

UDC 669.141.25 620.191.314

鑄鋼の浸透型焼着に関する研究†

鈴木 是明* 中田 進一**

Study on the Metal Penetration of Steel Castings

by Koreaki SUZUKI, Dr. Eng. and Shinichi NAKADA

Synopsis :

Factors affecting metal penetration into sand mold have been investigated on an experimental scale by an apparatus developed by the authors which is capable of simulating actual conditions in heavy section steel casting. Preheated sand molds were immersed in molten steel melted by high frequency induction furnace in a pressure vessel and gas pressure was applied to the upper surface of molten steel in order to make the molten steel penetrate into sand mold.

It is shown that the higher the temperature of molten steel, the larger the depth of penetrated layer is, and metal penetration does not occur at the liquidus temperature of molten steel. The depth of the penetrated layer increases with increasing gas pressure and holding time. The resistance against metal penetration of cold-setting sand mold is worse than that of dry sand mold, and chromite sand has better resistance against metal penetration than silica sand. Zircon wash used has little effect on preventing metal penetration into sand mold.

1. 緒言

鑄鋼に発生する焼着は、浸透、焼結熔融及び化学反応の3種類に大別される。それらの焼着のうち大型鑄鋼品では、溶鋼の鑄型内への侵入によつて生じる浸透型焼着が鑄物の後処理作業を著しく阻害し、作業の省力を推進するうえで大きな障害となつている。この問題に関しては古くからかなり多くの研究が報告されているが、大型鑄鋼品の焼着の発生機構を完全に解明したものはまだなく、現場的にもますます大型化する鑄物に対応する有効適切な焼着防止策の確立がのぞまれる。

一方筆者らは、ここ数年の研究^{1)~4)}により、クロマイト砂が浸透型焼着を防止する優れた性質をもつていることを明らかにしてきた。しかし、極厚鑄鋼品の中子などのように鑄型が極端に過熱される場合には、浸透が発生して砂落としが著しく困難になるなど、クロマイト砂の耐焼着性にも限界が認められている。

このような大型鑄鋼品における焼着現象を解明するために大型試験材を多数鑄込んで調べることは、実際上困難である。そこで本研究では、D.V. Atterton⁵⁾、鈴木⁶⁾らの研究を参考にして、最も有効な試験方法と考えられる溶鋼の加圧浸透試験装置を作成した。そして、これを

用いて浸透に及ぼす二、三の因子の影響について試験を行つた。

2. 焼着試験方法の検討

2.1 試験装置の概要

既往文献にみられる浸透型焼着のモデル試験法を整理して、表1に示す。まずHgを使用するA法では、常温の熔融金属が常温の鑄型に浸透する問題を取り扱つており、焼着を考える場合に最も重要な因子である温度条件をまったく考慮していない。それゆゑ、大型鑄鋼品に発生する焼着のモデル試験としては不適當であり、むしろ常温の鑄型の砂粒間げきの測定法として利用すべき方法である。

次にB法は、砂型内を減圧にして溶湯を浸透させることを特徴とする方法である。用いる溶湯としては、PbやSnなどの非鉄金属は、融点が低いので試験を容易にするが、溶湯の表面張力、密度、溶湯の鑄型や界面との反応性、温度条件などが大型鑄鋼品とは異なるので、モデルとしては適當でなく、やはり鋼を使用する必要があ

† 昭和50年11月10日原稿受理

* (株)日本製鋼所室蘭製作所研究所 工博

** 同

る。

溶湯に対する加圧法として、砂型内を真空ないし減圧にする方法は、焼着に対する鑄型内ふん囲気及び背圧の影響を無視することになり、それらの影響が定量的にはあくされてない現在、モデルとしては不じゆうぶんである。さらに厳密に考えれば、減圧にすることにより、砂型内の熱伝達も影響を受けることが予想される。また、高周波誘導加熱の場合には、溶湯が誘導かくはん作用を受け、大型鑄鋼品の湯動きとは異なると考えられるが、その評価は困難である。

他方、金属の浸透検出法として、砂型内の各位置での電気抵抗値の連続測定が用いられている。しかし大型鑄鋼品の中子では、鑄型表面付近の最高温度は 1,400°C 以上に達することが実測されており、このような高温では、砂といえども電気抵抗値は著しく低下し、電気抵抗値の変化から金属の浸透を検出することは、困難である。このような種々の観点から、大型鑄鋼品の浸透型焼着のモデル試験として満足すべき方法は、既往文献にはみられない。

そこで、これらの検討結果をもとに、本研究では高周波誘導加熱によつて溶解した溶鋼中に砂型試験片を浸漬し、溶鋼表面にガス圧を加えて浸透を発生させる方法を採用した。作成した試験装置の概要を、図1に示す。

2.2 試験方法の概要

(1) 試験要領

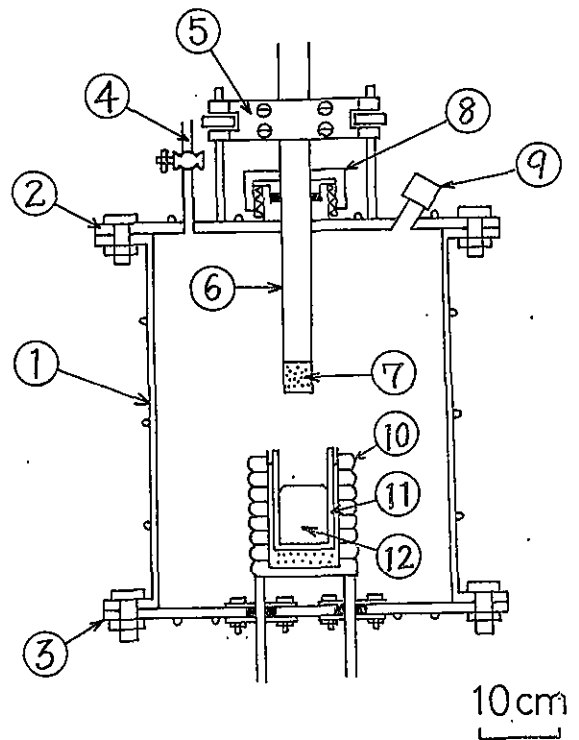
加圧浸透試験要領は、まず 550 g の鋼を高周波誘導加熱によつて高アルミナるつぼ中で溶解し、試験温度に保持する。次に、図2に示したように、石英管内に込めた 28 mmφ×50 mmH の砂型試験片を湯面上 2 mm のところで 1 min 保持して予熱したのち、溶鋼中に 2 mm 浸漬する。そして、溶鋼表面にアルゴン・ガスあるいは空気で種々の静圧を加えながら、所定時間保持して、鑄型内に溶鋼を浸透させた。なお、砂型試験片の作成にあたっては、充てん密度が一定になるように配慮した。

(2) 溶鋼の成分変化

るつぼとの反応及び空気酸化によつて、試験中に溶鋼の成分が変化することが予想されるので、その確認をした。高アルミナるつぼ中で 0.3% C の炭素鋼 550 g を大気中とアルゴンふん囲気中で溶解し、溶け落ちから 5 min 間隔で試料を採取し、溶鋼成分の経時変化を調べた。その結果、溶け落ちから 20 min までの C の減少量

表 1 文献にみられる浸透型焼着のモデル試験法

種類 項目	A 法 ⁷⁾⁸⁾	B 法	
		非 鉄 ⁹⁾	鉄 鋼 ⁵⁾⁶⁾¹⁰⁾
金属試料	Hg	Pb, Sn	炭素鋼
加熱方法	なし	ガス加熱	高周波誘導加熱
溶解及び鑄込み方法	—	溶湯中に黄銅パイプにつめた砂型を浸漬する。	①砂型試料上で加熱溶解する。 ②タンマン炉で溶解し、砂型上に鑄込み、高周波炉で加熱する。
加圧方法	溶湯静圧	砂型内を真空ないし減圧にする。	同 左
浸透の検出方法	水銀マンメータ	(浸透後の試料)の観察	砂型の電気抵抗値の変化の測定



①圧力タンク、②タンク上ふた、③タンク底板、④空気、アルゴン送入、排出パイプ、⑤石英管昇降用金具、⑥試験砂型そう入用石英管、⑦試験砂型、⑧石英管締めつけ金具、⑨タンク内部観察窓、⑩高周波コイル、⑪溶解用アルミナるつぼ、⑫溶鋼

図 1 試験装置の概要

は、ふん囲気に関係なく0.1%程度であつた。しかし Si と Mn 量は、アルゴンふん囲気中溶解ではほとんど変化しないのに対して、大気中溶解ではその減少が著しく、溶け落ち後 20 min でこん跡になつた。結局、試験時間が溶け落ちから 10 min 程度であれば、大気中溶解でも支障のないことが判明した。

(3) 砂型試験片の温度変化

次に、砂型試験片を溶鋼中に浸漬したときの砂型試験片各位置における温度変化状況を、図3に示す。これは、砂型としてけい砂コールドセット型を使用して、予熱しない場合と本試験に採用した方法で予熱した場合の测温結果である。予熱しない場合には、砂型に接した溶鋼は凝固して、これが再溶解しないのに対して、予熱した砂型の場合には、砂型を 2mm 浸漬しても、溶鋼の温度降下はほとんど認められず、砂型の表面は溶鋼温度に保持されており、温度条件に関しては、大型鑄鋼品の中に匹敵するきわめて過酷な条件が再現されている。またクロマイト砂型の場合にも、砂型試験片を湯面上で保持して予熱することにより、同様の温度変化曲線が得られている。

(4) 溶鋼浸透の検出法

金属の浸透を検出する方法として、文献⁵⁾⁶⁾¹⁰⁾では、砂型の電気抵抗値の変化を測定する方法が用いられている。しかし、前述したように砂型の温度が高い場合、またはレジンなどの有機物を含有する砂型の場合には、この方法では、金属の浸透を明確に検出できない。

そこで本試験では、砂型内の所定位置に先端を裸にした熱電対を埋めこみ、その熱起電力の変化によつて浸透を検出する方法を用いた。砂型内に埋めた熱電対の熱起電力の変化については、図4に示すように、砂型温度の上昇と共に熱起電力は次第に上昇していくが、浸透した溶鋼が熱電対の先端に接触すると、起電力は不連続的に大きく変動する。そして、熱電対の周囲を溶鋼が完全に覆つてしまうと、また安定した起電力を示すようになる。したがつて、ミリボルト・メータの針の不連続的な変動によつて、浸透を検出することができる。

(5) 加圧浸透試料の性状

本試験装置により浸透を発生させた砂型試験片の縦断面の状況と顕微鏡組織を、大型鑄鋼品の焼着層の組織とつしよに図5に示す。これによれば、浸透金属が砂粒間げきを完全に満たしており、溶鋼とるつぼとの反応によるスラグなどは観察されず、大型鑄鋼品に発生する典型的な浸透型焼着を本試験装置により再現することができた。

3. 浸透型焼着に及ぼす諸因子の影響

3.1 試験方法

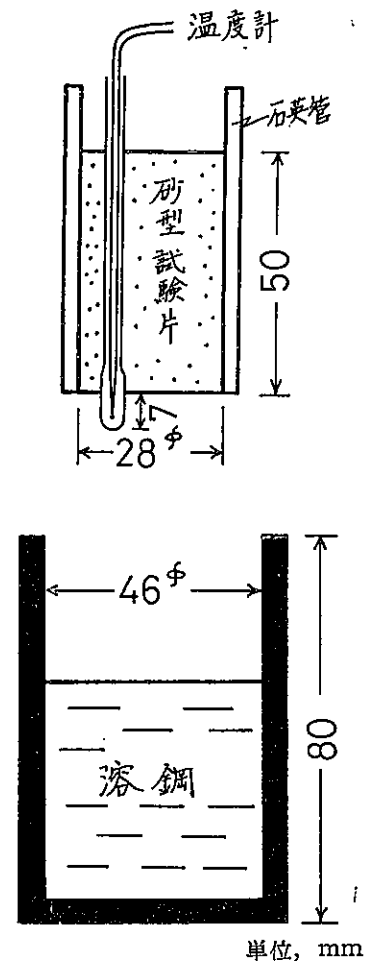


図2 砂型試験片及びるつぼの形状

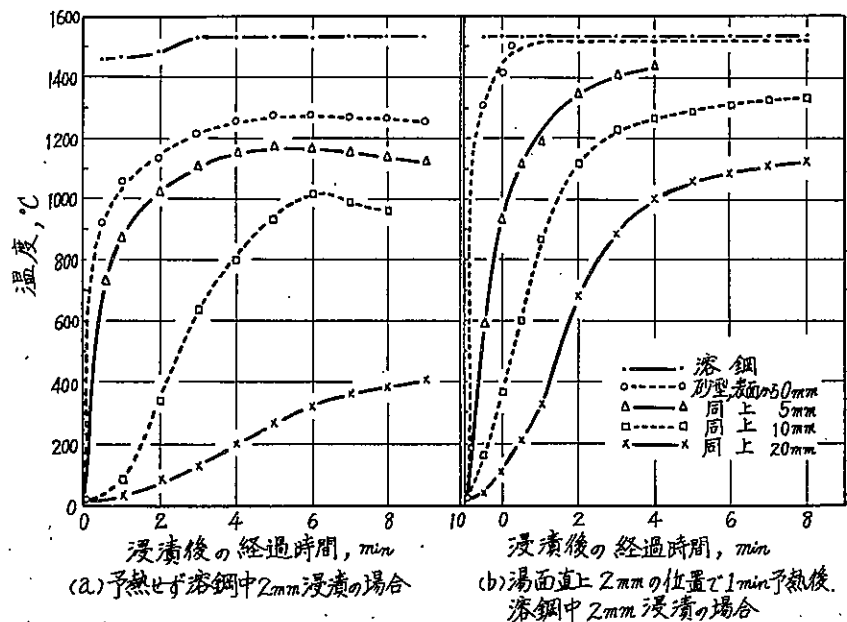


図3 溶鋼に浸漬したときのけい砂コールドセット型試験片内部の温度変化

前述の加圧浸透試験装置を用いて、溶鋼温度、加圧条件、砂型条件などの各種因子が浸透に及ぼす影響について試験した。

3.1.1 溶鋼及び鋳型の基本条件

(1) 金属試料の化学成分

溶解母材は 0.3% C の炭素鋼で、溶け落ち時に Al 0.08% を添加した。なお、試料の成分には多少の変動があり、その成分範囲を表 2 に示す。

(2) 溶鋼温度 温度の影響を調べる試験以外は 1,530°C

(3) 溶解ふん囲気 大気

(4) 鋳型条件 試験に用いた 4 種類の砂型の配合を表 3 に示す。塗型剤としては、水溶性ジルコン系を使用した。

3.1.2 浸透深さに及ぼす各種因子の影響についての試験要領

(1) 溶鋼温度の影響

液相線温度の前後で溶鋼温度を 1,490°C, 1,503°C, 1,523°C, 1,530°C に変えて試験した。砂型は表 3 に示した A で、塗型は用いず、加圧条件は 1.0 kg/cm² × 3 min である。試験後に、試料断面について浸透深さを測定した。

(2) 加圧力及び保持時間の影響

砂型の種類は A で、塗型は用いず、加圧力を 0.5, 1.0, 1.5 kg/cm²、保持時間を 3, 6, 9, 12 min に変えて試験した。試料断面について、浸透深さを測定した。

(3) 砂型の種類の影響

試験した砂型の種類は A, C 及び D で、いずれも塗型は用いず、加圧力は 1.0 kg/cm²、保持時間は 3, 6, 9, 12 min である。試料の断面について、浸透深さの測定及び顕微鏡組織を観察した。

3.1.3 浸透開始時間に及ぼす砂型種類の影響についての試験要領

塗型ありと塗型なしの砂型 A, B, C 及び D について、加圧力 1.0 kg/cm² で、砂型表面から 2mm の深さまで溶鋼が浸透する時間を、浸透開始時間として求めた。

3.2 試験結果と検討

(1) 浸透深さに及ぼす溶鋼温度の影

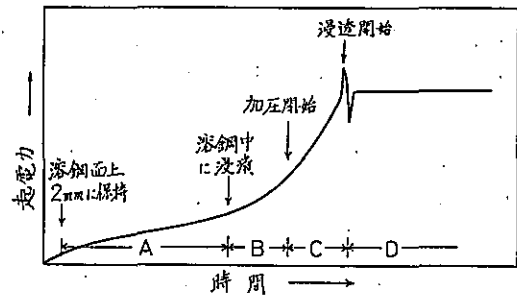
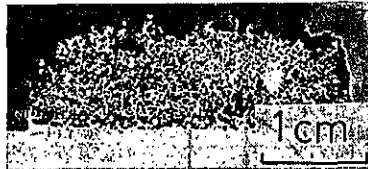


図 4 浸透試験時における砂型内熱電対の起電力変化の模式図



試験後の外観の状況



(a) 試験後の試料の断面と顕微鏡組織



(b) 大型鋳鋼品焼着層の顕微鏡組織

図 5 加圧浸透試料及び大型鋳鋼品焼着層の性状

表 2 溶解母材及び試験後の試料の化学成分 (%)

成分	C	Si	Mn	P	S
母材	0.27/0.32	0.45/0.50	0.65/0.70	<0.012	<0.012
試験後	0.20/0.25	0.35/0.45	0.40/0.70	0.010/0.012	0.010/0.020

表 3 試験砂型の配合

符号	種別	配合 (重量比)			
A	けい砂 コールドセット型	5号けい砂	レジン 硬化剤		
		100	2	0.50	
B	けい砂+けい粉 コールドセット型	5号けい砂	けい石粉末	レジン	硬化剤
		95	5	2	0.50
C	けい砂 乾燥型	5号けい砂	木節粘土	ベントナイト	
		100	5	2	
D	クロマイト砂 コールドセット型	クロマイト砂	レジン 硬化剤		
		100	1.2	0.30	

響

試験に供した 0.25% C の炭素鋼の液相線と固相線温度は、それぞれ 1,513°C と 1,466°C であり、溶鋼温度として液相線と固相線温度との中間、液相線温度 -10°C、液相線温度 +10°C、及び実際の鑄込み温度を想定した 1,530°C について試験を行った。

溶鋼温度と浸透深さとの関係は、図 6 に示すように、溶鋼温度が液相線温度以上の場合には、温度が高くなるにつれて浸透深さが増しているが、液相線温度以下では、まったく浸透が起こらなかつた。これは、液相線温度以下の溶鋼が鑄型と接触すると、直ちに鑄型表面付近に凝固層が生成するためと考えられる。したがって、溶鋼がまだ流動する温度にあるうちに鑄型表面の温度が固相線温度付近まで上昇するような熱的条件がなければ、液相線温度以下での浸透は起こらないといえる。それゆえ、冷金などを使用して鑄型の温度をなるべく低く抑えることは、焼着防止のために有効である。

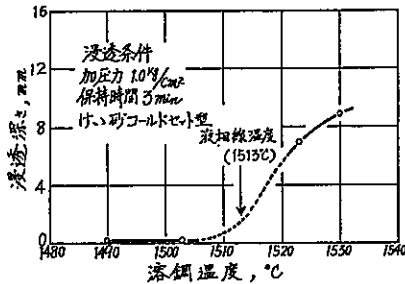


図 6 浸透深さに及ぼす溶鋼温度の影響

浸透深さに及ぼす加圧力及び保持時間の影響

(2) 浸透深さに及ぼす加圧力及び保持時間の影響

保持時間と浸透深さとの関係を図 7 に、加圧力と浸透深さとの関係を図 8 に

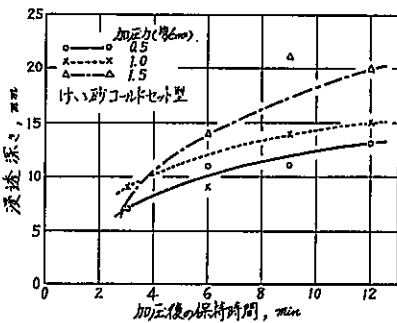


図 7 浸透深さに及ぼす保持時間の影響

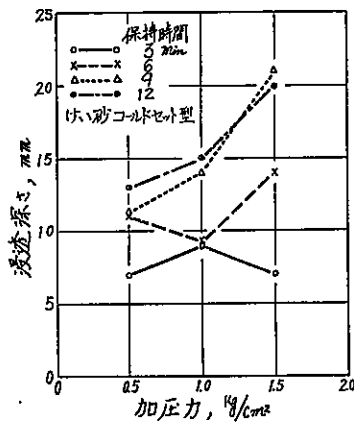


図 8 浸透深さに及ぼす加圧力の影響

示す。保持時間が長いほど、また加圧力が大きいほど、浸透深さは増加している。ここで、保持時間が長いということは、溶鋼と鑄型との界面へ供給される熱量が多く、鑄型温度が上昇し、鑄物が厚肉になることに相当する。次に、加圧力が大きくなることは、いうまでもなく溶鋼静圧が大きくなること、すなわち鑄物の高さが増すことを意味している。そして、加圧力 1.0 kg/cm² を溶鋼の高さに換算すると、約 140 cm になる。

なお、保持時間が短い場合には測定値の変動が大きいですが、これは、砂型試験片のばらつきによるものと考えられる。

次に溶鋼の平均浸透速度は、表 4 に示すように、いずれも 1 mm/min 以下で小さいが、加圧力 1.5 kg/cm² の場合にはやや増加している。

表 4 溶鋼の平均浸透速度

加 圧 力	0.5 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	1.5 kg/cm ²
平均浸透速度	0.7 mm/min	0.7 mm/min	1.0 mm/min

(3) 浸透深さに及ぼす砂型の種類の影響

塗型を施さない各種砂型の浸透深さを、図 9 に示す。試料の縦断面における浸透深さは、1 個の試料内ではほぼ一定であつた。この結果、塗型なしの砂型の浸透深さは、いずれの保持時間の場合にも、けい砂コールドセット型が最も深く、けい砂乾燥型、クロマイト砂コールドセット型の順に浅くなつている。したがって、コールドセット砂型と乾燥砂型では乾燥砂型のほうが、またけい砂とクロマイト砂ではクロマイト砂のほうが、耐浸透性の点で優れているといえる。

この現象は、すでに鑄込み試験によつても確認されている²⁾ ことであり、本試験で、それが実験室的に再現さ

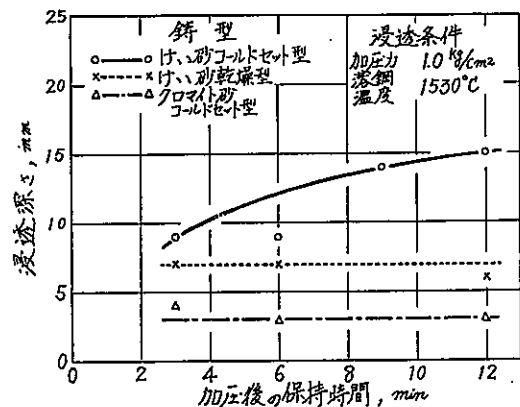


図 9 浸透深さに及ぼす鑄型の種類の影響 (塗型なしの場合)

れた。そして、この耐浸透性の優劣は、砂型の熱間強度の大小と一致しており、砂型の熱間強度が耐浸透性を左右する重要な因子であることを示している。

また本試験では、前述したように、一般に耐浸透性良好と考えられているクロマイト砂型でも、深さ3mm程度の浸透が観察された。これは、砂型表面付近の温度が1,400°C以上に過熱されるためで、そのような高温ではクロマイト砂の強度も極度に低下して、浸透が発生したものである。極厚鑄鋼品の中子などにクロマイト砂を使用した場合に深さ1~2mmの浸透が発生しうるのは、すでに筆者らが指摘したりとところである。

次に、浸透試料の顕微鏡組織を観察すると、まず砂粒の焼結状況については、けい砂型では界面付近の砂粒は原形をとどめておらず、砂粒同士が結合している。そして、浸透層の先端に近づくにつれて、原形に近い砂粒が見られるようになり、先端部では、大部分の砂粒が原形を保っている。

これに対してクロマイト砂型では、砂粒は焼結しているが、砂型表層でも原形を保っている。また、これらの浸透試料の顕微鏡組織で特徴的なことは、浸透金属の組織が著しく異なることである。すなわち図10に示すように、けい砂乾燥型の浸透金属は脱炭してフェライト化しているのに対して、けい砂コールドセット型中の浸透金属は加炭されて、パーライト量が非常に多くなっている。さらにクロマイト砂の場合には、砂粒に接する部分が脱炭されている。これらの現象は、各砂型内に形成されるふん囲気と浸透金属との反応によつて生じるものであり、大型鑄鋼品の浸透型焼着層で観察されることとよく一致している。

(4) 浸透開始時間に及ぼす砂型の種類の影響
砂型表面から2mmの位置に埋めた先端を裸にした熱

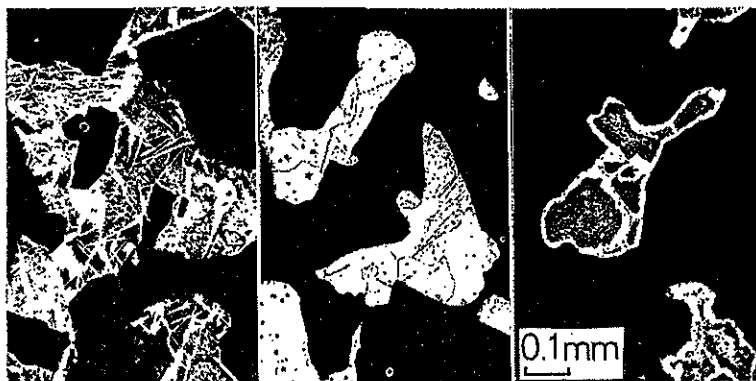


図10 浸透金属の顕微鏡組織

表5 各種砂型における浸透開始時間

砂型符号	塗型の有無	加圧開始から浸透検出までの時間(sec)	浸透検出時の加圧力(kg/cm ²)	最終浸透深さ(mm)
A	無	7	0.5	10
	有	10	0.5	13
B	無	11	0.7	10
	有	17	0.7	8
C	無	—	—	5
	有	11	0.8	5
D	無	—	—	3
	有	—	—	3

電対の起電力変化曲線から求めた各種砂型の浸透開始時間、浸透時の加圧力及び3min保持した後の浸透深さを、表5に示す。なお、表中で浸透検出時間の記録のないものは、起電力変化曲線に不連続点が観察されず、浸透開始時間を求められなかつたものである。

各種の砂型において、浸透開始時間に顕著な差は認められなかつたが、浸透検出時の加圧力と合わせて考えると、乾燥砂型よりもコールドセット砂型のほうが浸透が起りやすく、またコールドセット砂型でも、微粉配合の効果が多少認められた。試験した砂型では温度条件が過酷なために、いずれも加圧開始後の早い時期に浸透が発生しており、浸透の深さは、砂型内での浸透金属の移動速度に依存していることがわかる。

次に、塗型の有無によつては、浸透開始時間、浸透検出時の加圧力、浸透深さなどに明りような差異は見られなかつた。いつたん浸透を起こしてしまえば、浸透深さや浸透速度に対して塗型の有無が大きな影響を及ぼさないことは予想されるが、この試験結果は、使用した塗型が浸透開始時期を遅らせる効果をほとんどもたないことを示している。したがって、熱的に過酷な条件のもとでは、塗型に浸透防止の効果が無いことが判明した。

4. 結 言

大型鑄鋼品に発生する浸透型焼着を実験室的に再現し、その生成機構と防止法を検討するために、加圧浸透試験装置を作成した。そして、試験条件について検討し、典

型的な浸透型焼着を再現できることを確認した。

次に、この装置を使つて、浸透深さ及び浸透開始時間に対する各種要因の影響について試験した。得られた結果を整理すると、次のとおりである。

(1) 溶鋼温度が液相線温度以下であると、浸透は発生せず、液相線温度以上では、温度の上昇と共に浸透深さが増加する。

(2) 加圧力及び保持時間が増すにつれて、浸透深さは増加する。

(3) コールドセット砂型よりも乾燥砂型のほうが、耐浸透性の点で優れている。

(4) けい砂コールドセット型の場合には、微粉を配合しても効果はあまり顕著でないが、クロマイト砂の使用により、コールドセット砂型でも耐浸透性は著しく向上する。

(5) 使用したジルコン系塗型は、浸透深さと浸透開始時間のいずれに対しても、ほとんど効果を示さなかつ

た。

終わりに、本研究の発表を許可された(株)日本製鋼所室蘭製作所取締役所長極原昌夫氏並びに直接実験に携つて下さつた小泉等氏に謝意を表する。

文 献

- 1) 鈴木, 中田: 鑄物, 44 (1972), 5, 431
- 2) 小林, 鈴木, 中田: 鑄物, 44 (1972), 6, 473
- 3) 鈴木, 中田: 鑄物, 44 (1972), 6, 484
- 4) 鈴木, 中田: 鑄物, 45 (1973), 3, 183
- 5) T.P. Hoar, D.V. Atterton: JISI, 166 (1950), 9, 1
- 6) 鈴木, 堤: 鑄物, 36 (1964), 3, 186
- 7) 飯泉: 鑄物, 21 (1949), 8, 1
- 8) 牟田口: 鑄物, 30 (1958), 7, 541
- 9) 大和田野, 三ヶ島: 鑄物, 30 (1958), 2, 108
- 10) 鈴木, 堤: 鑄物, 36 (1964), 11, 1051

6 月号 掲 載 予 定 の 論 文

研 究 論 文

金型鑄鉄鑄物の冷却速度を表す因子の検討.....	近藤安	藤谷江	靖三和	彦男夫
鑄鉄の異材固相接合への動的超塑性の応用.....	高押	瀬田	誠良	次機
超速硬セメントを用いた流動砂の諸性質.....	内加	川藤		浩肇
	宇智	田	俊一	郎
ねずみ鑄鉄の黒鉛化及び非金属介在物に及ぼす窒素の影響.....	堤出	津	信新	久也
塩化バリウムを主粘結剤とした水溶性鑄型に関する研究.....	倉村牧	部松口	兵次郎	昇貞
	渡早	谷川	利英武	明男
鑄鋼の浸透型焼着に対する塗型の効果.....	鈴木中	木田	是進	明一

技 術 資 料

鑄鋼の引張試験における伸びの値について.....	喜多	清
--------------------------	----	---

工 場 紹 介

北東衛機工業(株) 一秤(はかり)の製造.....	渡河	上	芳録	一治
------------------------------	----	---	----	----