

CV 黒鉛 鑄鉄の製造法

<2>

ケベック・アイアン・アンド・チタニウム

工 博 張

博

宇部興産(株) (現京都大学工学部研究生)

糸 藤 春 喜

4 材質管理方法

CV 黒鉛鑄鉄の簡易な材質判定法としては次のようなものがある。

4-1 破面による判定

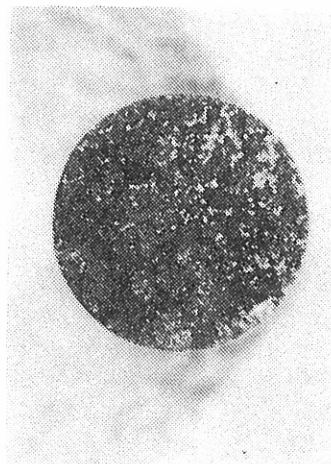
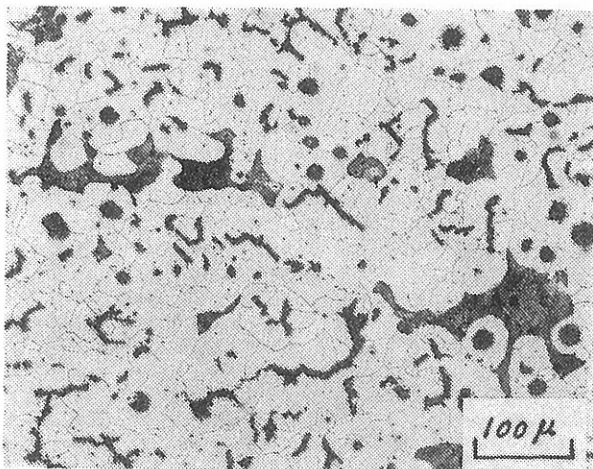
球状黒鉛鑄鉄の材質判定としてこの方法がよく行われ、球状化不良の破面の特徴についてはかなりよく知られている。たとえば図21はフェライト系 CV 黒鉛鑄鉄の引張試験破断面を示す。CV 黒鉛鑄鉄の破面はパーライトが介在する場合、特有の網目模様を呈する。つまり白く光って見えるのがパーライトでこれが数個の黒鉛をとり囲むようにつながって網目状の破面を呈するといわれている¹⁹⁾。図22は引張試験での破面と機械的性質との関係の1例を示す。もう1つの破面判定法としてくさび型試験片でのチル観察がある²⁷⁾。図23は

Ce処理したCV黒鉛鑄鉄溶湯(図23-a)とMg処理した球状黒鉛鑄鉄溶湯(図23-b)の1分間隔で鑄込んだくさび型試験片の破面を示す。Ce処理溶湯では放置時間が長くなるにつれて白銹化が進むことを示している。8~9分後ではくさびは完全に白銹化し、12分後には再び灰色になる。暗灰色の破面はフェライト組織を示し黒鉛はすべてD型である。Mg処理球状黒鉛鑄鉄溶湯のフェイディングの挙動はこれとは異なり、白銹化は時間経過とともに進行するが、その程度は若干ゆるやかである。12分後の灰銹を示したくさびはもはや片状黒鉛組織であるが、そのすぐ前に鑄込んだくさびはCV黒鉛のみである。

4-2 熱分析による方法

上述のごとく CV 黒鉛の生成は球状黒鉛の遠心的成長過程での成長の球対称性の崩壊すなわちオ

ーステナイト殻の液体溝を通しての優先成長に起因するとすれば、熱分析曲線において図24のような特徴があらわれることは十分予想される。球状黒鉛鑄鉄溶湯の熱分析曲線上のいわゆる共晶止点が片状黒鉛鑄鉄のそれより低く、またその停滞があまり明瞭にあらわれないことはとりもなおさず球状黒鉛の生成過

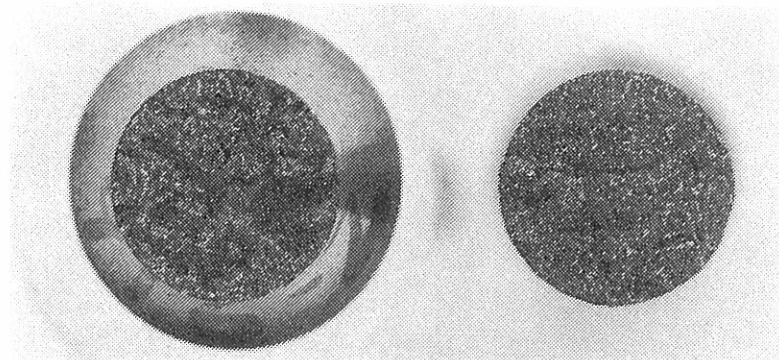


C3.90, Si2.09, Mn0.21, P0.034, S0.013, Mg0.015. T.S 37.6kg/mm², 伸び7.2%

図 21 フェライト系CVの引張破断面と
マイクロ組織(4号A)
(CVアロイ0.5%添加)

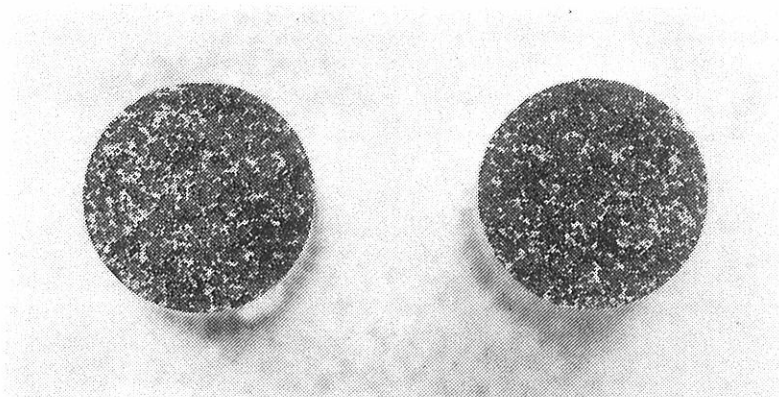
程が非平衡的なものであることを意味する。これに対し CV 黒鉛鑄鉄溶湯の場合、いわゆる共晶止点が若干高くなり、しかも温度回復（リカルセンス）もかなり大きくなる。これは主に球状黒鉛と CV 黒鉛の遠心的成長過程での黒鉛の成長速度の相異によるもので、オーステナイト殻によって完

全に融液から孤立した状態で成長する球状黒鉛よりは、融液と直接接しながら成長する CV 黒鉛の方がその成長速度が速くなり、またその生成過程は比較的平衡性を呈しやすくなると思われる。その反映が大きなりカルセンスとしてあらわれたに過ぎないのであろう。このような推測の是非はと



$$\sigma_B = 26.5 \text{ kg/mm}^2$$

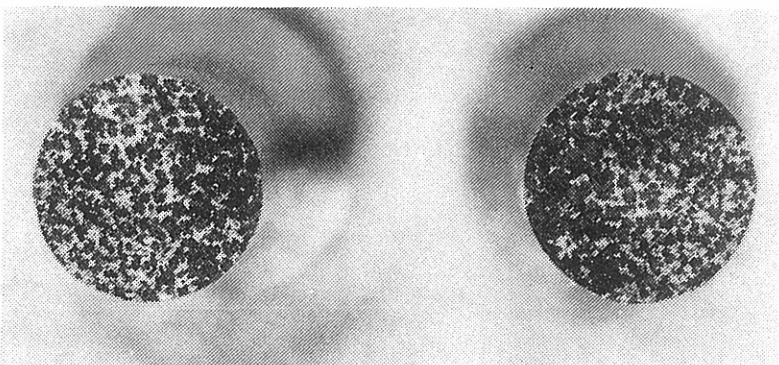
$$\text{HB} = 180$$



$$\sigma_B = 35.7 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{伸び} = 2.6\%$$

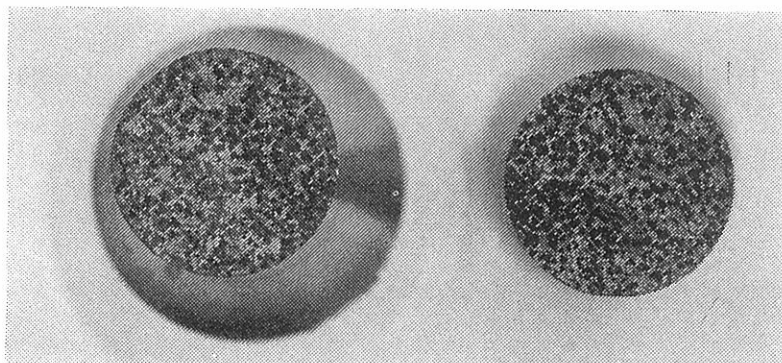
$$\text{HB} = 167$$



$$\sigma_B = 42.4 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{伸び} = 3.0\%$$

$$\text{HB} = 174$$

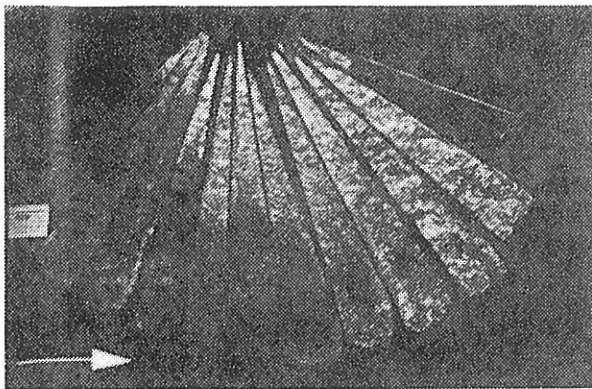


$$\sigma_B = 45.7 \text{ kg/mm}^2$$

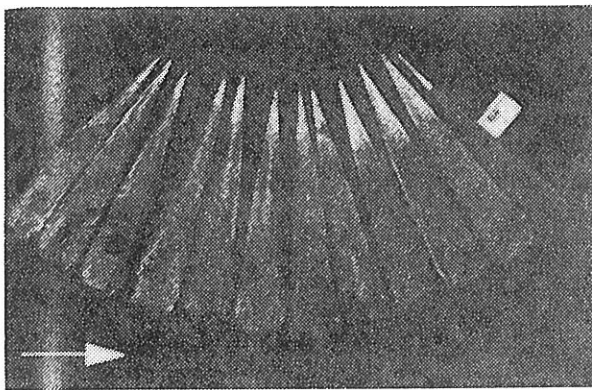
$$\text{伸び} = 1.5\%$$

$$\text{HB} = 201$$

図 22 引張り破断面と機械的性質の関係（4号A）



a)



b)

図 23 Ce処理溶湯 (a) とMg処理溶湯 (b) のくさび形試験

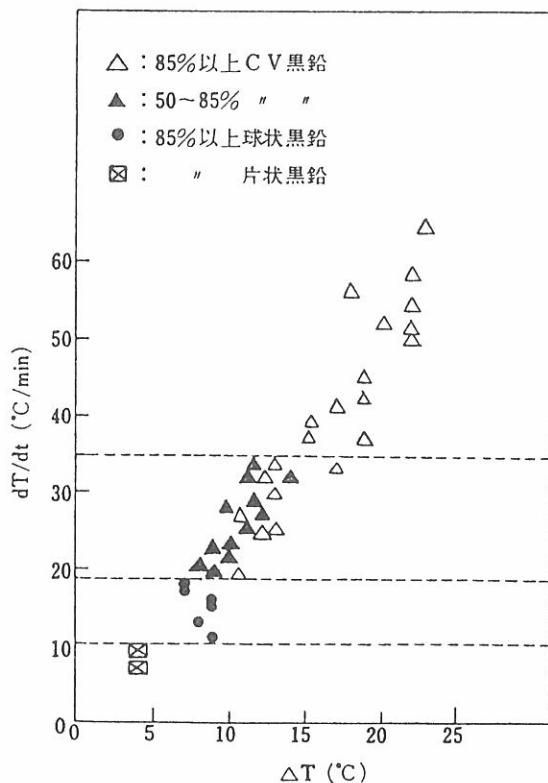


図 25 dT/dt , ΔT と黒鉛形状との関係

もかく、熱分析による CV 黒鉛鑄鉄の材質判定としては図25のようなリカルセンス時の温度勾配 (dT/dt) と ΔT との関係²⁸⁾とか、(6)式のような関係²⁹⁾が利用される。

$$Ds(\text{球状化率}) = 206.0 - 15.21 \Delta T - 4.048 \cdot Tt(6)$$

4-3 音波による判定

打音試験 (音響試験) は古くから白鉄, ねずみ銑の選別に利用されていることは周知のところであるが, CV 黒鉛鑄鉄の材質判定にもある程度応用できると思われる。この方法も単なる感能検査としてでなく弾性係数と黒鉛球状化率の関係から定量的に周波数でとらえる方法が開発されている²⁴⁾。音響共振法は試験材中にいろいろの周波数 1~16 kHz 程度の音波を入れ試験材と共振する周波数およびその音波の減衰状況を調べ, 材質の判別を行う方法であり球状黒鉛鑄鉄の球状化程度の判別に用いられる。図26³⁰⁾は共振周波数と材質の関係を示すが共振現象は試験材の成分, 組織などのほか形にも影響するので注意する必要がある。最近球状化率の判定方法として超音波の伝ば速度測定による方法がよく行われている。超音波

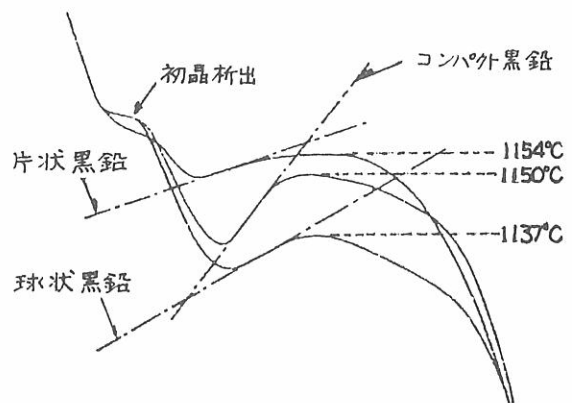
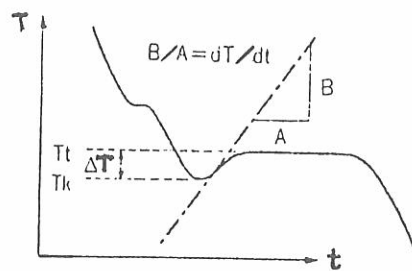


図 24 黒鉛形状と熱分析曲線の関係



の伝ば速度は黒鉛形態のみならず基地組織の違いによって大きく影響されるので、黒鉛球状化率の正確な判定には基地組織を一定にする必要がある(たとえば図27²⁴⁾)。CV黒鉛鑄鉄の判別に対してはあまりその必要がないであろう。図28³⁰⁾は30φの試験片の伝ば速度と引張強さの関係を示す。

CV 黒鉛鑄鉄を1つの確かな材質として安定して製造するためには以上の材質判定法の検討が極めて重要と思われる。

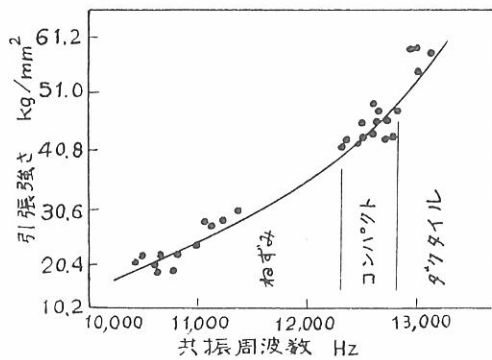


図 26 共振周波数と材質との関係

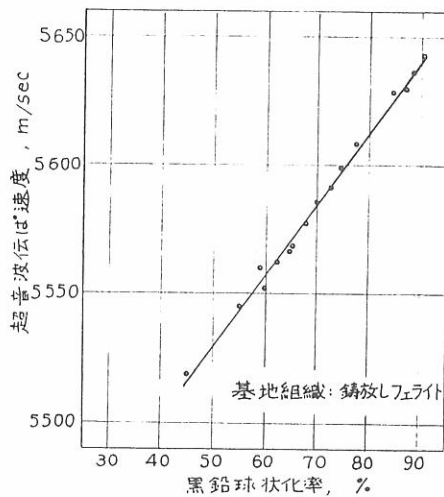


図 27 黒鉛球状化率と超音波伝ば速度との関係

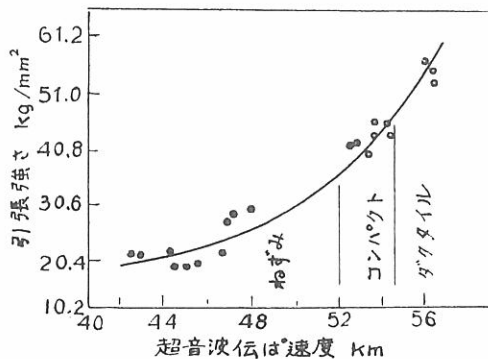


図 28 超音波伝ば速度と材質との関係

5 CV黒鉛鑄鉄の特性

CV 黒鉛鑄鉄の諸特性についてはこれまでよく紹介されているので、ここでは主に鑄造性、肉厚感受性それに熱伝導性に限定して解説する。

5-1 鑄造性

鑄鉄溶湯の流動性は図29に示すように CE 値の増加と共に増す。したがって CV 黒鉛鑄鉄の流動性も引張強さを等価とすれば CE 値が高いだけ高級ねずみ鑄鉄より良いはずである。また被酸化性の強い球状黒鉛鑄鉄溶湯よりも流動性が一般的に

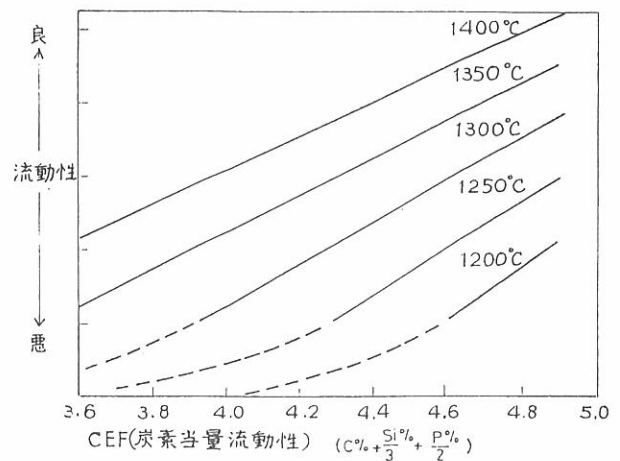


図 29 鑄鉄の流動性に及ぼすCとSiの影響

すぐれている。CV 黒鉛鑄鉄のひけ巣傾向についてはもっぱら片状黒鉛鑄鉄溶湯と球状黒鉛鑄鉄溶湯の間中であるとする主張が多い。鑄鉄のひけ巣欠陥の発生はその凝固形態に応じた押湯対策が適切であるかどうかに関係するものであるが、収縮に対する溶湯の自己補給性の面からすれば、いわゆる鑄造性は基本的に溶湯の黒鉛化によって決まるとと思われる。溶湯の黒鉛化は CE 値が高ければ高いほど良いわけで、CE値の高いCV 黒鉛鑄鉄溶湯の鑄造性は FC25 以上の高級ねずみ鑄鉄溶湯のそれより良いとしても決しておかしくない。図30は FC25 溶湯、CV 黒鉛鑄鉄溶湯それに FCD 45 溶湯のひけ巣傾向の比較を 押湯なしで 1380°Cの注湯で行った結果を示す。鑄型はフラン鑄型で張り気の心配のない条件であるが、FCとFCD45で内部ひけ巣の発生が認められた。一方CV 黒鉛鑄鉄では若干外びけが観察されるものの内部は全く健全である。事実、FC25 溶湯よりも CV 黒鉛鑄鉄溶湯の方が鑄造性の良いことは肉厚変動の比較的著しい製品について確認されてい

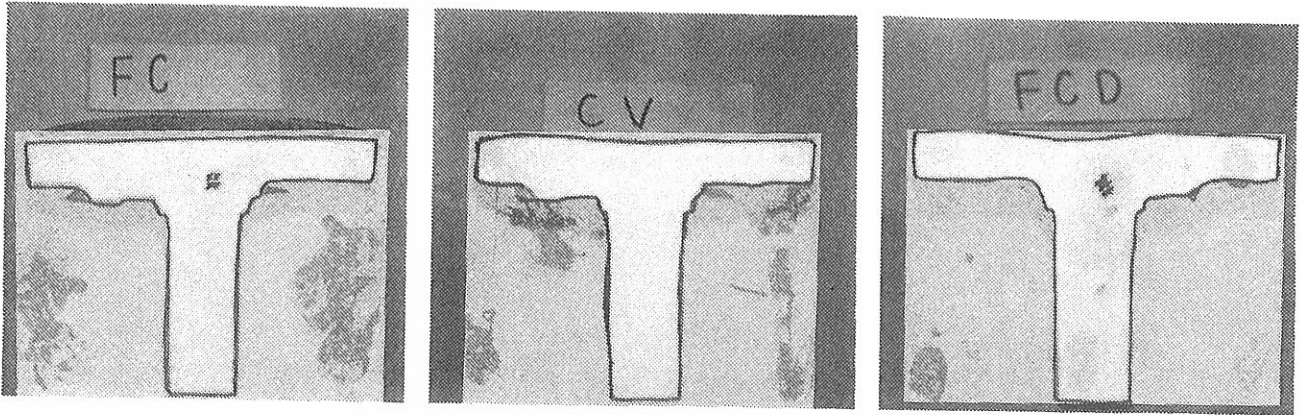
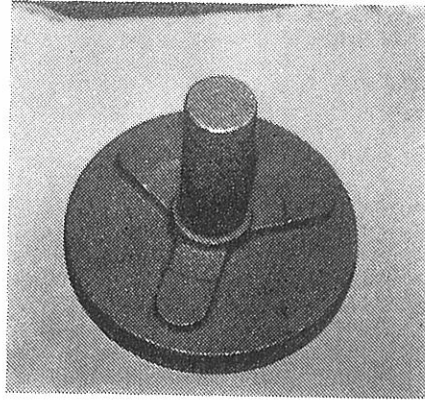


図 30 各種鋳鉄の鋳造性（自己補給性）の比較

る。同じようにCE 値の高い FCD 溶湯に比べ CV 黒鉛鋳鉄溶湯の方が鋳造性が勝るのは CV 黒鉛の成長が融液を通して進行することで、オーステナイト晶出による収縮と黒鉛晶出による膨脹がうまくバランスすることに起因するものと思われる。CV 黒鉛鋳鉄がたとえ鋳造性が良いとしても、その CE 値が低い場合にはやはりひけ巣傾向が大きくなることを十分留意する必要がある。

5-2 肉厚感受性

肉厚感受性が強い片状黒鉛鋳鉄に比べ CV 黒鉛鋳鉄のそれは比較的弱い。図31はFC25とCV 黒鉛鋳鉄のモデュラス（体積／冷却表面積）Mと実体強度の関係を示す。FC では M の増大とともに片状黒鉛が粗大になり強度が大きく低下する。一方 CV 黒鉛鋳鉄では M の増大に伴い若干強度が低下するものの、その程度は比較的小さい。このことは、強度的な面だけからならば、厚肉鋳物に対して実体強度の点で高級ねずみ鋳鉄より CV 黒鉛鋳鉄の方がはるかに信頼度が高いことを意味する。

5-3 熱伝導性

CV 黒鉛鋳鉄は熱伝導性が良いということでインゴットケース、自動車のブレーキ部品、エグゾ

ーストマニホールドなどに用いられている。図32³¹⁾は各種鋳鉄の熱伝導率を示す。CV 黒鉛鋳鉄の良好な熱伝導性を確保するには黒鉛組織をできるだけ図1のⅢになるようにすることが肝要であるが、さらにSi 量を低く抑える必要がある。図33³²⁾は球状黒鉛鋳鉄の熱伝導性に及ぼす Si 量の影響を示すが、Si はフェライト中に固溶して熱伝導性を低下させるといわれている。現在、一般的に CV 黒鉛鋳鉄の Si 含有量を球状黒鉛鋳鉄並みに比較的多くする傾向にあるが、より良い熱伝導性を得るためにも、また上述したように CV 黒鉛鋳鉄製造の安定化の点からもできるだけ Si 量を低くすることをすすめたい。この場合チル防止として Mn 量を低く抑えたり、接種の改善の必要性のあることはいうまでもない。

6 CV 黒鉛鋳鉄の当面の課題

CV 黒鉛の形態上の特徴から CV 黒鉛鋳鉄は極めてフェライト化しやすく、したがって比較的硬度が低くなる傾向にある。基地組織のパーライト化は CE 値を低くするとか、Cu, Cr, Sn それに Mn などの添加で促進されるが、そうすることで CV 黒鉛鋳鉄の持つ他の特性すなわち鋳造性、減

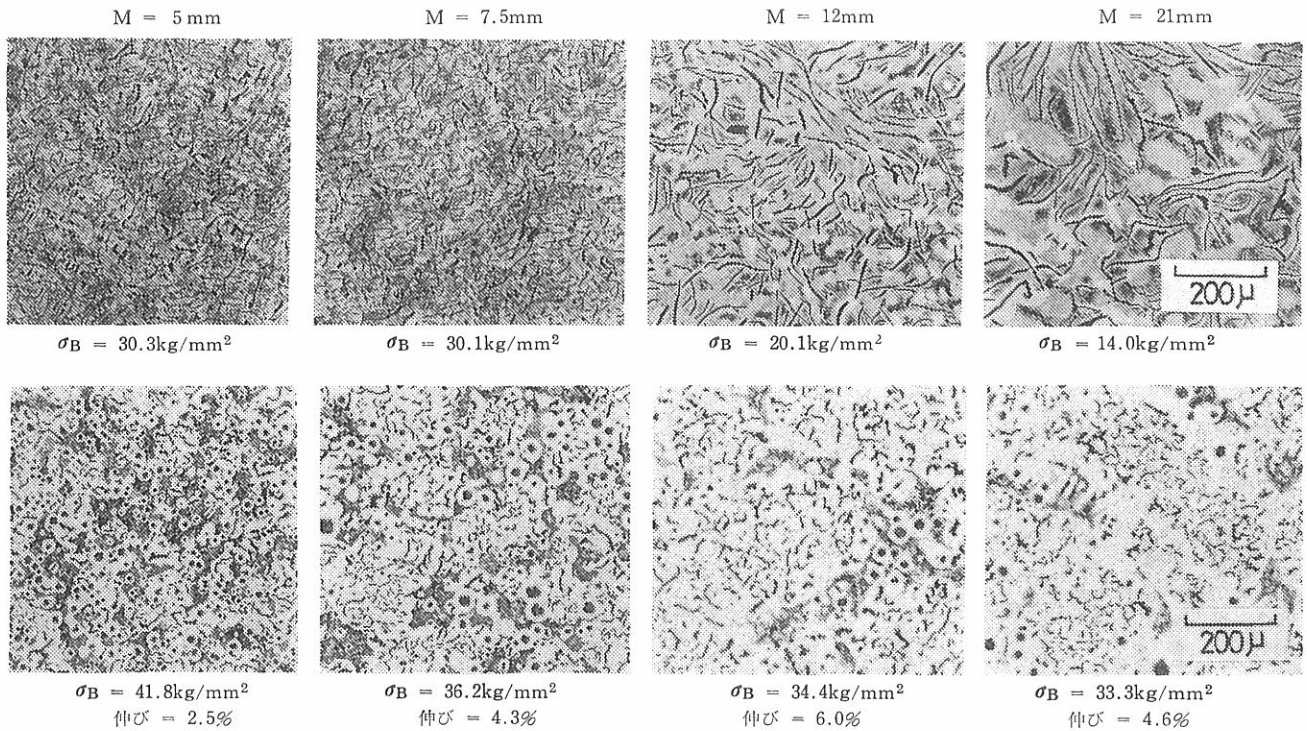


図 31 FC25とCV黒鉛鑄鉄のM（モデュラス）による機械的性質の変化

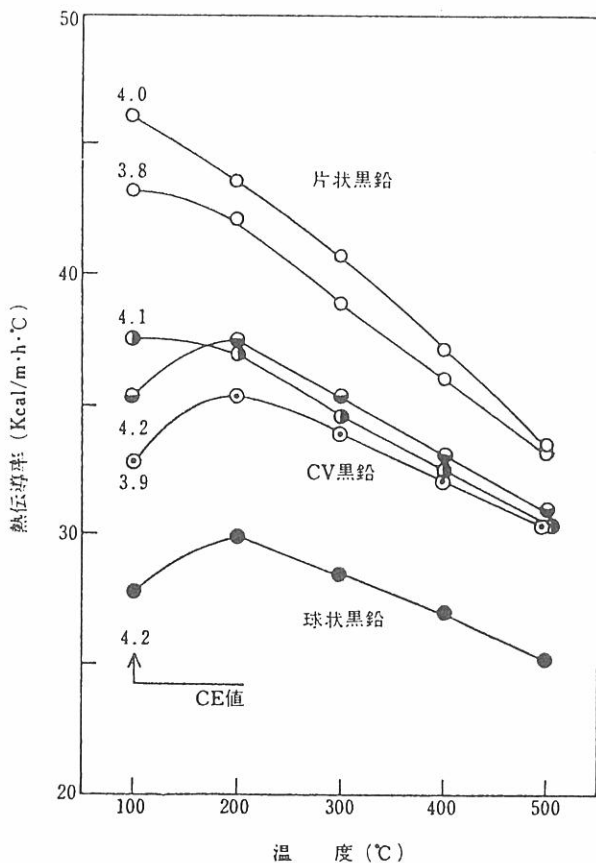


図 32 各種鑄鉄の熱伝導率

衰能それに熱伝導性の劣下を招く結果になることが多い。それにパーライト化で高硬度を確保するためのCu, Snなどの必要添加量が球状黒鉛鑄鉄

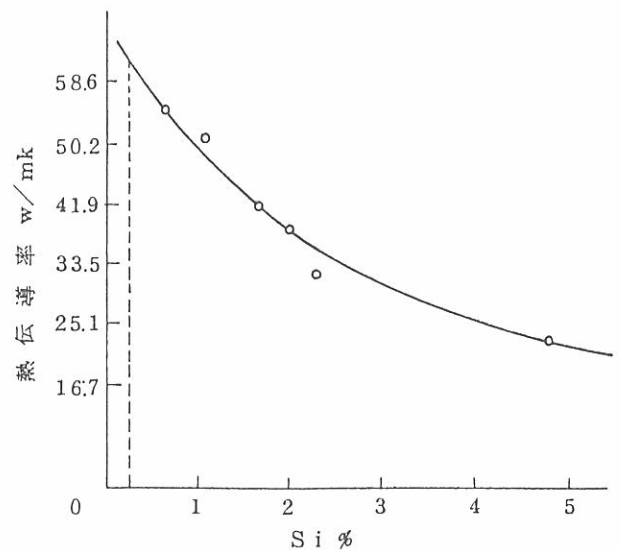


図 33 非合金ダクタイル鑄鉄の熱伝導率に対するSiの影響

の場合よりかなり多くなる傾向にある。これは特にREM系CV黒鉛鑄鉄の場合に顕著となる。たとえば3.54%C, 2.44%Si, 0.17%Mn, 0.06%P, 0.005%S, 0.015%Ceで95%以上のパーライトを得るためCu, Snはそれぞれ1.6%, 0.096%であると報告されている²¹⁾。これはCeによるCu, Snなどの金属間化合物の形成により、それだけCu, Snの効果が低減すると説明される。Ca系CV黒鉛鑄鉄においても比較的多くのCu, Snの添加が必

要となり、特に高Ca系の場合にその傾向が強い³³⁾ (図34)。ところで、パーライト化のためのCu, Snの添加量の増加にしたがい、場合によっては黒鉛の形態が漸次Ⅲ→Ⅴ→Ⅵと変化する現象があらわれる(図35)³⁴⁾。これはCu, Snにより球状黒鉛の遠心的成長過程での成長の球対称性が再び確保されることに起因するものと推測される。いずれにせよ、CV黒鉛鑄鉄のパーライト化については経済性を考慮しながら、またその特性をできるだけ犠牲にしないような添加合金の検討が必要と思われる。CV黒鉛鑄鉄の硬度を上昇させることでその耐摩耗性の改善が容易にはかれるならばFC30 FC35の代替が十分可能となる。

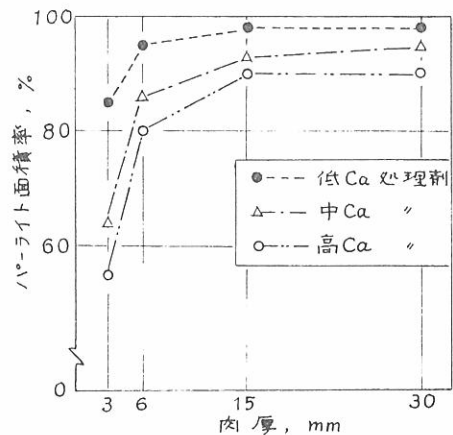


図34 1%Cu+0.08%Sn添加鑄放しパーライト基地CV黒鉛鑄鉄の肉厚感受性

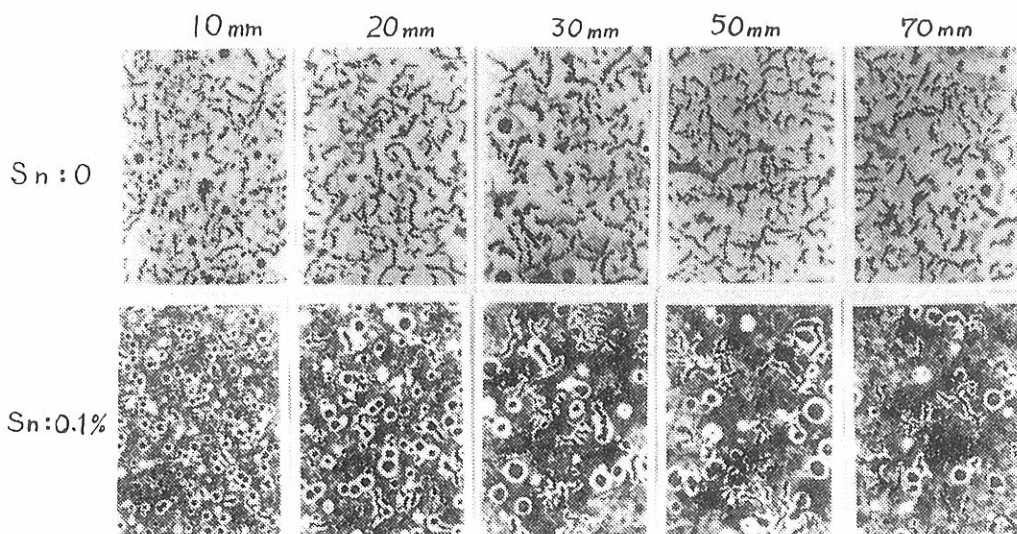


図35 CV黒鉛鑄鉄(Ca系)の組織に及ぼすSn添加の影響

7 おわりに

以上CV黒鉛鑄鉄の製造について解説したが、CV黒鉛鑄鉄の製造は決して困難なものではないことを強調しておきたい。むしろCV黒鉛鑄鉄の用途開発に問題があるようで今後はその方面に力量を注いだ方が賢明と思われる。最後にこの執筆に対し多大のご協力を賜った愛岐工業㈱の仲田利三氏、川崎金属工業㈱の印田秀生氏、大和製作所㈱の村山正博氏、埼玉鑄物機械工業試験場の笹原孝氏、野口昌彦氏、渡辺始氏ならびに大阪特殊合金㈱に対して厚く御礼申し上げます。また終始ご指導賜った京都大学川野豊先生、井ノ山直哉先生に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 26) 野口, 笹原, 大野, 村松: 日本鑄物協会第100回講演大会講演概要集 P38
- 27) K.H. Riemer, Wetzlar: Giesserei Vol 63 (1976), P285
- 28) L. Backerud, K. Nilsson, H. Steen: "The Metallurgy of Cast Iron" (1974), P179
- 29) 杉浦: 鑄物, Vol 52 (1980), P53
- 30) 中村: Jact News (1979), P4,031
- 31) G.F. Sergeant, E.R. Evans: The British Foundryman, Vol 71 (1978), P115
- 32) S.I. Karsay: ダクティル鑄鉄・製造法 I (日本語版).
- 33) 恒川: 日本鑄物協会第100回講演大会
- 34) 仲田, 渡辺, 野口, 張: 日本鑄物協会第98回講演大会