

dt は高くなるが slag 中の FeO が増加し、熔鋼中の酸素含有量が増加し、造塊時にパイプが発生しやすくなる。したがって装入石灰量を増して精錬中には塩基度を下げられるようになるべく石灰の使用をさけるべきであるがその他につきの点にも充分注意すべきであると考え。

1. 熔落前の酸化鉄含有量の多い slag を有効に利用するためにはなるべく熔落前には slag off をおこなわず沸騰脱硫等に有効に利用する。

2. 塩基度は熔落後 slag の酸化鉄含量が高くならない間に急速に高める。

3. 脱硫速度は脱炭速度と同一の傾向を示している。

すなわち C—O 沸騰により effectiveness of slag-metal contact が大になり脱硫が急速に進行するのである。したがってできるだけ、沸騰を盛んにし、沸騰のさかんな間に急速に塩基度を高めるようにする。

4. 温度の問題は平炉の温度範囲内では slag の脱硫比にいちじるしい影響をおよぼさないが沸騰および slag の流動性により脱硫速度に影響をおよぼすものと考えられる。

VI. 結 言

塩基性平炉で極軟鋼リムド鋼を精錬するにはなるべく低い塩基度で有効に脱硫をおこなうことが問題になるので装入石灰量を交えて試験熔解をおこない脱硫速度、脱硫の時期等から考察を加え、なるべく装入石灰を多くした方が熔落前後に塩基度が高まり急速に脱硫し得ることが判明した。たゞ出鋼時の塩基度が高くなる心配があるので精錬中になるべく石灰を使用せず slag 中の酸化鉄 C—O 沸騰などを有効に脱硫に利用すべきである。

(昭. 33—5 月寄稿)

文 献

- 1) 藤井毅彦: 鉄と鋼, 43 (1957) 373
- 2) Bishop, Lander, Grant & Chipman: Journal of Metals 8 (1956) 862
- 3) Grant & Chipman: Trans. A.I.M.E. 167 (1946) 134~154
- 4) A.I.M.E Basic Open Hearth Steelmaking.
- 5) Turkdogan & Pearson: Journal of Iron and Steel Institute (1953) March, 217

Bar test の際 bar に附着凝固した熔鋼の分析による 垂直方向偏析進行過程の観察*

大型鋼塊の凝固および偏析に関する研究— (II)

守川平四郎**・小野寺真作***・荒木田 豊***

OBSERVATIONS ON THE VERTICAL SEGREGATION PROCEEDING IN MELT BY ANALYSING THE METAL ADHERED TO THE BARS DURING BAR-TEST

Studies on the solidification and segregation of larger steel ingots— (II)

Heishiro Morikawa Shinsaku Onodera and Yutaka Arakida

Synopsis:

As stated in the 1st Report (Tetsu-to-Hagané 1958 No. 1, p. 9~14), bars used for bar-test of measuring axial solidification rate of large steel ingots became thick due to the adhesion of solidified metal. Cutting the adhered metal layer-by-layer from their surface, it was found that certain layer of this metal, that was 1.5~2.5 mm deep after removing surface oxidized zone, nearly coincided with the melt of the depth at which the bar had been stopped for marking for a few seconds. By taking samples from this specific layer at every 400~600 mm, the vertical segregation proceeding in the melt of the ingot core was qualitatively caught (Fig. 5, 6 & 7).

* 昭和 31 年 10 月本会講演大会(広島)にて発表

** 日本製鋼所室蘭製作所製鋼部製鋼課長

*** 同 研究部

This finding was supported by some of the previous experiences or theories, and was explained by the upward movement of segregating elements. It also provided against the sedimentation theory of negative segregation with definite evidences.

The effect of gravity on the segregation that had been indicated here from the new stand point would be made more distinct in the next report by an experiment with sand-cast ingots.

I. 緒 言

前報¹⁾においては、直径 9mm の軟鋼棒を使用するいわゆる bar test 法によつて 8 角型キルド鋼塊(3~75 t) の軸心凝固速度を測定した結果ならびにこれにともなう二、三の現象について報告したが、その際、鋼塊内部で凝固しつつあるメルトから引抜いた棒には若干の熔鋼が附着凝固することをのべた。

この附着凝固鋼の表面から適当な深さの部分を取削採取して分析して見たところ、凝固中のメルトの中での偏析の進行過程について重大なヒントが得られたので、本報ではこの観察結果をのべ、これを従前の観察、実験および理論に照して考察し、逆偏析の生成機構を偏析成分の上方移動によつて説明する。

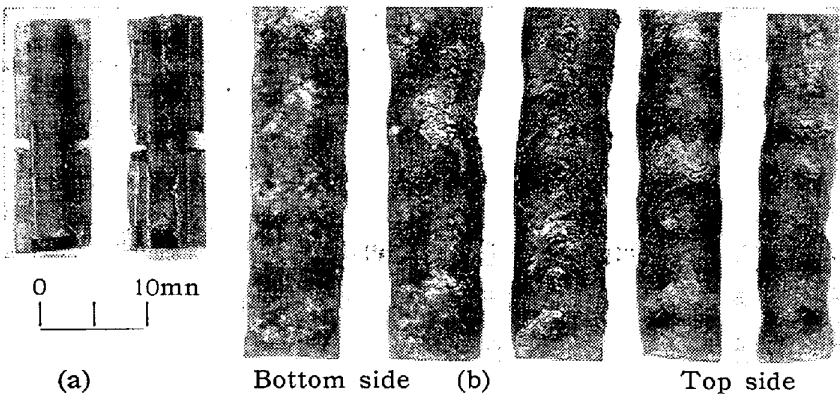
II. bar に附着した熔鋼の性状

凝固しつつある鋼塊軸心部のメルトの中から引抜いた 9mm φ 軟鋼棒には、片半径につき数 mm の厚さに熔鋼が附着凝固する。附着の状況は Fig. 1(a) に示すごとくであつて、熔鋼は棒の表面には全く熔着せず、熔鋼附着のまま棒を短く切断すると、時には附着した熔鋼を抜き取ることができる。表面は同図 (b) のごとく波打っており、波の谷の部分で割れていることが多い。外径は浸漬時間の長い程、したがつて棒の先端程太い。

50 t 鋼塊の場合の例を引いて示せば [Fig.1(b)]

鑄込後 1 時間 30 分：浸漬長 3920 mm

底部側 (棒の先端) の直径……………約 19.5 mm



(a) : Longitudinal section showing a loose adhesion
(b) : Surface undulation of adhered metal

Fig. 1. Solidified melt adhered to the test bar.

押湯々面直下の直径……………約 16 mm.

鑄込後 5 時間：浸漬長 2080 mm

底部側の直径……………約 18 mm

押湯々面直下の直径……………約 16 mm

となつている。鑄込温度は 1505°C (押湯)、鋼塊本体 (押湯下端まで) 凝固時間は 10 時間であつた。

この場合の浸漬時間* は 7~10 秒であるが、前報にのべたように、浸漬が 12~14 秒以上に長引くと、引抜く途中でレールと棒の摩擦あるいは自重のために、先端部が軟化切断することがある。この時の太さは 25~28 mm である。メルトから引抜いた直後の棒の表面温度は

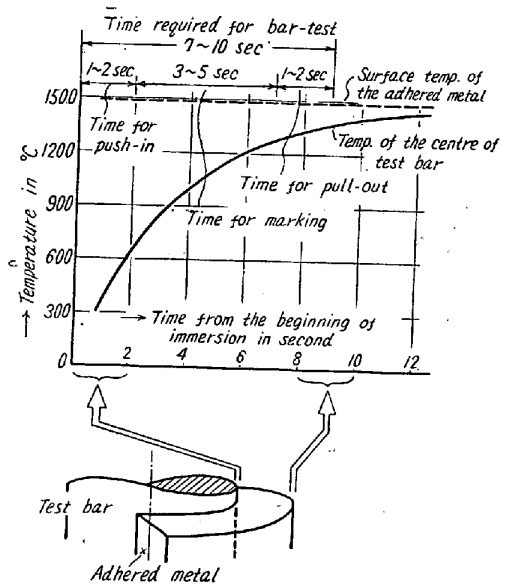


Fig. 2. Estimated temperature-rise of test bars during immersion.

急速な冷却のため正確には測定し得ないが、一応メルトの凝固点にきわめて近いと見てよい。浸漬中の棒の軸心温度は軟化切断にいたるまでの浸漬時間との関係から、ほぼ Fig. 2 の程度と推察される**。

Fig. 2 から附着熔鋼の各層とメルトの深さとの関係がつきのごとくに考察される。

i) 落とし込まれた棒が凝固面に突き当

* 正しくは棒の先端の浸漬時間を指す。

** 文末の補遺を見られたい。

たるまで。

この 1~2 秒の間に通過する押湯上面から凝固面までの各深さの湯がつぎつぎに棒に附着凝固する。

ii) マーキングの間

この 3~5 秒の間には、停止した棒に各深さの湯が半径方向につきつぎに凝固附着するが、その速度は次第に低下する。

iii) 棒を引抜くまで

各深さの湯が i) の逆の順に附着凝固するが、この時刻には棒の軸心部までがかなりの温度に加熱されているので、附着速度は i) よりも著しく小さい。

今 20 t 鋼塊について、鑄込後 2 時間、3 時間および 5 時間にて、できるだけ長時間棒を浸漬して熔鋼を十分に附着せしめ、まず最外層の酸化膜と若干の凹凸部を除いてから約 0.5 mm の厚さに層削りして試料を採り、もつとも偏析のいちじるしい元素の一つである C を分析して見ると Fig. 3 を得る。3 回の試験における分布の形状は不統一ではあるが、1 本の測定棒についてその外径から附着熔鋼の表面までを A—B、B—C、C—D の三つの部分にわけて見ると、偏析成分のもつとも濃化しつつある押湯々面直下に浸漬停止した棒の上部では、附着成分は半径方向にほとんど変化していないが、浸漬がより深い位置では、棒の表面にごく近い A—B 間では上端部の同じ半径位置の分析値と大差なく、B で急激に低

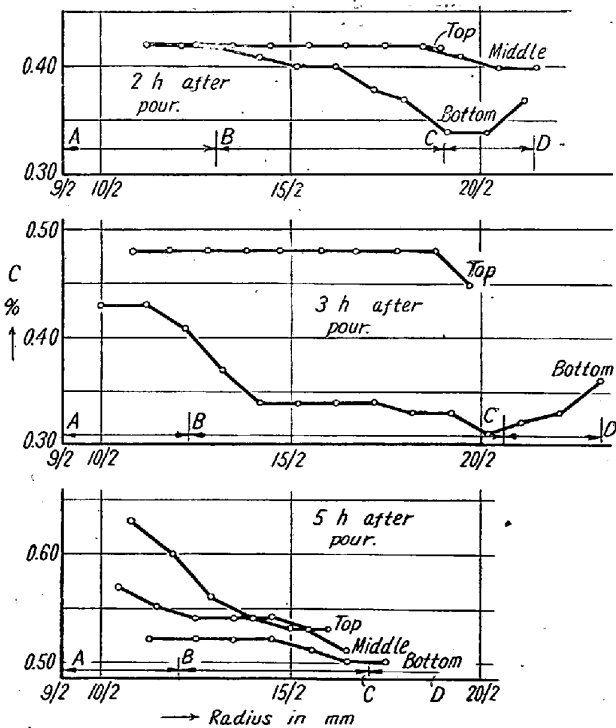
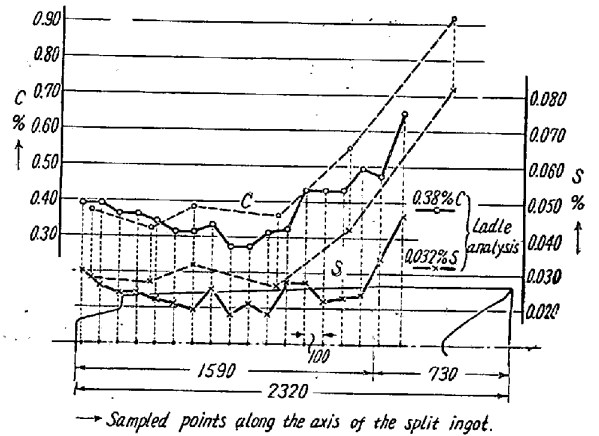


Fig. 3. Examples of layer-by-layer analysis of metal adhered to the tested bar.

下の後外面に向つて B—C と一層ゆるやかに低下し、若干上昇して (C—D) 外面に至っている。この傾向はもつとも深く浸漬した棒の先端部がもつともいちじるしく、明瞭である。

そこで 5 t の砂型鋼塊* について bar test した際の棒の先端部 (底部側端) から採取した試料について C および S の分析をおこない、これを凝固後の鋼塊の軸心に沿つて採取した試料についての分析値と比較して見ると Fig. 4 のごとくであり、棒から旋削した試料による分析値の方が若干高くなっている。これは Fig. 3 の分布 (半径方向の傾斜) から容易に推察されるところであるが、これを要するに、Fig. 3 の B—C 部は棒がメルトの中で停止している時に捕えられたものであると、近似的に見做することができる。



Full lines: Samples were taken along the split surface of the ingots.
Dotted lines: Samples were taken from the bottom-side end of tested bars.

Fig. 4. Comparison between the axial segregations obtained by two sampling methods (ingot: 5t, sand-cast).

なお附着熔鋼の全長にわたつて B—C 部のサルファー・プリントをとつて見たが、上下間に明白な差異、あるいは変化を見出せなかつた。またこの層の非金属介在物は甚だ微細で、その中の大型のものは B 種 (旧学振法)。平均厚 3~5 μ で、凝固の進行とともに分布比が 2 から 6 程度まで増加しているようであるが、これについては後に改めて取上げたい。いずれも非金属介在物が濃縮作用と凝固速度の二つの条件の下に考慮されるべきことを示しているのは申すまでもない。

筆者らの研究と前後して、メルト深部から試料を吸入採取する方法が中川氏らによつて発表されているが²⁾、この方法によればさらにガスの濃縮過程を知り得る。

* 第 II 報に述べる実験に使用した鋼塊の一つ、試料の採取は次節と同様に行つた。

Table 1. Results of chemical analysis of the adhered metal.

Ex. 1. 47t ingot

Time after pouring (h)	No. of sample	Chemical composition (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V
(Ladle)		0.27	0.32	0.84	0.028	0.030	0.11	0.08	0.17	0.01	
1	A ¹	0.25	0.34	0.81	0.025	0.030	0.10	0.05	0.16	tr.	
	A ₄₋₅	0.26	0.34	0.81	0.026	0.030	0.10	0.07	0.17	//	
	A ₈₋₉	0.26	0.33	0.82	0.028	0.032	0.11	0.05	0.17	//	
	A ₁₂₋₁₃	0.27	0.34	0.82	0.027	0.030	0.11	0.07	0.17	//	
	A ₁₆₋₁₇	0.27	0.34	0.82	0.027	0.032	0.13	0.07	0.17	//	
	A ₂₀₋₂₁	0.28	0.33	0.84	0.030	0.032	0.13	0.10	0.18	//	
	A ₂₄	0.29	0.33	0.84	0.027	0.033	0.11	0.08	0.18	//	
4	B ₁	0.23	0.32	0.81	0.021	0.028	0.11	0.07	0.17	tr.	
	B ₄₋₅	0.23	0.33	0.84	0.029	0.035	0.13	0.07	0.18	//	
	B ₈₋₉	0.36	0.35	0.88	0.032	0.039	0.11	0.08	0.19	//	
	B ₁₂₋₁₃	0.35	0.33	0.89	0.034	0.040	0.11	0.08	0.19	//	
	B ₁₆	0.35	0.34	0.90	0.035	0.040	0.11	0.08	0.19	//	
7	C ₁	0.34	0.33	0.89	0.034	0.041	0.11	0.08	0.19	tr.	
	C ₄₋₅	0.47	0.36	0.96	0.048	0.060	0.13	0.09	0.19	//	
	C ₈	0.44	0.57	1.00	0.042	0.053	0.09	0.08	0.19	//	
9	D ₁	0.40	0.35	0.90	0.038	0.050	0.08	0.08	0.18	tr.	
	D ₄₋₅	0.41	0.35	0.93	0.038	0.052	0.09	0.07	0.19	//	
	D ₈	0.50	0.48	1.01	0.057	0.075	0.13	0.09	0.19	//	
10	E ₁	0.45	0.36	0.96	0.045	0.062	0.11	0.08	0.19	tr.	
	E ₄	0.55	0.40	1.01	0.055	0.075	0.11	0.08	0.19	//	

Ex. 2. 20t ingot

(Ladle)		0.39	0.26	0.55	0.028	0.031	0.14	0.07	0.17	0.02	
1	K ₁	0.34	0.28	0.50	0.020	0.025	0.17	0.08	0.17	0.02	
	K ₄₋₅	0.37	0.28	0.54	0.025	0.025					
	K ₈₋₉	0.40	0.28	0.55	0.024	0.031					
	K ₁₂₋₁₃	0.41	0.29	0.55	0.023	0.033					
	K ₁₆₋₁₇	0.41			0.026	0.038					
	K ₂₀₋₂₁	0.41			0.027	0.031					
	K ₂₄	0.42	0.29	0.54	0.024	0.034	0.17	0.09	0.18	0.02	
2	L ₁	0.40	0.28	0.51	0.021	0.027	0.17	0.08	0.18	0.02	
	L ₄₋₅	0.40		0.52	0.021	0.030					
	L ₈₋₉	0.45	0.30	0.52	0.025	0.034					
	L ₁₂₋₁₃	0.45		0.52	0.025	0.036					
	L ₁₆₋₁₇	0.47	0.29	0.52	0.024	0.034					
	L ₂₀	0.46	0.29	0.52	0.032	0.034	0.17	0.08	0.18	0.02	
3	M ₁	0.42	0.29	0.51	0.026	0.035	0.17	0.08	0.17	0.02	
	M ₄₋₅	0.45		0.52	0.024	0.034					
	M ₈₋₉	0.47	0.30	0.54	0.031	0.040					
	M ₁₂₋₁₃	0.50		0.55	0.029	0.038					
	M ₁₆	0.55	0.35	0.56	0.035	0.042	0.17	0.08	0.18	0.02	
4	N ₁	0.48	0.27	0.54	0.029	0.035	0.17	0.08	0.18	0.02	
	N ₄₋₅	0.51	0.30	0.55	0.034	0.039					
	N ₈₋₉	0.56		0.56	0.036	0.045					
	N ₁₂	0.61	0.34	0.58	0.039	0.051	0.17	0.09	0.18	0.02	
5	O ₁	0.52		0.54	0.033	0.040	0.16	0.08	0.18	0.02	
	O ₄₋₅	0.66		0.57	0.040	0.055					
	O ₈	0.68	0.30	0.57	0.043	0.058	0.17	0.09	0.17	0.02	

Ex. 3. 140t ingot

(Ladle)		0.29	0.31	0.50	0.014	0.022	3.25	0.09	0.07	0.42	0.10
7	A' ₀₋₁	0.29	0.32	0.50	0.015	0.025	3.26	0.09	0.06	0.44	0.14
	A' ₄₋₅	0.29	0.32	0.49	0.016	0.024					
	A' ₈₋₉	0.29	0.32	0.51	0.016	0.024					
	A' ₁₂₋₁₃	0.31	0.32	0.50	0.017	0.024					
	A' ₁₆₋₁₇	0.30	0.32	0.50	0.016	0.024					
A' ₂₀₋₂₁	0.30	0.32	0.49	0.015	0.024	3.28	0.09		0.45	0.14	
10	B' ₀₋₁	0.30	0.32	0.49	0.015	0.027	3.26	0.09		0.43	0.13
	B' ₄₋₅	0.30	0.32	0.49	0.015	0.027					
	B' ₈₋₉	0.32	0.32	0.50	0.016	0.027					
	B' ₁₂₋₁₃	0.32	0.32	0.50	0.015	0.027					
	B' ₁₆₋₁₇	0.32	0.32	0.50	0.019	0.027	3.30	0.09		0.46	0.14
13	C' ₀₋₁	0.37	0.34	0.49	0.017	0.027					
	C' ₄₋₅	0.40	0.34	0.52	0.019	0.027					
	C' ₈₋₉	0.44	0.34	0.52	0.019	0.027					
	C' ₁₂₋₁₃	0.43	0.34	0.51	0.019	0.027	3.30	0.09		0.50	0.14
15	D' ₀₋₁	0.43	0.34	0.50	0.018	0.029	3.28	0.09			
	D' ₄₋₅	0.44	0.35	0.53	0.019	0.032					
	D' ₈₋₉	0.45	0.35	0.53	0.020	0.035	3.30	0.08			
17	E' ₀₋₁	0.43	0.31	0.50	0.020	0.030	3.30	0.09			
	E' ₄₋₅	0.53	0.35	0.53	0.024	0.035					
	E' ₈₋₉	0.54	0.35	0.55	0.024	0.038	3.33	0.09	0.06	0.53	0.13

III. 附着熔鋼の分析結果

前節にのべた事実と考察にもとずき、数本の鋼塊について凝固速度の測定に使用した棒から 400~600mm 毎に試料を採取して分析した結果の一部を Table 1 に示す。Ex. 3 の 140 t 鋼塊は凝固の途中から bar test した場合であつて、浸漬時間の極度の短縮をはかつたため、押湯湯面直下の部分に相当する試料は得られなかつた。

分析試料は、黒皮を充分に除去の後 40~50mm の長さになつて 1.5~2.5mm の切込み深さで旋削し 1箇所につき 20g 余を採取した。試料採取後の外径は 12~14mm である。

Table 1 の Ex. 1 の C, Si, Mn, P, S, Ex. 2 の C, Mn, S および Ex. 3 の C, P, S を棒の浸漬深さ(鋼塊の軸心沿いの長さ)に対して図示すればそれぞれ Fig. 5, 6 および 7 を得る。Table 1 および Fig. 5, 6, 7 からつぎの諸点が知られる。

1) 鑄込後あまり時間の経過しない間は、鋼塊の底部に近い凝固の先端部と押湯上面部とに対応する附着熔鋼の成分はほとんどおなじであるが、凝固が進行して浸漬深さが浅くなるにつれて上下の差は増大し、かつまた全長にわたつての合金元素の量も次第に濃化される。

2) この現象は C, P, S がもつともいちじるしく、Si, Mn がこれにつぎ、Ni, Cr, Mo, V, Cu などにはほとんど変化がないようである。

3) 鋼塊の軸心に沿つた偏析が Fig. 8 の曲線 A B のごとくであることは周知の事実であるが³⁾⁴⁾、各時刻におけるメルト内の分布曲線の左端(凝固前線に相当)を連ねるいわば包絡線的なものが曲線 A B になると推論される。順序が前後するが、前掲の Fig. 4 はかゝる考察の下におこなわれた比較である。

IV. 考 察

前節にのべたメルトの組成の時間的变化は何を意味するか、本節ではマクロ偏析の立場から考察をすすめて見る。今凝固した鋼塊の縦断面に等凝固線群を想定し、これらと水平、垂直両方向偏析との関係を示すと Fig. 9 のごとくなる。

凝固の途中でたとえば時刻 t_2 から t_3 まで経過する間に、合金元素は凝固の前面のメルトの中へと濃縮されるが、もしも固液界面の濃縮作用のみが存在するとすれば、軸心部のメルトはほぼ一様に濃化され続けなければならない。しかし凝固中の鋼塊についての観察によれば、前述のごとく、鋼塊の上部程偏析はいちじるしいから、凝固の途中で何らかのほかの作用をうけるはずである。軸心部のメルト内には頂部から底部に向つてある傾斜をなした偏析が生じ、この傾斜と各点の標高が時々刻々変化していくのであつて、これは

(凝固の前面への一様な 3 次元的濃縮)

+ (メルトの中での垂直方向偏析の進行)

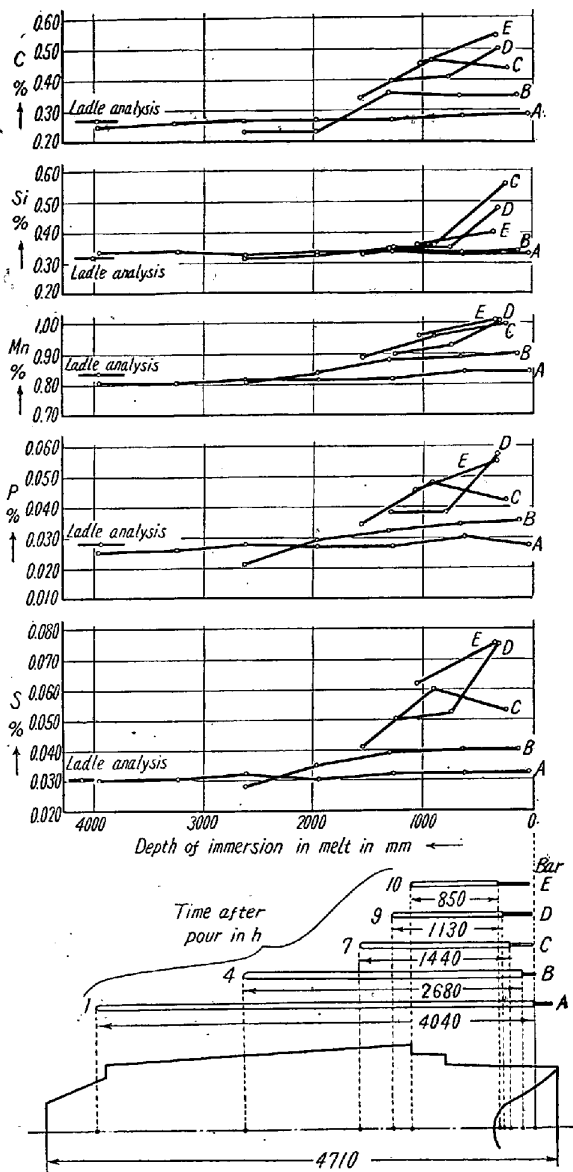


Fig. 5. Analyses of melt adhered to the test bars; samples taken at several points along their axis. (ingot: 47 t)

と第1近似的には考えることができる。すなわち、われわれはメルトの中での垂直方向偏析の進行過程を捕えたことになる。従来の研究ではこの点が明らかになっていないようで、凝固中の鋼塊頂部から試料を汲み取ることにより同部のSの濃化が研究された程度である⁶⁾。

つぎに筆者らは、この偏析作用は、偏析成分の上方移動に起因するものと考えているのであるが、この点については逆偏析の成因と併せて次節に改めてのべることとして、筆者らの観察を支持する二、三の事実を挙げておく。

1) Andrew 氏の実験

J. H. Andrew 教授外3氏の実験⁶⁾によれば、 $3/4''\phi \times 10''$ の坩堝の中に長さ6''のメルトを作り、これを垂直に24時間静かに熔融状態に保持の後そのまま凝固さ

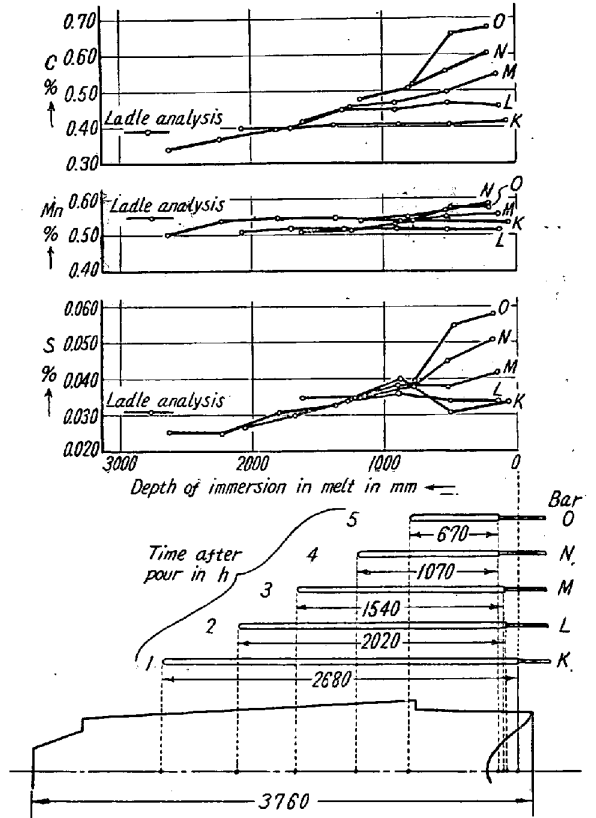


Fig. 6. Analyses of melt adhered to test bars; samples taken at several points along their axis. (ingot: 20 t)

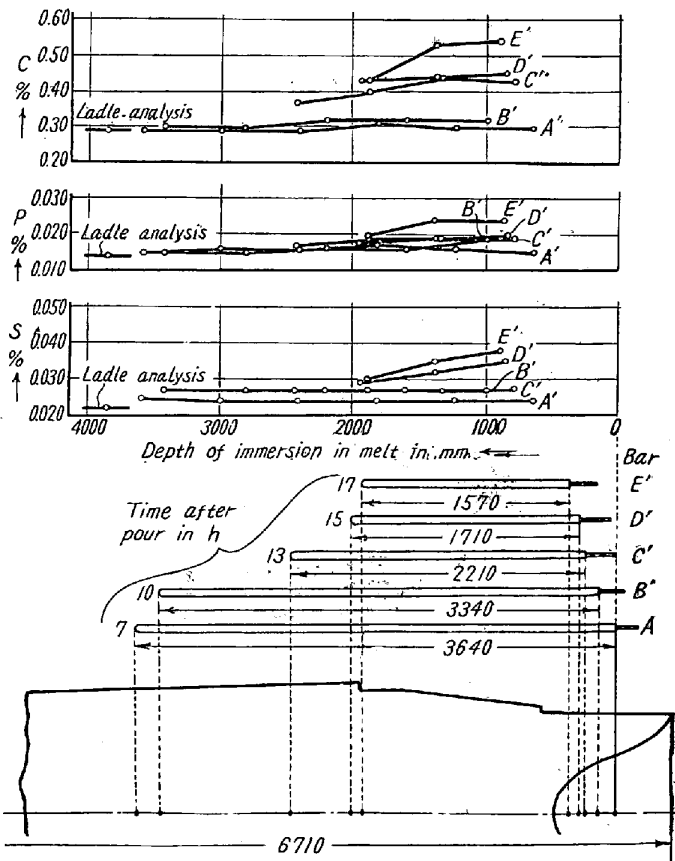


Fig. 7. Analyses of melt adhered to test bars; samples taken at several points along their axis. (ingot: 140 t)

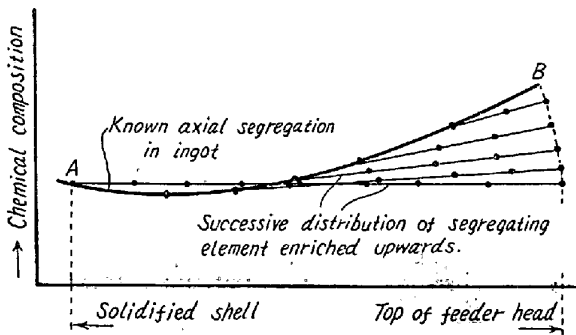


Fig. 8. Axial segregation as related to the results of analysis of adhered metal.

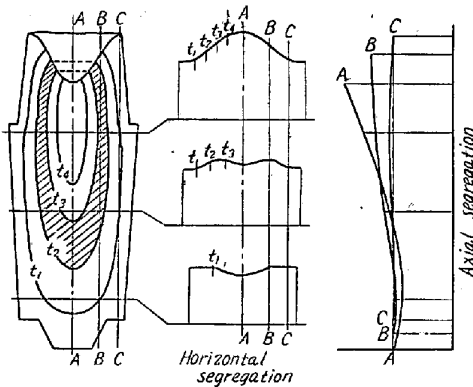


Fig. 9. Schematic expression of segregation and iso-solidification lines in an ingot. ($t_1 \sim t_4$: time after pouring)

せたところ、つぎのような結果が得られた。

	C	Si	Mn	P	S
頂 部	0.48	0.83	2.00	1.04	0.59
底 部	0.33	0.51	1.10	0.21	0.20

これに反して凝固直前に攪拌したものは偏析を示さなかった。つぎに一層不純物の少ない

0.33% C, 0.137% S, 0.10% P, 0.97% Mn

の湯を60ポンドの坩堝から2"φ×18"の坩堝中に鑄込み、最初の坩堝の頂部の湯が2番目の坩堝の底部にくるようにして垂直位置で12時間熔融のまま保持してからそのまま凝固させたところやはり同様な結果が得られた(下表)。Mnは多分昇華したのであろう、としている。上端のCについては何ものべていないが、上面からの脱炭かと推察される。

	C	Mn	P	S
上 端	0.29	0.41	0.257	0.394
上端より2"下	0.33	0.42	0.109	0.152
下端より3"上	0.32	0.42	0.094	0.121

これらの実験結果はメルトの中で(凝固を伴わずに)かるい合金元素が上方へ移動することを立証しており、われわれの観察結果を強く支持する。濃度勾配が実際の鋼塊での観察結果よりはるかに大きいのは、平衡状態からの隔りによっても考えられる。

2) 重力場におかれた溶液の理論、遠心力の作用凝固、したがって偏析の進行過程は、いうまでもなく速度論的に認識されねばならないが、簡単のために鋼塊軸心部のメルトがほぼ様な温度に保たれ、この温度で平衡に達した溶液であると仮りに見做せば、圧力Pと組成Nとの相補的な関係より、高さによる組成の変化はつきのごとくに求められる⁷⁾。

- 今 w : 溶液1モルの質量
- v : 溶液1モルの容積
- w_1 : ある溶質 X_1 の1モルの質量
- \bar{v}_1 : ある溶質 X_1 の partial molal volume
- N_1 : ある溶質 X_1 のモル分率
- \bar{F}_1 : ある溶質 X_1 の partial molal free energy
- g : 重力の加速度
- h : 高さ

とすれば、高さによる溶質 X_1 の組成 N_1 の変化の割合は

$$\frac{dN_1}{dh} = \left(\frac{w \bar{v}_1}{v} - w_1 \right) g / \frac{\partial \bar{F}_1}{\partial N_1} \dots\dots\dots (1)$$

となる。 \bar{v}_1 および $\partial \bar{F}_1 / \partial N_1$ を別にもとめると dN_1/dh は計算できるが、凝固直前のメルトに対してそのまま適用するのは妥当ではないから、一応の目安として記すに止める。

式(1)と同様の式は遠心分離機内におかれた溶液に対しても得られるが⁷⁾、ここで目を遠心鑄造法あるいは回転造塊法に転じて見ると、熔鋼内での化学反応、拡散、粒子およびガスの析出または浮上、あるいは沈澱、凝固熱、の放出などの諸現象を大きく包括して、凝固途中の熔鋼を遠心力の場におくことにより、かるい元素あるいはその化合物を半径の小さな位置へと移動せしめ得ることが経験的に知られているのである。

以上本節にのべたところによつて、鋼塊軸心部のメルトの中ではかるい元素あるいはその化合物の上方移動によつて(熔融状態において)垂直方向偏析を生ずることを、実際の鋼塊の凝固過程に即して立証し、またこれが従来の研究および経験によつても支持されることを明らかにする。

* 詳細は原著に譲り、ここでは省略する。

かにした。

なお本節にのべたところによれば、bar test 法では測定し得ないガスの濃縮も、C, P, S と同等、あるいはそれ以上と推察される。

V. 逆偏析の成因に関する考察

さらに考察を進めて逆偏析の成因を検討して見る。

ここに改めてのべるまでもなく、鋼塊軸心下部の逆偏析の成因は従来主として沈澱晶説によつて説明されてきた。この説の中心は、出鋼時のメルトよりも不純物が少いという事実に対する解釈である。

この逆に、英国鉄鋼協会の Heterogeneity Committee の報告⁴⁾には、この negative segregation の部分から不純物が動き去ると見ると都合がよいとのべているが、いずれの説にせよ、実際の鋼塊について観察あるいは実験された結果は従来あまりなかつたようである。

しかるに上述の観察と考察とによつて沈澱晶説を検討して見ると、Fig. 10 において

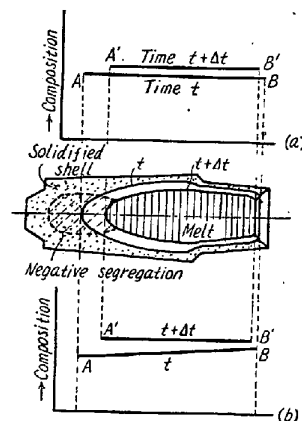


Fig. 10. Enriching of segregate in the course of solidification.

1) 凝固中の鋼塊軸心部のメルトの温度がある時刻 t において一様であるとすれば、この時のメルトの底部と頂部で pure crystal の核のできる機会は同等である。したがつて時刻 t におけるメルトの中の合金元素の分布が Fig. 10(a) の \overline{AB} のごとくであるとすれば、時刻 $t+\Delta t$ にはこれとほぼ平行に $\overline{A'B'}$ と濃縮されるはずである。

実際は底部の方が低温で、核もできやすいと考えられるから、時刻 t から $t+\Delta t$ の間の合金元素の濃縮は底部の方がいちじるしく、Fig. 10(b) で \overline{AB} から $\overline{A'B'}$ へと右下りの傾斜が増すはずである。

これはわれわれの観察結果の逆である。

2) もしも pure crystal が落下しきるとすれば、残

つたメルトの合金元素量は各元素ともほぼ同じ割合で濃化が進行しなければならない。しかしわれわれの測定結果では、C, P, S; Si, Mn; Ni, Cr etc. と三つに大別されるグループ毎にまったく程度を異にしている。となり、逆に合金元素のあるものが上方へ移動し去ると考えるといづれもよく説明される。

すなわち筆者らは、逆偏析の成因として偏析成分の上方移動説を実証的に主張するのであるが、細部については固液界面での濃縮作用との釣合を考慮せねばならない。この点については後に第Ⅳ報でくわしく論ずることとする。しかし筆者らの観察結果のみを以てしては沈澱晶説を否定し得ず、上方移動説の方がより合理的、実証的であるというわけである。

VI. 結 言

bar test の際に bar に附着凝固した熔鋼の一部を分析することによつて、凝固しつつある鋼塊軸心部のメルトの中での垂直方向偏析進行過程を近似的に捕え、従来の実験結果ならびに重力場におかれた溶液の平衡論、あるいは回転造塊法の経験に照して考察することによつて、この偏析が合金元素の上方への移動によつて生ずるものであることを、実際の鋼塊の凝固に即して検証した。

とくに逆偏析の成因についていえば、これは従来の沈澱晶説とはまったく逆の考え方であるが、現段階では後者を否定するのに十分な根拠はない。

なお bar test 法は、近似的ながら非破壊的な試料採取法として種々の場合に利用し得ると思われる。

本報告にのべた新しい知見の根本は、重力の影響を新たな観点から把握した点にあるが、文中しばしばのべたように、今後さらに検討を要することが多い。本報での観察にヒントを得て、続く第Ⅱ報では、砂型鋼塊の傾斜凝固実験により鋼塊のマクロ偏析におよぼす重力の影響の種々の様相を捕えた結果を報告する。

終りに、この研究を指示され結果の発表を許可された株式会社日本製鋼所副社長柳武氏、ならびに同社室蘭製作所長常務取締役皆川孝光氏に深甚なる敬意を呈するとともに、終始御指導をいただいた本社生産技術部長松本茂樹氏、ならびに室蘭製作所研究部長下田秀夫博士に深く感謝する。また現場での測定を援助された製鋼課の各位および試料の調整に当たられた研究部第2課新井田豊雄氏、多数の分析を遂行された同第3課の各位に同様心から御礼申上げる。(昭和33年3月寄稿)

補 遺

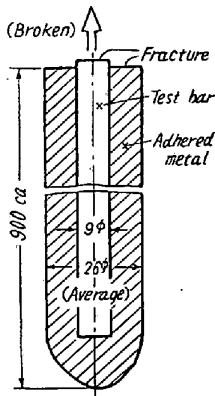


Fig. 11. Tip of the tested bar torn off due to the weight of the adhered metal.

の棒の軸心温度は凝固点にきわめて近かつたと思われる。

今浸漬後 t 秒間経過した時刻における棒の軸心温度を $T^{\circ}\text{C}$ 、メルトの凝固点を $T_0^{\circ}\text{C}$ とすれば、近似的に次式が成立つと見て差支えない。

$$T = T_0(1 - e^{-Bt})$$

ただし B は常数、また室温を 0°C とす。

この式で

$$T_0 = 1490[^{\circ}\text{C}], T = 1440[^{\circ}\text{C}], t = 12[\text{sec}]$$

メルトから引抜いた棒の

軸心温度について

12~14 秒の浸漬により軟化した測定棒が附着凝固した熔鋼をも含む自重によつて切断した経験 (Fig. 11) について考えると、棒の断面の受ける応力は

$$\sigma = \frac{\pi/4 \times 2.6^2 \times 90 \times 7.6}{\pi/4 \times 9^2}$$

$$= 57.1 [\text{g}/\text{mm}^2]$$

$$= 0.06 [\text{kg}/\text{mm}^2]$$

となり、ほとんど分離抗力がない。したがつてこの時

とすれば

$$B = 0.283 [1/\text{sec}]$$

$$\therefore T = 1490 (1 - e^{-0.283t})$$

これによつて計算すれば Fig. 2 を得る。棒の軟化温度を多少変えても、曲線の形に大きな影響はない。

文 献

- 1) 守川, 小野寺, 荒木田: 鉄と鋼, Vol. 44, No. 1 (昭 33-1), p. 9~14
- 2) 中川義隆, 他: 昭和 31 年 10 月本会講演大会にて発表, 講演概要 p. 150
- 3) 1st Rep. Heterogeneity Committee, J. Iron Steel Inst., CX III (1926), p. 39~176
- 4) 7th Rep. Heterogeneity Committee, Iron Steel Inst., Special Report No. 16 (1937), p. 1~14
- 5) A. Hayes & J. Chipman: Trans. A.I.M.E. Vol. 135 (1939), Iron Steel Div., p. 85~132
- 6) 8th Rep. Heterogeneity Committee, Iron Steel Inst., Special Report No. 25 (1939), p. 1~9
- 7) G. N. Lewis & M. Randall: "Thermodynamics", McGraw-Hill (1923), p. 242~245
- 8) 黒川慶次郎: 鉄と鋼, Vol. 30, No. 1~2 (昭 19~1, 2), p. 9~18

軸受鋼の地疵と非金属介在物との関係*

非金属介在物の研究—III

河 合 正 雄**・木 村 弘***

THE RELATION BETWEEN THE SAND MARKS AND THE NON-METALLIC INCLUSIONS OF BEARING STEEL

The study of non-metallic inclusions—III

Masao Kawai and Hiroshi Kimura

Synopsis:

In the third report, the authors studied the relation between the sand marks of steel rods corresponding to the shrinkage head of an ingot and that of the ingot itself, and also the relation between the sand mark and non-metallic inclusions, which was extracted by chemically. The sand mark was examined microscopically.

The results were briefly summarized as follows:

(1) The number of sand marks, large and small, of steel rod, which was prepared from the shrinkage head of the ingot, is numerous, but the number of sand marks of a normal steel rod, which was rolled from the ingot itself, was small.

* 昭和 32 年 10 月 本会講演大会にて発表 ** 大阪府立大学工学部教授 工博

*** 大阪府立大学工学部金属工学科