

ノズルの開度または変形等がジェットにおよぼす影響*

(出鋼造塊時の熔鋼の流体力学的研究—II)

小池 与作**・武藤 陽造***

Effect of the Degree of Nozzle Opening and Deformation on the Jet Condition.

(Study of the hydrodynamics of molten steel at tapping or teeming—II)

Yosaku Koike and Yôzô Muto

Synopsis:

From the previous research (Tetsu-to-Hagané, vol. 44, No. 2, 1958, p 122) it was learned that nozzles tapered at the entrance and with a short parallel straight part at the outlet had good flowing characteristics when they were fully opened. In this research the characteristics of these specially designed nozzles at the small opening by a stopper and some other flowing properties of nozzles were studied. The results obtained were as follows.

(1) A nozzle tapered at the entrance and a short parallel linear part at the outlet had almost the same flow characteristics as a normal long nozzle, when the nozzle was a little opened by a stopper.

(2) Violent turbulent flow caused by erosion or deformation of nozzles were seen in two cases, when the nozzle-diameter had been increased at the outlet by erosion, and when the nozzle-diameter had been decreased at the entrance by deformation which was thought to occur sometimes from the shock of closing the stopper.

(3) When the jet from the nozzle hit the liquid in the mold, the depth to which the jet penetrated the liquid was mainly affected by the nozzle diameter and slightly influenced by the head from the fluid surface to the inlet of the nozzle and by the distance from the outlet of the nozzle to the liquid surface in the mold.

(4) Refractory-nozzles whose surface-friction was higher were thought to have slightly worse flowing properties than glass-nozzles. The influence of the length of a refractory-nozzle upon the speed of the jet was smaller than that of a glass-nozzle, when the head from the inlet of a nozzle to the liquid-surface was the same.

I. 緒 言

前報においては水銀を使用してストッパーを装備しない場合、すなわちストッパー全開時のノズルよりの流出状況におよぼすノズルの長さおよび形状の影響を調査した。これらの実験の範囲では入口側にテーパーを有し、出口側の平行直線部分を短くした特殊ノズルがすぐれた流出性能をもっていることがわかった。

本研究は主として水銀および水を使用してつぎの各項について実施したものである。

1) 流出性能を向上するためテーパノズルまたは短いノズルを使用する場合ストッパーを微開することにより流出状況に与える影響。

2) 使用中のノズルの侵蝕などによる変形が流出状況におよぼす影響。

3) 落下 jet の液体内部への巻き込みの深さと流出条件との関係。

4) ノズル内面の表面状態の影響

II. 実験方法

(i) 水銀流出実験

ノズルは鋼製、10mmφでその形状は前報に示したごとく普通のものとして入口側にテーパーを有するものであり、この2種類につき孔の直線平行部の長さおよびテーパーの程度を変えてその影響を調査した。

またストッパーの微少の開度を正確に加減するために Fig. 1 の装置を使用した。D は pitch 1.7mm の正確なねじでハンドル Ha により操作される。容器 L 内の液

* 昭和 33 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 工博
*** 富士製鉄釜石製鉄所窯業課

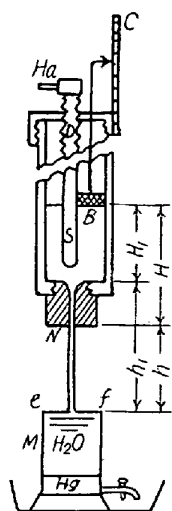


Fig. 1. Equipment for flowing test.

面はコルクの浮き、Bに取りつけた指針とスケールCにより測定される。

ノズルNより流出した水銀流は水を満した容器Mに落下する。水銀流に乱れがあれば空気の巻き込みが起る。最初ストッパーSを閉鎖した状態より徐々に開度を増して流出試験をおこなう。滴下流のためノズルより落下する流れはe, f面において初めははげしく空気を巻き込むが、次第に巻き込みは減少して遂には層

流となり空気の巻き込みがなくなる。この滴下流より層流に変る最少のストッパー開度を求めた。

つぎに悪影響をもつとも大きいと予想されるのは使用中のノズル孔の変形であるが、これについては出口側孔径が侵蝕などにより増大する場合と入口側孔径がストッパーなどにより変形縮小する場合とが考えられる。ノズル出口の影響については Fig. 2 の (1) (2) に示すノズルにつきまたノズル入口側の影響については Fig. 3 に示すものにつき実験した。

(ii) 落下 jet の液体内部への巻き込み

Fig. 4 に示すような方法でノズル入口側の head, 落下距離を変えて 3 mm φ, 5 mm φ, 7 mm φ の各ノズルより流出する jet がすでにたまっている液体上に落下し気泡などを内部に巻き込む深さを測定した。

(iii) ノズル内面の表面状態の影響について

10 mm φ ノズルの硝子製のものと耐火物製のものおよび鋼製のものにつき流出 jet の状況, 流出時間などを調査した。

III. 実験結果

(1) ノズルの長さの影響

各ノズルの仕上面の程度, 流入側の微少の曲率などの影響による誤差をなくするため最初に長さ 100 mm, 径 10 mm 流入側半径 5 mm のノズルを作り, これにつき測定した後, 逐次流出側を切断して長さ 85 mm, 70 mm 55 mm, 40 mm, 30 mm のノズルを作り測定をおこなった。ノズルのストッパー開度が小さいときは Fig. 1 の受器Mには盛んに空気を巻き込むが, ストッパー開度が

増すにつれて層流となり, 空気の巻き込みがなくなる。head $H=200$ mm の場合ストッパーの上昇 1.7 mm, 3.4 mm, 10 mm の場合の流れの状況を露出時間 1/1000 秒にて撮影したものを Photo. 1 の (1) (2) (3) に示した。

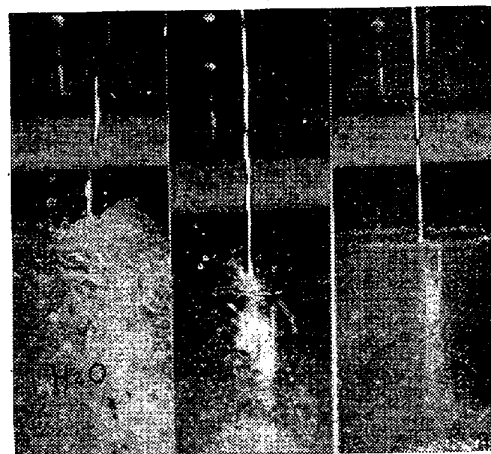


Photo. 1. The conditions of mercury-jet at various degrees of nozzle-opening.

すなわちストッパー開度の小さい場合の空気の巻き込みは流れが滴下に近い状態となるためであり, 傘状に開くなどの原因によるものでないことがわかる。ノズル番号 No. 1 b に対する測定値を Table 1 に示した。

L (mm) の値の小さいものほどノズルとしての性能はよい理である。Table 1 よりノズルの長さを短くすることにより, その流出性能を低下するような傾向は認められない。

Table 1. Effect of nozzle length.

(1) The minimum stopper lift where the dripping flow was altered to laminar flow at a constant head (200 mm, 320 mm) was named "the safety limit of stopper-lift".

(2) The flowing distance from the outlet of the nozzle to the surface of the water was 1395 mm.

Nozzle No.	Length of nozzle l (mm)	Safety limit of stopper-lift L (mm)	
		Head=320 mm	Head=200 mm
1 b ~1	100	6.3	11.9
1 b ~2	85	5.9	6.3
1 b ~3	70	5.5	5.5
1 b ~4	55	5.5	5.9 ~ 5.5
1 b ~5	40	5.9	5.9

(2) ノズルのテーパの影響

流入側にテーパをつけた場合の影響を調査したので

あるが、この場合も他の影響を極力少なくするためノズル径 10mm、長さ 70mm のノズルを作り、これにつき測定をおこなった後、逐次 Table 2 のごとくテーパを付け、各各につき測定した。測定結果は Table 2 のごとくこの場合もテーパを付けることにより流出性能を低下するような傾向は認められない。

Table 2. Effect of nozzle taper

- (1) The minimum stopper-lift where dripping flow was altered to laminar flow at a constant head (200mm) was named "the safety limit of stopper-lift".
- (2) The flowing distance from the outlet of the nozzle to the surface of the water was 1395mm.

Nozzle No.	Taper of nozzle	Safety limit of the stopper-lift L (mm) Head=200mm
2~1	0	6.3
2~2	1.7/30	5.5
2~3	2.7/30	5.9
2~4	3.2/30	6.3

(3) ノズルの長さ と テーパーの影響

テーパの異なる 3 種類のノズルについてノズル平行部の長さを変化して実験をおこなった結果を Table 3 に示した。テーパの大きいもので平行部を極度に短かくすることはストッパー微開時の流出性能の若干低下する傾向があるように思われるが、実験回数が少ないので明らかでない。

Table 3. Effect of the nozzle shape.
The flowing distance was 1395mm.

Nozzle No.	Length of nozzle l (mm)		Taper of nozzles	Safety limit of the stopper-lift L (mm) Head=200mm
	Total	Parallel		
3~1	70	40	1.5/30	5.9
3~2	55	25		5.9
3~3	40	10		6.3
4~1	70	40	2.7/30	6.3
4~2	55	25		6.3
4~3	40	10		6.6
5~1	70	40	3.2/30	6.3
5~2	55	25		6.8
5~3	40	10		—

(4) ノズルの変形と流出状況

(i) ノズル出口側の変形

まず Fig. 2 の (1) に示す形状のノズルについて水銀で実験した。

長さ 85mm、直径 10.2mm および 10.3mm のノ

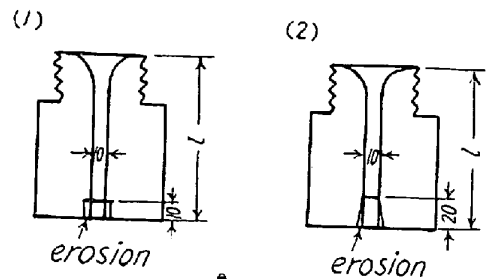


Fig. 2. Nozzles deformed at the outlet.

ズルの出口側を長さ 10mm だけ 10.2mmφ より 11.5mmφ まで次第に増大して流出状況におよぼす影響を実験した結果を Table 4 に示した。

ノズルの全長は 85mm と 55mm の二組につきおこなった。またこの場合も出口側孔径の増加以外の条件の影響をできるだけ小さくするため、最初にノズル孔の全長に

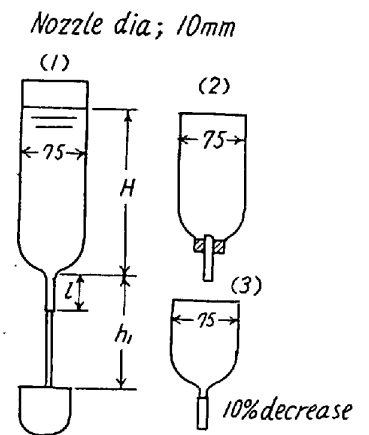


Fig. 3. Nozzles deformed at the inlet.

たり同一寸法のものにつき測定した後、逐次出口側径を大きくして測定をおこなったものである。

Table 4 より明らかのごとく、ストッパーのない場合乱流より層流に変る head H の値も、ストッパー微開時層流となるに必要な最小ストッパー開度 L (mm) もともに孔径 10.2mmφ より 10.5mmφ 程度まで大きくなつてもいちじるしい影響はないが、10.8mmφ まで大きくなると急激に流出性能を低下していることがわかる。

つぎに Fig. 2 の (2) に示すようなノズルにつき出口側直径を 10.2mmφ より 13.0mmφ まで大きくした場合の影響を調査したものを Table 5 に示した。この場合も前述と同様に全長 70mm にわたり同一径のノズルにつき測定した後、逐次出口側径を大きくして実験をおこなったものである。

Table 5 より明らかなるごとく 10.2mmφ を 11.0mmφ まで増加した場合、その影響は大きくないが 12.0mmφ まで増加するとはなはだしい乱流となることが認められる。

Table 4 の No. 1-4-4 のノズルおよび Table 5 の No. 1-3-4 のノズルにつき 350mm 程度の head H にてノズル入口よりの落下距離 h_1 が 1395mm のところにおける流れの乱れの状況を露出時間 1/1000 秒にて撮

Table 4. Effect of increase of the diameter at the outlet of a nozzle.

- (1) Flowing distance was 1395 mm.
- (2) Length of section of increased diameter was 10mm.

Nozzle No.	Length of nozzle (mm)	Dia. of nozzle (mm)	Dia. of nozzle at outlet (mm)	Safety limit of head at 1395 mm	Safety limit of the stopper-lift L (mm)	
					Head=200 mm	Head=320 mm
1~2~1	85	10.3	10.3	395	5.9	7.2
1~2~2	"	"	10.5	345	6.8	7.6
1~2~3	"	"	10.8	0	11.9	—
1~2~4	"	"	11.5	0	"	Turbulence even at 11.9
1~4~1	55	10.2	10.2	485	5.9	5.9
1~4~2	"	"	10.5	470	5.9	5.9
1~4~3	"	"	10.8	215	7.6	—
1~4~4	"	"	11.5	0	10.4	Turbulence even at 10.4

Table 5. Effect of increase of the diameter at the outlet of a nozzle.

- (1) The flowing distance was 1395 mm.
- (2) The length of section of increased diameter was 20 mm.

Nozzle No.	Length of nozzle (mm)	Dia. of nozzle (mm)	Dia. of nozzle at outlet (mm)	Safety limit of head at 1395 mm	Safety limit of the stopper-lift L (mm)	
					Head=320 mm	Head=200 mm
1~3~1	70	10.2	10.2	485	5.1	5.1
1~3~2	"	"	11.0	415	5.9 ~ 6.3	5.9
1~3~3	"	"	12.0	0	11.9	Turbulence even at 11.9
1~3~4	"	"	13.0	0	Heavy turbulence	Turbulence

影したものをPhoto. 2の(1),(2)に示した。Photo. 2の(1),(2)ともにはなはだしい乱流となつてゐることが認められる。

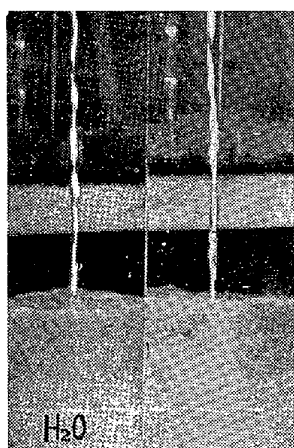


Photo. 2. Turbulent flow through nozzles deformed at outlet.

(1) (2)
入口側径の減少したものは流出状況が不良である。これはストッパーの圧力などによりノズル入口側が変形してノズル径が縮小した場合に相当するものである。

(ii) ノズル入口側の変形

水を使用してガラスノズルにより入口側の形状の変化が流出状況におよぼす影響を調査した。ノズル入口側の形状を Fig. 3のごとく3種類につき実験した。実験成績は Table 6のごとく理想的なノズル入口形状のもの(1)に比して変形したもの(2)(3)は流出性能がいちじるしく悪化し、とくに(3)のごとく

(5) 落下 jet の液体内部への巻き込み
実験結果の概要を Fig. 4 に示した。

H, hは取鍋の head およびノズルより鑄型内の液面までの高さであり、tは空気の巻き込みの深さを示す。この図より明らかなごとくtはhにはほとんど影響されず、Hによつてやや大きな影響をうける。またノズル径はもつとも大きな影響があり、直径の大きいとき

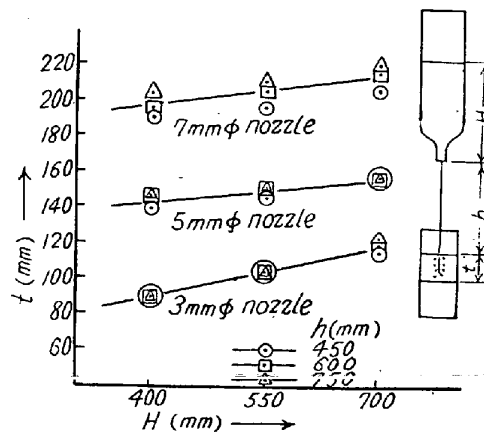


Fig. 4. Depth of liquid into which the jet goes.

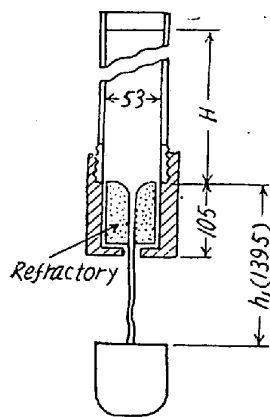
Table 6. The effect of deformation at the nozzle inlet on the flowing properties.

Nozzle length (mm)	Nozzle No.	Head H at which turbulent flow turns to laminar flow (mm)				
		$h_1=900$		$h_1=650$		$h_1=450$
		(1)	(2), (3)	(2)	(3)	(3)
100		135	Turbulent in all ranges of head	125	Turbulent in all ranges of head	80
75		150		130		75
60		170		120		75
45		190		120		65
30		250				

Head—H, Distance— h_1 , Nozzles No.—(1), (2), (3)

は t は大となる。すなわち t は落下する液体の速度よりも運動量によつて左右される。空気を巻き込むような乱流の場合はノズル径の大きいほど悪影響は大となる。

(6) ノズル内表面の状態の影響



实用耐火物ノズルと同じ原料と方法とで孔径10mmのノズルを製作し、水銀により流出状況、流出時間などを測定し、前回報告の鋼製ノズルおよび硝子製ノズル(同一寸法)と比較した。耐火物ノズルを使用した場合の実験装置を Fig. 5 に示した。ノズルの長さは50 mm と100 mm について実験した。耐火物製と鋼製ノズルの間における jet の安定性を比較したものが Table 7 である。

Table 7 より耐火物製ノズルの方が鋼製ノズルに比して乱流より層流への遷移点はやや低いようであるが大きな差異はない。ノズルの長さの減少により流出性能の向上する点では鋼製ノズルの場合と同様である。また低

Table 7. The effect of nozzle material on the flowing property.

Length of nozzle (mm)	Head at which turbulent flow turns to laminar flow (mm)	
	Refractory nozzle	Steel nozzle
100	330	370
50	500	510

head における滴下流は測定できなかつたが大差はなく耐火物製ノズルの方がやや劣るようであつた。

つぎに同一容量、同一 head H_1 (ノズル入口側より液面までの距離) の液体の流出所要時間をノズルの長さ50 mm と100 mm につき比較したものが Table 8 である。

Fig. 5 のごとく水銀実験の場合、水銀溜管の径は53 mm であつたが、水について実験の場合は73 mm で両者の同一 head に対する流出総量は異なるものである。

ノズル入口より液面までの head H_1 が等しい場合はノズルの長さが大きいほどノズル出口の流速は大となる。したがつて一般に Table 8 のガラスノズルの場合のごとくノズルの長さの大きい場合、一定量の流出時間は小となる。しかし耐火物製ノズルの場合のごとくノズ

Table 8. The effect of nozzle material on the time required for flowing.

Head H is measured from the entrance of the nozzle to the liquid-surface as shown in Fig. 5.

Length of nozzle (mm)	Refractory nozzle		Glass nozzle	
	Head at which flow-test begins H (mm)	Time required for flowing (s)	Head at which flow-test begins H (mm)	Time required for flowing (s)
100	503	7.05	265	6.50
	404	6.20		
	304	5.00		
	205	3.95		
50	503	7.35	265	7.05
	403	6.45		
	302	5.25		
	205	4.05		

ル内面と液体との摩擦抵抗が大きい場合はノズル長さの増大による流速の増加はガラスノズルの場合に比してかなり小さい。熔鉄と耐火物ノズルとの場合はさらに複雑な要因が入ってくるものと考えられるが、これらについてはなお今後の研究に待たなければならない。

IV. 結 言

水銀や水を使用し 10mmφ ノズルにてその流出性能を調査した結果はつぎのとおりである。

- (i) 全開時における流出 jet の安定性を向上するため入口側にテーパをつけ、または平行直線部を短かくしたノズルはストッパー微開時においても普通ノズルに比してその流出性能を低下するようなことはない。
- (ii) 使用中熔鋼による侵蝕などのためノズル出口側

径を増加するか、またはストッパー閉鎖時の圧力による変形のためノズル入口側径が縮小する場合ははげしい乱流となり悪影響が大きい。

(iii) ノズルより流出した jet が鑄型内にすでにたまっている液体内部に巻き込む深さは落下距離やノズル入口側 head よりもノズル径により左右される。流出条件が悪く乱流となるような場合はノズル径の大なるほどその悪影響は大きい。

(iv) ノズル内面摩擦抵抗の大きい場合は小さい場合に比して流出状況は若干劣るようである。また摩擦抵抗の大きい耐火物製ノズルの場合は硝子ノズルの場合に比してノズル長の増大による流速の増加がかなり少ない。

(昭和 33 年 12 月寄稿)

W 高速度鋼中の炭化物について*

(実用特殊鋼中の炭化物の電解分離による研究—VII)

佐藤知雄**・西沢泰二***・村井弘佑***

On Carbides in Tungsten High Speed Steels.

(Study on carbides in commercial special steels by electrolytic isolation—VII)

Tomoo Sato, Dr. Eng., Taiji Nishizawa and Kousuke Murai.

Synopsis:

The carbides isolated electrolytically from two kinds of high speed steels—18-4-1 and 11-4-2—were studied by chemical analysis and X-ray examination. The results obtained are as follows.

(1) The carbides in the annealed structure of these high speed steels are composed of M_6C , $M_{23}C_6$ and a little amount of MC , as reported by many investigators.

(2) By austenitizing treatment, $M_{23}C_6$ completely dissolves into matrix, but most part of M_6C remains as undissolved carbides. By the same treatment, MC in 18-4-1 steel is dissolved completely, but in the case of 11-4-2 steel, a part of it remains.

(3) The chemical composition of the matrix of these steels quenched from 1250°C are very similar as follows:

18-4-1; 0.5% C, 7.4% W, 4.5% Cr, 0.9% V

11-4-2; 0.6% C, 6.5% W, 4.7% Cr, 1.3% V

(4) On tempering above 400°C, cementite appears first, and then W_2C , MC and M_7C_3 transitionally precipitate, and finally M_6C and $M_{23}C_6$ are formed.

(5) The tungsten concentration in precipitated carbides increases gradually with the rise of tempering temperature. But the vanadium concentration in precipitated carbides reaches

* 昭和 32 年 10 月本会講演会にて発表 ** 東北大学工学部教授, 工博

*** 東北大学工学部金属工学科