

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

1. まえがき

鑄鉄鑄物はほとんどが砂型を用いて鑄造されているが、砂型による多くの利点とともに砂型ゆえに発生する鑄造不良がある。それらの鑄造不良の一つに差込み欠陥（目ざしとも称されている）がある。これは鑄型内に注湯された溶湯が、鑄型を構成している砂粒間隙に浸入してそのまま固着したもので、シリンダヘッドやシリンダブロックのウォータジャケット部に発生すればそれを除去することが困難であり、発生した部位と程度によっては冷却水の流れを阻害してしまう場合がある。また、鑄物表面に発生すれば外観品質を悪化させ、その除去に多大な工数が必要となる。

このような差込み欠陥は鑄鉄鑄物に慢性的に発生しており、その解決に向けて鑄型側からは、砂種、砂粒度、鑄型強度、塗型および鑄造方案の影響などが、また溶湯側からは、溶湯成分の影響などが、検討されてきた。その結果、差込み欠陥の発生原因として、溶湯の静的圧力^{1,2)}、鑄鉄特有の共晶凝固時の体積膨張^{3,4)}、溶湯と鑄型との濡れにともなう毛管現象^{5,6)}などの物理的要因や、低融点化合物であるファイアライトの生成反応^{7,8)}、鉄カーボニルの気相反応⁹⁾などの化学的要因が、提案されている。しかし、実際の鑄物ではその原因の特定が困難であり、有効な対策を構建することができないままに鑄造されており、依然として差込み欠陥が発生している。

本報では、カムシャフト鑄物やテルル塗型を用いて鑄造されているシリンダーヘッド鑄物に発生した差込み欠陥に対して、それらの発生状況から鑄型砂粒間隙に溶湯が浸入するために必要な駆動力としての圧力および塗型剤との反応による溶湯物性の変化に着目して、試験鑄型による要因解析を行い、それをもとに実鑄物の欠陥対策を行った結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 試験鑄型と鑄造方法

Fig. 1に、実験に用いた試験鑄型を示す。鑄型内には、差込みの発生を砂粒間隙への溶湯浸入の有無によって評価するための硅砂シェル型試験片

(以下、中子)が設置してある。中子は、6号硅砂とそれを70メッシュ以下、70-48、48-35、35-28メッシュの4種類にふるい分けて作製した。鑄鉄材料はFC230相当材 (Fe-3.3%C-2.0%Si-0.5%Mn) で、高周波炉で溶解後、1773Kで出湯し、0.3%のフェロシリコン (Fe-75%Si) を接種して1653Kで注湯した。押湯は断熱煉瓦で作製し、溶湯表面には発熱保温剤を掛けて、その効果を高めた。注湯から凝固終了までに生ずる圧力および凝固状態の影響を調べるために、押湯高さ、中子取付け位置、を変化させた。また、テルル含有塗型剤の差込みに及ぼす影響を調べる実験では、塗型の有無および表面張力に影響を与える元素を塗型して調べた。差込み発生の有無は、鑄物が冷却した後、中子の砂を除去し、目視観察により評価した。鑄物の凝固状態は、外径2mmの石英管で保護したCA熱電対を、鑄型内の中心縦断面上に等間隔に15点設置して温度測定し、等凝固時間線で表す凝固過程図を作成して、評価した。なお、カムシャフト鑄物においても、鑄型内の所定の位置に同様の熱電対を25点設置して温度測定し、凝固過程図を作成し、凝固状態を評価した。

2.2 差込み発生時期の測定方法

鑄鉄溶湯が中子の砂粒間隙に浸入する時期、すなわち、いつ差込みが発生したかを知るために、Fig. 2に示すような差込み発生時期測定用中子を考案した。中子の表面近傍には、(a)に示すようにアルミナ保護管で絶縁された2本のアルメル線が中央部15mmを裸にして焼込んである。このシェル中子を(b)のような回路に組付けて、1.5Vの電

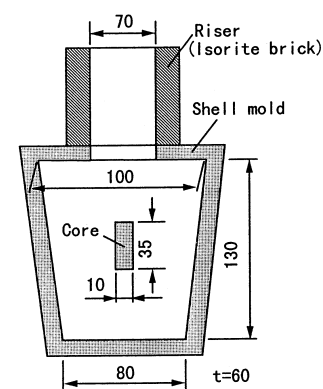


Fig. 1 Shape of test mold.

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ことができる。

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。

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

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。

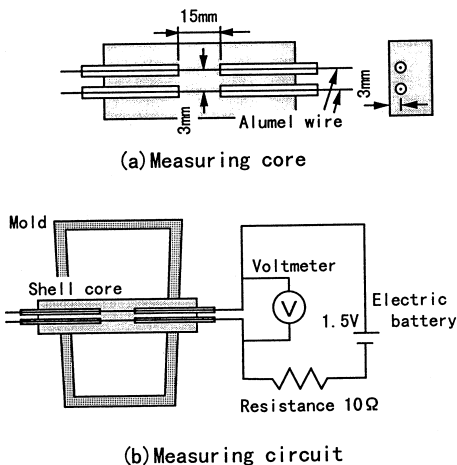


Fig. 2 Measurement of penetration starting.

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読取ることができる。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

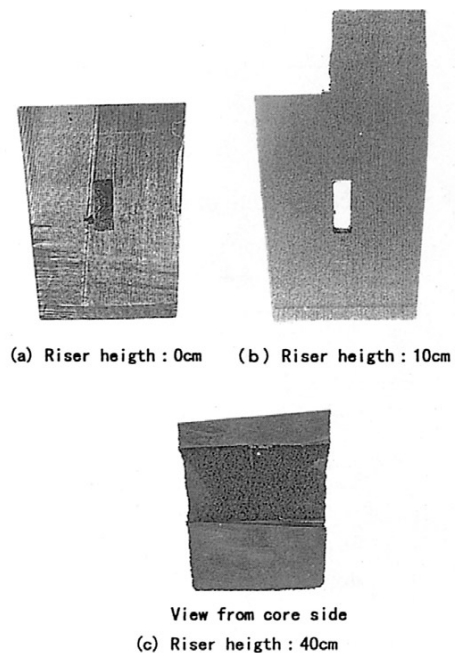


Fig. 3 Variation in penetration of casting with riser height.

程をとれば発生しないことがわかった。ただし、押湯高さがさらに大きくなった場合は、先に述べたように静圧によって差込みが発生する。

Fig. 7に、差込み発生時期を測定するための中子を用いて鑄造した時の中子内の2線間の電圧変化を、鑄物中央部の中子付近で測定した冷却曲線と対比させて示す。中子は、差込みが発生した鑄物中央部Aと差込みが発生しなかった鑄物下側端部Bの2箇所に設置した。注湯前には1.5Vの電圧を示しているが、注湯後すぐに電圧は低下する。そして、しばらくの間はほぼ一定の電圧を示しているが、その後、中央部の中子のみが再び急激な電圧低下を示した。最初の電圧低下は、いずれの中子にも生じており、差込みとは無関係である。しかし、後半に発生した電圧低下は、差込みが発生する位置に置いた中子に特有のものとして現れており、浸入した溶融金属によって2線間が短絡したことを示している。すなわち、差込みが発生

したと認められる時間は、鑄物の外周部の凝固が終了し、その内部の融液が共晶凝固を開始した時期と一致している。鑄鉄溶湯は共晶凝固 ($\gamma + \text{黒鉛}$) 時に約3%ほど体積膨張する¹⁰⁾ことが知られており、その時の膨張圧力は6MPaとも¹¹⁾、また4GPaにも増大する¹⁰⁾、と報告されている。このような共晶凝固に際しての体積膨張が、共晶凝固が進行し強度を発現しはじめた固体層に閉じられ

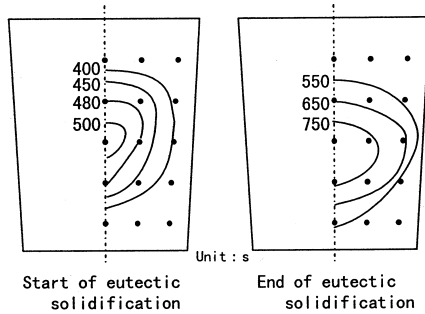


Fig. 4 Solidification state of casting without riser.

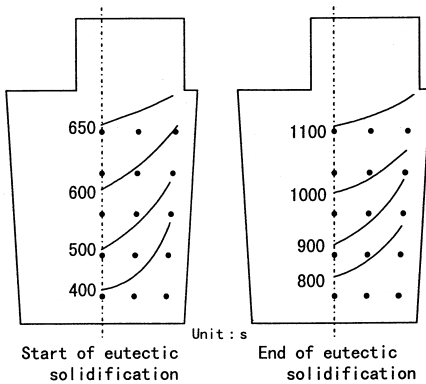


Fig. 5 Solidification state of casting with riser height of 10 cm.

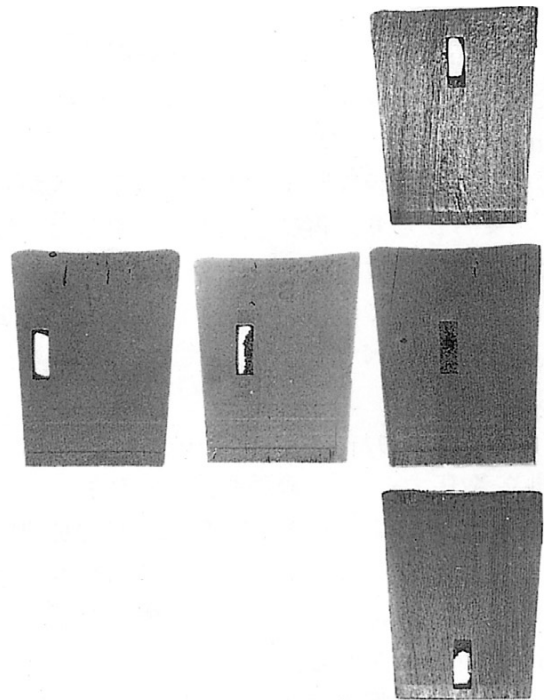


Fig. 6 Effect of core position in casting on occurrence of penetration.

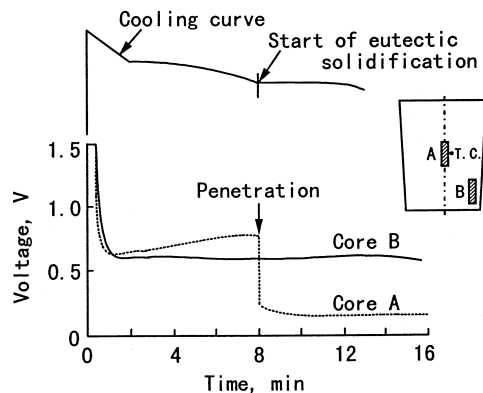


Fig. 7 Relations of cooling curve with change in voltage between alumel wires in cores.

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

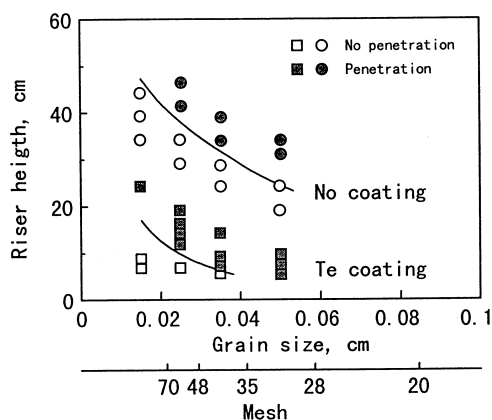


Fig. 8 Effects of grain size and Te coating on occurrence of penetration.

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と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

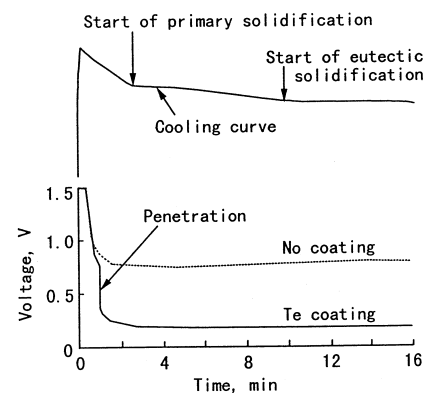


Fig. 9 Relations of cooling curve with change in voltage between alumel wires in cores.

く、セレン，硫黄の順に小さくなっている。一方，溶鉄の表面張力の低下に及ぼす影響はテルルが最も大きく，セレン，硫黄の順に小さくなる¹²⁾。これらの元素は鑄鉄溶湯に対しても同様な影響を及ぼすと考えられることから，鑄鉄溶湯の表面張力が小さくなるほど差込みが発生しやすくなっているものと思われる。なお，差込みは毛管現象の観点からも検討すべきことと考えるが，溶湯と砂との濡れに対するテルルの影響は明らかではなく，ここでは溶湯の表面張力の影響についてのみ考察した。

Fig. 11は，均一粒径の砂が稠密充てんしたと仮定し，式(1)により計算した差込み発生溶湯高さ(中子から押湯上面までの距離)を示す。計算に

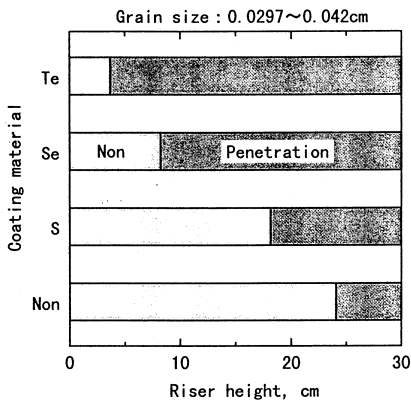


Fig. 10 Effects of coating materials on occurrence of penetration.

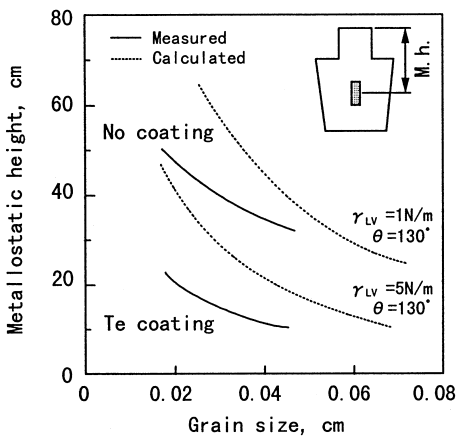


Fig. 11 Effects of grain size and surface tension on occurrence of penetration.

は， $\theta = 130^{\circ}$ ¹⁴⁾，表面張力 1N/m ¹³⁾，密度 6.835g/cm^3 ¹⁵⁾を，またテルルと反応した，すなわちテルルが溶け込んだ鑄鉄溶湯の表面張力は，完全なセメント組織が得られる0.05%Teで 0.5N/m とした。砂粒径が小さくなると差込みが発生する押湯高さは急激に増大し，砂粒径が差込み発生に大きな影響を及ぼしていることがわかる。また，表面張力が 0.5N/m と普通鑄鉄の1/2になれば，差込み発生押湯高さも1/2に減少し，表面張力の大きさが差込みの発生に大きな影響を及ぼしていることがわかる。図中にはFig. 8の実験結果も示してある。計算値と実験値との差は大きい，現実に鑄鉄溶湯の表面張力が0.05%Teによって1/2程度までに低下していることを考えると，実験におけるテルルの効果を裏付けているものと思われる。

なお，実験値と計算値との差には，中子を作製するためにふるい分けした各メッシュの砂に粒径分布があり，形成される砂粒間隙が計算に用いた値とは実際は異なっていること，また用いた物性値の誤差，などが影響していると考えられる。

3.3 実用鑄物の差込み欠陥発生事例とその対策

3.3.1 カムシャフト鑄物

カムシャフト鑄物において，Fig. 12に示すようにシザーズギヤとカムとの間に慢性的に差込み欠陥が発生した。この差込みが発生する部分を中心に測定した凝固過程図をFig. 13に示す。(a)はカムシャフトの中心線を含む横断面，(b)はその縦断面における共晶凝固終了時の等時間線図である。肉厚部であるシザーズギヤ部の凝固が遅く，そこを中心にして等時間線は閉ループを描いてい

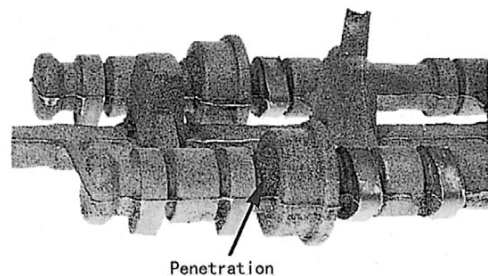


Fig. 12 Camshaft casting with penetration.

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

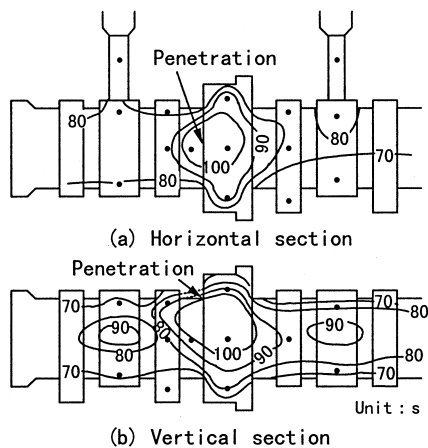


Fig. 13 Solidification state of camshaft casting with penetration (End of eutectic solidification).

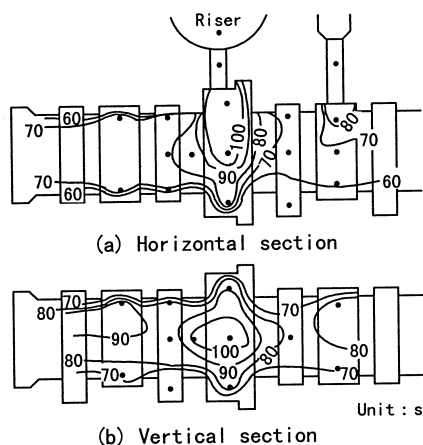


Fig. 14 Solidification state of camshaft casting without penetration caused by riser (End of eutectic solidification).

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（セメントイット）層を生成させることが有効であるとされ、ウォータ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程度のセメントイッ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 は珪砂(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ット層の生成を維持し、かつ差込みの発生を抑制さ

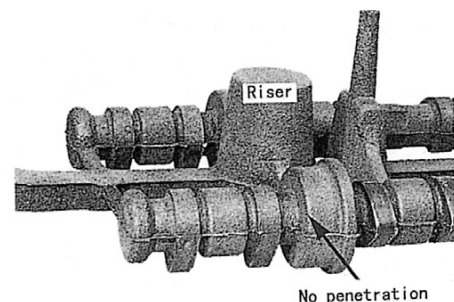


Fig. 15 Camshaft casting without penetration caused by riser.

せる方法を検討した。塗型剤には、表面張力に及ぼすテルルの影響緩和を狙って、鑄鉄溶湯に容易に溶解し、かつその表面張力を低下させることのない元素として銅を選択し¹⁶⁾、添加した。Fig. 17は、テルル塗型剤に銅粉末を添加して塗型した中子の差込み発生押湯高さとして、塗型面に接した鑄物表面部のセメント層厚さを示す。銅粉末の添加量の増加は、生成するセメント層の厚さを減少させ、それとともに差込み発生押湯高さを大きくしている。したがって、銅を添加してもセメント層が生成する範囲と実際に鑄造されている鑄物の押湯高さを比較して塗型剤の組成を選定すれば、差込みの発生を抑さえ、かつ圧洩れ防止も可能になる。Fig. 16に示した差込みは、7%Cuを添加したテルル塗型剤を用いることで対策することができた。

4. まとめ

砂型で鑄造される鑄鉄鑄物に発生する差込み欠陥の原因を、鑄鉄特有の黒鉛晶出に起因する体積膨張をともなう共晶凝固時の凝固状態に着目して調べ、そこで明らかにした知見をもとに実鑄物に発生した差込み欠陥の対策を行った。

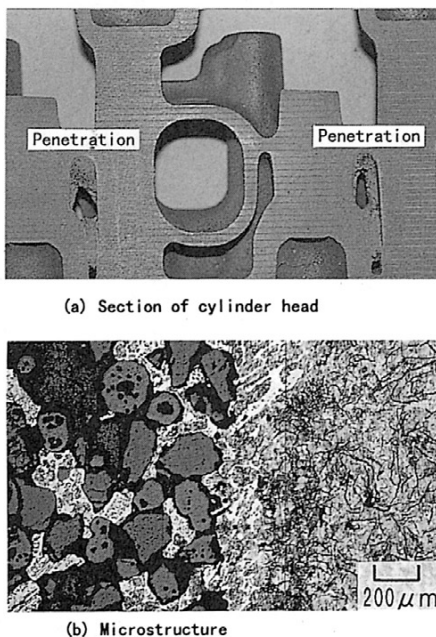


Fig. 16 Cylinder head casting with penetration caused by Te coating.

鑄鉄鑄物の凝固過程において、その内部に共晶凝固の閉ループが発生すると、閉じられた領域内で共晶凝固が進行することになり、体積膨張による圧力上昇が生じる。この時、その領域内に空隙を有する砂型が存在すれば、上昇圧力が駆動力となって残留液相を砂粒間隙に浸透させ、差込みが発生することを明らかにした。これに起因する差込み欠陥は、鑄物に適切な押湯を設けるなどして指向性凝固させることにより、鑄物内での膨張圧力の上昇を抑制することができ、防止できることを示した。この結果を用いて、実用カムシャフト鑄物の差込み欠陥対策を行った。

また、圧洩れ防止のために用いられている塗型剤に含まれるテルルは、鑄鉄溶湯の表面張力を著しく低下させる。表面張力が低下した溶湯は砂粒間隙へ浸入しやすく、より小さな押湯圧力でも差込みが発生することを明らかにした。これに起因する差込み欠陥は、テルルによって低下する鑄鉄溶湯の表面張力を回復させる目的で、テルル塗型剤中に適量の銅粉末を添加することによって、テルルに期待される効果を損なうことなく防止できることを示した。この結果を用いて、実用シリンダヘッド鑄物の差込み欠陥対策を行った。

参考文献

- 1) 鹿取一男, ほか: 鑄造工学, (1978), 250, コロナ社
- 2) Draper, A. B., et al: AFS Trans., 85(1977), 163
- 3) Levelink, H. G. and Julien, F. P. M. A.: Cast Metal

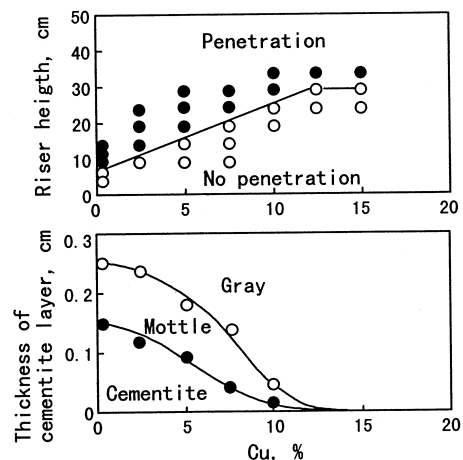


Fig. 17 Effects of Cu contents in Te coating on penetration and cementite layer.

- 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 : 鑄物, 65(1993), 646
 - 7) Stefanescu, D. M. et al : AFS Trans., 99(1991), 761
 - 8) Kaptay, G. and Srefanescu, 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 : 鑄物, 67(1995), 112
 - 11) 李起高, 加山延太郎 : 鑄物, 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 : 球状黒鉛鑄鉄鑄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：鑄造技術，鑄造合金。
 学会等：日本鑄造工学会，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年日本鑄造工学会論文賞受賞。
 1990年，1983年日本鑄造工学会
 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：鑄造技術，鑄造合金。
 学会等：日本鑄造工学会会員。
 1996年Best Technical Paper (62th
 World Foundry Congress 1996) 受賞。
 1995年日本鑄造工学会 論文賞受賞。



粟野洋司 Yoji Awano
 生年：1941年。
 所属：材料1部。
 分野：鑄造合金，鑄造技術，粉末冶金。
 学会等：日本鑄造工学会，軽金属学会，
 日本金属学会会員。
 1988年日本鑄造工学会 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：日本鑄造工学会，軽金属学会会
 員。
 1996年Best Technical Paper (62th
 World Foundry Congress 1996) 受賞。
 1995年日本鑄造工学会論文賞受賞。
 1990年，1983年日本鑄造工学会
 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：自動車鑄造部品の試作。