

鑄鉄鑄物の差込み欠陥—発生原因とその対策—

岩堀弘昭, 杉山義雄, 栗野洋司, 米倉浩司, 上島義徳

Metal Penetration Defects in Cast Iron – Origins and Countermeasures

Hiroaki Iwahori, Yoshio Sugiyama, Yoji Awano, Koji Yonekura, Yoshinori Ueshima

要 旨

鑄鉄鑄物には、鑄型の砂粒間に溶湯が浸入してそのまま固着して残る差込みと呼ばれる欠陥が慢性的に発生している。ここでは、実鑄物に発生した二種類の差込み欠陥について、発生原因の解明と欠陥対策を行った結果について述べる。

一般に、砂粒間隙への溶湯浸入は、溶湯静圧が大きくなると生じやすくなるが、鑄鉄鑄物では溶湯静圧が小さくても差込みが発生していた。その一つの差込みは、鑄鉄の共晶凝固時の体積膨張に原因していることを明らかにした。凝固中の鑄鉄鑄物に共晶凝固の閉ループが発生すると、その場で体積膨張による圧力が増大する。そこに砂型が

存在すれば、増大した圧力が駆動力となって砂粒間隙に残留融液を浸透させ、差込みが発生する。これに起因するカムシャフト鑄物の差込み欠陥は、適切な押湯を設けて、鑄物を指向性凝固させることで防止できた。また、もう一つの差込みは、テルルを含む塗型剤を用いた時に発生した。これは、テルルが鑄鉄溶湯の表面張力を著しく低下させ、砂粒間隙への溶湯浸入を容易にさせるためであることを明らかにした。これに起因するシリンダヘッド鑄物の差込み欠陥は、テルル塗型に銅を添加し、塗型との反応による溶湯の表面張力の低下を抑制することで防止できた。

Abstract

Metal penetration is a defect that occurs when the metal enters voids between the sand grains of a mold. This paper describes the origins and countermeasures of two kinds of metal penetration defects.

In general, an increase in metallostatic pressure makes it easy to cause metal penetration. However, even if the metallostatic pressure is low, the cast iron penetration occurs. One of the cast iron penetration is caused by the volumetric expansion during eutectic solidification. When the castings has a closed loop of isochronal eutectic solidification, the internal pressure rapidly increases with the eutectic solidification proceeding in this region. If the sand mold is located

in the region surrounded by the closed loop, the metal penetration occurs. The penetration defect of camshaft castings could be prevented by making sure of the directional solidification toward the riser with proper casting design.

Another metal penetration defect is greatly accelerated by the coating containing Te. The metal penetration originates in the remarkably lowered surface tension of the molten cast iron which is resulted from its reaction with a small amount of Te. The penetration defect of cylinder head castings could be prevented to control the surface tension with Cu addition.

キーワード

鑄鉄鑄物, 鑄造欠陥, 差込み, 凝固膨張, 表面張力, 塗型剤, テルル

圧を架けて鑄造した。砂粒間隙に浸入してきた溶湯によって裸線部の2本のアルメル線間が短絡されると、2線間に電圧変化が生じ、差込みが発生したことを知る事ができる。

3. 結果および考察

3. 1 鑄鉄の凝固膨張に起因する差込み

Fig. 3に、6号砂で作製した中子を設置し、押湯高さを変えて鑄造した時の差込み発生状況を示す。なお、(c)は鑄物を切断し中子面側から観察したものである。押湯無しの場合、中子全面に差込みが発生しているが、高さ10cmの押湯を設けた場合は、差込みは発生しなかった。しかし、高さ40cmほどの押湯になると、(c)に示したように中子の外周部の砂粒間隙にわずかな溶湯浸入が認められるようになり、再び差込みが発生した。砂粒間隙への溶融金属の浸透現象は、溶融金属の静圧が溶融金属と鑄型条件によって決まる臨界圧を越えた場合に発生するものとして式(1)⁶⁾で与えられる。

$$h \geq -2\gamma \cos\theta / r\rho g \dots\dots\dots(1)$$

h: 溶湯高さ(圧力) γ : 表面張力 θ : 接触角
 r: 砂粒間隙の有効半径 ρ : 溶湯密度 g: 重力加速度

式(1)より、左辺の溶湯高さ(ほぼ押湯高さに相当)が大きくなれば差込みが生じやすくなることは明らかである。しかし、押湯無しでも差込みが発生することは、押湯高さに代わる駆動力を考える必要がある。

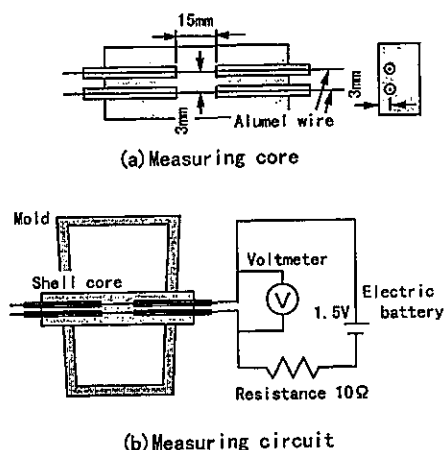


Fig. 2 Measurement of penetration starting.

Fig. 4および5は、押湯無しと高さ10cmの押湯を設けて鑄造した鑄物の凝固過程図を示す。左図は共晶凝固開始時間、右図は共晶凝固終了時間の等時間線図で、これらの図から凝固の進行方向を讀取ることができる。押湯が無い鑄物は等時間線が閉ループとなって現われ、凝固は鑄物周辺から中央部へと進行している。そして、中央部が共晶凝固を始める頃には鑄物周辺部はすでに共晶凝固が完了している。一方、高さ10cmの押湯を設けた鑄物は等時間線が上部方向に開き、押湯に向かって指向性凝固している。

そこで、共晶凝固の閉ループに着目して差込み発生の有無を調べた。Fig. 6は、鑄型内の任意の位置に中子を設置して鑄造した場合の差込み発生状況を示す。押湯無しでは、鑄型壁近くに設置した中子には中央部側からのみ溶湯が浸入した差込みが生じているが、その少し内側に設置した中子ではいずれも全面に差込みが発生した。しかし、押湯有りの場合は、Fig. 3-(b)に代表されるように鑄型内のいずれの位置においても全く差込みは発生しなかった。すなわち、差込みは、共晶凝固の等時間線が閉ループを形成している領域内で発生しており、共晶凝固の等時間線が開放した凝固過

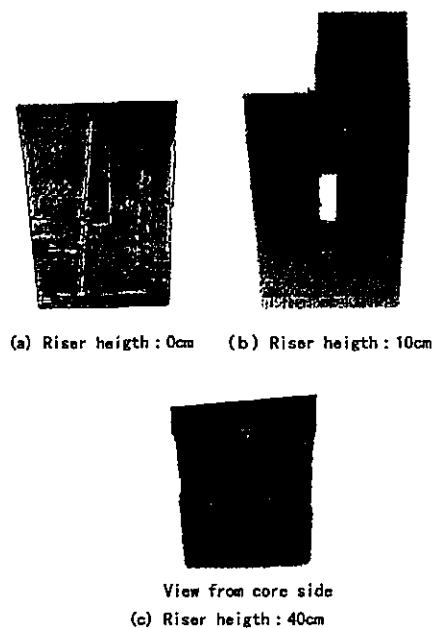


Fig. 3 Variation in penetration of casting with riser height.

た領域で生じれば、その場では急激に圧力が上昇する。そして、そのような領域に空隙を有する中子が存在すれば、上昇した圧力が駆動力となって残留融液を砂粒間隙に浸透させて、差込みを発生させることになる。

すなわち、押湯無しで差込みが発生した原因は、鋳物内に共晶凝固の閉ループが発生し、そこで鋳鉄特有の共晶凝固に伴う体積膨張による圧力が発生し、その膨張圧力が式(1)を満足させた結果である。しかし、閉ループができないように適切な押湯を設けて鋳物に指向性凝固の条件を与えれば、共晶凝固膨張にともなう圧力上昇が鋳物内部(製品部)で生じることはなくなり、差込みは発生しない。

3. 2 鋳鉄溶湯の表面張力変化に起因する差込み

差込み発生に影響を及ぼす中子の砂粒径と押湯高さの関係をFig. 8に示す。鋳造後、砂落としした中子の外周に少しでも溶湯の浸入が認められたものを差込み有りとして判定した。35-28メッシュ(平均粒径約0.05cm)の砂では、高さ約30cmの押湯で差込みが発生している。さらに砂粒径が小さくなると、差込みを発生させるためにはより高い押湯が必要となり、差込みは発生しにくくなる。図中には、鋳鉄鋳物の圧洩れ防止に効果があるとして用いられるテルルを塗型した中子を同様にして鋳造した結果も示してある。テルルを塗型した場合は、いずれの砂粒径においても無塗型の場合

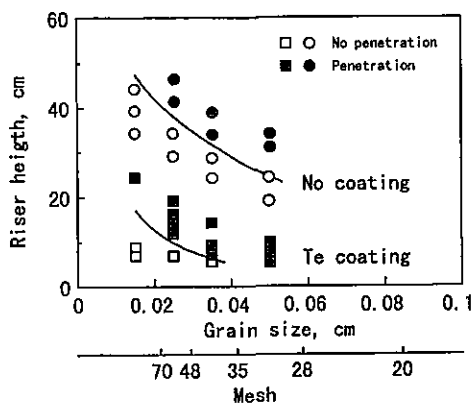


Fig. 8 Effects of grain size and Te coating on occurrence of penetration.

の1/2以下の押湯高さで全面に差込みが発生している。すなわち、テルルには著しく差込みを生じやすくさせる効果のあることがわかった。

テルルを塗型した中子に差込みが発生する時期を測定した結果をFig. 9に示す。差込みが発生しない無塗型の中子では、注湯直後に2線間の電圧がわずかに低下するのみである。しかし、テルルを塗型した中子では大きな電圧低下が現われている。電圧低下は砂粒間隙に浸入した溶湯によって2線間が短絡した結果であり、この時点で差込みが発生したことを示している。そして同時に測定した冷却曲線から、差込みは初晶凝固が開始する以前の液相状態で発生したことがわかる。すなわち、テルルに原因する差込みは、式(1)左辺の圧力項、溶湯高さや凝固時の体積膨張による圧力に起因するものではなく、テルルが式(1)の右辺に影響した結果と推定される。テルルは微量で溶融鉄の表面張力を著しく低下させる(0.05%Teで溶融鉄の表面張力は1/2に低下)^{1,2)}こと、また同族元素であるセレン、硫黄も同様に表面張力を低下させることが知られている^{1,2,13)}。

Fig. 10は、中子にテルル、セレンおよび硫黄を単独で塗型した場合の押湯高さや差込み発生との関係を示す。テルル、セレンおよび硫黄を塗型した中子では、いずれも無塗型の中子に比べて小さな押湯高さで差込みが発生する。この押湯高さが小さいほど差込みの発生が容易になっていると見なすことができるが、テルルはその効果が最も大き

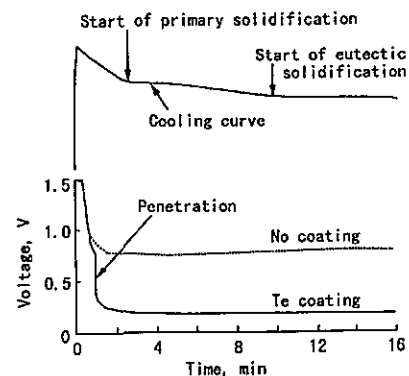


Fig. 9 Relations of cooling curve with change in voltage between alumel wires in cores.

る。差込み欠陥が発生した部位は矢印で示す位置であり、砂型の一部がこの閉ループ内に存在している。このことから、この鋳物に発生した差込みは、3. 1で述べたように共晶凝固が固相に閉じられた領域で進行するために、そこでの共晶凝固の体積膨張による圧力が高まり、その閉ループの中に突き出したとみなせる砂型の部分に溶湯が侵入し、差込みが発生したものと解釈できる。したがって、この差込み欠陥は共晶凝固の閉ループを開放させることで防止できるものと考えられる。

Fig. 14は、シザーズギヤ部分に押湯を設けた場合の凝固過程図を示す。縦断面では、共晶凝固の

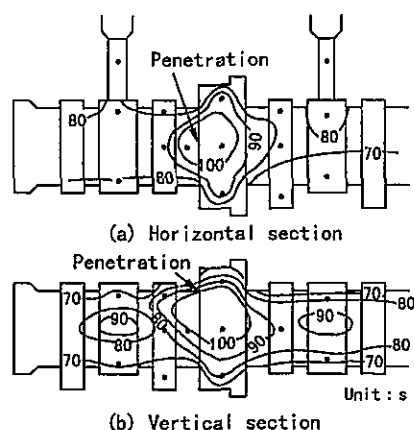


Fig. 13 Solidification state of camshaft casting with penetration (End of eutectic solidification).

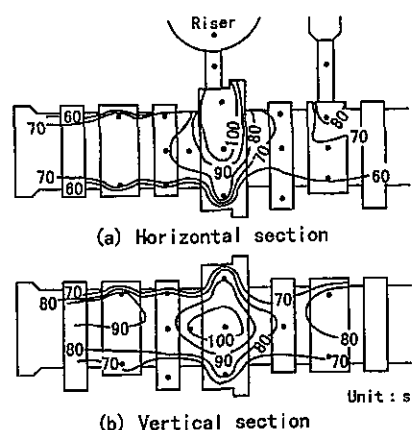


Fig. 14 Solidification state of camshaft casting without penetration caused by riser (End of eutectic solidification).

等時間線は閉ループを描いている。しかし、横断面では、等時間線は押湯方向に向かって開放した凝固過程を示しており、鋳物に指向性凝固の条件が与えられている。この条件で凝固した鋳物はFig. 15に示すように差込みは発生しておらず、このようにして欠陥対策を講じることができた。

3. 3. 2 シリンダーヘッド鋳物

耐熱性をあげるためにクロムおよびモリブデンを少量添加した鋳鉄シリンダーヘッド鋳物は、ヘッドボルト部からウォータージャケットにかけて圧洩れを生じやすい。これを防止するためには、鋳物表面にチル(セメントイト)層を生成させることが有効であるとされ、ウォータージャケット中にテルル塗型を施して鋳造されている。Fig. 16は、テルル塗型を施して鋳造した鋳物のウォータージャケットおよびヘッドボルト部の切断面を示す。テルル塗型に接した鋳物表面には、厚さ0.5mm程度のセメントイト層が生成しているが、中子内に著しい差込みを発生している。この差込みは除去することが困難であり、不良の原因となっていた。テルル塗型剤は、Te : 10%, Fe_2O_3 : 15%, SiO_2 : 50%, レンジ : 10%, アルコール : 15%, で構成されている。各構成物質を単独で中子に塗型して差込みへの影響を調べた結果、 Fe_2O_3 は硅砂(SiO_2)と反応して焼着を生じさせるものの、差込みを発生させることはなく、テルルのみが差込みを発生させた。すなわち、3. 2で示したようにテルルが溶湯の表面張力を低下させ、差込みを生じさせたと考えられる。

そこで、テルル塗型剤に要求されるセメントイト層の生成を維持し、かつ差込みの発生を抑制さ

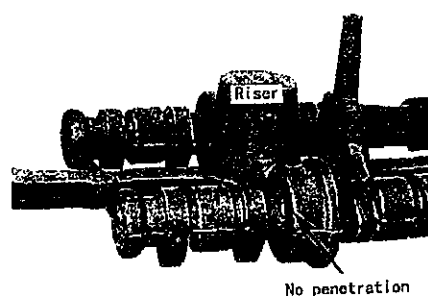


Fig. 15 Camshaft casting without penetration caused by riser.

Research J., 9(1973), 56

- 4) Bradly, F. J. and Kubick, E. J. : AFS Trans., 103(1995), 59
- 5) Stefanescu, D. M., et al : AFS Trans., 101(1993), 789
- 6) 中江秀雄 : 鋳物, 65(1993), 646
- 7) Stefanescu, D. M. et al : AFS Trans., 99(1991), 761
- 8) Kaptay, G. and Stefanescu, D. M. : AFS TRans., 100(1992), 707
- 9) Emmons, R. C. and Bach, J. : Foundry, 83-4(1955), 108
- 10) 香川明男, ほか : 鋳物, 67(1995), 112
- 11) 李起高, 加山延太郎 : 鋳物, 47(1975), 549
- 12) 荻野和巴, ほか : 鉄と鋼, 66(1980), 179
- 13) Lux, B., et al : The Metallurgy of Cast Iron, (1974), 304, Geogi Publishing Company
- 14) Giese, S., et al : AFS Trans., 100(1992), 785
- 15) 相沢達志博士論文 : 球状黒鉛鋳鉄鋳物の引けとその防止に関する研究, (1981), 31
- 16) 齋藤恒三, ほか : 溶鉄・溶滓の物性便覧, (1972), 124, 日本鉄鋼協会

著者紹介



岩堀弘昭 Hiroaki Iwahori

生年 : 1948年。
 所属 : 軽量化材料研究室。
 分野 : 鋳造技術, 鋳造合金。
 学会等 : 日本鋳造工学会, 軽金属学会, 日本金属学会会員。
 1996年Best Technical Paper (62th World Foundry Congress 1996) 受賞。
 1995年日本鋳造工学会論文賞受賞。
 1990年, 1983年日本鋳造工学会小林賞受賞。
 工学博士。



杉山義雄 Yoshio Sugiyama

生年 : 1953年。
 所属 : 軽量化材料研究室。
 分野 : 鋳造技術, 鋳造合金。
 学会等 : 日本鋳造工学会会員。
 1996年Best Technical Paper (62th World Foundry Congress 1996) 受賞。
 1995年日本鋳造工学会論文賞受賞。



粟野洋司 Yoji Awano

生年 : 1941年。
 所属 : 材料1部。
 分野 : 鋳造合金, 鋳造技術, 粉末冶金。
 学会等 : 日本鋳造工学会, 軽金属学会, 日本金属学会会員。
 1988年日本鋳造工学会小林賞受賞。
 1990年Best Technical Paper (56th World Foundry Congress 1990) 受賞。
 工学博士。



米倉浩司 Koji Yonekura

生年 : 1943年。
 所属 : TQM推進室。
 分野 : 人材開発。
 学会等 : 日本鋳造工学会, 軽金属学会会員。
 1996年Best Technical Paper (62th World Foundry Congress 1996) 受賞。
 1995年日本鋳造工学会論文賞受賞。
 1990年, 1983年日本鋳造工学会小林賞受賞。
 工学博士。



上島義徳 Yoshinori Ueshima

生年 : 1941年。
 所属 : トヨタ自動車第4生技部技術企画室。
 分野 : 自動車鋳造部品の試作。