

鑄片の欠陥を防止するための積極的な対策について*

(鋼の連続鑄造に関する研究—VII)

牛 島 清 人**

On the Positive Way to Prevent the Occurrence of the Defect of a Billet.

(Study on continuous casting of steel—VII)

Kiyoto USHIJIMA

Synopsis:

In the previous reports (Tetsu-to-Hagané 45 (1959) No.12, p. 1341 and 46 (1960) No.7, p. 753) it was revealed that defects which were occurred on the surface and in the core of a billet were prevented by setting the primary and the secondary cooling under the suitable conditions. But the range of the suitable conditions of cooling of the billet was rather narrow and it must be operated restrictedly.

Therefore it was important to find out the positive way to prevent the occurrence of the defect of a billet, besides those suitable conditions.

In this report, the results of the experiments which were held in order to prevent the occurrence of the surface defects of a billet in other words, to intensify the cooling of a billet in the mold, shall be revealed. To intensify the cooling of a billet in the mold, the first experiment was carried out to remove the air gap between a billet and a mold, and the second experiment was carried out on the tubular mold with thinner wall.

It was revealed that the inverse tapered solid mold and thin wall tubular mold showed a greater cooling capacity than with the normal solid mold. But in view of the availability of the mold life, the solid mold with inverse taper is only effective way to intensify the cooling of a billet.

I. 緒 言

前報¹⁾²⁾で明らかにしたごとく、鑄片の表面ならびに内部に発生する諸欠陥は、鑄込温度、鑄込速度、冷却法などをはじめとして、一次冷却ならびに二次冷却の諸条件を綿密に調整することによつて防止することができる。しかしながら鑄片に発生する個々の欠陥をすべて防止するためには、鑄片の凝固条件を狭い範囲に設定する必要があり、厳格な操業条件を要求することになる。

ゆえに鑄片の諸欠陥を防止するために、鑄込温度、鑄込速度、冷却法などの調整以外に、さらに積極的な手段を求めることは極めて意義あることと考える。

前報³⁾⁴⁾に述べたこれら諸欠陥の発生機構の考察から明らかなごとく、これらの諸欠陥はいずれも鑄型内における鑄片の外層凝固殻を強化し、二次冷却帯における鑄片内部の凝固組織を改善することによつて、直接または間接に防止することが可能である。

かかる考察にもとづいて、本報告においては、鑄片の欠陥の積極的な防止対策の一例として、一次冷却を強化する手段について行なつた実験の結果を述べる。

本実験においては、エルー式塩基性電気炉（公称8t）で溶製したキルド鋼を、強制往復運動鑄型式垂直型鋼連続鑄造機に鑄込み鑄片とした。

II. 一次冷却の強化に関する実験の結果

一次冷却を増大せしめる効果的な方法は、前報⁵⁾において明らかにしたごとくまず第1に鑄片と鑄型との接触面積を増大せしめること、いい換えれば鑄型下部において発生する空隙の影響を除くことである。

つぎに鑄片から鑄型の冷却水への熱の伝達を左右する熱貫流率は、鑄片と鑄型との接触が保たれている時期すなわち鑄型の上部において

$$k_1 = 1 / (1/\alpha + 1/\alpha' + S/\lambda) \dots\dots\dots (1)$$

であり、鑄片と鑄型との接触が失われた後の時期すなわち鑄型の下部において

$$k_2 = 1 / (1/\alpha + 1/\alpha' + S/\lambda + S'/\lambda') \dots\dots\dots (2)$$

である。

* 昭和36年4月本会講演大会にて発表

** 住友金属工業株式会社製鋼所，工博

ここに α : 鑄片表面から鑄型への熱伝達率

α' : 鑄型から鑄型冷却水への熱伝達率

S : 鑄型の肉厚すなわち鑄片内面から水冷孔表面までの距離

λ : 鑄型の熱伝導率

S' : 空隙すなわち鑄型と鑄型との間隙の厚さ

λ' : 空隙の熱貫流率

である。

ゆえに鑄型の上部においても下部においても、鑄型の肉厚すなわち鑄型内面から水冷孔表面までの距離 S を減少せしめることによって、鑄片から鑄型の冷却水への熱貫流率が增大する。いい換えれば鑄型の肉厚を減少せしめるのが一次冷却を増大せしめる第 2 の手段である。

そこで鑄型下部において発生する空隙を除く手段としては鑄型に上拡りのテーパを付け、また鑄型の肉厚を減少せしめる手段としては薄肉鑄型を設計して、それぞれ一次冷却に対する効果を確かめた。

1. テーパー付鑄型の一次冷却におよぼす影響

3 本の 1 回使用後の 105 mm ϕ 鑄型の内面を切削してそれぞれ 1 \cdot 12/1000, 1 \cdot 62/1000, 1 \cdot 92/1000 の上拡りのテーパ(両側面合計)を付けた。前報⁶⁾で明らかにしたごとく鑄型内において鑄片と鑄型との間に発生する空隙の大きさは一回切削後の 200 mm ϕ 鑄型において 1 \cdot 66/1000 のテーパに相当する。本実験における 105 mm ϕ 鑄型では鑄片の引抜き速度が 200 mm ϕ 鑄型の場合よりも大であり、従つて空隙の発生する位置は下方に下るであろうが、空隙のテーパ自身は大きな変化がないと考え、上記の 3 種のテーパについて実験を行なつた。

すなわち上記の 3 種のテーパ付鑄型に比較のためテ

ーパーなしの鑄型を加え合計 4 本の鑄型に中炭素鋼を鑄込んだ。供試した鋼の成分およびおもな鑄込条件は Table 1 に示す通りである。

この結果、鑄型のテーパが 1 \cdot 92/1000 の場合は、鑄型からの鑄片の引抜きが不能であつて鑄込ができなかつた。一次冷却によつて失われた熱量は、鑄型冷却水の給水温度と排水温度との差に、冷却水の流量を乗じて求めた。鑄込を行なつた 3 溶解についての測定結果は Table 2 に示す通りである。

すなわち鑄型内面に上拡りのテーパを付けることによつて鑄型内において鑄片が失う熱量を 27 \cdot 3 kcal/kg of steel から 35 \cdot 6 kcal/kg of steel まで約 30% 増大せしめることがきめる。

得られた鑄片の軸心の縦断面のマクロ組織は Photo. 1 に示す通りである。またこれをさらに拡大して見ると Photo. 2 に示す通りである。

すなわち Photo. 1 ならびに Photo. 2 から明らかのごとく、一次冷却の強化によつて粗大樹枝状晶の発生起点が順次鑄片の内方に移動する。いい換えれば急冷効果によつて鑄片表面の微細な結晶域が増大する。この結晶組織の変化する状況を測定した結果は Fig. 1 のごとくである。

上述の実験から次のことが明らかとなつた。

すなわち鑄型に上拡りのテーパを付けることによつて、一次冷却が強化され、この結果鑄片表面の微細結晶域を拡大せしめることができる。また鑄片と鑄型との間に発生する空隙の大きさは 1 \cdot 62/1000 ないし 1 \cdot 92/1000 の間の値である。

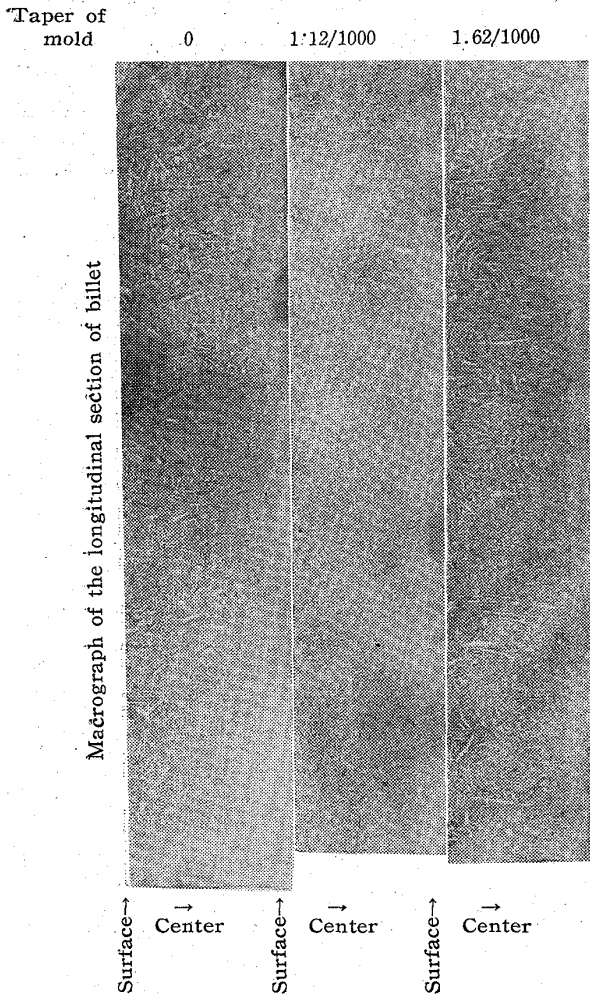
またテーパ付鑄型に鑄込んだ鑄片にはいうまでもな

Table 1. Chemical compositions and casting conditions of billets in the experiment on the tapered mold.

Heat No.	Chemical composition (%)			Casting temperature (°C)	Casting speed (mm/mn)	Taper on inside surface of mold (sum of both sides)
	C	Si	Mn			
A	0.49	0.22	0.51	1470 \pm 20	1600 \pm 100	0
B	0.51	0.31	0.55	1470 \pm 15	1600 \pm 100	1 \cdot 12/1000
C	0.55	0.35	0.61	1475 \pm 15	1600 \pm 100	1 \cdot 62/1000
D	0.50	0.33	0.56	—	—	1 \cdot 92/1000

Table 2. Effect of the taper of the inside surface of the mold on the primary cooling.

Heat No.	Taper of the mold (Sum of both sides)	Temperature of the cooling water of mold		Flow rate of the cooling water of mold (l/mn)	Heat extracted by the primary cooling	
		Inlet	Outlet		(kcal/mn)	(kcal/kg of steel)
A	0	23 \cdot 0	26 \cdot 6	1010	3640	27 \cdot 3
B	1 \cdot 12/1000	25 \cdot 1	29 \cdot 3	1000	4200	30 \cdot 5
C	1 \cdot 62/1000	31 \cdot 2	36 \cdot 2	990	4950	35 \cdot 6



Etching; 1:1 HCl, 70°C 30mn, ×1 (2/3)

Photo. 1. Macrographs of the longitudinal section of the billet cast in the mold with inverse taper.

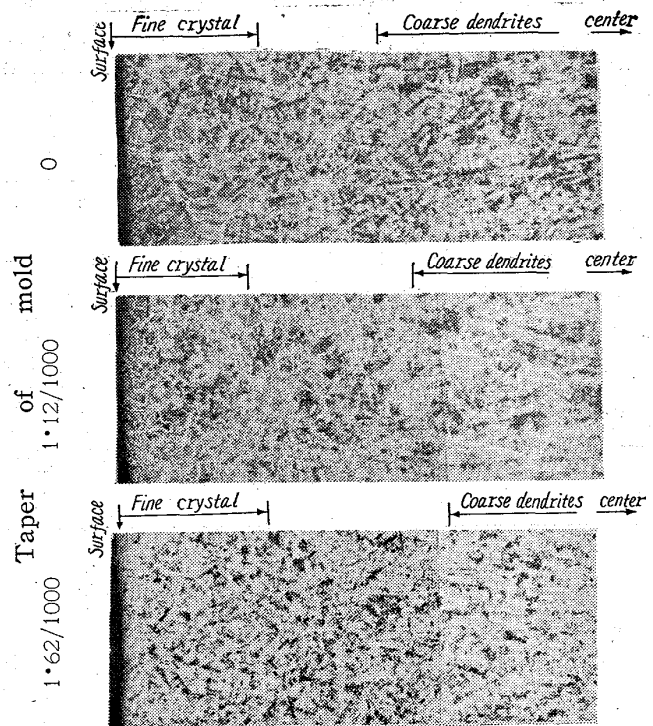
く前報¹⁾において明らかにしたごとく鑄片表面の縦割は全く発生しなかつた。

鑄片の断面寸法が異なつた場合には、内面につけるべき上括りのテーパの大きさは多少変化するかも知れないが、本実験における場合と全く同様な原則にしたがつて鑄型内面に上括りのテーパを付けることによつて一次冷却の強化すなわち鑄片表面部の強化が可能である。

2. 薄肉鑄型の一次冷却におよぼす影響

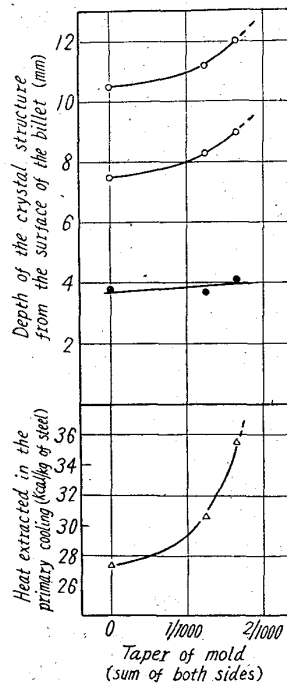
75mm φ 鑄片用の塊状鑄型および管状鑄型を設計した。ここで塊状鑄型とは、銅塊の軸心に 75mm φ の孔を穿ちこの周囲に水冷孔を具備した形式の鑄型で、鑄片表面に接する鑄型の内面から水冷孔の内面までの距離すなわち鑄型の実効肉厚は一例として 35mm とした。また管状鑄型とは銅管の外側に鉄管を装備し、この銅管と鉄管との間隙を冷却水が流通する形式の鑄型である。ここでは鑄片表面に接する鑄型の内面から冷却水の流通する水冷環の内面までの距離すなわち鑄型の実効肉厚は

Crystal structure of the surface of the billet



Etching: Fry etching reagent, ×10 (2/5)

Photo. 2. Effect of the taper of the mold on the crystal structure of the billet.



● Fine crystal zone
○ Beginning of the coarse dendrites
Fig. 1. Effect of the taper of the mold on the primary cooling.

一例として 13mm のものを用いた。

上述のごとき塊状鑄型すなわち厚肉鑄型と管状鑄型すなわち薄肉鑄型に Si-Mn バネ鋼を鑄込んだ。供試した鋼の成分およびおもな鑄込条件は Table 3 に示す通りである。

その結果、それぞれの鑄込において一次冷却によつて失われた熱量は Table 4 に示す通りである。

すなわち鑄型の実効肉厚いい換えれば、鑄片表面に接する鑄型の内面から冷却水の流通する水冷孔の内面までの距離を 35mm から 13mm に減少せしめることによつて、鑄型内における一次冷却によつて鑄片が失う熱量は 37.4 kcal/kg of steel から 51.3 kcal/kg

Table 3. Chemical compositions and casting conditions of billets in the experiment on the effect of the thickness of the mold on the primary cooling.

Heat No.	Chemical compositions (%)			Casting temperature (°C)	Casting speed (mm/mn)	Effective thickness of mold (mm)
	C	Si	Mn			
A	0.57	1.80	0.87	1515±10	3000±100	35
B	0.59	1.78	0.90	1520±10	3000±100	13

Table 4. Effect of the thickness of the mold on the primary cooling.

Heat No.	Effective thickness of mold (mm)	Temperature of the cooling water of mold (°C)		Flow rate of the cooling water of mold (l/mn)	Heat extracted by the primary cooling	
		Inlet	Outlet		(kcal/mn)	(kcal/kg of steel)
A	35	19.0	23.7	980	4610	37.4
B	13	20.3	28.0	800	6160	51.3

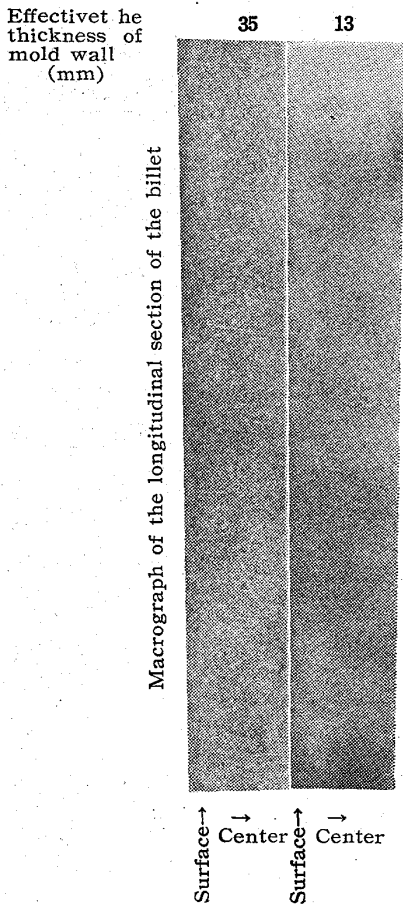


Photo. 3. Effect of the thickness of the mold wall on the crystal structure of the mold.

of steel まで約 37% 増大する。またこの鑄片の軸心縦断面は Photo. 3 に示す通りである。

これから Table 5 に示すごとく、鑄型の肉厚を減少せしめることによつて一次冷却が強化され、鑄片の組織

は粗大樹枝状晶の発生起点が内方に移動する。いい換えれば鑄片表面の微細結晶域が拡大されることが解つた。

鑄型の実効肉厚を異にする 2 種の鑄型、すなわち塊状鑄型と管状鑄型とについて鑄込を行なつた。その結果、鑄型の実効肉厚を減少せしめることによつて、鑄型内における一次冷却によつて鑄片の失う熱量が増大することが解つた。またこの一次冷却の強化された鑄片の結晶組織は、表面部の微細結晶域が拡大されていることが明らかとなつた。

上述の 2 実験から次のことが明らかである。

すなわち鑄型内面に上拡りのテーパを付け、鑄片と鑄型との接触面積を増大せしめる方法、ならびに鑄型の肉厚を減少せしめる方法は、いずれも鑄型内における鑄片の一次冷却を強化する。これは前報⁵⁾において一次冷却の機構を考察した際に予測した通りである。またかかる方法によつて一次冷却の強化された鑄片の結晶組織は表面部の微細結晶域が拡大していることが明らかとなつた。

しかしながら上述の二つの一次冷却の強化方法の中、薄肉鑄型は次のような理由によつて実用性のないことが解つた。すなわち、すでに前報⁵⁾においても述べたごとく鑄込中、鑄型の内面は高温の鑄片との接触によつて塊状鑄型においてさえも変形する。ゆえに薄肉鑄型においてはさらに大きな変形の起ることが予期せられる。実際に管状薄肉鑄型を使用した結果、果して変形が著しく数回ないし 10 数回鑄込を行なうことによつて早くも使用不可能となることが解つた。

ゆえに一次冷却の実際的な強化手段としては工業的には塊状鑄型の内面に上拡りのテーパを付ける方法のみであることが明らかである。

Table 5. Relationship between the primary cooling and the primary crystal structure at the outer zone of the billet.

Heat No.	Effective thickness of molds (mm)	Heat extracted by the primary cooling (kcal/kg of steel)	Primary crystal structure of the billet (depth from the surface)	
			Fine crystal zone	Starting points of coarse dendrites
A	35	37.4	3.2	6~7
B	13	51.3	3.0	7~9

III. 結 言

鋳片に現われる諸種の欠陥の発生機構に基づき、鋳込温度、鋳込速度などの調節による従来からの欠陥の防止法に止まらず、さらに積極的な欠陥の防止方法があることを予測し、一例として一次冷却の強化による鋳片表面部の改善について研究を行なった。

さきに考察した一次冷却の機構から、一冷次却を強化する手段としては、鋳型内面に上拡りのテーパーを付け、鋳片と鋳型との間の空隙の発生を防止する方法と、鋳型の肉厚を減少せしめる方法を案出して実験を行なった。その結果、この2つの一次冷却の強化手段はともに一次冷却によつて鋳片の失う熱量を大巾に増大せしめ、かつ鋳片表面部の微細結晶域を拡大せしめる効果のあることを確めた。しかしながら後者の薄肉鋳型は鋳込による内面の変形が著しく、実用性の薄いことが明らかとなつた。

以上述べた鋳片の欠陥の積極的な防止方法の原則は、単に連続鋳造鋳片に適用して有効なものであるのみならず、普通造塊法において鋼塊を鋳造する場合にも極めて

大きな効果を期待し得るものと考えらる。

終りに本研究に御懇切な御指導を賜つた東京大学教授工学博士梶山正孝先生に深甚の感謝を捧げます。

また本研究を指示され結果の発表を御許可下さいました小出秋彦常務取締役ならびに工学博士里井孝三郎常務取締役に深甚なる敬意を表します。また研究の遂行に当り絶えず御鞭達載いた吉井重雄現小倉製鉄所長に深謝の意を表するとともに直接御指導載いた理学博士大中都四郎企画部長に深く感謝する次第であります。

(昭和36年12月寄稿)

文 献

- 1) 明田義男, 佐々木寛太郎, 牛島清人: 鉄と鋼, 45 (1959) No. 12, p. 1341
- 2) 明田義男, 牛島清人: 鉄と鋼, 46 (1960) No. 7, p. 753
- 3) 明田義男, 牛島清人: 鉄と鋼, 46 (1960) No. 14, p. 1733
- 4) 牛島清人: 鉄と鋼, 47 (1961) No. 2, p. 116
- 5) 牛島清人: 鉄と鋼, 47 (1961) No. 3, p. 390
- 6) 牛島清人: 鉄と鋼, 47 (1961) No. 3, p. 391