

# 鋳物っていい物（エンジン材料の開発）

小綿利憲

岩手大学工学部 技術部

## 1．はじめに

地球環境問題のひとつである、地球温暖化現象の原因となるCO<sub>2</sub>の増加を抑制するための燃費向上は大きな課題である。自動車は車体重量を軽くすることで、その性能及び燃費が向上することはよく知られている。車体重量の1%の軽量化は約1%の燃費向上につながることも報告されている<sup>[1]</sup>。そのため少しでも車体を軽くすることに、各自動車メーカーは努力を払ってきた。車体重量の10~15%を占める鋳鉄材料の軽量化、すなわち薄肉化することも自動車にとっては重要な軽量化対策の一つである。特にトラック用鋳造素形材の中で、その重量全体に占める割合の大きいものは、ディーゼルエンジン用のシリンダーブロック及びシリンダーヘッドである。このようなシリンダーブロック等に使用されている鋳鉄は、振動吸収能、熱伝導性、生産性及びコストの面から片状黒鉛鋳鉄が用いられている。

## 2．片状黒鉛鋳鉄の一般的特性

片状黒鉛鋳鉄とは、一般に炭素含有量2%以上の鉄(Fe) - 炭素(C)系合金で、片状の黒鉛が晶出する組織を有している。片状黒鉛鋳鉄は、自動車材料、構造材料など多方面で使用されている材料である。それは、以下のような性質を有しているためである。

- 1) 溶融点が低く、溶解が容易である。
- 2) 鋳造性が良く、引け巣などの欠陥が少ない。
- 3) 切削性に優れ、機械加工が容易である。
- 4) 熱伝導性がよい。
- 5) 振動吸収能が大きい。
- 6) 耐摩耗性に優れている。

以上のような特性より、形状の複雑な鋳物を健全に、かつ容易に製造することができる。片状黒鉛鋳鉄の大きな特性としては、振動のエネルギーを吸収する、いわゆる振動吸収能が大きい。このことにより、伝播を阻止したり、共振を防いだりするので、工作機械のベッドをはじめ、各種防振材としても注目されている。さらに、熱伝導性が良いため、自動車用エンジン部品に利用されている。

## 3．鋳鉄の薄肉軽量化の難しさと改善方法

鋳鉄を薄肉化すると冷却速度が大きくなり、Cは黒鉛としてではなくセメンタイト(Fe<sub>3</sub>C)として凝固する。このセメンタイトはきわめて硬度が高く、板状で脆い結晶として現れる。このことが鋳鉄鋳物での薄肉化を難しくしている原因である。セメンタイト化を防止して鋳鉄を製造するには、黒鉛化を促進させることが必要である。

このためには、鋳鉄溶湯に強力な不均質核生成が起こるような処理を施すことが有効であり、この処理方法として接種がある。接種とは、機械的性質の改善を目的として、溶湯を鋳型に鋳込む前に、金属や合金などを添加することをいう。この接種によって、晶出する黒鉛量が増加してセメンタイト化を低減させる。

## 4．開発への取り組み

希土類元素(RE)はきわめて活性の大きい元素であり、鑄鉄溶湯中の硫黄(S)と反応して希土類元素の硫化物を形成する。薄肉球状黒鉛鑄鉄では元湯 S 量に対して、化学量論的な RE を添加することにより、RE の硫化物が晶出しこの硫化物が黒鉛晶出の下地として作用し、著しい黒鉛化作用により球状黒鉛粒数が増加すると報告されている<sup>[2][3]</sup>。片状黒鉛鑄鉄の場合も希土類元素の硫化物が黒鉛晶出の下地として黒鉛化に有効に作用するものと予想される。マンガン(Mn)は炭化物安定化元素でもあるが S と化合物をつくり MnS を形成することは周知である。そのために Mn と RE が複合硫化物を形成すること、さらにこの複合硫化物が片状黒鉛鑄鉄の黒鉛晶出の下地として有効に働くことも予想される。また、RE と Mn を複合添加した片状黒鉛鑄鉄の黒鉛化及び機械的性質、さらにその黒鉛化機構について詳細に実験を行った研究もほとんど見られない。

このような観点から、エンジン材料である片状黒鉛鑄鉄の高強度化開発に向けて、片状黒鉛鑄鉄に RE と Mn を複合添加し、黒鉛化と機械的性質に及ぼす影響について、その機構を解明する試みを行った。

## 5．黒鉛化の挙動

RE,Mn 及び S の黒鉛化挙動を調べるために、目標組成が C3.3%、Si2.1%、P0.06%、S0.08%となるように元湯を溶製した。Mn0.6%添加した試料、RE の添加には定量分析が行いやすいように純セリウム(Ce99.9%)を用い Ce0.2%添加した試料 及び Mn0.6%と Ce0.2%を複合添加した試料 の3種類の溶湯を作製した。

1723K にてそれぞれの添加剤を溶湯に直接添加し、1673K で鑄型に注湯し、試験片を作製した。板チル試験片の破面についてクリアチル深さ、全チル深さを測定した。また、30mm×200mm の CO<sub>2</sub> 型試料について引張試験を行い、破断面近傍で硬度試験及び顕微鏡組織観察を行った。

図1に試料、試料及び試料の全チル深さ及びクリアチル深さの結果を示す。

この図でチル深さが少ないほど黒鉛化が良好であることを示す。このように Ce を添加することによりチル低減効果が認められる。さらに Mn0.6%と Ce0.2%添加した試料 では全チル深さ、クリアチル深さとも3mmと低減し、黒鉛化に対する Ce と Mn の複合効果が認められた。

Mn と S を含有する鑄鉄溶湯の S 量に対し化学量論的な量の RE を添加すると、黒鉛化を著しく促進するという挙動を確認できた。

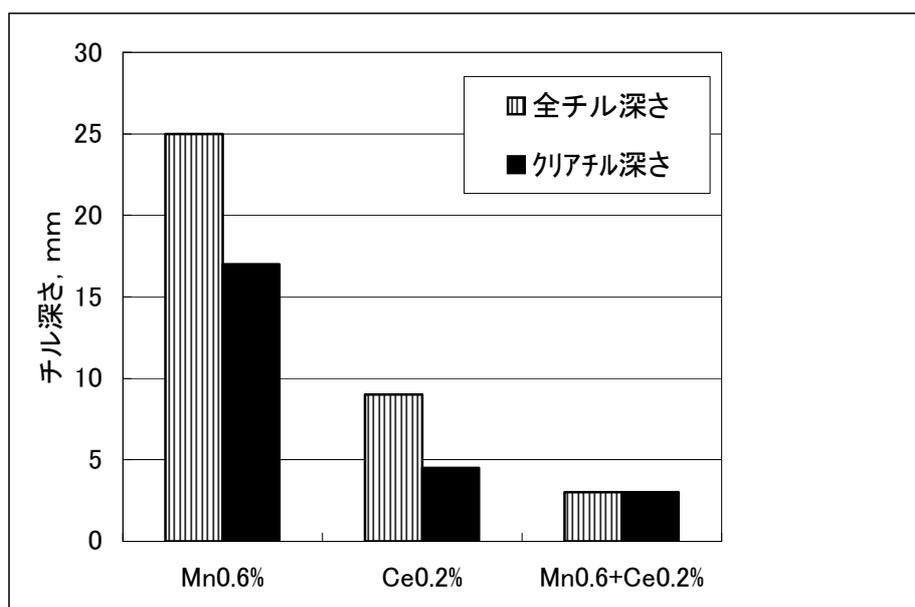


図1 チル深さの変化

## 6 . R E と M n 複合添加試料の機械的性質

図 2 に試料中の Mn 添加量と全チル深さとの関係を、RE 無添加試料と RE0.2% 添加した試料に分けて示す。RE 無添加では Mn0.5% 添加試料で全チル深さは一旦減少するが、Mn 添加量の増加に伴い再び全チル深さが増加する。鑄鉄中に Mn と S が共存する場合、S が Mn の 2 倍または  $Mn = 1.7S + (-0.2 \sim 0.3)$  の Mn 量で、いずれの元素の黒鉛化阻害作用も現れないとされており、本実験の場合もこのことにより全チル深さが減少したと思われる。さらに Mn の添加量を増加した試料では、Mn のもつ黒鉛化阻害作用によりチルが増加するものと思われる。

一方、RE を添加した試料では、Mn 無添加の試料でも RE 無添加の試料より全チル深さは減少しており、RE によるチル低減効果が認められる。これに Mn を添加すると全チル深さが減少し、Mn1.0~2.0% 添加した試料ではほとんど 0 近くまで全チル深さが減少している。さらに Mn3.0% 添加した試料より再び全チル深さが増加し、Mn 添加量 5.0% の試料ではすべてチルとなった。このチル試験の結果から、溶湯に RE を添加した試料の黒鉛化に対する最適 Mn 量は、RE 無添加試料の場合の 0.5% に対して 1.0~2.0% Mn 量となることが確認された。

図 3 に Mn 添加量と引張強さの関係を、RE 無添加の試料と RE 添加した試料に分けて示す。RE 無添加の試料では Mn 添加量が増加するに伴い引張強さは低下し、Mn 添加量 1.0% 以上で一定となる。これに対して、RE を添加した試料では Mn 添加量 0.5% 付近で一旦引張強さが低下した後、Mn 添加量の増加に伴い引張強さは次第に増加し、Mn3.0% 添加した試料で 350MPa の引張強さが得られた。

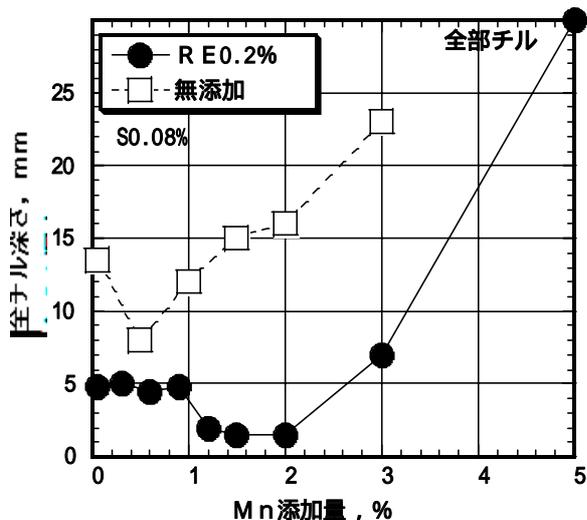


図 2 Mn 添加量と全チル深さの関係

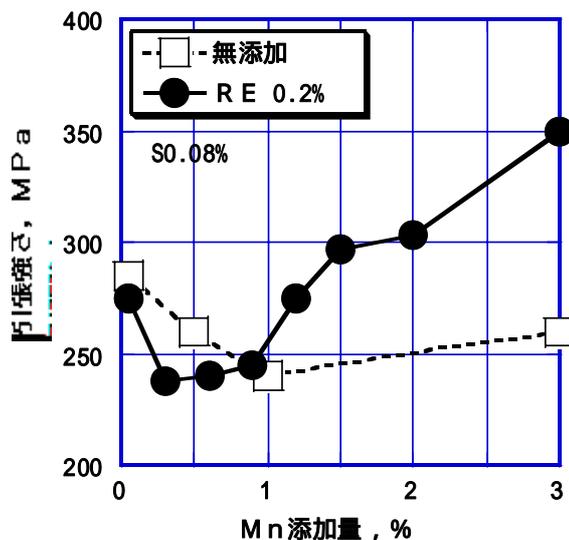


図 3 Mn 添加量と引張強さの関係

溶湯中の S 量(0.08%)に対して化学量論的な量の RE(0.2%)を添加した片状黒鉛鑄鉄溶湯に Mn1.5%を添加した試料において、全チル深さが 1mm 程度と浅く、引張強さが 300MPa、ブリネル硬さ 200 以下という、通常の FC300 の JIS 規格の硬さ (HB262 以下) よりもはるかに低い硬さで、引張強さを満足できる機械的性質が得られることがわかった。

RE と Mn を複合添加した鑄鉄は、RE, Mn 及び S からなる複合硫化物の影響で、黒鉛化が良好となり、かつ Mn により基地組織のパーライトが緻密な鑄鉄が得られた。鑄鉄は、強度に比例して硬くなるが、黒鉛の晶出の増加により硬度が低下し、基地組織の緻密化は高強度化に作用する。これにより、強度は高く、硬さが低いという相反する性質を持つ鑄鉄ができた。

得られた片状黒鉛鑄鉄の機械的性質を図4に示す。図中RHは比較硬さと称し、この値が1より小さくなるほどその材質は良好であると見なせる。すなわち、同一の引張強さであれば硬さが低いほどその材質は良好である。ここでMn添加量0.05%と極めて低い試料以外は、すべてRHの値が1以下となっており、REとMnを併用添加した試料は良好な材質であることが認められる。

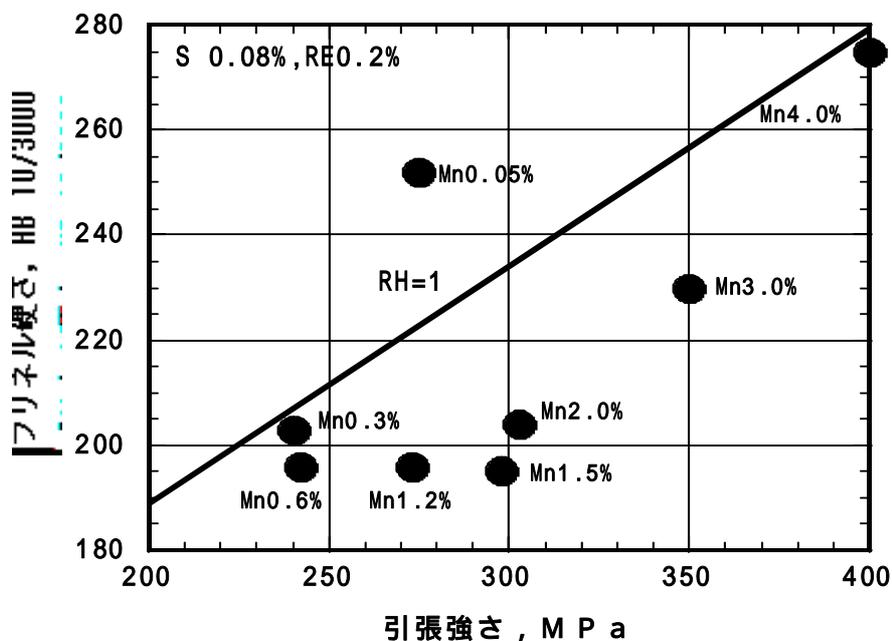


図4 開発した片状黒鉛鑄鉄の機械的性質

## 7. まとめ

開発した鑄鉄は、従来の鑄鉄に比較して1.4倍の強度が得られ、重量を3割程度低減できることが判った。さらに硬さが低いために加工性が容易で、工具寿命が2倍以上になり、切削性が良好であることも確認した。このように、極めてエンジン材料に適した鑄鉄の開発に成功した。

## 8. この研究に関して発表した論文

- 1)小綿利憲、堀江皓、平塚貞人、佐藤英樹：鑄造工学,68(1996)865
- 2)小綿利憲、堀江皓、平塚貞人、王上均、鶴田直巳：鑄造工学,68(1996)963
- 3)小綿利憲、堀江皓、平塚貞人、金昌圭、劉耀輝：鑄造工学,71(1999)314

## 参考文献

- [1] 林莊一：鑄物,64(1992)864
- [2] 堀江皓、小綿利憲、阿部喜佐男、千田昭夫：鑄物,57(1985)778
- [3] 堀江皓、小綿利憲、阿部喜佐男、千田昭夫：鑄物,58(1986)21