

Fig. 9. Rate of decarbonization vs. C of ore and oxygen lance methods in a basic open hearth furnace.

IV. 結 言

当所 100 t 塩基性平炉精錬中の脱炭速度を測定し、脱炭速度と熔鋼中炭素濃度、酸素濃度との関係を検討した結果、つぎのことが判明した。

1) 脱炭速度と $C \times \Delta O$ の関係は明らかでない。

2) 脱炭速度と熔鋼中炭素濃度との関係を求めるときの通りである。

a) $C > 0.30\%$; 同一精錬では脱炭速度が炭素濃度に関係に一定である相当に広い炭素濃度の領域が一つないし二つある。そしてこの一定脱炭速度の値は領域により、また精錬によつても異なる。

b) $C < 0.30\%$; 脱炭速度の減少は炭素濃度と直線の関係にあり、その平均脱炭速度は次式で示される。

$$-dc/dt (\%/mn) = 0.0514 \times C (\%) - 0.0030$$

3) 脱炭速度と過剰酸素 ΔO の関係は明らかでない。

4) 酸素製鋼の脱炭速度は鉍石法に比較して大きい。

なおこれら諸現象の総合的考察は最後の報告にまとめで行うことにする。

本論文は著者が昭和 23 年 4 月住友金属工業株式会社に奉職して以来現在にいたるまで長きにわたり、賜つた恩師京都大学理学部教授理学博士佐々木申二先生の絶えざる御指導と御鞭達によつて成つたものであります。ここに謹んで満腔の謝意を表する次第であります。

本実験の遂行にあたりましては住友金属工業株式会社和歌山製造所小田助男所長、高椋正雄技術部長、工学博士下川義雄研究試験課長の絶えざる御指導と御激励をいただきました。厚く御礼を申し上げる次第であります。

(昭和 34 年 6 月寄稿)

1) 藤井毅彦: 鉄と鋼, 45 (1959) 8, 788~793

キャップド鋼塊の表面性状について*

(キャップド鋼塊の研究—I)

加藤 健**・今井純一**・広瀬 豊**・梶岡博幸**

Studies on Surface Conditions of Capped Steel Ingots.

(Studies on capped steel ingots—I)

Takeshi Kato, Junichi Imai, Yutaka Hirose, Hiroyuki Kajioka

Synopsis:

Using 2 t, 4 t and 8 t bottle top molds, a number of test ingots of capped steel of $C: 0.06 \sim 0.09\%$ and $Mn: 0.36 \sim 0.50\%$ were made with varied teeming conditions, by application of widely different degrees of deoxidation.

By the longitudinal section of these ingots, investigation about the rim zone and the distribution of blow hole was carried out and as the result the followings were clarified:

1. The thickness of solid skin was controlled by addition of Al in the ladle and the pouring rate.

* 昭和 33 年 10 月本大会講演大会にて発表 ** 八幡製鉄株式会社, 八幡製鉄所技術研究所

2. The thickness of rim zone depended on the hitting time. The most important factor in determining the hitting time was the Al added in the ladle, when pouring height was constant.

3. The less amount of Al added in the ladle and the better design of mold decreased ingot cracks.

I. 緒 言

メカルニカルキャップド鋼塊は普通単にキャップド鋼塊といわれ、リムド鋼塊に較べ均質を有し、圧延歩留がきわめて高いので、近時注目されてきたが、脱酸度を強くする（取鍋に多量の Al を投入する）と表面欠陥を生じ易く、また逆に弱くするとこの鋼塊の特徴である化学組成の均一性を失う恐れがあり、実用化に当つては適当な脱酸度の範囲が狭く、脱酸作業がむずかしいという欠点がある。

キャップド鋼塊を特定の鋼種に適用した例は報告^{1)~3)}されているが、それを応用する場合の根本問題であるキャップド鋼塊の性状と製造要因との関係については多くは調査されていないようであり、実際応用に当つて知識の不足が感じられるので、キャップド鋼の適用鋼種や鋼種に応じた造塊型式を決定するための参考資料とするため鋼塊性状におよぼす製造要因の影響のうち鋼塊の表面性状の点について検討を行なつた。

II. 実験の範囲および経過

Table 1. Ladle analysis, degree of deoxidation, and pouring conditions of capped ingots tested.

No of Sample	Ladle analysis					Deoxidation			Pouring condition										
	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	O (%)	Fur- nac Fe- Mn (kg)	Ladle		Mold Al (g/t)	Mold		Pouring			Capp- ing time (s)	Hitting time (s)	Mold dressing		
							Mn (kg/ t)	Al (kg/ t)		Size	Inner- face	temp. (°C)	Height (mm)	Rate (mm /s)				Te- mp. (°C)	
A 1	0.08	0.38	0.009	0.029	0.040	200	2.95	0.172	10	2t	square	flat	20	1310	25.2	—	31	—	Tar
A 2	"	"	"	"	"	"	"	"	50	"	"	"	"	1370	31.9	—	48	—	"
A 3	0.07	0.40	0.016	0.031	0.026	"	3.85	0.338	0	"	"	"	"	1285	11.9	1585	24	57	"
A 4	"	"	"	"	"	"	"	"	10	"	"	"	"	1410	19.3	"	10	40	"
A 5	"	"	"	"	"	"	"	"	20	"	"	"	"	1335	17.6	"	12	48	"
A 6	0.09	0.45	0.015	0.019	—	700	1.43	0.096	10	4t	square	"	100	1650	25.8	1553	78	—	Kasu- moru
A 7	0.08	0.37	0.010	0.023	—	300	3.06	0.245	0	"	"	"	70	"	4.6	1552	55	130	"
A 8	"	0.36	0.009	0.019	—	"	3.03	0.175	57	"	"	"	50	"	"	1559	60	200	"
A 9	0.07	0.42	0.014	0.030	0.035	"	2.43	0.130	13	8t slab	"	"	20	"	13.9	1573	71	291	Igatayu
A10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	flute	"	"	"	15.9	"	70	365	"
A11	"	0.40	0.009	0.029	0.022	"	2.84	0.202	27	"	flat	"	90	"	10.3	1565	55	645	"
A12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	flute	"	80	1740	11.2	1558	45	135	"
A13	"	0.44	0.013	0.035	0.033	"	3.47	0.264	13	"	flat	"	"	1710	11.0	1563	57	130	Seikozai
A14	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	flute	"	"	1680	11.6	1557	"	165	"
A15	0.06	0.41	0.012	0.030	0.032	"	2.73	0.326	"	"	flat	"	100	1650	10.9	1560	56	112	Igatayu
A16	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	flute	"	"	1695	12.1	1555	50	140	"
B 1	0.08	0.50	0.018	0.035	0.035	"	2.14	0.204	"	"	"	"	20	1650	10.3	1565	82	143	Seikozai
B 2	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	12.0	1563	65	185	"
B 3	0.07	0.39	0.010	0.034	0.042	"	3.40	0.214	"	"	"	"	"	1690	14.7	1558	72	145	Tar
B 4	"	"	"	"	"	"	"	"	12	"	corrugate	"	—	1820	17.3	"	64	154	"
B 5	0.08	0.43	0.014	0.036	0.032	"	3.62	0.164	13	"	flute	"	—	1690	13.3	1585	53	213	"
B 6	"	0.46	0.011	0.031	0.042	"	3.90	0.156	"	"	"	"	—	"	17.3	1580	49	"	"
B 7	"	"	"	"	"	"	"	"	24	"	corrugate	"	—	1820	18.9	1575	73	"	"

60 t 塩基性平炉で熔製した C: 0.06~0.09%, Mn: 0.36~0.50% の熔鋼を試験の対象とし、主として脱酸度および注入速度の影響を調べるため、Table 1 に示すごとく脱酸度としては取鍋投入 Al 量および鑄型投入 Al 量を広範囲に変え、注入速度に関してはキャップド鋼本来の注入法である上注の他に下注をも併用して実験した。使用鑄型は鋼塊重量や鑄型の鋼塊性状におよぼす影響を明らかにするため、2 t 角型、4 t 角型、8 t 扁平型の 3 種の徳利型で、特に 8 t 扁平型では鑄型内面にフルートのついたものも使用した。

上述の要因を変化させる場合、その他の要因、すなわち注入後鑄型に蓋を置くまでの蓋置時間や注入温度、鑄型温度などは極力一定になるようにつとめたが、現場での作業上 Table 1 のごとき変動は免れなかつた。

これらの試験鋼塊を縦断し、あるいは鋼塊の一隅より採取したコーナーサンプルの縦断によりソリッドスキンや気泡状況の調査を行なつた。

なおキャップド鋼では熔鋼が蓋に達するまでの蓋打時間は鋼塊の性状を考察する場合重要な要因であるので、特に多数の鋼塊について測定を行なつたが、その中には

鋼塊の切断調査を行なわなかつたものもあり表中B印を付し他の鋼塊と区別している。

以下本報告で使用されている鋼塊各部の名称を代表的と思われる鋼塊についてFig. 1に図的に示した。すなわち、キャップド鋼塊の内部組織はリム部およびコア部に大別できリム部はソリッドスキンおよび管状気泡発生帯よりなり、コア部との境界には気泡性偏析がある。

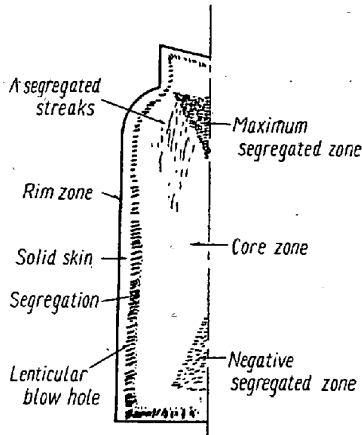


Fig. 1. Macro structure of capped ingot.

III. 実験結果および検討

(1) ソリッドスキン

管状気泡が鋼片の表面欠陥の原因とならないためには鋼塊のソリッドスキンの厚さがある程度以上なければならぬ。リムド鋼塊のソリッドスキンの厚さが凝固時の熔鋼のガス発生状況と関係することは多くの研究^{4)~7)}によつて知られている処である。熔鋼のガス発生状況には種々な要因が関係しているが、その主なものは成分、取鍋投入 Al 量および注入速度である。

リムド鋼で明らかにされているソリッドスキンの厚さにおよぼす注入速度の影響⁴⁾やセミキルド鋼で経験する気泡発生状況と脱酸度の関係⁸⁾を併せて考えれば、キャップド鋼のソリッドスキンの厚さ D_s (mm) は次式で表示できる。

$$D_s = K\sqrt{h/v}$$

h : 管状気泡不発生圏 (mm)

v : 注入速度 (mm/s)

K : 凝固恒数 (2.9)

h は脱酸度および注入速度の関数であり、注入速度の h におよぼす影響はリムド鋼については小平博士によつて調査されている⁴⁾が、キャップド鋼の場合は本実験結果では下注鋼塊を除けば注入速度よりも脱酸度の影響の方が明瞭のようである。したがつて、一応

$$D_s\sqrt{v} = F(\Delta O) \quad (\Delta O \text{ は脱酸度を表わす})$$

なる関係があると考えられる。脱酸度を計算によつて求めることは不可能であるが、C%, Mn% がほぼ一定なので、脱酸度として取鍋投入 Al 量を取り註1), $D_s\sqrt{v}$ との関係を実験的に求めると Fig. 2 のごとくなり、バラツキが小さく (0.2 程度) かなり明瞭なる関係が認め

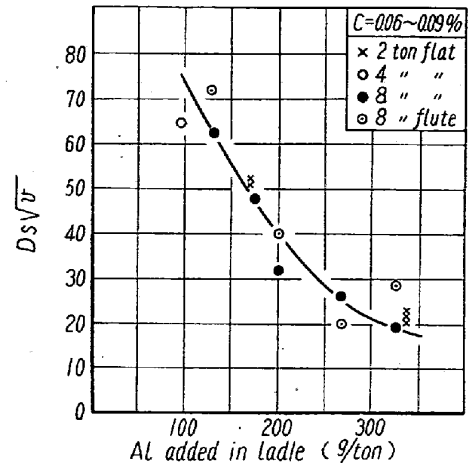


Fig. 2. The influence of pouring rate and Al added in ladle on the thickness of solid-skin of capped steel ingots.

られる。かりに h におよぼす注入速度の影響として、小平博士の、 $h = 1068 - 17v$ を採用すると、

前述の関係式は

$$D_s\sqrt{\frac{v}{1068-17v}} = f(\Delta O) \quad \text{となり、}$$

Fig. 2 に相当する図は Fig. 3 のごとくで同図を使用すれば、上注とは限らず下注キャップド鋼塊のソリッドスキンの厚さも求めることが出来る。しかし注入状況と空気酸化の関係については Table 2 のごとくリムド鋼塊と、キャップド鋼塊では異つていると考えられるので h におよぼす v の影響として、リムド鋼塊の結果を採用し、上注

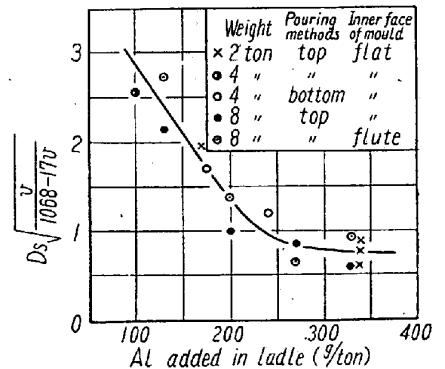


Fig. 3. The influence of teeming rate and Al added in the ladle upon the thickness of solid skin.

Table 2. Comparison of the thickness of solid skin of rimmed vs capped steel ingot.

Al added in ladle (g/t)	Pouring rate (mm/s)	Thickness of solid skin (mm)	
		Rimmed ingot	Capped ingot
202	10.6	26.7	10.7
264	11.3	10.1	6.8
326	11.5	10.2	7.0

および下注鋼塊の一致をみたことについては問題が残っている。

Table 2によれば、キャップド鋼塊のソリッドスキンは同じ脱酸度、注入速度のリムド鋼塊のそれより薄いようである。リムド鋼に関する研究⁷⁾によれば空気中の酸素はリミングアクションに与って大いに力があり、注入およびガス逸出のための穴をあけた簡単な蓋を鑄型の上に置いて注入した鋼塊ではリミングアクションが弱く、膨脹が大きくなることが認められている。徳利型では頭部がかなり絞られているので上述の実験の場合と同様に注入時の熔鋼と空気の接触状況が悪く、リミングアクションが注入初期から弱くなり、そのためソリッドスキンが薄くなると考えられる。

以上取扱つて来たソリッドスキンは鋼塊肌より管状気泡が始まるまでの距離を各気泡について測定した平均値であるが、実際に

Fig. 4に写真で示すごとく、平均値から2mm程度の出入がある。注入流による湯面の動揺や鑄型の表面状況により局部的に冷却速度が異なるためかかる不同が生じたものと思われる。特にスプラッシュや割れに

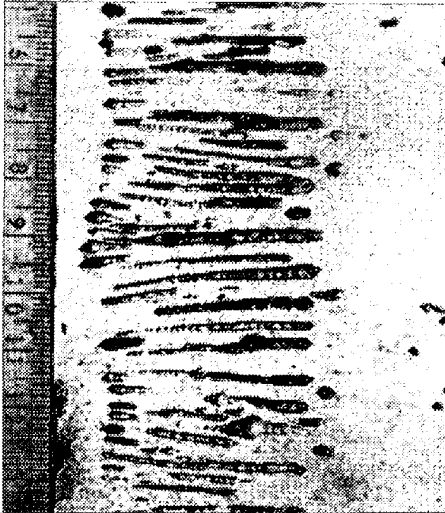


Fig. 4. Sub-surface conditions of a capped ingot.

起因する二重肌があるとソリッド

スキンの厚さはいちじるしく異なることが認められた。

(2) リム部

キャップド鋼は蓋の効果期待したものであるから、蓋打しなければならぬが、それが早期にすぎると後述するごとく内部の健全性は増加するとはいへ、リム部の厚さが不十分のため割れを起し易く、成品の表面状況に害するようである。逆に遅すぎるとコア部の偏析が激しくなる。リム部負偏析およびそれに続く気泡性偏析はある鋼種では成品で切落さなければならぬが、また逆にSの高い気泡性偏析や介在物が成品の表面近くに現れ成品の表面状況が悪化するのを恐れる鋼種もある。それゆえに、鋼種に応じて適当なリム部の厚さを選ばなければならぬようである。

熔鋼が蓋に達するとリミングアクションは抑えられ、

リムの生成は止む。したがって、鋼塊中央部でのリム部の厚さを D_r (mm)、熔鋼が蓋に達する時間を T (s) とし、注入中の凝固量を考慮に入れば D_r と T の間にはつぎの関係がある。

$$D_r = 2.9\sqrt{T+t/2} \quad (t \text{ は注入所要時間})$$

この関係式を実験で得られた各点とともに示したのが Fig. 5 で凝固初期では注入温度や潜熱のため凝固が遅れることが認められている⁸⁾が、それを考慮すれば明瞭な関係が認められ、また逆に蓋打

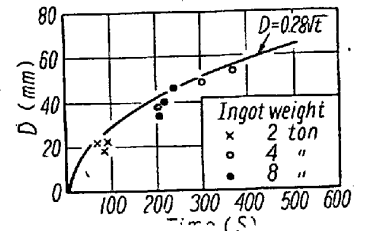


Fig. 5. Relation between thickness of the rim zone and hitting time.

よつて完全にリミングアクションが抑えられるということが出来る。上式の t はノズルの径を決めれば上注か下注かによつて大体定つた値となるので、リム部の厚さは結局蓋打時間による。それゆえに、キャップド鋼の良悪は蓋打時間によつて決るとも思われるのでそれにおよぼす種々な要因の影響を明らかにした。

リムド鋼塊の頭部膨脹量は管状気泡の量に関係することが認められている⁴⁾。これと同じように考えれば、キャップド鋼塊の蓋打時間は管状気泡の体積の生長速度すなわち管状気泡発生圈、気泡の数および大きさ、気泡の生長速度によつて決る。気泡の生長は凝固速度によるもので時間の平方根に比例しすべての鋼塊でほぼ等しいと考えられるので蓋打時間は気泡の状態によつて左右される。熔鋼の蓋打時間は鑄型内膨脹余地を一定とすれば、取鍋および鑄型内投入 Al 量、注入速度、蓋置時間などに関係したものである。8 t 扁平型に注入高さを一定と

して注入した場合 (Table 1 中 B 印) につき注入速度と蓋置時間の関係を取鍋投入 Al 量および鋼中酸素によつて類別して示すと Fig. 6 のごと

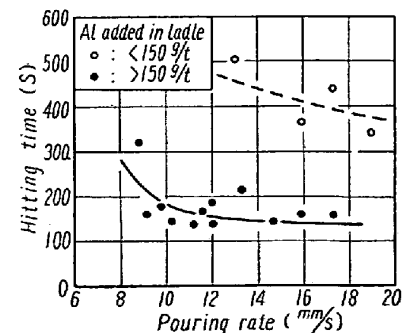


Fig. 6. The influence of pouring rate on hitting time.

き関係が認められ注入速度が遅くなると若干蓋打時間も増加しているようであるが、注入速度 10 mm/s 以上ではほとんどその影響がなく、上注で注入する場合の蓋打時間は注入速度によつてほとんど変化しないようである。

脱酸度として前述の取鍋投入 Al 量を取り、注入速度の影響の小さいと思われる注入速度 10mm/s 以上の鋼塊につき取鍋投入 Al 量と蓋打時間の関係を示したのが Fig. 7 である。

注入終了時間、蓋打時間の判定や注入高さを一定に保つことの困難さおよび熔鋼中のガス量の調節を Al 投入量で表すことに

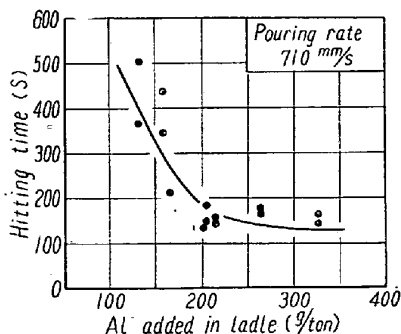


Fig. 7. Relation between hitting time and the Al added in ladle.

問題があるためまだバラツキはあるようであるが、Fig. 6 に比し小さく、かなりその関係が明瞭である。

Al 投入量を減少すると蓋打時間は長くなり、またバラツキも大きくなる。蓋打時間を電気的方法で測定した A. Richard の報告¹⁰⁾は転炉鋼で Al 投入量が少ない範囲のものであるがこれ以上のバラツキが認められているようである。Al 投入量を多くした場合にはバラツキは小さくなり蓋打時間は安定するようである。

その他の要因のうち鋳型内投入 Al 量は取鍋投入 Al 量に比しその量が Table 1 から明らかなごとく少ないので蓋打時間とは関係が認められなかつた。一般に、キャップド鋼の製造においては鋳型内投入 Al 量が重要視されているようであるが、取鍋での脱酸の管理を良く行なえば鋳型での Al 使用量の問題は小さくなり、重要なのは蓋打時間であつて、それに関してはむしろ鋳型の頭部形状や注入高さの問題が重要になつてくる。蓋置によつてリミングアクションが不活潑になるのではないかと思つたが、Table 1 に示されるように蓋置時間と蓋打時間は全く無関係であつた。空气中酸素の接触遮断のり

ミングアクションにおよぼす影響は注入初期に較べ末期では非常に小さいことが認められているリムド鋼の結果と一致している。

(3) 割れ

鋼塊に発生した割れは圧延した場合集団縦疵、筈疵、へげ疵等となり、成品の表面状況を害し歩留を低下させるので重大な欠陥である。キャップド鋼塊は割れが発生しやすいようで、本実験でもかなり鋼塊割れが認められた。割れは凝固中鋼塊外殻に加わる何等かの応力が外殻の強度を越えた時に発生するといわれ、その種類や程度を支配する要因が多く、未解決の問題が残っているので多数の鋼塊について調査する必要があるが、キャップド鋼塊の割れが他の鋼塊のそれと異なる点は鋳型による吊割および内圧の増加による割れである。蓋打後の熔鋼の内圧は相当大きい¹¹⁾ので特に後者については重要視する必要があるであろう。

試験した鋼塊の割れを冷塊で観察し、種類および取鍋投入 Al 量によつて分類すると Table 3 のごとくなり取鍋投入 Al 量が多くなるとすなわち蓋打時間が短くなると、総体的に割れが多いようである。特に隅角割れはこの傾向が強い。熔鋼の蓋打時間が短いものは薄いリムに強い圧力がかかり割れ易くなると考えられる。

横割れは主として大きなものがあり、取鍋投入 Al 量との関係が明瞭でないことおよび蓋打しない場合にも発生していることや同一チャージのリムド鋼に発生しなかつたことを考えると吊割によるものと思われるが蓋打の有無と割れの程度を考えると矢張り内部圧力も関係しているようであり、吊割れと内圧による割れとの区別はつけ難い。肩より首部にかけての設計をうまく行なえばこの種の割れはかなり減少できるのではないかと思われる。

キャップド鋼の製造に当つては割れが発生しやすいの

Table 3. Relation between the Al added in ladle and cracks of capped ingots.

Al added in ladle (g/t)	No. of ingots	No. of cracks per one ingot (length of cracks)		
		Facial crack		Corner cracks
		Transversal	Longitudinal	
130	4	1.75 (343 mm)	0	0
203	8	0.75 (344 mm)	0.125 (1000 mm)	0.500 (1150 mm)
264	4	2.25 (379 mm)	0	1.25 (960 mm)
326	4	2.25 (477 mm)	0	0.75 (1000 mm)
Not hitting the cap	6	0.5 (280 mm)	0	0

Table 4. Influence of pouring methods and mold-innerface on ingot cracks.

Pouring methods	Innerface of mold	No. of ingot	No. of crack per one ingot (length of crack)	
			Facial crack	Corner crack
Top	Flat	34	2.4(452 mm)	1.3(1091 mm)
Top	Flute	10	1.1(333 mm)	0.1(400 mm)
Bottom	Flat	30	0	0

で取鍋投入 Al 量, 熔鋼の組成 (特に S), 注入温度, 注入速度, 鑄型の内面状況などの製造要因を管理することが必要であるが, 割れの対策としてフルートおよびコルゲート付鑄型の使用および下注 キャップド鋼の製造^{註2)}を試験した。フルートまたはコルゲートを付すと放熱面積が大きくなり, 注入初期の凝固が促進されかつ鋼塊肌がフレキシブルになるため割れに対する感受性が鈍くなるとされているが, その結果は Table 4 のごとくで, 普通鑄型に比し縦割れ横割れともにその数や大きさがいちじるしく減少している。リムド鋼やセミキルド鋼では内面にフルートまたはコルゲートを付けるより注入条件の管理によつて割れを防止する方が得策とされている¹³⁾が, キャップド鋼では割れが発生しやすいので, 製造要因を緩和する意味でもフルートまたはコルゲート付鑄型の使用が考えられるであろう。

下注を行なえば Fig. 3 から明らかなるごとくソリッドスキンが厚くなり, また蓋打時間も遅くなるので, 割れに対しては有利になると思われる。下注の結果を Table 4 に上注とともに併示したが, 30本の鋼塊につき割れはほとんど認められなかつた。割れの軽減の点では勿論フルートを付けるより下注にした方が効果があるようである。

IV. 結 論

実用キャップド鋼塊を主対象とし, 脱酸度注入速度などの製造要因や鑄型の形状を変えて製造した鋼塊の表面性状を種々なる方面から検討し, キャップド鋼応用の参考資料とした。

(1) ソリッドスキンの厚さは注入速度および取鍋投入 Al 量によつて決る。

(2) リム部の厚さは注入高さを一定とすれば取鍋投入 Al 量および注入速度による。取鍋である程度の Al を投入してあれば鑄型での Al 使用量の影響はあまり大きくない。

(3) 割れは鑄型の形状や蓋打時間に関係していて取鍋投入 Al 量が多くなると少なくなる。割れ軽減対策としては下注法が最も効果がある。

上述の結果は 60 t 平炉で熔製した 0.06~0.09% C, 0.36~0.50% Mn, の範囲内のものにしか適用できない。範囲外に対しては若干の試験を追加して前述の結果を補正する必要がある。

註 1) 脱酸度の表示方法としては鋼中 0% を考慮した種々なるものが考えられるが, 0% を使用するとバラツキが大きくなるので Al 投入量を選んだ。

註 2) 下注キャップド鋼を製造する場合, 注入管より熔鋼が噴出する懸念がある。本試験では 3 kg Al を注入管に投入し脱酸後ドライ粉による冷却で閉塞した。
(昭和 34 年 4 月寄稿)

文 献

- 1) S. Feigenbaum: Open Hearth Proc. A.I.M.E. Vol. 32 (1949) 225~230
- 2) O. Peason: " " " 249~253
G. N. Yocom: " " " 253~255
Lvan: " " " 255~256
- 3) R. D. Hindson: " Vol. 36 (1953) 81~87
A. N. Swanson: " " " 87
- 4) 小平 勇: 八幡製鉄研究報告16巻1号 (1937)
- 5) A. Hultgren, G. Phragmen: Tr. A.I.M.E. 135 (1939) 133~244
- 6) 石原重利: 製鉄研究 198, 199, 201, 202 号 (1952~1953)
- 7) 加藤 健, 今井純一: 製鉄研究, 200 号 (1952)
- 8) 加藤 健: 鉄と鋼, Vol. 43 (1957) 10, 1105~1110
- 9) J. Chipman, C. R. Foudersmith: Tr. A.I.M.E. 125 (1937) 370
- 10) A. Richard, J. Duflo, P. Mathien: Rev. de Met. (1958) 3, 279
- 11) Physical Chemistry of Steel-making Committee A.I.M.E.: "Basic Open Hearth Steel-making" (1951)
- 12) 加藤 健: 製鉄研究, 217号 (1956) 1542
- 13) Open Hearth Proc. A.I.M.E. Vol. 29(1946)248