

銑 鑄 物 研 究 の 問 題 点

Problems Concerning Pig Iron Castings

菊 田 多 利 男*

Tario Kikuta

現今世界いたるところで製造されている銑鑄物の種類は数多くあるが、それを大別すると鼠銑鑄物、白銑鑄鉄、可鍛鑄鉄、球状黒鉛鑄鉄の数種に分類される。鼠銑鑄物は最も普遍的に簡単に製造され、その用途はなべかまなどの生活必需品より機械器具の高級部品に至るまできわめて広範であり、大企業でも、小企業でも製造容易である。したがって考えようによっては銑鑄物に関する限りなら研究の対象になるようなものはないと思われる。けれどもその用途が精密機械の部品または発動機のように相当の強度を必要とし終始衝撃を受けるようなものであるときは普通の銑鑄物は脆弱な特性を有するために利用の範囲が縮小される。これらの過激な使用条件を満足させるためにミーハナイト鑄鉄とか、可鍛鑄鉄、ときとして球状黒鉛鑄鉄が利用されるようになったことはよく知られていることである。銑鑄物の破断面をよく研磨して顕微鏡で観察すると木の葉状の黒鉛片が鉄地金に種々雑多の位置をとって分布されていることがわかる。黒鉛それ自身は応力に対しきわめて微弱な抗力を有するものであり、それが木の葉のような薄片状になっているので、その黒鉛片は鉄地金中に無数の切欠部を与えることになり、外力、特に衝撃に対し抵抗力を微弱ならしめるようになる。この黒鉛の形状が薄片状でなく塊状とか球状として鉄地金中に分布されるときは切欠作用は極度に低減し、同量の黒鉛含有でも銑鑄物全体として外力に対し抵抗力を高め、過激な用途に対し安全に使用することができる。かかる球状黒鉛分布の鑄鉄をうるために色々の製造方法が研究され、可鍛鑄鉄や球状黒鉛鑄鉄が発明されたのは鑄物製造者のよく知っていることである。順序としてこれら鉄中に含有する黒鉛が塊状または球状をなしている鑄鉄がいかにして得られたものか、多少の理論を加えて簡単に説明し、その製造法の欠点を指摘し、その欠点を排除して理想と思われる製造法に到達せんものと種々考察を試みてみた。もちろん今後なお一層の研究過程を経て逐次それに接近するのであるが、その前に一応過去において我々の経験した種々の事実を説明し、それを参考として研究を進めるならば比較的容易に彼岸に達するものと考えられる。

(1) 1931年1月2日にわたくしはニューヨーク市の

* 日立製作所中央研究所名誉所長兼武蔵工場長 理博
日本金属学会会長 日本学会議会員

三井物産支店で O. Smalley 氏と会見した。Smalley 氏はミーハナイト・メタル会社のミーハン社長との共同研究者で高級鑄鉄と称せられるミーハナイト鑄鉄の創造者である。同氏の話では、その当時の鼠銑鑄鉄の抗張力が毎平方インチ 25,000ポンドであるのに、このミーハナイト鑄鉄は鑄造のままで 60,000 ポンドもあり、空中焼入すると 114,000 ポンドになるという。焼入したらこの程度まで抗張力があがることはなにも珍しいことでないので別に驚きはしないのであるが、キューポラ炉熔解でその当時では画期的な性能を有するので、私は多少興味をそそられた。この鑄鉄はこれら 2 人の技術者が 3 箇年の歳月と 25 万ドルの研究費を打込んで始めて発明したもので、その当時の不景気な時期にもかかわらず、この技術を実施している工場はすべて繁忙をきわめているという。またアメリカのほか、5 箇国の特許を獲得している。日本にはまだ特許を設定していないが実施権は譲ってもよいという。この鑄鉄のほかにミーハナイト可鍛鑄鉄も研究しており短時間焼鈍で使用可能のものができているというので、わたくしはむしろこのほうに興味を持ったので、そのサンプルをわたくしのところ（戸畑工場）に送ってもらい、それについてよく試験したあと、ミーハナイト鑄鉄の件も併せて考えて見ると約束して帰国した。このミーハナイト可鍛鑄鉄（これは一種の黒心可鍛鉄である）は日本でよくしらべて見た結果、余り性能がよくないのでミーハナイト鑄鉄もともに実施するに至らなかった。その後スモーレー氏は引き続き研究したものの如く 6, 7 年前に日本においてもその実施権の許諾をうけ普及するようになったことは大方の知るところと思う。このミーハナイト鑄鉄が銑鑄物として確かに優秀なものであることは私も了承するものである。けれどもそれを教えてもらうために、わざわざアメリカに行くほどのものでなく実地を理論的に勉強すればできるものと思う。この製造法の骨子は、原料としてさびの少ない鋼くずを 80% 程度に戻銑鉄または古銑（新銑でももちろんよい）20% 程度を熔鉄炉（このキューポラは高温熔解のできるよう特に設計されたものという）に装入し高温熔解法により比較的低碳素の熔銑を作り、出湯の際、樋の中でカルシウム・シリサイト CaSi を適当量振りかけるのである。この CaSi の量は出湯の際に採取した試料の破面検査で加減する。この方法により熔銑は CaSi より Si を

吸収し、一方銑中の C を与えてスラグに CaC を作る。このカルシウム・カーバイトにより熔銑は取鍋中でも精錬作用を受け銑中の酸素を除去し品質のよい銑鑄物が得られるのであって理論的にも説明されることである。この鑄物の化学成分を分析すると炭素量 2.6~3.1% 位で銑鑄物としては比較的低位、その割合に珪素量が高くなき 1.50~2.00% 位のものである。これで黒鉛化が十分進み班銑組織は見られぬ。この点注目すべき事からである。この鑄物の欠点は炭素量が低いので健全な鑄物をうるために押湯とか、シュリンカーを相当量つけなければならないため、熔湯と完成鑄物との比、すなわち歩留が案外低いことである。普通銑鑄物の特長の一つは押湯とかシュリンカーがなくとも内部が上等ではないが均一な品質のものが得られる点であるが、ミーハナイト鑄鉄はこの点普通銑鑄物に対し経済的に劣る。せっかくさびない鋼くずやカルシウム・シリサイト処理により良い熔湯が得られても(熔鉄炉)キューボラ熔解であるので精錬の点が不十分なので鉄中の黒鉛片の形状の端部はいくぶん丸味をおびて来て黒鉛片による切欠作用をいくぶん緩和するが、木の葉形からイモ虫状にはなっても球状よりほど遠いので、十分な抵抗力が出ない。これらを改善するにはいかにすべきかを後説する。

(2) つぎに発明された鑄鉄は球状黒鉛鑄鉄である。これは展延性鑄鉄 (Ductile Cast Iron) または Nodular Cast Iron と称せられ、現今では鑄物技術者によく知られているところである。1948年にイギリスの H. Morrough 氏によつて熔銑中にセリウムまたはセリウム合金を添加することにより鑄鉄組織中に現われる黒鉛の形状を鑄放しのままで球状のものとなし抗張力の大きな延伸性のある優秀な鑄物、すなわち球状黒鉛鑄鉄が発明された。それから間もなくアメリカにおいても International Nickel Co. において、セリウムの代りにマグネシウムまたはマグネシウム合金を普通鑄鉄に添加して同様球状黒鉛鑄鉄が創造された。インターナショナル・ニッケル会社はただちにアメリカその他数箇国の特許を獲得し、日本においても 1951~52 年の間にこの特許権をとった。名称も Nodular Cast Iron より Ductile Cast Iron (略して DCI) となり、わが国の特許実施権者の合議により、この名称に統一することになった。

マグネシウムまたはマグネシウム合金を添加して作られる球状黒鉛鑄鉄は地鉄中に含まれる炭素は球状を呈しているので抗張力が高く、焼鈍により十分黒鉛化するときには展延性がよく黒心可鍛鑄鉄にまさるものとなる。この鑄鉄の欠点とするところはマグネシウムの添加を要するので作業上爆発の危険性を伴うので、これを除去するために特別の装置を施す必要があることと、マグネシウムは熔湯中にしばらくガス状になるので、凝固の際に特

別の収縮をなすことである。そのために健全な鑄物をうるためには相当の押湯やシュリンカーを付与する必要がある、それに起因する歩留低下を招来することである。マグネシウム処理は一種の精錬作用を急速にすることであつて優秀な材質の銑鑄物を作るには理論上首肯されることであるが、上述のようなマグネシウム・ガスによる悪影響があるのでマグネシウムを用いずに熔湯を精錬し、熔湯中に含むガ斯特に酸素を除去することができればミーハナイト鑄鉄やダクタイル鑄鉄のように大きな押湯やシュリンカーを用いなくても炭素の調整だけで優秀な材質の鑄物ができはしないか、しかも歩留が普通銑鑄物と同等のものが得られはしないかと思うのである。これが可能となれば広範に使用される鑄物の品質を極度に高め、あらゆる用途に利用できるものとなりはしないかと思うのである。この研究が完成されると、その効果はばく大なものになると思うのである。この研究の参考のため過去において経験した種々の事実を説明するのむだでないと思う。

(3) 強靱な鑄物の製造に関する研究問題を論ずるに当って黒心可鍛鑄鉄について説明することは順序と思うが、この鑄鉄は過去において十分研究せられ、ここに重ねて説明する要はないと思う。ただ黒心可鍛鑄鉄は最初白銑鑄物を作り、その後化合炭素を黒鉛化して製造されるのであり、普通銑鑄物の研究にもこの黒鉛化作用が重要な問題となるのであるから、後説の諸事象にも関係があることと思うので黒鉛化に対するガスの影響について触れることとする。ここにいうガスは普通大気中にある酸素、窒素、および水素の三つについて説明すればよいと思う。水素はその原子量元素中最も小さく地鉄の分子間を通過して内部まで浸入するものらしく、焼鈍炉内に水分があるときは白銑の黒鉛化はきわめて困難になる。特に第二段黒鉛化すなわちパーライト・セメンタイトの黒鉛化は困難である。酸素および窒素は炉内ふんい気としてあるときは多少黒鉛化を妨げる程度であるが、これが地鉄中に含有されると黒鉛化を妨げるのに窒素はそう激しくないが、酸素はその含有程度によって特にはなはだしい。たとえば熔鉄炉の中に鉄ドライコを多量に使用して熔解作業を行うとき、白銑の黒鉛化はきわめて困難なものになる。以上銑鑄物中に含有されてくる諸ガスについて簡単に述べたが、これらガス中特に注目すべきは何といっても酸素である。

(4) 第 2 次世界大戦の終了後 1 時の空白時代も過ぎ、日立製作所の安来工場でもボツボツ製鋼を始めたころ、世の需要に応じ刃物用鍛鋼の生産を開始し、刃物方面の需要のみならず工業方面にまで範囲を広めた。そのうち注目されるものに時計の動力スプリング用として白紙印炭素鋼の製産をなしスウェーデン鋼に代り内地品を

推奨した。この種スプリング鋼は純粋な炭素鋼で炭素量 1.10~1.20% を含み砂鉄を原料とする木炭鉄から作られるもので、もちろん弧光電気炉により十分に精錬せられ硫黄の含有量を 0.004% 以下に押えられている。したがってこの鋼に含む有害な酸素量は他種鋼よりも一段と低い。この種の鋼塊は鍛錬後圧延されて厚さ 2 mm のフープに巻きとられ、これを特殊圧延工場で冷圧され 0.15 mm 位のスプリング粗材として時計メーカーに納入されるものである。この冷圧延で厚さ 2 mm のフープより幾回かの圧延作業を経て 0.3~0.4 mm の厚さに至ると、冷圧されたストリップ鋼板が 2 枚または 3 枚に裂離することがあり問題となったことがある。この原因ははじめ皆目わからなかったが、安来工場の研究室において色々調査しているうちに、この裂目に沿って黒色の粉を発見し、それを分析して見たところ、それが黒鉛であることが判明した。この鋼は刃物鋼と同様な化学成分であるから珪素量は 0.15% 以下に規格づけられ、硫黄は 0.004% 以下、磷は普通鋼のように 0.03% 以下となっているので、これが黒鉛化することは普通の物理冶金学上の常識では判断がつかなかったが、対策はただちに講ずることができた。この種炭素鋼の炭化物がどうして黒鉛化したのか、しばらくわからなかったが、原因の探究は続けられた。この経過は省略して結論だけを述べると、弧光電気炉で十分精錬された鋼はたとえ珪素量が少なくても黒鉛化するものであり、精錬が徹底的でない場合は炭素含有量 1.2% 位の場合、珪素含有量 1.00% 以上含まぬと黒鉛化しない。したがって黒鉛を含む黒鉛鋼では普通炭素量 1.2% 以上で珪素を 1.0% 以上 1.5% 位まで含ませるのである。然るに砂鉄より作られた木炭鉄を原料として精錬を十分に作られた炭素鋼の場合は珪素含有量 0.4% 位でも炭化物は黒鉛化することができる。これが将来安来工場の黒鉛鋼の研究課題となったのである。一方、鉄炭素合金は十分に精錬され合金中の酸素含有量を極度に低下させると珪素量が比較的少ないときでも黒鉛化し易いものである。炭素量 1.2% 位の鋼でもその炭化物は黒

鉛化が可能であることが知られ、この事実は深くわたくしの脳裡に刻み込まれたのである。

(5) 昭和29年ころと思うが、日立製作所清水分工場より研究報告がわたくしの手元に届いた。これは鉄炭素二元合金を真空熔解して得られた結果の報告である。それをよく読んで見ると鉄の原料は電解鉄、炭素の原料は砂糖を焼いて作った炭素で、これを適当に配合し、真空熔解して20~30分保持しそのまま固めたものである。この時の真空度は水銀柱で 10^{-6} mm 程度、この合金を冷却後顕微鏡写真を撮ったのを見ると球状の黒鉛が地鉄に分布されている。原料は上記のように高純度のもので鉄炭素以外は 0.1% 以下である。それなのに炭化物は黒鉛化しており、しかも球状を呈している。これから考えて見ても鉄炭素合金は酸素を含まぬように熔解して凝固したものは黒鉛化し易く、しかもその黒鉛は球状を呈するものであることがわかる。

(6) 昭和31年ころと思うが、東北大学金属材料研究所の鋳物研究室では鉄炭素珪素の三元合金すなわち普通鉄鋳物を弧光炉に装入し熔解後適当のスラグを作り炉底とスラグの間に直流を流して精錬を助長すると、できた鉄鋳鉄は球状黒鉛鉄となる。けだし熔湯とスラグ間に適当の電圧をかけ、通電した直流で熔湯内のガスがイオン化しそれがスラグ辺の電位により蒐集され熔湯内の酸素その他のガスなどが除去されたものと思う。この現象は日立製作所中央研究所の第3研究室においても確かめられたことで実験室的には可能である。

(7) 最近日立製作所中央研究所の第3研究室においては(6)の電解精錬に引続き適当のスラグを造ることにより熔鉄内の酸素除去により球状黒鉛鉄が得られている。このほか、国内および海外の球状黒鉛鉄に関係ある諸文献を一通り調査済みであり今後はわれらの過去における体験と理論的考察とにより、セリウムとかマグネシウムなどの強制脱酸の物質を使用することなくキューボラと弧光電気炉の併用により優秀な鉄鋳物を比較的安価に作り、わが国工業界に裨益したい念願である。