

## 出鋼造塊時の熔鋼の流体力学的研究 (I)\*

小 池 与 作\*\*

STUDY OF THE HYDRODYNAMICS OF MOLTEN STEEL  
AT TEEMING OR TAPPING

Yosaku Koike

## Synopsis:

The inclusions or blow holes of fully-killed steel ingots are affected by the conditions of the molten steel-stream which is poured from a nozzle in ingot-making.

The preliminary experiments were carried out through the nozzles of various shapes (dia; 1 mm  $\phi$  ~ 10 mm  $\phi$ ) and at various heads (0 ~ 1800 mm) by using mercury, water and some water solutions. If the stream-condition was assumed to be mainly influenced by the Reynolds number, the results of this experiment through 10 mm  $\phi$  nozzle by mercury corresponded to those through 20 mm  $\phi$  nozzle by molten iron. The research was done without a stopper: it is near the case when the stopper is fully opened.

The results obtained were as follows.

(i) The stream which was poured from a nozzle was a perfectly stable laminar flow, only when the head of the liquid (the distance from the surface of the liquid to the entrance of the nozzle) had some limited value. When the head was too large the stream was turbulent, and when it was too small, the stream was dripping. They were photographed at the exposure of 1/1000 second.

(ii) The range of the head where the stable laminar flow was obtained through one nozzle was changed by physical properties of the liquid. Especially by increase of the viscosity, the transition point from turbulence to laminar flow was moved to a high head. The range of laminar flow was extended.

(iii) For the purpose of extending the range of the head where laminar flow was achieved, the short nozzle was better than long one within the limit of this experiment. The nozzle-dia was 10 mm  $\phi$ , and the length was 30 mm ~ 100 mm.

(iv) On the result of (iii), the nozzles with taper at the entrance and short parallel straight part at outlet were designed. They were recognized to have a good character of flowing.

## I. 緒 言

A1 処理した高級キルド鋼における非金属介在物の発生状況, その化学成分, 顕微鏡的形態, さらにその発生機構について研究した結果の概要<sup>1)</sup>はすでに発表したとおりであるが, これに関連して出鋼造塊時の熔鋼流の状況が重要な要素となつていくことがわかつたのでこれらについて研究をすすめることとした。

熔鋼流の状況と直接関係のあるものは酸化物系介在物である酸化物系介在物のうちでも肉眼的介在物, すなわち砂疵と顕微鏡的介在物とはその成因が同一でない場合も多く, したがつてその防止対策も異なるのであるが, 注入熔鋼流の状況の良否はこの両者に大きな影響がある。この外熔鋼流による空気の巻き込みはキルド鋼塊の気泡にも関係があるものと思われる。すなわち鋼塊中の非金属介在物, とくに上注鋼塊の底部に砂疵の発生する

原因には, ノズルより流出した熔鋼流の状況の不良なることがあげられる。この熔鋼流が完全に近い層流となり鑄型内にすでに注入されてたまつている熔鋼中に流れ込む場合は空気による熔鋼酸化が少なく, また熔鋼表面の浮滓や空気を鑄型内熔鋼中に巻き込むこともなくなるので砂疵や鋼塊気泡発生の原因が減少する。これに反してノズルより流出した熔鋼流が乱流となり飛散する場合は前述の条件がいちじるしく悪化する。とくに A1 処理した高級キルド鋼の場合にその悪影響は顕著となる。

したがつて注入条件のできるだけ広い範囲においてこの安定な層流を確保するため必要な取鍋やノズルの設計はきわめて重要問題である。しかし熔鋼は高温であるため流体力学的調査はきわめて困難であり, また不透明

\* 昭和 32 年 4 月本会講演大会にて発表

\*\* 富士製鉄釜石製鉄所研究所

であるため浮滓や空気の巻き込みなどを直接観察することができない。さらにまた実際作業においては注入過程におけるノズルの形状変化、すなわちノズル・ストッパーの材質、耐火度、耐蝕性などの問題がある。

本研究はこれら熔鋼の流体力学的諸問題ならびにこれに関連した諸実験を行い、上注法による高級キルド鋼の非金属介在物、または気泡の発生を防止せんとしたものである。

## II. 実験計画

実際のノズルにより熔鋼を流出して実験を行うことが望ましいのであるが、高温であるため調査の精度が低いことや装置の関係で各種の条件につき実験回数を増加することが困難であるため、予備実験として水と水銀を使用した。この基礎資料にもとづいて実際の熔鉄に関する実験を行うこととした。

水や水銀を使用する場合流体力学的な見地よりすれば熔鋼の場合とその粘性(レーノルツ数)や表面張力が近似のものでなければならない。また粘性と表面張力とではいずれが重要な性質であるか明らかでない。

鉄、水銀および水の表面張力および動粘性係数はつぎのとおりである。鉄の粘性係数 $\eta$ は 1620°C において 0.0169 とした<sup>2)</sup>。

	表面張力	動粘性係数
Fe	970 dyne/cm	0.0024 (1620°C)
Hg	472 "	0.00126 (20°C)
H <sub>2</sub> O	72 "	0.017 (20°C)

レーノルツ数  $R = VL/\nu$ , 動粘性係数  $\nu = \mu/\rho$

液体が異なる場合の測定値が主としてレーノルツ数により左右されるとすれば水の場合は単にその傾向だけを推定するのに役立つ程度であるが、水銀の場合は水銀の実験に使用したノズルの2倍の直径の実用ノズルで行った熔鋼の実験の場合とほぼ一致することになる。

しかしながらノズルより流出した流れの状況とこれが液体中に落下した場合に起る現象は水が透明であるため最も明らかである点で利用価値がある。熔鉄についての实用実験はノズルの熔損変形による影響をできるだけ少なくするため、まず熔鉄について測定を行うこととした。また熔鋼の場合現在の耐火物ではノズルの熔損、軟化による変形はまぬかれないのでこの熔損などによる変形が流体力学的にできるだけ悪影響が少ないような形状をまず検討した。

## III. 実験方法

今回は主として液体の深さ (head) や液体の物理的性質と安定なジェットの高さとの関係およびノズルの形状と安定なジェットの高さとの関係などにつき水および水銀を使用して実験を行った。ノズルにはストッパーを装着していない場合、すなわちストッパー全開の場合について実験をしたものであり、ストッパー微開の場合については次回に報告する。

(1) 液体の深さ (head) と安定なジェットの高さとの関係

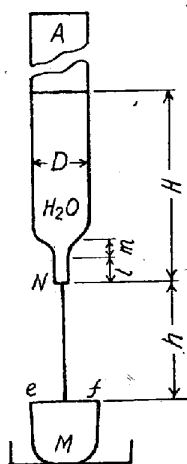


Fig. 1 (1)

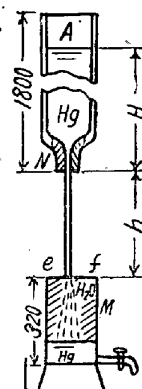


Fig. 1 (2)

Fig. 1 (1) (2) のごとく硝子管 A 内に水または水銀を入れ、これをノズル N より流出し、下方の硝子製受器 M に受ける。head の大きいときにはジェットは乱流となり空気を巻き込むが、ジェットが安定な層流となれば全く空気の巻き込みが起らない。これによつて各 head に対応する安定なジェットの高さを測定した。

(2) 液体の物理的性質と安定なジェットの高さとの関係

粘性と表面張力の影響を明らかにするためつぎに示すごとく粘性および表面張力の異なる3種の液体、すなわち水、10% アルコール水溶液、40% グリセリン水溶液につき同様の方法で Fig. 1 の装置により流れの安定する範囲を求めた。

	粘性( $\eta$ )	比重( $\rho$ )	表面張力( $\delta$ )
水	0.010	1.00	73.0
10% アルコール水溶液	0.015	0.99	54.0
40% グリセリン水溶液	0.039	1.10	68.6

(3) ノズルの形状と安定なジェットの高さとの関係  
水および水銀を使用して実験を行った。Fig. 2 のご

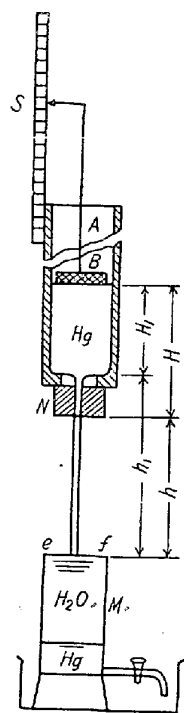
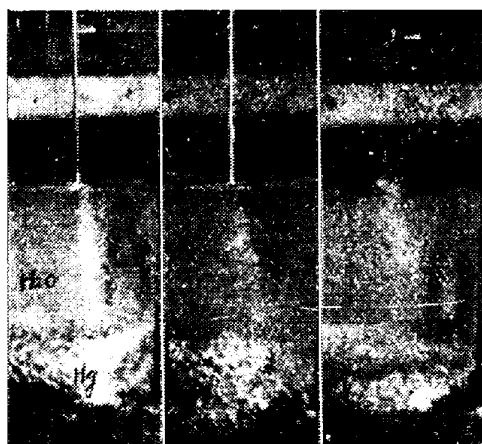


Fig. 2.

とく取鍋に相当する容器Aは鋼製管を使用し、またノズルNも鋼製にし各種の形状のノズルをネジにより自由に取付け取外しができるようにした。流出した液の受器は硝子製とし空気を巻き込む程度により層流より乱流にかわる点を判定し安定なジェットの高さを測った。

A内の head はコルクの浮きBの上方に取りつけられた指針とスケールSとにより読みとつた。またノズルの長さの影響を調査する場合は硝子製管のノズルを順次切断して実験する方法を併用した。水銀について安定な層流の高さを測定するため水銀のジェットを水の表面に落下させた。Photo. 1 の (1) (2) (3) は露出 1/1000 秒のものである。この場合安定な層流であれば Photo. 1 の (1) のごとく全く空気の巻き込みが起らず、ジェットにも全く乱れが認められない。乱流となつて空気を巻き込んでいるものが Photo. 1 の (2) である。すなわち空気の巻き込みはかなりはなはだしくなつていくことが認められるが、ジェットの乱れは写真においてはそれほど顕著でない。すなわち写真によつて流出状況の良否の判定が困難な程度でも空気の巻き込みは起つているものと考えられる。したがつて実際作業などでみられることのあるジェットが傘状に開く場合などの悪影響は推して知ることができる。つぎに層流より滴下に近い状態となつた場合空気の巻き込みが起るのであるが、その一例を Photo. 1 の (3) に示した。



(1) (2) (3)

Photo. 1.

### IV. 実験結果

(1) 液体の head と安定なジェットの長さとの関係  
(i) 水を使用した場合

11°C の水を使用し直径 1~7 mm, 長さ直径の 5 倍を有するノズルを使用し, Fig. 1 (1) の装置により実験を行いノズルの出口より落下液面までの高さ  $h$  とノズル出口までの液体の head  $H$  との関係求めた。

すなわち Fig. 1 (1) の  $h$  をある一定の値とし管 A に充分高い head まで水を入れておき, これをノズルより流出するときは最初 head の高いうちは乱流となり受器 M には盛んに空気を巻き込むが, ある head になると層流となり空気の巻き込みは皆無となる。この場合の  $H$  の値を読みとる。つぎに head がさらに減少するとついで滴下に近い状態となりふたたびはげしい空気の巻き込みが起る。このときの  $H$  の値をふたたび読みとる。このようにして  $h$  の値を種々変化して同様の測定を行つた値を図示したものが Fig. 3 である。Fig. 3 において曲線 a b は Fig. 1 (1) に示す  $h$  を種々かえた場合に受器 M 内 e f 面において空気の巻き込みがなくなる限界の  $H$  を示す。また c d 曲線はふたたび空気を巻き込み初める  $H$  の値を示す。すなわち a b c d でかこまれた領域が安定な層流の得られる範囲であり, この領域のできるだけ広いことが望ましい。

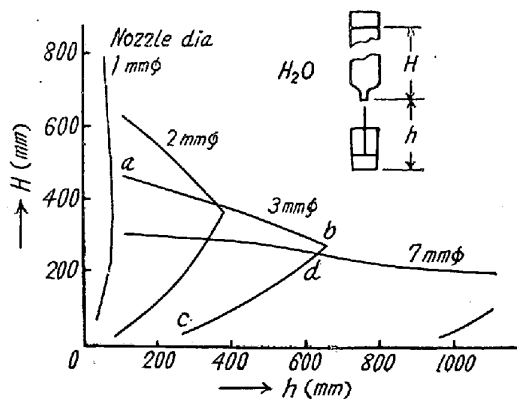


Fig. 3.

Fig. 3 からノズル径が大きくなるにつれて  $H-h$  特性曲線の形状がいちじるしく変化していることがわかる。とくに 1 mm  $\phi$  ノズルではその特性曲線の形状が他のノズルと全く異なつていく。

(ii) 水銀を使用した場合

20°C の Hg を使用し, 前項と同様に直径 2~10 mm 長さ直径の 5 倍を有する 5 種類のノズルにつき Fig. 1 (2) の装置により実験を行い  $h$  と  $H$  との関係をもとめた。Table 1 はその概要を示す。またその一部を図示

したものが Fig. 4 である。水の場合とほとんど同様の傾向が認められた。

(i), (ii) いずれの場合も Fig. 1 の容器 A は内径 45 mm の硝子管を使用したため Fig. 3 の曲線 a b および Fig. 4 の曲線 a' b' などは実際より若干下方にずれているものと考えられ補正を要するのであるが、後の項で再度実験を行っているので測定値のままを示した。

これらの実験より同一ノズルを使用する場合同一の head  $H$  に対しては流出した流れの落下距離  $h$  がある一定の範囲以下の場合にのみ安定な層流が得られる。すなわち同一鋼塊の注入においては底部ほどはげしい乱流または滴下流となる。また一定の形状のノズルを使用し落下距離  $h$  を一定として熔鋼を注入する場合にはある範囲の取鍋内熔鋼の head に対してのみ注入熔鋼流は安定なジェットとなり理想的な注入条件が得られることがわかる。この根本問題に対してはまず取鍋の設計が検討せられるべきである。

すなわち取鍋の直径に対して高さを許す限り減少することが有利であるが、直径の増加は取鍋内熔鋼表面の増加となり、これは熔鋼の酸化または温度低下などの悪影響をもたらす。

この対策としては取鍋の注入始めより注入終りまでの時間の短縮が必要で、そのためには一つの取鍋にノズル 2 コの装備、その他の方法が考えられる。取鍋懸吊金具の設計および一つの取鍋に装備された 2 コのストッパーの操作を容易にするなどの点より考えると、米国などにてみられるように楕円形の採用も適当であろう。従来一つの取鍋に対するノズル 2 コの装備は 150~200 程度の大容量取鍋に限られているが、以上の見解よりすれば 100 以下の取鍋に対しても有効なものであろう。

つぎに考えられることはタンデッシュやポットの使用である。ポットは取鍋の下に適当な大きさのタンデッシュのごときものを装着したもので、これにより熔鋼 head を一つの取鍋の注入始めより注入終りまでほとんど希望する状態におくことができるのであるが、ポットやタンデッシュに注入された熔鋼の渦が静まらないうちに鑄型

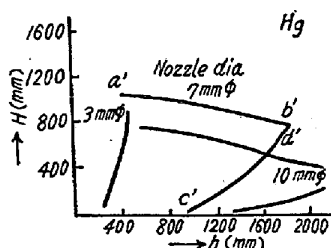


Fig. 4.

内に注入されて行くので、やはり注入熔鋼流がある程度乱流となることはまぬかれない。これら造塊設備の設計についてはさらに具体的な研究が必要である。

(2) 液体の物理的性質と安定なジェットの長さとの関係

直径 3 mm, 長さ 15 mm のノズルを使用し, 20°C において前項と同様の方法で水, 10% アルコール水溶液および 40% グリセリン水溶液について安定なジェットの長さを測定した結果は Fig. 5 のとおりである。

Table 1-(1) Relation between  $h$  and  $H$   
(10 mm dia.)

(1)  $h$  is the distance from the outlet of a nozzle to the surface onto which the stream is poured.

(2)  $H$  is the head from the surface of liquid to the outlet of a nozzle.

$h$ (mm)	$H$ (mm)	
	Change from turbulent flow to laminar	Change from laminar flow to dripping
820	650	0
1200	550	0
1400	500	20
1660	420	60
1860	390	100

Table 1-(2) Relation between  $h$  and  $H$   
(7 mm dia.)

$h$ (mm)	$H$ (mm)	
	Change from turbulent flow to laminar	Change from laminar flow to dripping
610	1000	0
880	950	40
1000	920	70
1135	900	120
1440	830	350
1570	800	500

Table 1-(3) Relation between  $h$  and  $H$   
(5 mm dia.)

$h$ (mm)	$H$ (mm)	
	Change from turbulent flow to laminar	Change from laminar flow to dripping
370	1250	0
460	1200	30
530	1200	50
620	1150	100
720	1100	180
805	1100	240
955	1000	350
1065	950	520
1130	900	650

Table 1-(4) Relation between  $h$  and  $H$  (2 mm and 3 mm dia.)

2 mm $\phi$		3 mm $\phi$	
$h$ (mm)	$H$ (mm) Change from laminar flow to dripping	$h$ (mm)	$H$ (mm) Change from laminar flow to dripping
120	160	180	0
140	220	200	30
170	300	240	45
185	370	290	200
210	510	340	300
230	590	390	450
245	740	410	600
260	950	447	—
280	—	—	—

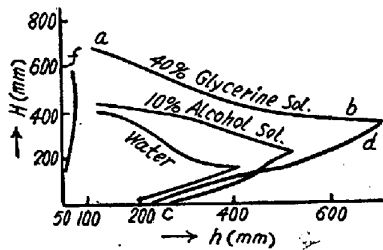


Fig. 5.

流出状況におよぼす粘性と表面張力の影響に関するこれらの実験より、粘性が流出状況の良好な安定層流の範囲の広さに大きな影響を有し、その大なるほど流出する流れが安定し飛散することがない。

(3) ノズルの形状と安定なジェットの長さとの関係

(i) ノズルの長さの影響

(a) 水銀による実験

20°C の Hg を使用し、直径 10 mm のノズルによりノズルの長さの影響を調査した。

すなわち最初に長さ 100 mm のノズルを作り測定した後、順次ノズル出口側を切断して短いものにつき測定した。これにより各ノズル間の仕上面の状況などによる条件の差をできるだけ少くした。ここで使用したノズルの寸法は Fig. 6 の (1) のごとく入口側の半径は 5 mm とした。実験成績の概要を Table 2 に示した。この場合はストッパーが装備されていない。したがってストッパー全開の場合に近い実験である。この実験の範囲ではノズルの短いものの方がよい成績を示した。

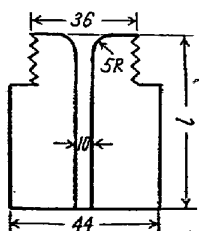


Fig. 6. (1)

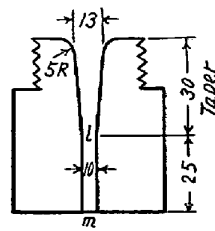


Fig. 6. (2)

Table 2. Effect of nozzle-length (mercury)

The head where turbulent flow was altered to laminar flow at 1395 mm from the outlet of a nozzle was named "safty-limit of head" at 1395 mm.

Nozzle No.	Length of nozzles $l$ (mm)	Safty-limit of head at 1395 mm $H$ (mm)
1-1	100	370
1-2	85	395
1-3	70	420
1-4	55	485
1-5	40	535
1-6	30	710

前項でのべたように Fig. 2 容器 A の直径が小さく、 $h$  を一定としてノズルより流出させ  $H$  が減少する場合、乱流より層流への変化を正確に判定することが困難でかなりのおくれがあると考えられたので、この実験ではおのおの異なる  $H$  の値より流出試験を行い乱流より層流への変化点を測定した。

(b) 水を使用した場合の実験

11°C の水を使用して鎮静時間を 2 分とし、10 mm 直径のノズルで前項とほとんど同様の装置で実験を行った。この場合各長さのノズルをそれぞれ別に製作したので仕上面のわずかの差異が流出成績にある程度影響しているものと思われる。ノズルの寸法は Fig. 6 と同様であつた。実験成績の概要を Table 3 に示した。

Table 3. Effect of nozzle-length (water).

Safty limit of head at 900 mm was observed.

Nozzle No.	Length of nozzles $l$ (mm)	Safty-limit of head at 900 mm $H$ (mm)
7-1	100	110
7-2	85	135
7-3	70	155
7-4	55	190
7-5	40	225

つぎに Fig. 1 (1) のごときガラス管を使用して、水温 11°C、鎮静時間 2 分とし直径 10 mm のノズル出口側を順次切断して平行直線部  $l$  を 75 mm より 30 mm まで変化せしめ乱流より層流にかわる head の高さを測定した。Table 4 はその概要を示す。この場合も層流より滴下に近い状態にかわるため空気の巻き込みの起る点はほとんどノズル入口の近くで測定困難であつた。したがって Table 4 の  $H$  の値は安定な層流の得られる head の範囲となる。Table 4 より明らかなごとくこの測定の範囲ではノズルの直線部分  $l$  の長さが短くなるほど  $H$  の値は大となり良好である。しかも  $H$  の値の増加す

る割合は  $l$  を減少した割合よりはるかに大である。

Table 4. Effect of nozzle-length (water)  
 $H$  was a head from water surface to the entrance of a nozzle.

Length of nozzles (linear part). $l$ (mm)	Safty-limit of head at 805 mm. $H$ (mm)
75	150
60	170
45	190
30	250

(ii) ノズルの形状の影響

(a) 水銀を使用した場合

前項の実験と同様に 20°C の水銀により鎮静時間を 3 分とし、Fig. 2 の装置を使用して実験した。ノズルの形状については前項の実験によりノズルの直線平行部の短い方がよいことがわかったので Fig. 6 の (2) にその一例を示したごとく、ノズル出口側に直径 10 mm の  $l_m$  なる直線平行部を設け、それより入口側は 1\*7/30~3\*2/30 程度のテーパーをつけた。テーパー部の長さは 30 mm とした。実験成績の概要を Table 5 に示した。

Table 5. Effect of nozzle-tapper (mercury)

(1) Safty-limit of head at 1395 mm was observed.

(2) Total length of nozzle was 70 mm, length of the tapered part was 30 mm.

Nozzle No.	Tapper of nozzles	Safty-limit of head at 1395 mm $H$ (mm)
2-1	0	410
2-2	1*7/30	495
2-3	2*7/30	545
2-4	3*2/30	605

Table 5 よりテーパーが大きくなると乱流より層流にかわる head が大となる。層流より滴下状態にかわる点はノズル入口の近くでほとんど測定できない程度であった。したがって  $H$  の大なるものほど流出性能がよいことになる。またテーパー 1\*5/30, 2\*7/30, 3\*2/30 の 3 つのノズル (出口径 10 mm  $\phi$ ) につき直線平行部を 40 mm, 25 mm, 10 mm に変更し、鎮静時間を 3 分としてその流出性能を調査比較した。その成績の概要を Table 6 に示した。

Table 5 からテーパー部の長さが同じであればテーパーの大きいものがよい成績を示している。また Table 6 によればテーパーが同一であればこの実験の範囲では平行直線部の長さの短いものが良好である。しかし実際

Table 6. Effect of nozzle shape (mercury)

(1) Safty-limit of head at 1395 mm was observed.

(2) Length of the tapered part was 30 mm.

Nozzle No.	Length of nozzle (mm)		Safty-limit of head at 1395 mm $H$ (mm)	Taper
	Total	Tapered		
3-1	70	40	465	1*5/30
3-2	55	25	645	
3-3	40	10	785	
4-1	70	40	565	2*7/30
4-2	55	25	700	
4-3	40	10	880	
5-1	70	40	605	3*2/30
5-2	55	25	780	

の場合にはストッパーとノズルとの摺合の難易やストッパー微開の場合の流出条件、また熔鋼によるノズルの熔損に基因するノズル孔径の変化などの問題があるので具体的な寸法の決定についてさらに実用実験が必要である。

## V. 実験結果に対する考察

水および水銀を使用してノズルより流出する流れの状況を調査した結果 2, 3 の文献にみられるごとく、ノズルより流出する流れの安定性 (乱流や滴下状態とならないこと) はノズル径に対して長さを大きくすることにより得られるものでなく、一般に実用されるごときノズル寸法の範囲においては短い方が優れた流出性能をもっているものであることがわかった。しかし実際に取鍋に装着し数 t または数十 t の熔鋼を入れるためには構造上一定の長さ以下にすることはできない。ノズルの入口側にテーパーをつけることによりある程度この目的を達することができたように思われる。

注入熔鋼流の状況については古くから現場関係者によりては検討されているのであるが、熔鋼が高温であるため熔鋼の流体力学的な測定が困難であり、また熔鋼が不透明であり空気や浮滓の熔鋼内部への巻き込みなどを観察できないため注入や出鋼の条件が悪い場合には予想以上に悪影響があることが見のがされていたように思われる。すなわちノズルより注入される熔鋼流が傘状に開く場合のごときは全く極悪条件であり、肉眼的に判定困難な程度の乱流やまたは滴下に近い状態でもはなはだしい空気や浮滓の巻き込みが起つているものと認められる。

ノズル入口側における液体の head  $H$  が小さいところから次第に大となる場合は流出する流れは一般につぎの経過をたどる。

- (a) 滴下, (b) 滴下より層流への遷移  
 (c) 層流, (d) 層流から乱流への遷移  
 (e) 乱流 (縦振れ) (f) 乱流 (横振れ)  
 (g) 乱流より噴霧流への遷移 (h) 噴霧流

滴下より層流へ, また層流より乱流への遷移は流体力学的にはつぎのごとく考えることができる.

(1) 滴下より層流への遷移

珠数状の懸垂液滴より層流になる遷移速度  $V_K$  を次式で表した.

$$V_K = \left\{ \frac{0.65}{d} \left( \frac{\sigma}{\gamma} \right)^{3/4} + \frac{1.35}{d^{1/2}} \left( \frac{\sigma}{\gamma} \right)^{2/4} - \frac{1.09}{d^{1/4}} \left( \frac{\sigma}{\gamma} \right)^{3/8} \right\} \sqrt{g}$$

$\sigma$  = 液体の表面張力

$\gamma$  = 比重

$g$  = 重力の加速度

$d$  = ノズル dia.

すなわち  $V_K$  は  $\sigma/\gamma$  (動表面張力) のみの function の粘性係数には無関係である.

(2) 層流から乱流への遷移

$$\left. \begin{aligned} St(\text{安定数}) &= \mu/\sqrt{\sigma \rho d} \\ Re(\text{レーノズ数}) &= Vcd/\nu \end{aligned} \right\} \text{とすれば}$$

$$\left( \frac{\mu}{\sqrt{\sigma \rho d}} \right)^m \left( \frac{Vcd}{\nu} \right)^n = \text{constant} \text{ が成立する.}$$

$Vc$  (遷移速度) = 層流より乱流にかわるときの速度

$\mu$  = 粘性係数,  $\nu = \mu/\rho$ ,  $m < n$

この式より  $\mu$  の大なるほど  $Vc$  は大となることわかる.

(3) 層流の長さ

直径  $d$  のノズルより流出する層流の長さを  $l$  とすれば次式が適していると思われる.

$$l/d = 22.4 \left\{ (V - V_K) \sqrt{\frac{\gamma d}{\sigma g}} \right\}^{0.8} \left\{ 1 - \frac{1}{250} \sqrt{\frac{\sigma \rho d}{\mu}} \right\}$$

## VI. 結 言

水および水銀を使用し, 直径 1~10mm のノズルで流出前の容器内の head と流出したジェットの安定な長さとの関係ならびにノズル形状と安定なジェットの長さとの関係などにつき実験を行った. これを基として流体力学的に優れたノズル形状, 寸法などについて検討を加えた.

実際の取鍋ノズル寸法を具体的に決定するに当つてはストッパー微開の場合の流出条件および熔鋼によるノズル熔損に基因するノズル孔径の変化等の問題があるので引き続き実験中である.

本研究は富永研究所長, 東北大学坪内教授, および上司各位の御指導により実施せられたものであり, ここに深く感謝の意を表する次第である. また終始実験に従事された板沢祥夫君, 戸張真吉君の労を多とする.

(昭和 32 年 10 月寄稿)

## 文 献

- 1) 小池, 野田: 鉄と鋼, **42** (1956) p. 962  
 小池, 駒塚: 鉄と鋼, **42** (1956) p. 1030  
 小池, 犬塚, 堀籠: 鉄と鋼, **43** (1957) p. 122
- 2) 小池: 鉄と鋼, **41** (1955) p. 587