiO₂の発生を防ぐことが重要である。したがって、両曲線が交差するP点の温度が何度になるかは非常に重要である。

<省略>

3. 溶湯処理

3.1 接種

3.1.1 接種機構

Q146:接種作用と接種効果の評価

—回答—

(1) 接種作用

鑄鉄溶湯に対する接種は、例えば 0.1%という微量な物質の添加によって性質がガラリと良い方向に変化するという、マジックのような現象であるがそのメカニズムは解明されていない。実際に利用されるようになったのは 1930 年代後半である⁽¹⁾。キューボラの炉頂から装入すべき合金を、代わりに取鍋添加したときに材質が大きく改善されたことが発端であるという⁽²⁾。

一般に鑄鉄溶湯が共晶凝固する過程で本来の平衡温度になっても黒鉛とオーステナイト、特に黒鉛の結晶化がスタートしないままで温度が低下し、過冷現象が起こる。そのままではチル化するが、予め黒鉛が結晶化する土台になる核になる物質を添加しておくのが接種である。その物質は 2 種類あり、1 つは黒鉛そのままの同質核であり、例えば黒鉛を大量に含む銑鉄である。もう 1 つは異質核であり、その代表が CaSi と FeSi である。

純粋の FeSi は接種効果が小さく、効果を出すために 1~2%の Al と 0.5~1%の Ca を含んでいる。その他 Sr, Ba のような S や O との親和力のある元素を微量含んでいる。したがって、元湯の S 含有量は FC の場合は 0.05~0.08%、FCD の場合は少なくとも 0.008%が必要であるとされている。FeSi の接種効果については、黒鉛の結晶格子は六方晶形であることに対して、CaSi、Ba のけい化物、Sr けい化物も同じ六方晶形であるため、これらを含む複雑な不純物が黒鉛の結晶格子と整合するためであるとされている⁽¹⁾。

(2) 接種効果の測定尺度

接種の効果を測定する尺度は、チルの減少、共晶セル数、つまり黒鉛粒数の増加並びに冷却曲線に現れる共晶過冷温度の減少である。特に FCD の場合、共晶セル数が多くなることはセル境界領域の幅が小さくなり、そこへ偏析する元素による炭化物、マイクロ欠陥の影響が小さくなる。また、残留溶湯内の炭素原子が既存の球状黒鉛側へ拡散する道程が短くなり黒鉛化には有利であるために、伸び、衝撃値が改善されると共に鑄物の引け傾向が小さくなる。

ただし、接種剤には個性がありすべてを満足する接種剤はない。例えば CaSi は共晶セルを増加させるがチルを小さくする力は弱い、しかし、FC の厚肉鑄物の加工面をより微細化するために不可欠である。Sr を含む FeSi はチルを減らす力は大きく、共晶セルを多くする力は小さいので接種による FC 鑄物の引けを大きくしないために有利であること等である。

参考文献

- (1) C.R.RoperJR.: 鑄鉄の接種, Foundry M&T, Sep., Oct. (1996)
- (2) 張 博ら: 球状黒鉛鑄鉄—基礎・理論・応用(1983)

<省 略>

3.2 黒鉛球状化

3.2.1 黒鉛球状化剤

Q159:黒鉛球状化剤中の Mg 量が黒鉛形態に及ぼす影響

—回答—

黒鉛球状化剤はメーカーによって各種のものが造られ市販されているが、使用に当たっては球状化元素である Mg、Ca、RE (レアアース=希土類元素 La ランタン、Ce セリウム) などの黒鉛球状化元素のほか Si や Al などの分析値の確認を行なうことが大切である⁽¹⁾。

これらの諸元素の中で黒鉛球状化の上で最も重要な元素は Mg で、黒鉛の球状化を維持するために必要な残

留 Mg 量は製品の大きさや肉厚によっても異なるが、通常は次の値をとるように設定される⁽¹⁾。

この値より少なければ球状化が崩れることになる。

$$\textcircled{1} \text{ 残留 Mg\%}-\text{残留 S\%}=0.02\sim 0.03\% \cdots(1)$$

または

$$\textcircled{2} \text{ 残留 Mg\%/残留 S\%}=3\sim 4\cdots(2)$$

式(1)で示される数値は絶対的な数値ではなく、球状化剤には前述したように主体は Mg であるが、球状化を補助する元素として Ca や希土類元素の Ce、La などが含まれているから、球状化剤中の Mg 量だけで球状化剤を評価することはできない。残留 Mg 量の多少によって球状黒鉛の真円度が変わり、真円の黒鉛が真の球状を呈し、残留 Mg 量があるレベルより下がると真円度はほぼ比例して小さくなる。ほぼ真円を示していた黒鉛球が Mg 量の減少に伴って最終的には片状黒鉛になるが、同じ片状黒鉛でも黒鉛の先端に丸みを持った片状黒鉛も現れ、球

<省 略>

5.5 調砂・砂処理

5.5.1 鑄型材料 (砂、粘結材、添加材)

Q251: 焼き砂と新砂との違い

—回答—

鑄込まれた溶湯に触れた回収砂(焼き砂)と新砂の違いについて回答する。

けい砂は 570°C 前後で変態し、大きな熱膨張を伴う。焼き砂と新砂の違いはこの一点にあると言っても過言ではない。

けい砂に含まれている SiO₂ 分が前述の 573°C で α 石英から β 石英へ変態するため、膨張が起こり、体積は 38% 増加する。そのため澱粉を添加し、すくわれ防止、無枠の型割れ防止を図っている。

(Q199:「鑄物砂における粒度と熱膨張の関係」を参照)

参考文献

(1)「鑄型の生産技術」:素形材センター (1995)

(2)「現場に役立つ鑄鉄の鑄型マニュアル」:日本鑄物工業会 (平成 13 年 1 月)

<省 略>

10.6.2 焼着き

Q458:FC200~300, FCD450 材の薄肉鑄物のチル防止方法

—回答—

FC 材であれ FCD 材であれ薄肉化すれば、急冷によるチル化傾向が最大の問題となる。

チル化は凝固時の黒鉛化 (溶湯からの黒鉛の晶出) の問題であり、片状であれ球状であれ、カーボンが黒鉛として全て凝固中に晶出すればチル化は起こらない。

チル(先端チルおよび肉厚 10~20mm での逆チル)の解決の為には、この黒鉛の晶出を妨げる元素の除去が必要で、中でも溶湯中の溶存酸素 (O)、溶存窒素 (N) が重要である。まさに、接種がその役目を果たす。接種剤の選択も確かに大切であるが、最も重要な事はその方法であり、最善の方法は鑄型内接種あるいは注湯流接種

<省 略>

14. 索引

A

A ₁ 変態点	72
A ₁ 変態	13, 392
A ₃ 変態	13
Ac ₁ 変態	1
AFS テストラグ	94
A _{r1} 変態	1, 392
ASTM 黒鉛分類	526

C

CaSi	183, 188, 202, 496
CE 値	34, 88, 90, 324, 377, 432
CO ₂ 中子	248
CV 黒鉛鑄鉄	5, 54, 55, 106, 200, 503

F

FCD での RE の役割	210
FC の凝固過程	502
Fe-C 系平衡状態図	1, 13, 392
FeSi	37, 103, 119, 183, 188, 519, 525, 526
FMC	→ フルモールド鑄造法

M

Mg と界面エネルギー	445
-------------	-----

S

S/M 比	255, 256, 260, 261, 296, 297, 300, 301, 443, 459
[Si]/[C] ²	80, 104, 126, 148, 494
SiO ₂	78, 97, 104, 126
SiO ₂ -FeO 平衡状態図	462
SiO ₂ の融点	121

T

Te 含有塗型剤	434
----------	-----

X

X-R 管理図	25
---------	----

B

β セット	249, 250
-------	----------

あ

Zn の性質	15
赤錆	56
揚がり	340, 344, 345, 36
揚がり下の吹かれ	47
亜共晶組成	1, 99, 142, 204, 32
圧縮強さ	17, 21, 69, 72, 123, 40
アミン	249, 55

い

鑄型温度	31
鑄型各部の名称	34
鑄型壁の砂の荒らされ	45
鑄型のガス抜き	25
鑄型壁の移動	228, 324, 43
鑄型壁の熱変形	44
イグロス	→ 強熱減量
鑄込	
— 時間	32
鑄込温度	219, 230, 317, 348, 52
鑄込温度と肉厚	219, 221, 22
鑄込温度と流動性	38
鑄込時間	319, 321, 363, 366, 38
— 球状黒鉛鑄鉄の	36
鑄込時間と鑄込重量	319, 32
鑄込重量	227, 319, 32
鑄込重量と湯口棒径	22
鑄込速度	201, 206, 226, 364, 366, 368, 384, 38
異常黒鉛	28, 174, 175, 205, 411, 50
鑄抜き穴	275, 388, 38
鑄物砂の管理目標	24
鑄物砂の熱膨張	42
鑄物と押湯ネックのモジュラス及び鑄込温度	31
鑄物用人工砂の種類	27
インモールド	549, 55