

steels manufactured by vacuum-melting.

composition (%)							Cast temp. °C	Vacuum before addition mmHg	Note.
Ti	Nb	Mg	ΣN	Sol. N	Insol. N	O			
		0.001	0.0043	0.0034	0.0009	0.0057	1570	2×10 ⁻³	Ni: Miss-charged Mn: Incompletely added
		0.001	0.0055	0.0037	0.0018	0.0073	1550	1×10 ⁻³	Mn: Incompletely added
		0.001	0.0058	0.0043	0.0015	0.0029	1530	2×10 ⁻³	Boiled before Si, Mn addition
		0.001	0.0040	0.0028	tr	0.0094	Not measured	1×10 ⁻³	
0.6 0.58		0.001	0.0028	tr	0.0028	0.0125	1550	1×10 ⁻³	
0.6 0.53		0.001	0.0037	tr	0.0033	0.0074	1540	2×10 ⁻²	
	0.95 0.95	0.001	0.0047	0.0027	0.0020	0.0057	1540	1×10 ⁻³	
	0.95 0.99	0.001	0.0039	0.0011	0.0028	0.0069	1540	2×10 ⁻²	

文 献

- 1) K. H. Köthemann, H. Treppsch u. W. A. Fischer: Archiv Eisenhüttenw. 27 (1956) 9, 563~566
- 2) J. H. Moore: Metal Progress 64 (1953) Oct 103~105
- 3) K. Bungardt u. H. Sychrovsky: Stahl u. Eisen 76 (1956) 16, 1040~1049
- 4) W. A. Fischer u. A. Hoffmann: Archiv Eisenhüttenw. 29 (1958) 6, 339~349
- 5) L. von Bogdandy, R. Schmolke u. G. Winzer: Archiv Eisenhüttenw. 29 (1958) 4, 231~234
- 6) W. A. Fischer: Archiv Eisenhüttenw. 27 (1956) 9, 567~572

連続鑄造における一次冷却について*

(鋼の連続鑄造に関する研究—I)

明田義男**・佐々木寛太郎**・牛島清人**

On the Primary Cooling in Continuous Casting.

(Study on continuous casting of steel—I)

Yoshio Aketa, Kantaro Sasaki and Kiyoto Ushijima

Synopsis:

A series of experiments on the primary cooling of continuous casting of steel was carried out.

* 昭和 34 年 4 月本会講演大会において発表 ** 住友金属工業株式会社, 車輛鑄鍛事業部

In this report it is defined that the solidification in mold is "the primary solidification" and the cooling of this stage is "the primary cooling" and that the solidification in spray zone is "the secondary solidification" and the cooling of this stage is "the secondary cooling".

Based on the principle of normal ingot casting, it was presumed that main factors affecting the primary solidification of continuous casting should be as follows:

Shape of mold

Evenness of cooling in mold

Casting temperature

Casting speed

Experiments on the effects of these factors on continuous cast billets mainly of square type reveal the following facts.

- (1) Corner radius of mold affects longitudinal surface cracks of square billets. There is a suitable corner radius for each size of billets to get rid of surface cracks. (Fig. 1)
- (2) Unevenness of the primary cooling induces longitudinal cracks on the surface of billets. (Table 2)
- (3) Too high casting temperature induces longitudinal cracks on the surface of billets. (Fig. 2)

These relationships in continuous casting are just same as those in normal ingot casting.

- (4) Commonly, casting speed does not affect continuously cast billets. But exceptionally in round billet, too high casting speed induces longitudinal cracks on the surface of billets. (Table 5)

I. 結 言

鋼の連続鋳造における溶鋼の凝固過程は、鋳型内における鋳造鋼片（以下鋳片と呼ぶ）外層部の凝固と、これに続く水のスプレーによる鋳片内部の凝固とより成る。ここでは鋳型内における鋳片外層部の凝固を一次凝固、この過程を支配する鋳型内における冷却を一次冷却と定義し、水のスプレー帯における鋳片内部の凝固を二次凝固、この過程を支配するスプレーによる冷却を二次冷却と定義する。

さて鋳片のこの一次凝固を支配する本質的な諸因子は、普通造塊法における場合となんら変わらないと考える。すなわち鋳型の形状、冷却の均一性、鋳込温度、鋳込速度などであつて、これらの諸因子を適切な条件下に設定することによつて、始めて健全な鋳片外層部すなわち表面割のない鋳片が得られるべきである。

しかるに連続鋳造における一次冷却と鋳片の表面割との関係については、従来幾多の報告^{1)~16)}があるが、それらはいずれも断片的かつ定性的な報告に過ぎず、鋳造指針を具体的に示すような資料は少ない。たとえば P. Thomas¹⁴⁾は正方形断面の鋳片において、表面の縦割と隅角部の形状との間には密接な関係があるとしておりまた K. G. Speith および A. Bunge¹²⁾¹⁵⁾は円形断面の鋳片は、正方形断面の鋳片に較べて、表面の縦割が発生しやすい傾向を持つてゐることを報告しているに止まる。

本報告は、連続鋳造におけるこの一次冷却が、鋳片の

表面割の発生傾向におよぼす影響に関して行なつた実験結果について述べるものである。

本実験においては、エルー式塩基性電気炉（公称 8 t）で溶製した、キルド鋼を垂直型強制往復運動鋳型式鋼連続鋳造機に鋳込み鋳片とした。

II. 実 験 結 果

1. 鋳型の形状の影響（正方形断面における隅角部の形状の影響）

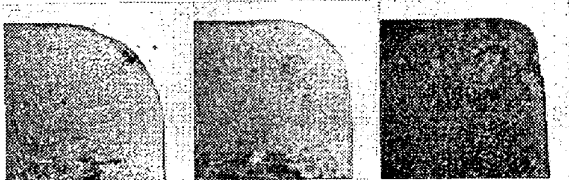
正方形断面の鋳片に関して、鋳型隅角部の形状が鋳片表面割の発生傾向におよぼす影響について実験を行なつた。すなわち Si-Mn ばね鋼 (0.55~0.65% C, 1.50~1.80% Si, 0.70~1.00% Mn) を 75mm ϕ ~ 170mm ϕ の 6 種類の寸法の鋳型に鋳込み、鋳型の隅角部の形状（4分円の半径）を合計 11 種類に変化せしめた。その際、溶解条件、鋳込条件をなるべく一定に揃え、おのこの鋳型について数溶解の鋳込を行なつた。鋳込条件の主要数値は Table 1 に示す通りである。

この結果、鋳型の隅角部近傍に、深さ数 mm に達する長い表面縦割が発生するものがあり、隅角部の特有な形状（4分円半径の大きさ）を選ぶことによつて、この割が全く発生しなくなることが明らかになつた。

すなわち Photo. 1 に示すように、同一寸法の鋳型では、隅角 4分円の半径が大きい場合には、鋳片でこの4分円の頂点に表面縦割が発生し、逆に隅角 4分円の半径が小さい場合には、鋳片でこの4分円の端部に表面縦割が発生する傾向がある。隅角 4分円の半径が適正な大き

Table 1. Main casting conditions in the experiment on shape of molds.

Billet size (mm)	Corner radius (mm)	Casting speed (mm/mn)	Casting temperature (°C)	
75 φ	6	3000 ± 100	1450 ~ 1510	
	8			
	12			
	16			
91 φ	9	2050 ± 100		
100 φ	8	1700 ± 50		
	10.5			
105 φ	10.5	1550 ± 50		
130 φ	10.5	1000 ± 50		
	11.5			
170 φ	14	600 ± 50		



Corner radius 16mm 8mm 6mm
 Grade of steel : Si-Mn spring steel
 Billet size : 75mm φ
 Etching : 1:1 HCl 70°C. 30mn
 Photo. 1. Longitudinal surface cracks of square billets.

さの場合には、全く表面縦割の発生する傾向がない。

75 mm φ ~ 170 mm φ の寸法の鋳型についてこの関係を見ると、隅角部 4 分円半径の適正值は Fig. 1 に示すように、それぞれの鋳型の寸法に応じて固有なものであることがわかった。

一方鋳片表面の横割は全く発生しなかつた。

2. 冷却の均一性の影響

正方形断面の鋳片に関して、4 面おのおのの冷却の相

対的均一性が鋳片表面割の発生傾向におよぼす影響について実験を行なつた。

すなわち Si-Mn ばね鋼 (0.55~0.65% C, 1.50~1.80% Si, 0.70~1.00% Mn) 2 溶解を、130 mm φ 鋳型に鋳込み、おのおの 25 本の鋳片とした。その際、溶解条件、鋳込条件をほとんど同一条件に揃え、鋳型内における各面の冷却の相対的均一性のみを変えて鋳込んだ。

その結果は Table 2

に示すように、各面の相対的冷却を不均一に行なつた場合は、半数以上の鋳片の表面に、深さ数 mm に達する長い縦割が発生したが、各面の相対的冷却を均一に行なつた場合は、鋳片表面に全く縦割が発生しなかつた。

表面縦割のない鋳片を得るためには、鋳型の冷却すなわち鋳型内における鋳片の一次冷却を、各面均一に行なう必要があることがわかつた。

なおこの場合にも鋳片表面の横割は、鋳型各面の相対的不均一冷却の有無にかかわらず全く発生しなかつた。

3. 鋳込温度の影響

鋳込温度が鋳片表面割の発生傾向におよぼす影響について実験を行なつた。

すなわち Si-Mn ばね鋼 (0.55~0.65% C, 1.50~1.80% Si, 0.70~1.00% Mn) 10 溶解を、130 mm φ 鋳型に鋳込み、256 本の鋳片とした。その際、溶解条件、

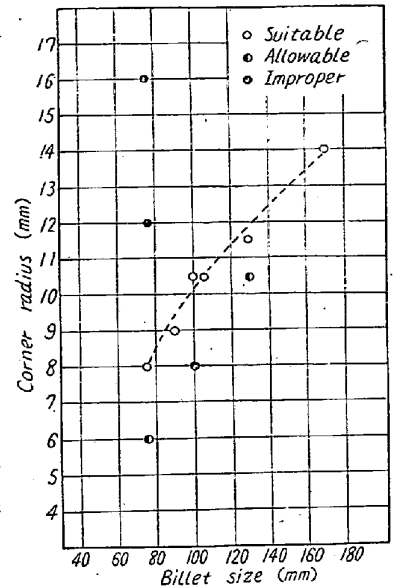


Fig. 1. Effect of corner radius on longitudinal surface crack of square billets.

Table 2. Effect of evenness of primary cooling on longitudinal surface-cracks of square billets.

Billet size: 130 mm φ - 10.5 mmR, Casting speed: 1000 ± 50 mm/mn

		Casting temperature (°C)	Temperature of mold cooling water				Longitudinal surface cracks (%)	
			Inlet (°C)	Outlet (°C)				
				East side	South side	West side		North side
Uneven cooling	Start finish	1485	17	28	21	22	23	56
		1460	22	33	26	27	28	
Even cooling	Start finish	1480	17	21	21	22	22	0
		1470	22	26	26	27	27	

Table 3. Main casting conditions in the experiment on casting temperature.

Billet		Temperature differences of mold cooling water at the outlet between each side (°C)	Casting temperature (°C)	Casting speed (mm/mn)
Size (mm)	Corner radius (mm)			
130 φ	10・5	< 1	1450~1530	1000±50

鑄込条件をほとんど同一条件に揃え、鑄込温度のみを 1450~1530°C に変えた。おもな鑄込条件は Table 3 の通りである。

この結果、明らかに鑄込温度の高い場合に、深さ数 mm に達する鑄片表面の縦割が発生する傾向があることが解つた。鑄込温度と鑄片表面の縦割発生率との関係は Fig. 2 の通りである。

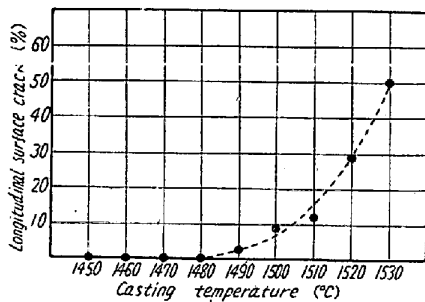


Fig. 2. Effect of casting temperature on longitudinal surface cracks of square billets.

すなわち鑄込温度の上昇にしたがつて、鑄片表面の縦割の発生頻度が増大し、かつ本鋼種についての縦割の発生限界温度は約 1490°C であることが明らかである。

この場合にもやはり鑄片表面の横割は、鑄込温度の高低にかかわらず全く発生しなかつた。

4. 鑄込速度の影響

鑄込速度が鑄片表面割の発生傾向におよぼす影響について実験を行なつた。

(1) 正方形断面の鑄片の場合

Si-Mn ばね鋼 (0・55~0・65% C, 1・50~1・80% Si, 0・70~1・00% Mn) 3 溶解を、130 mm φ 鑄型に鑄込みおのおの 22 本の鑄片とした。その際、溶解条件、鑄込条件をほとんど同一条件に揃え、鑄込速度のみを 1000~

1400 mm/mn に変化せしめた。おもな鑄込条件は Table 4 の通りである。

その結果、3 溶解いずれの鑄片にも表面に縦割および横割が全く発生しなかつた。すなわち正方形断面の鑄片においては、すでに述べた。適切な鑄型の形状、一次冷却の均一性、適切な鑄込温度などの条件の下では、鑄込速度を 1000 mm/mn から 1400 mm/mn に上げて、鑄片の表面割は全く発生しないことがわかつた。

(2) 円形断面の鑄片の場合

上記の実験によつて明らかなように、正方形断面の鑄片の場合には、一次冷却の一因子としての鑄込速度の鑄片表面割に対する影響はない。しかしながら特殊な場合として円形断面の場合においては、普通造塊法で鋼塊を鑄造する際でも表面の縦割の発生傾向が大である¹⁷⁾。そこで連続鑄造における、鑄込速度の鑄片表面の縦割発生傾向におよぼす影響をさらに確認するために、円形断面の鑄片に関して実験を行なつた。

鋼種は、一旦鑄片表面に縦割が発生し、内部になお存在する未凝固の溶鋼が滲出しても、これが早期に凝固して、大きな流出事故を起さないで済むと考え、凝固点が高く、しかも液相、固相間の温度差の小さい、低炭素鋼を選んだ。

すなわち低炭素鋼 (0・11% C, 0・24% Si, 0・46% Mn) 1 溶解を 115 mm φ 鑄型に鑄込んだ。その際、鑄込速度のみを変化せしめ、その他の鑄込条件はできるだけ一定とした。

この結果は Table 5 に示す通りで、鑄込速度の大きい場合は、全数の鑄片表面に深さ数 mm に達する縦割が発生したが、鑄込速度を 1700 mm/mn から 1200 mm/mn に減少せしめることによつて、縦割の発生頻度が大幅に減少することがわかつた。

Table 4. Main casting conditions in the experiment on casting speed (square billets) Temperature differences of mold cooling water at the outlet between each side; <1°C

Casting speed (mm/mn)	Casting temperature (°C)	Cooling rate in mold (kcal/kg of steel)	Water flow of spray (l/kg of steel)
1000±50	1505~1470	36・1	1・31
1200±50	1490~1470	32・7	1・60
1400±50	1500~1485	30・8	1・98

Table 5. Effect of casting speed on longitudinal surface cracks of round billets.

	Casting speed (mm/mn)	Casting temperature (°C)	Cooling rate in molds (kcal/kg of steel)	Water flow of the secondary spray (l/kg of steel)	Longitudinal surface cracks (%)
High speed casting	1700	1555~1550	27.9	1.44	100
Low speed casting	1200	1565~1555	32.1	1.34	9

鋳片表面の縦割は、鋳込速度の大小にかかわらず全く発生しなかつた。

上記の2実験からつぎのことが明らかになつた。すなわち連続鋳造においては、一次冷却の一因子としての鋳込速度は、鋳片表面の縦割の発生には一般に影響をおよぼさない。しかしながら特殊な場合として、円形断面の鋳片では、鋳込速度が大きい場合には鋳片表面の縦割の発生頻度が増大する。

一方鋳片表面の横割は、正方形断面の鋳片においてはもちろん、円形断面の鋳片においても鋳込速度の大小にかかわらず全く発生しない。

III. 結 言

鋼の連続鋳造における一次凝固を支配する一次冷却の諸因子、すなわち鋳型の形状、冷却の均一性、鋳込温度、鋳込速度などについて諸種の実験を行なつた。その結果健全な鋳片外層部、すなわち表面割のない鋳片を得るための適正条件を、本連続鋳造機に関して定量的に明らかにした。

鋳片表面に縦割を発生せしめないような一次冷却の適正条件とは、正方形断面の鋳型において鋳型寸法に応じた適切な隅角部形状を選び、鋳型各部の相対的冷却の均一性を保ち、かつ過度の高温鋳込をさけることである。これらの適正な諸条件は、普通造塊法において鋼塊を鋳造する場合の根本原則と、本質的には全く同一である。また連続鋳造においては、一次凝固の一因子としての鋳込速度は、一般には一次凝固部の性状に大きな影響を示さない。このことは鋼の連続鋳造の将来性に大きな意味を持つものと考えられる。しかしながら特殊な場合として、円形断面の鋳片においては、過度の高速鋳込は、これをさける必要がある。

一方鋳片表面の横割は、いずれの実験においても全く発生せず、一般に一次冷却の諸因子の影響を受けないことが明らかである。

終りに本研究を指示され、結果の発表を許可された、当所小出秋彦所長に深甚なる敬意を表します。また研究の遂行に当り、絶えず御鞭達頂いた吉井重雄副所長なら

びに工学博士住友元夫所長代理に深謝の意を表するとともに、直接御指導頂いた。理学博士大中都四郎技術部長に深く感謝する次第であります。(昭和34年8月寄稿)

文 献

- 1) K. G. Speith u. A. Bungeroth: *Stahl und Eisen*, 72 (1952) 15, p. 869
- 2) K. G. Speith u. A. Bungeroth: *Stahl und Eisen*, 76 (1956) 8, p. 437
- 3) M. S. Bojtjenko, V. S. Rutes & H. A. Nikolajeff: *Stal*, 16 (1956) 6, p. 505
- 4) W. W. Jacobs: *Iron and Steel Engineer*, 33 (1956) 12, p. 92
- 5) J. Hofmaier: *Stahl und Eisen*, 77 (1957) 2, p. 69
- 6) N. Chvorinov: *Hutniké Listy*, 12 (1957) p. 196
- 7) L. F. Barnhardt, G. E. Stock & W. U. Porter: *Journal of Metals*, 9 (1957) 8, p. 1050
- 8) F.G. Jaicks, L.E. Kraay & M. Tenenbaum: *Journal of Metals*, 9 (1957) 8, p. 1057
- 9) G. Wilz et M. Petitdidier: *Revue de Métallurgie*, 55 (1958) 5, p. 486
- 10) F. Leitner u. F. Schmidt: *Stahl und Eisen*, 78 (1958) 15, p. 1028
- 11) G. C. Olson: *Journal of The Iron and Steel Institute*, 190 (1958) 9, p. 40
- 12) I. M. D. Halliday: *Iron and Steel*, 31 (1958) 9, p. 417
- 13) H. Krainer & B. Tarmann: *Journal of The Iron and Steel Institute*, 190 (1958) 10, p. 105
- 14) P. Thomas: *Journal of The Iron and Steel Institute*, 190 (1958) 10, p. 112
- 15) K. G. Speith & A. Bungeroth: *Journal of The Iron and Steel Institute*, 190 (1958) 10, p. 158
- 16) B. H. C. Waters, W. H. Pritchard. A. Braybrook & G. T. Harris: *Journal of The Iron and Steel Institute*, 190 (1958) 11, p. 233
- 17) たとえば F. Beitter: *Stahl und Eisen*, 69 (1949) 11, 585