

.....

論 文

.....

リムド鋼塊中の非金属介在物におよぼす製鋼条件の影響*

浅野鋼一**・佐伯 毅***・塗 嘉夫***

Effect of Ingot-Making Conditions on Non-Metallic Inclusions in Rimming Steel Ingots

Kōichi ASANO, Tsuyoshi SAEKI, and Yoshio NURI

Synopsis:

It is proved that the amount of non-metallic inclusions extracted from middle-rim-zone and from bottom-core-zone is related with the amount of gas evolved during solidification and rimming action.

The amount of non-metallic inclusions in middle-rim-zone becomes less as the amount of evolutionary gas from rimming steel ingots gets larger. For example, the cleanest rim-zone of ingot is obtained at the carbon content of 0.07 to 0.09%, at which the amount of evolution gas is the largest. The amount of inclusions in bottom-core-zone is not always correlated with the gas amount, but it is found out that there is a certain range of combination of carbon content and additional amount of aluminum for the least amount of inclusions.

(Received Mar. 11, 1971)

1. 結 言

リムド鋼は溶鋼を鋳型に注入した際、凝固の進行に伴って CO ガスを発生する点に特徴があり、このガス発生によつて溶鋼が流動し固相と液相の境界を洗滌するため鋼塊の外殻に清浄な鋼を得ることができる。リムド鋼の製造上の重要な要点の一つはこのガス発生を鋼塊のいかなる場所から、いかなる量を発生させ洗滌効果を最適ならしめるかにある。ガス発生量は製鋼造塊上の諸条件によつて左右されるが、たとえば炭素の影響¹⁾²⁾、マンガンの影響³⁾⁴⁾、硫黄の影響⁵⁾⁶⁾なども調査されており、とくにアルミニウム添加量の影響についても多くの文献^{7)~9)}がある。また、リミングアクションを調整する目的で種々の化合物が製鋼工場において使用されていることも報告されている^{10)~11)}。

著者らはこれらの要因について各種の調査を行なつた結果、鋼塊からのガス発生量、もしくはリミングアクションの強さなどに着目して解析すれば、各種の要因の影響を総括的に説明しうることがわかつた。以下にそれを報告する。

2. 実 験 方 法

実験に供した鋼塊は、リミングアクション測定のために約 50 鋼塊、鋼塊からのガス発生量測定のため、注入

後の溶鋼組成変化を追跡したもの約 30 鋼塊、さらに鋼塊内部調査のため、鋼塊切断したもの約 20 鋼塊である。これらはいずれも鋼塊重量約 17 t であり、使用鋳型の諸元を Table 1 に示す。

2.1 リミングアクションの強度測定

リミングアクションの強さの測定には、リミングアクション隆起形状測定用鉄板を Fig. 1 のように、リムド鋼注入後の溶鋼内へ所定時間毎に浸漬し、リミングアクションの隆起形状をこの鉄板上に移し取る。これから隆起体積を求め、これをリミングアクションの強さと呼び、この強さの経時変化を測定すれば、リミングアクションの強さは、注入後の経過時間に対して、一般的には Fig. 2 のように表わされる。すなわちリミングアクションの強さを表わすために、図において次の 5 つの特性値を用いることとする。

- V_0 : 初期リミングアクションの強度
- V_{max} : リミングアクションの最大強度
- V_{tot} : リミングアクションの全強度
- t_0 : リミングアクションの持続時間
- t_d : Delayed time

ここで $V_0 > V_{max}$ の場合には t_d は観測されないこと

* 昭和46年3月11日受付

** 新日本製鉄(株)広畑製鉄所研究所 工博

*** 新日本製鉄(株)広畑製鉄所研究所

Table 1. Mold dimensions.

	Width (mm)	Thickness (mm)	Width	Height (mm)
			Thickness	
Top	1 405	840	1.63	2 200
Bottom	1 450	906		

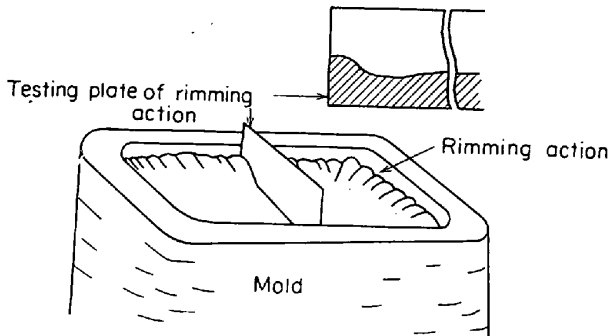


Fig. 1. Measurement of rimming intensity.

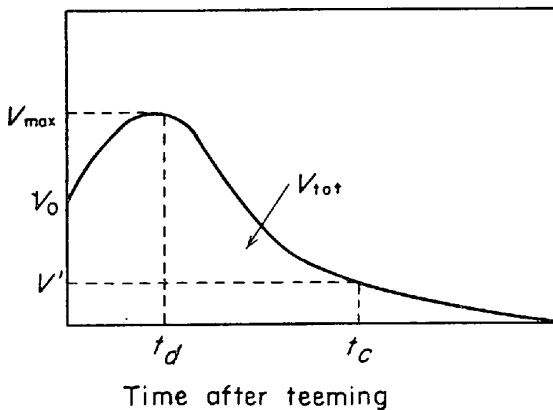


Fig. 2. Element of rimming intensity.

になるが、 $V_0 < V_{max}$ の場合にはこれが観測され、この場合を Delayed rimming と呼ぶことにする。

2.2 鋼塊切断調査

リミングアクションの測定後、その鋼塊の内部調査を行なうために、鋼塊の短辺および長辺の1/2面から垂直に切断して3/4重量の鋼塊片を切出し、Fig. 3に示すように、ガス発生量計算のための化学分析試料取り、ならびに、非金属介在物の含有量の測定のための電解抽出塊の鋼塊片の切出しを行なった。

2.3 リムド鋼のガス発生量の計算

リムド鋼凝固時におけるCOガス発生量は、炭素の物質収支により求めることができる。すなわち、注入後の溶鋼の炭素濃度 C_L の時間変化を測定し、他方、鋼塊の凝固後、リム層の炭素の含有量 C_S を測定すれば、これらの物質収支から次式によりガス発生量を求めることができる。

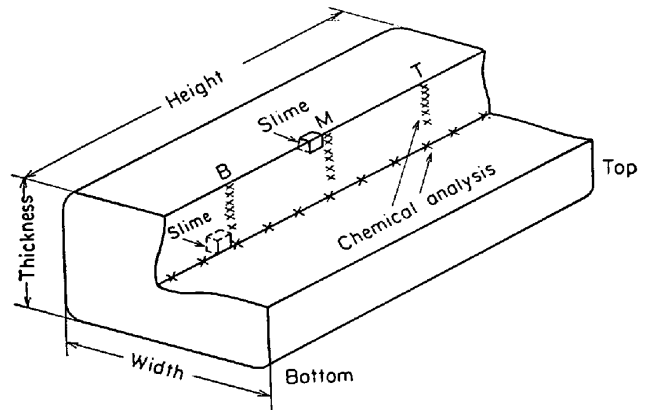


Fig. 3. Sampling positions.

$$G_T(t) = \{ W_L(0)C_L(0) - (W_L(t)C_L(t) + \int_0^{W_S} C_S(W_S) dW_S) \} \times \frac{22.4}{12 \times 100} \dots\dots\dots (1)$$

- $G_T(t)$: 注入後 t 分におけるまでに発生した CO ガス量 (NL)
- $C_L(0), C_L(t)$: 注入後 0 および t 分における溶鋼の炭素含有量 (wt %)
- $W_L(0), W_L(t)$: 注入後 0 および t 分における溶鋼重量 (g)
- $C_S(W_S)$: 凝固重量 W_S における固相の炭素含有量 (wt %)
- W_S : 凝固重量 (g)

計算のための基礎データとして、残溶鋼とリム層における炭素含有量の変化を知らねばならないが、前者については注入終了後、残溶鋼から所定時間ごとに試料を採取し、諸元素の分析に供した。また後者については鋼塊の切断調査にあたって、鋼塊の頭部から 20, 50 および 80% の高さ位置において、リム層の表面から 1cm 間隔の試料を採取分析しこれらの同一厚み場所における T.M.B の平均値を用いた。

さらに、注入後の経過時間と凝固厚みとの関係を知らねばならないが、これについては 3.1 に述べる。

2.4 鋼中非金属介在物含有量の測定方法

鋼中非金属介在物含有量の定量方法には、

- (1) 化学分析法
- (2) 顕微鏡観察法
- (3) 電解抽出法 (スライム法)

が主として考えられるが、本報告は(3)のスライム法によつて抽出された非金属介在物の量や粒度分布を用いて、各種の製鋼条件がリムド鋼塊中の非金属介在物におよぼす影響を考察した。スライム法についての詳細は諸文献¹²⁾¹³⁾を参照されたい。

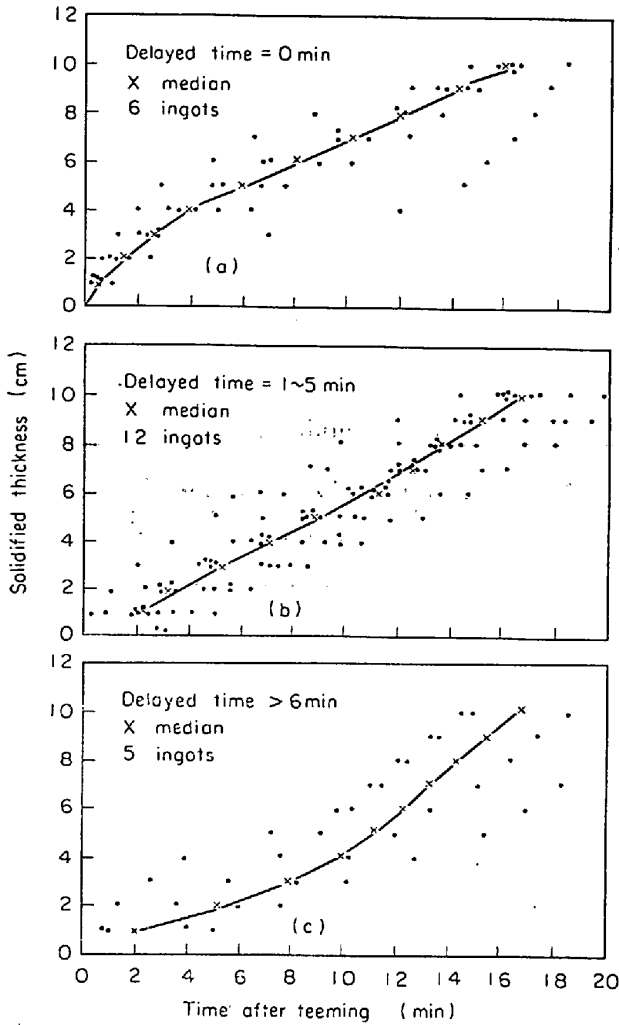


Fig. 4. Solidification thickness vs. time after teeming.

3. 実験結果

3.1 Delayed rimming と介在物含有量の関係

リムド鋼の凝固速度はルート法則が成立つものとされている¹⁴⁾¹⁵⁾が、硫黄の偏析現象を利用して次のような方法で凝固速度を求めたところ、必ずしもルート法則が成立せず、とくに delayed rimming の観察されたものには凝固の遅れが見られることがわかった。すなわち、たとえば硫黄のような非反応性成分に着目して、

$$S_L(t) = \frac{1}{W_L(t)} \left\{ W_L(0) S_L(0) - \int_0^{W_S} S_S(W_S) dW_S \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ただし

$S_L(0), S_L(t)$: 注入後 0 および t 分における溶鋼の硫黄含有量 (wt %)

$S_S(W_S)$: 凝固重量 W_S における固相の硫黄含有量 (wt %)

$W_L(0), W_L(t), W_S$: (1)式に同じ

なる式によつて、凝固重量 W_S における残溶鋼の硫黄含有量 $S_L(t)$ が求められるが、他方、残溶鋼から注入後、所定時間ごとに試料採取し、硫黄含有量を分析すれば、注入後の経過時間と硫黄含有量の関係が求められる。この分析結果と(2)式から得られた結果を合わせれば、注入後の経過時間と凝固重量の関係が求められる。すなわち凝固速度が求められる。

このような方法によつて、種々のリムド鋼塊の凝固速度を求めたところ、Fig. 4のような結果を得た。図中横軸は注入高さの1/2まで注入した時点を中心として測定した経過時間である。本図は delayed rimming が見られなかつたもの、delayed rimming の時間が1~3 min までのもの3 min 以上のものと3つに分類して示したが、これによれば delayed rimming の見られなかつたものは、凝固速度がルート法則に従い、delayed rimming を示したものは、いずれも、凝固速度がルート法則にしたがうものよりも凝固の初期においておそくなつてゐることを示している。

このように注入直後におけるリミングアクションが悪ければ、そのときに凝固した部分は、当然、洗滌効果が悪く非金属介在物の含有量が多くなることが予想されるが、その点について介在物を抽出して調査した結果をFig. 5に示す。本図にはリミングアクションが初期からすでに強く、十分なる洗滌効果が期待できるもの(I)、初期にはリミングアクションが弱かつたが、その後、強くなつたもの(II)、リミングアクションが常に弱かつたもの(III)のリム層におけるスライム法による抽出介在物量を示した。

(I)のリム層表層部は内部のリム層にくらべると圧倒的に介在物量は多いが(II)(III)のリム層表層部にくらべると少ない。とくに鋼塊の頭部、中央部において非常に少なくなつてゐる。鋼塊表面から4cm以上内部に入つた位置ではリミングアクションの強弱に関係なく介在物量は少なくなつてゐる。この理由については、これからだけでは明らかにすることができない。

3.2 溶鋼の炭素含有量と非金属介在物の関係

通常、リムド鋼は機械的性質その他の要請から、炭素含有量を増す場合にはマンガン含有量も増す場合が多いので本実験におけるリムド鋼のC, Mnの関係はほぼ次の表に示すようであつた。

このような組成のリムド鋼が凝固時どの程度のガス発生を示すかについてはすでに多くの研究報告^{16)~19)}があり、詳細は省略するが、炭素含有量が0.05~0.08%付近にガス発生量の最大になる点が存在すると云われて

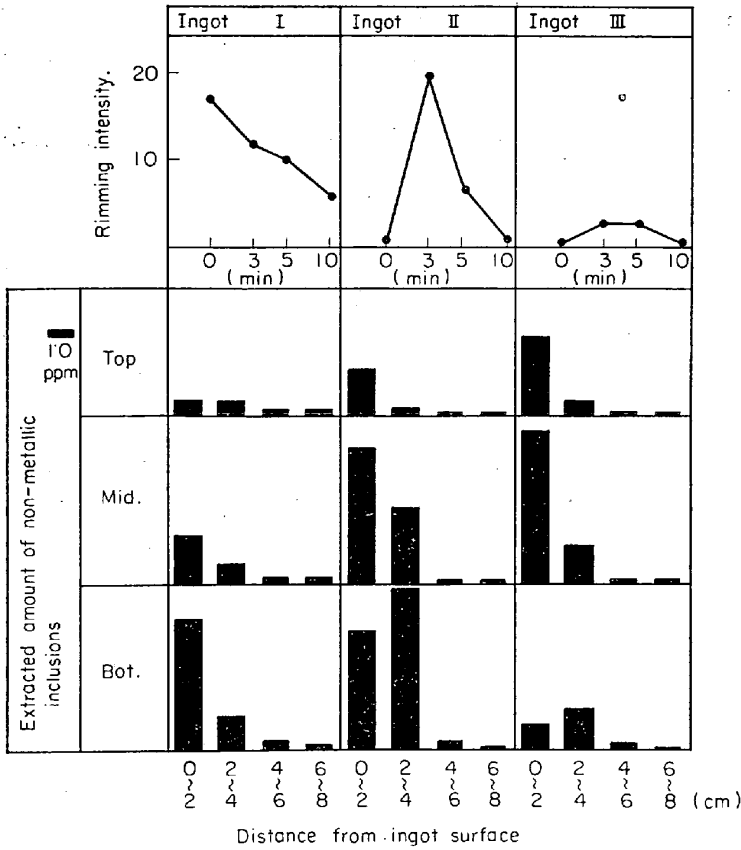


Fig. 5. Relation between rimming intensity and extracted amount of non-metallic inclusions.

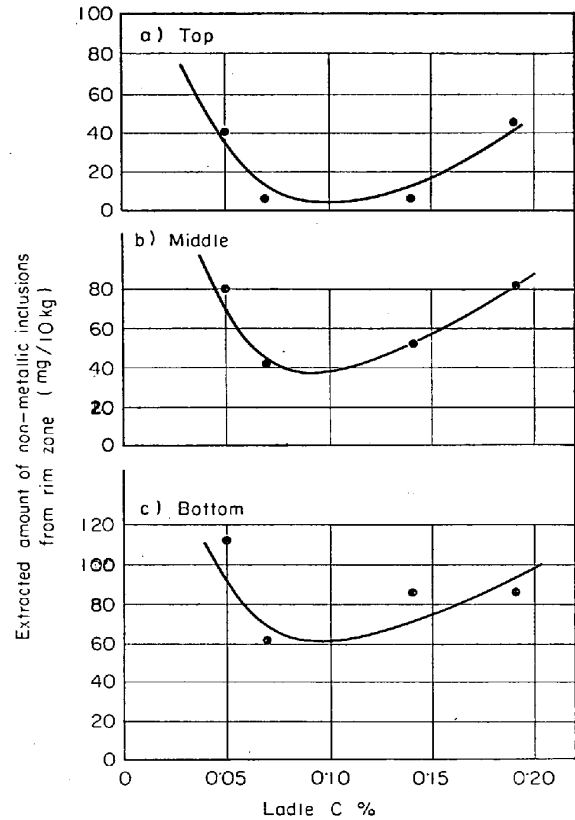


Fig. 7. Relation between the extracted amount of non-metallic inclusions from rim zone and the carbon content of the liquid metal.

Table 2. Commercial composition of rimmed steel.

C%	0.04	0.08	0.15	0.20
Mn%	0.20	0.35	0.50	0.70

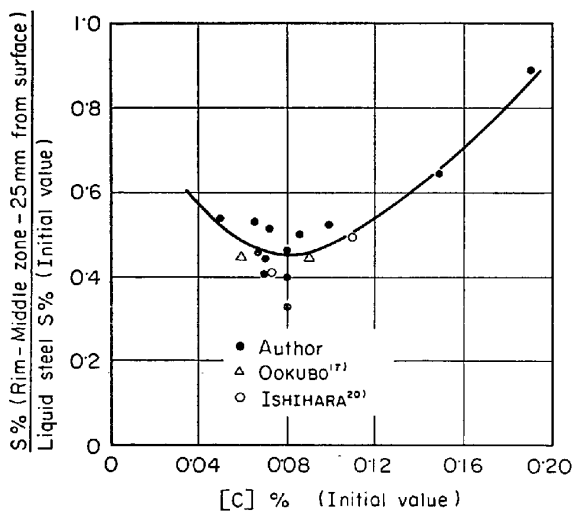


Fig. 6. Effect of carbon content on sulfur distribution of middle-rim-zone.

層硫黄含有量/注入溶鋼硫黄含有量を取り、Fig. 6に示す。これによれば炭素含有量 0.07~0.09% において最も洗滌力が強く、C=0.20% 付近ではもはや洗滌力はきわめて弱くなっていることがわかる。非金属介在物含有量についても同じように考えて抽出介在物量を炭素含有量によつて整理すると Fig. 7が得られる。C-O 関係が、 $P_{CO} = 1 \text{ atm}$ の関係を満足するならば、凝固時の脱酸生成物量は高炭素側ほど少ないはずであるが Fig. 7に示すように C=0.07% を下限としてむしろ高炭素側ほど酸化物量がふえており凝固時に生成する酸化物以外の非金属介在物が多量に存在し捕捉されていることを示している。

3.3 溶鋼の硫黄含有量と非金属介在物の関係

低硫黄リムド鋼の凝固組織は管状気泡が消滅してしまつている点に特徴があることはすでに報告¹⁹⁾されているが、2.3 に述べた方法によつて低硫黄リムド鋼のガス発生速度を推定したところ、Fig. 8に示すような結果を得た。この図によれば、注入直後には、むしろガス発生速度が小さく、注入後 5~8 min においてガス発生速度が最大になつている。他方、delayed rimming の見られない普通のリムド鋼では、時間の経過と共にしだいに減

いる。ここではリミングアクションの洗滌力と炭素含有量の関係を示すため、洗滌力を示す特性値として、リム

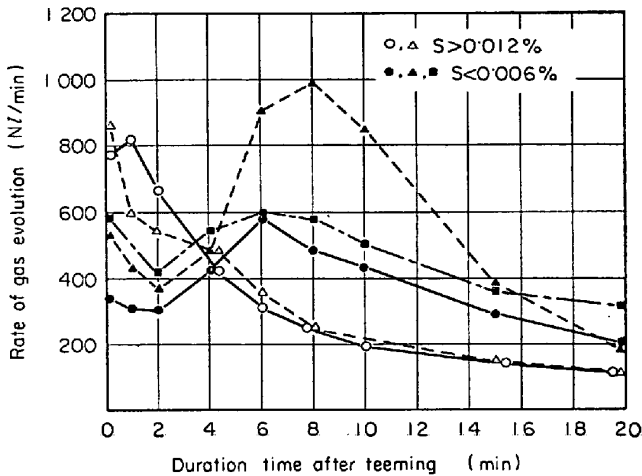


Fig. 8. Relation between rate of gas evolution and time after teeming for 17 t rimmed ingots.

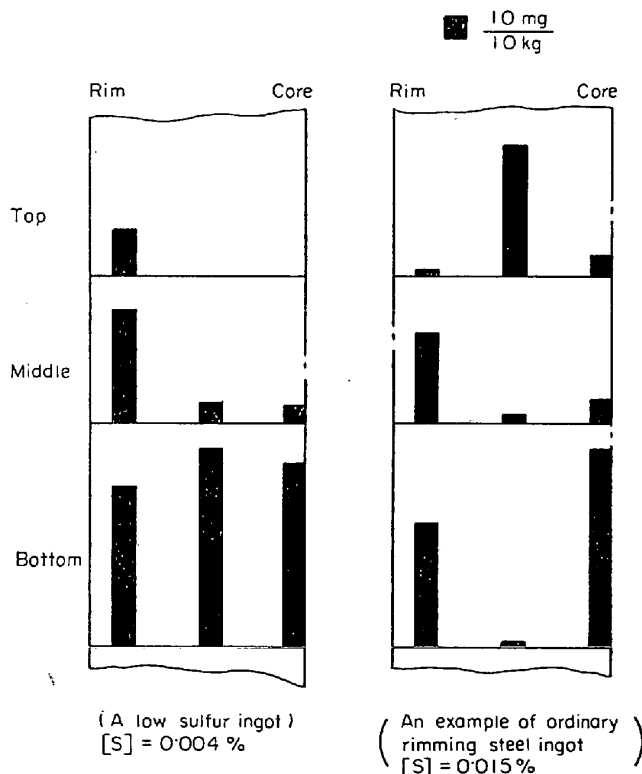


Fig. 9. Amount of extracted inclusions.

少している。このように、注入後数分の間はガス発生速度が小さく、その後大きくなることは管状気泡の消滅と密接な関係があるであろう。また非金属介在物の面から見ても、いわゆる delayed rimming の見られたリムド鋼は、リム層表層部の大型介在物量に特徴がある。例として Fig. 9 に低硫黄リムド鋼と普通リムド鋼の抽出介在物の量を鋼塊内位置と関係づけて示した。これによれば、表層部に介在物が多いことがわかる。

この関係は低硫黄リムド鋼に限るものではなく普通リ

ムド鋼においても成立つものであり、 delayed rimming の見られたリムド鋼はリム層表層部に大型介在物が多い。

3.4 造塊時の脱酸調整用 Al 添加量と非金属介在物の関係

リムド鋼を注入する際にガスが多量に発生し、時として、ガスの離脱が悪く溶鋼が膨張する場合があるが、これは造塊作業を著しく阻害する。これに対して、少量のアルミニウムの添加が、ガスの離脱を促進し作業性を向上することがよく知られている。しかし、非金属介在物の点からのみ見れば、介在物を鋼塊内に生成するなど、好ましくない影響を及ぼすことも多くの調査の結果明らかになっている^{7)~9)}。このような点から、著者らはアルミニウムをまったく使用しないリムド鋼塊を製作し、内部調査を行なった。

はじめに、前述の方法にしたがってガス発生量を計算した後、次の手順によつてガスの発生量を2分割し、それぞれ凝固に際してのガス発生特性値を表わすものとした。すなわち、その1つは残溶鋼の炭素含有量が減少することによるガス発生量であるが、これは残溶鋼中に浮遊している微細な気泡などを核として発生するものであり、それはリミングアクションを強める場合もあるが、逆に発生速度が大きすぎれば溶鋼を膨張させて、注入作業を阻害する場合もある。このような特性を有するガス発生量をバルクからのガス発生量 ($G_2(t)$) と呼ぶことにする。

他の1つは溶鋼が凝固することによつて生ずるガス発生量である。すなわち、溶鋼が凝固するとき炭素濃度は液相中におけるよりも固相におけるほうが小さいため、凝固に際して、その炭素濃度差に相当する分だけ、ガスとして離脱するか、あるいは残溶鋼中へ拡散しなければならないが、ガスとして脱離すると見なした場合のガス発生量を凝固面からのガス発生量 ($G_1(t)$) と呼ぶことにする。これらの $G_1(t)$ および $G_2(t)$ の計算式は次のようである。

$$G_1(t) = \int_0^{W_s} (C_L(t) - C_S(W_s)) dW_s \times \frac{22.4}{12 \times 100} \dots\dots\dots (3)$$

$$G_2(t) = G_T(t) - G_1(t) \dots\dots\dots (4)$$

ただし、

$G_1(t)$: 注入後 t 分までに発生した凝固面からのガス発生量 (NL)

$G_2(t)$: 注入後 t 分までに発生したバルクからのガス発生量 (NL)

$G_T(t), W_s, C_L(t), C_S(W_s)$: (1)式に同じ

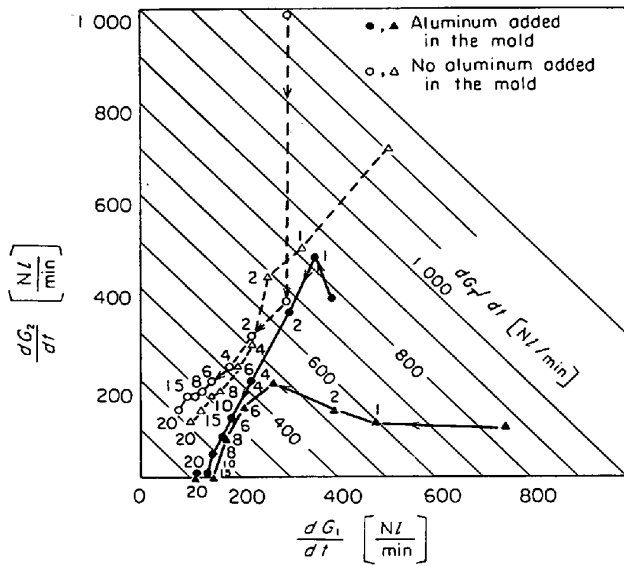


Fig. 10. Gas evolution rates of rimming steel [% S] > 0.015% (The numbers in the figure mean the time after teeming)

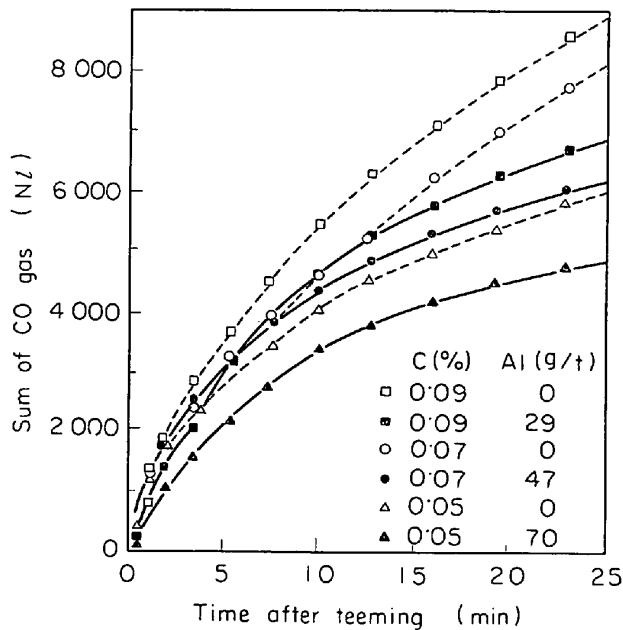


Fig. 11. Changes of CO gas amount evolved.

このようにしてアルミニウムを使用しない場合のガス発生量を G_1 および G_2 の特性値を用いて計算した結果を Fig. 10 に示す。これによればアルミニウムを添加しない場合にはバルクからのガス発生量が多く、アルミニウムを使用した通常リムド鋼の場合に凝固界面からのガス発生量が多いことと対称的である。全ガス発生量はアルミニウムを使用しない場合のほうが Fig. 11 に示すように多いが、観察されたリミングアクションの強さは 4 において述べるように必ずしも全ガス発生量と等価に考えることはできず、アルミニウムを添加しない場合のほ

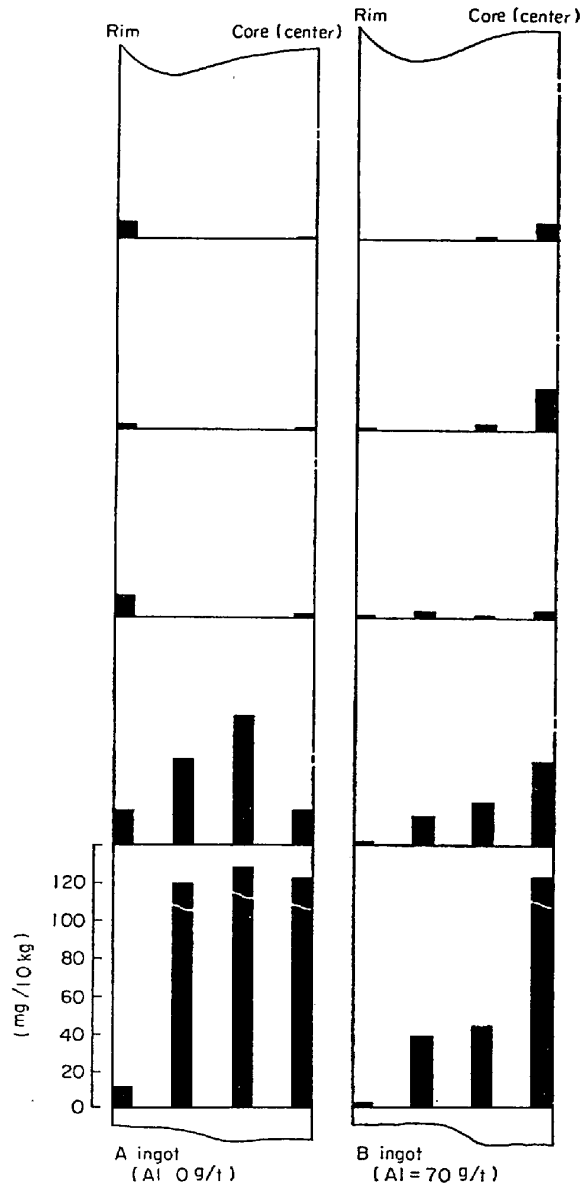
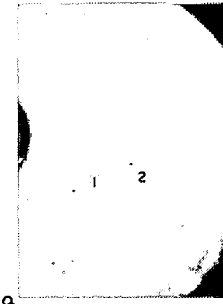
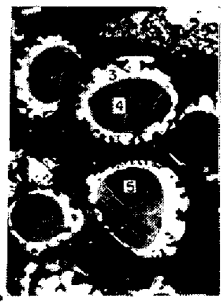
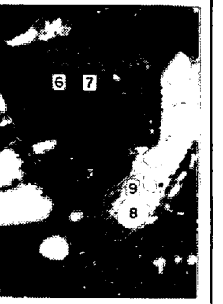
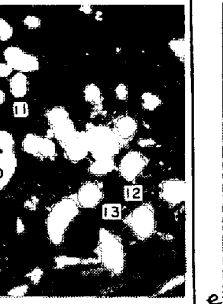
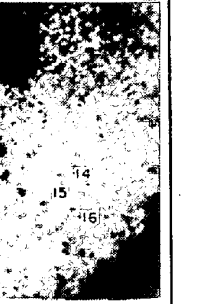


Fig. 12. Amount of large inclusions (>100 μ) extracted by slime method.

うがリミングアクションは弱く、鋳型内溶鋼の上表面が不規則に波立ちかつ泡立つ現象、いわゆるシマー状態を呈する。このようなリミングアクションの特徴をふまえて、Fig. 12 に示す鋼塊からの抽出介在物の分布図を見ると多くの知見が得られるが、これについては 4 に詳しく述べる。

3.5 非金属介在物の組成とリミングアクションの関係

リミングアクションが非金属介在物の離脱現象と密接に関係していることを種々の例をあげて説明してきたが、ここではさらに、リミングアクションがシマーと判断された、アルミニウム脱酸調整を行なわない鋼塊とその姉妹鋼塊で脱酸調整を行なった鋼塊から得られた非金

MICROSCOPIC Structures of extracted inclusions	Type (I)	Type (II)	Type (II)-a	Type (II)-b	Type (III)-C
					
Position of the sample	Rim-Middle	Core-Middle	Core-Middle	Rim-Top	Core-Bottom
Size of the inclusions	149 ~ 210 μ	37 ~ 53 μ	149 ~ 210 μ	149 ~ 210 μ	297 ~ 350 μ

Number corrected composition of elements	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16	
	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds	Elements	Compounds		
Fe	13.2	60.0	26.3	41.3	46.6	60.0	49.3	63.5	7.9	24.9	32.0	10.5	32.0	41.2	+	+	9.1	61.0	1.7	13.0	23.1	77.5										
Mn	28.9		32.9	52.1	29.4	38.0	3.2	4.1	21.5	43.5	50.5	65.1	41.5	74.0	42.4	54.8	+	+	33.6	6.4	32.3											
Al	3.0	10.0							18.7	50.0			0.7	2.0			+	+		1.2	4.0	1.7	5.5									
Si	8.5	24.5					0.5	1.5					7.7	22.5					10.5	30.0	14.9	41.5	4.6	13.5								
Cr					tr	—	1.7	2.5	2.9	4.2							tr	—														
Ca																			2.0	2.8	15.5	21.7	0.9	1.3								
O	40.0	—			36.4	—	26.3	—	44.0	—	37.0	—	30.8	—	34.0	—	—	—	41.0	20.6	—	35.4	—									
S			32.4	—		—	1.5	—																								

Photo. 1. Microstructures of inclusions extracted from various positions in ingot and its analysis by EPMA (note : 50 μφ beam diameter used for the positions 1, 2, 14, 15, 16)

属介在物の組成を比較して、両鋼塊中に見いだされた非金属介在物がきわめて異なつた組成を有することを見出した。Photo. 1 にリムド鋼の代表的非金属介在物の組織とその EPMA による定量分析結果を示す。3 つの分類のそれぞれの特徴は、

(I) タイプ：組織上は単相よりなるものがほとんどで一部微細な析出物がかすかに認められるものもあるがその組織は FeO, MnO, SiO₂ が主体をなし、その他 Al₂O₃, CaO などが数 % 含有されているもの

(II) タイプ：(FeMn)O-(FeMn)S 系の酸化物および硫化物からなる 2 相ないし 3 相の介在物

(III) タイプ：(FeMn)O および (FeMn)O·Al₂O₃ の析出した 3 相ないし 4 相よりなる酸化物系介在物で (a)塊状のアルミネートが明りように認められるもの、(b)マトリックスに微細な針状の析出物が認められ、他のものにくらべてマトリックスに CaO が比較的高いもの、(c)組織全体に微細な (FeMn)O·Al₂O₃ などが析出している多相介在物である。

この分類にしたがつてアルミニウム脱酸調整を行わない鋼塊とその比較鋼塊のコア一部底部から抽出された介在物を粒度別に組織分類して、Table 3 に示す。全般的には 50 μ 以下の小型介在物には (III)-(a) タイプのも

のが多く、大型介在物になると (I) タイプおよび (III)-(c) のタイプが多くなつている。

さて、(III)-(b) タイプの介在物はアルミニウムによつて脱酸調整したものには、まったく検出されないのに対し、アルミニウムを使用せずリミングアクションがシマーと判断されたものにはこれが存在する。Table 4 にはアルミニウムを添加しない 2 鋼塊とそれぞれの姉妹鋼塊でアルミニウムを添加したものからの電解抽出介在物の化学分析値を示す。

これによればアルミニウムを添加しない場合のほうが CaO 含有量が高いことがわかる。CaO 含有量が 1~2 % というわずかな比率であることから、CaO が非金属介在物の主流ではないことはもちろんであるが、リミングアクションと非金属介在物の関係を考える上で CaO 含有量にリミングアクションの強弱によつて差が生ずることは、きわめて示唆に富むものである。すなわち CaO はリムド鋼の製造過程から見て製鋼スラグなどに起源があるものと思われるが、どのような経路で鋼塊内に捕捉されたり、離脱するかの問題はここでは論じないにしても、ひとたび鑄型内にまで混入した CaO もリミングアクションが強ければしだいに除去され非金属介在物中の CaO 含有量はしだいに減少することがわかる。ここで CaO を製鋼スラグの混入を示す一つのトレーサーと考

Table 3. Types of inclusions extracted from two ingots.

	Position of sample		Range of diameter of checked particles	Types of inclusions *				
				Type (I)	Type (II)	Type (III)		
						(a)	(b)	(c)
A ingot no aluminum added	Core-Bottom	80%	<53	2		102		
			105~210	1.9		98.1	3	1
			297~420			26	10.0	3.3
		90%	<53	1		100		1
			105~210	1.0		98.0	2	1.0
			297~420			44	3.7	8
500~590				81.5	1	14.8		
	590~700			12	6.7	2		
				80.0		13.3		
B ingot aluminum added	Core-Bottom	80%	<53	1		97		6
			105~210	1.0		93.2		5.8
			840~1000			8		53.4
		90%	<53	1		13.1		86.9
			105~210	100				
500~590								
	590~700							

* Upper column : Number of checked particles.
Lower column : Percentage.

えることもできるが、非金属介在物中の CaO 比率の小さいことと、非金属介在物の鋼塊内への捕捉についてはこれに影響をおよぼす未知の要因も多いので、今後さらに検討しなければならない問題であろう。

4. 考 察

リムド鋼から発生するガスをバルクからのもの $G_2(t)$ と凝固面からのもの $G_1(t)$ とに分けて定義することを 3.4 において述べたが、これを用いてさらに詳しく考察する。まず、各種の鋼塊に対して、 $G_1(t)$ および $G_2(t)$ を計算し、アルミニウム添加量を媒介変数として整理すれば Fig. 13 のような結果を得る。本図の見方を説明すると、たとえば注入直後の溶鋼の炭素含有量が 0.08% でアルミニウムをまったく添加しない場合(×印)には注入後 5 min を経過するまでに発生する全ガス量は 3600 (Nl) であり、このうち 1700 (Nl) はバルクからのガス発生量であり、1900 (Nl) は凝固面からのガス発生量である。しかるにこの場合 50 g/t のアルミニウムが添加されればバルクからのガス発生量は 1300 (Nl) に減少

し、逆に凝固面からのガス発生量はむしろ増加し、合計 3300 (Nl) 発生することになる。このような方法でその他の組成およびアルミニウム添加量の場合について推定することができる。図中バルクからのガス発生量が負数になっているのは残溶鋼の炭素濃度が増加してくることを示している。

このようにして得られた図はリミングアクションの強さの影響を種々の見地から検討するのに有効である。とくにガス発生量を G_1 と G_2 に分けた後、リミングアクションに役立つのが、両者のうちのいずれであるかの検討にはこの図中において、リミングアクションの強い方向を実験によつて定めることが有効であり、これはまたリミングアクションの機構の解明に役立つものである。

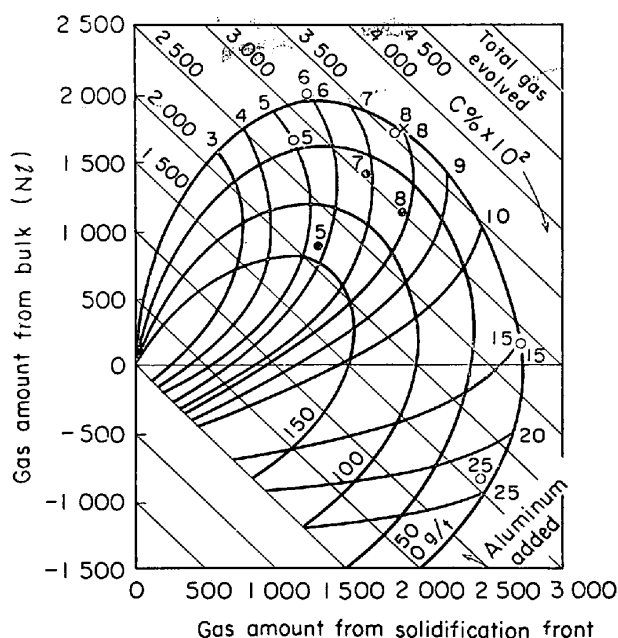
リミングアクションの強度測定方法については 2.1 にすでに説明したがこの方法によつて約 50 鋼塊の調査を行なった。以下その結果を述べる。

Fig. 14 は注入直後におけるリミングアクション強度 (V_0) とガス発生量の関係を示すものであり、 V_0 が大となる方向は図中、右上方の矢印の方向に向かうことが

Table 4. Chemical analysis of extracted inclusions.

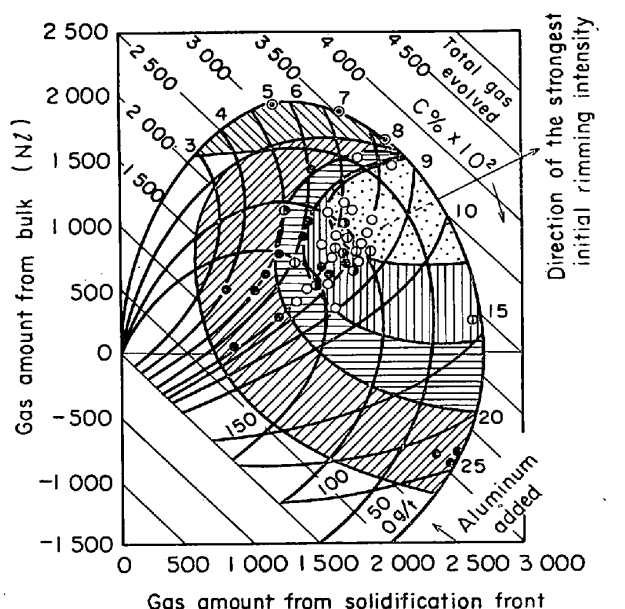
Name of ingot	Position of sample (μ)	Range of diameter of checked particles	Chemical analysis (%)							
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	Cr ₂ O ₃	Others	
A ingot no aluminum added	80%	590~500	13.04	4.08	32.61	48.92	1.22	0.13	tr	
		500~420	12.08	5.70	31.11	48.35	2.07	0.17	0.52	
		420~297	9.48	4.33	30.89	52.80	1.65	0.40	0.45	
		297~210	11.34	4.07	30.81	51.80	1.23	0.26	0.49	
		210~105	10.00	2.77	30.27	55.38	1.32	0.26	tr	
		105~53	7.62	2.67	38.81	48.23	2.40	0.27	tr	
		53>	49.20	5.06	19.25	22.70	2.78	0.51	0.50	
		Average	14.51	3.87	31.24	48.11	1.77	0.25	0.25	
		Core- bottom	840~710	11.09	4.52	30.65	52.56	1.03	0.15	tr
	710~590		5.97	3.11	27.31	62.19	0.77	0.13	0.52	
	590~500		12.88	3.72	33.01	49.46	0.83	0.10	tr	
	500~420		11.23	4.18	28.72	54.83	0.91	0.13	tr	
	420~297		9.50	3.91	34.92	50.28	1.26	0.13	tr	
	297~210		7.21	2.24	29.85	59.72	0.74	0.24	tr	
	210~105		11.16	3.16	27.18	56.39	1.80	0.30	tr	
	105~53		11.16	5.10	36.68	43.06	3.67	0.32	tr	
	53>		4.98	3.41	31.79	57.11	2.42	0.29	tr	
	Average	9.99	3.67	31.26	53.19	1.63	0.22	0.04		
B ingot aluminum added	80%	590~500	4.63	18.71	27.57	47.71	1.26	0.12	tr	
		420~350	1.54	15.70	18.51	61.95	2.05	0.25	tr	
		297~250	6.35	14.05	28.49	48.06	1.75	0.43	0.87	
		210~105	2.66	19.64	35.11	40.62	1.55	0.42	tr	
		105~53	3.76	19.55	27.81	47.08	1.12	0.68	tr	
		53>	3.45	15.86	35.86	42.76	1.52	0.55	tr	
		Average	3.67	18.29	30.67	45.55	1.33	0.57	0.02	
		90%	2 000~1 000	1.26	13.80	40.77	43.20	0.47	0.32	0.18
			1 000~840	3.45	12.49	28.60	54.40	0.71	0.35	tr
	590~500		2.57	18.49	25.73	51.77	1.12	0.32	tr	
	420~350		6.04	9.11	22.80	58.42	1.81	0.61	1.21	
	297~210		2.53	18.57	29.15	46.65	1.93	0.59	0.78	
	210~105		1.32	15.36	20.78	61.35	0.98	0.22	tr	
	105~53		5.28	21.69	20.27	51.52	0.77	0.47	tr	
	53>		3.91	23.19	31.16	39.13	1.74	0.87	tr	
	Average		3.94	20.37	26.20	47.68	1.19	0.58	0.04	
	C ingot no aluminum added	80%	2 000~1 000	44.84	2.59	20.16	28.71	3.37	0.15	0.18
			1 000~840	37.69	2.67	21.97	34.45	2.67	0.24	0.31
840~710			2.85	2.99	26.72	61.50	5.69	0.25	tr	
710~590			31.47	12.06	24.12	29.41	2.73	0.21	tr	
590~500			22.30	6.61	21.65	47.57	1.58	0.29	tr	
500~420			24.58	8.15	22.68	42.66	1.54	0.39	tr	
420~297			28.22	8.24	24.76	37.13	1.24	0.41	tr	
297~210			23.66	6.89	21.70	45.96	1.41	0.38	tr	
210~105			23.38	7.99	29.20	37.02	1.46	0.38	0.57	
105~53		18.26	25.04	18.26	34.53	2.12	1.25	0.54		
53>		11.37	17.20	19.78	47.56	2.51	0.92	0.66		
Average		26.43	7.76	23.72	39.48	2.06	0.37	0.17		
90%		2 000<	60.83	19.95	8.60	9.04	1.26	0.32	tr	
		2 000~1 000	44.40	13.31	22.15	14.05	5.91	0.18	tr	
		1 000~840	42.53	7.74	25.15	20.32	3.29	0.29	0.68	
		840~710	36.36	2.31	18.86	36.36	4.95	0.44	0.72	
		710~590	31.68	6.10	23.26	35.90	2.75	0.31	tr	
		590~500	22.74	9.32	23.91	41.01	1.70	0.34	0.98	
	500~420	33.87	8.17	26.39	27.68	2.64	0.50	0.75		
	420~297	29.58	6.96	27.04	33.46	1.29	0.51	1.15		
	297~210	29.67	9.44	22.56	36.65	1.12	0.56	tr		
210~105	24.17	8.13	27.55	37.46	1.65	0.54	0.50			
105~53	22.22	11.72	20.74	41.47	2.96	0.89	tr			
53>	10.05	28.89	22.12	34.89	1.61	1.63	0.81			
Average	36.39	10.96	21.47	28.18	2.19	0.43	0.38			

D ingot aluminum added	Core- bottom	80%	1 000~840	42.29	11.50	20.18	23.92	1.15	0.39	0.57
			710~590	39.13	4.04	22.05	32.89	1.76	0.13	tr
			590~500	28.97	6.71	14.38	48.45	0.93	0.19	0.37
			500~420	32.25	6.90	22.88	35.68	2.06	0.23	tr
			420~297	43.90	4.38	14.01	36.48	1.10	0.13	tr
			297~210	37.42	3.86	13.51	43.65	1.04	0.21	0.31
			210~105	18.12	4.47	15.70	60.38	1.09	0.24	tr
			105~53	9.23	13.06	16.70	57.52	1.90	0.80	0.79
			53>	11.18	13.98	20.13	53.10	0.94	0.67	tr
			Average	30.16	5.47	15.81	46.97	1.17	0.25	0.13
		90%	2 000~1 000	45.69	1.48	25.25	26.02	1.47	0.09	tr
			1 000~840	7.95	8.95	39.69	41.77	1.34	0.30	tr
			840~710	46.70	5.70	24.60	21.44	1.30	0.26	tr
			710~590	53.64	6.93	16.11	22.33	0.87	0.12	tr
			590~500	38.14	9.59	22.09	28.06	1.36	0.30	0.46
			500~420	26.44	8.77	21.84	41.38	1.25	0.32	tr
			420~297	24.96	8.42	23.36	41.07	1.87	0.32	tr
			297~210	26.77	6.07	23.36	42.43	1.37	tr	tr
			210~105	25.87	4.35	17.30	50.60	1.59	0.29	tr
			105>	21.41	9.54	26.31	39.56	2.31	0.87	tr
Average	32.84	5.87	22.96	36.65	1.48	0.18	0.02			



	Al (g/t)
○	0
●	30 ~ 100

Fig. 13. Relation between additional amount of aluminum and CO gas amount evolved during 5 min after teeming.



Initial rimming intensity (V₀)

- > 8
- ◐ 8 ~ 3
- ◑ 3 ~ 1
- < 1
- ◉ Simmer

Fig. 14. Relation between gas amount and initial rimming intensity.

わかつた。すなわち、初期リミングアクションの強さは全ガス量の増加する方向よりも、わずかながら凝固界面からのガス発生量の大きなる方向にずれていることがわかる。さらに、バルクからのガス発生量が 1500 Nl 以上となる領域は凝固界面からのガス発生量のいかんにかかわらずシマー領域になることがわかる。この領域はアルミニウム添加量が 0~50 g/t と少なく、かつ炭素含有量

が 0.09% 以下の場合に対応する。また Fig. 15 はリミングアクションの最大強度 V_{max} とガス発生量の関係を示したものであり、そのリミングアクションが大きい領域は決して全ガス発生量と対応せず、むしろ炭素含有量が 0.05~0.08% のものに対しては、リミングアクションを 1 時期ではあつても、きわめて強くするためには、最適アルミニウム添加量が存在することを示して

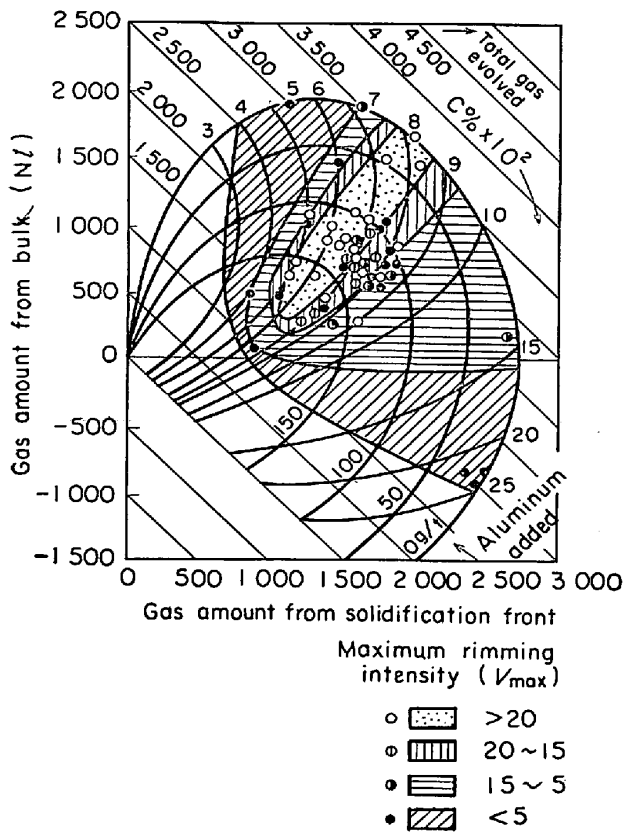


Fig. 15. Relation between gas amount and maximum rimming intensity.

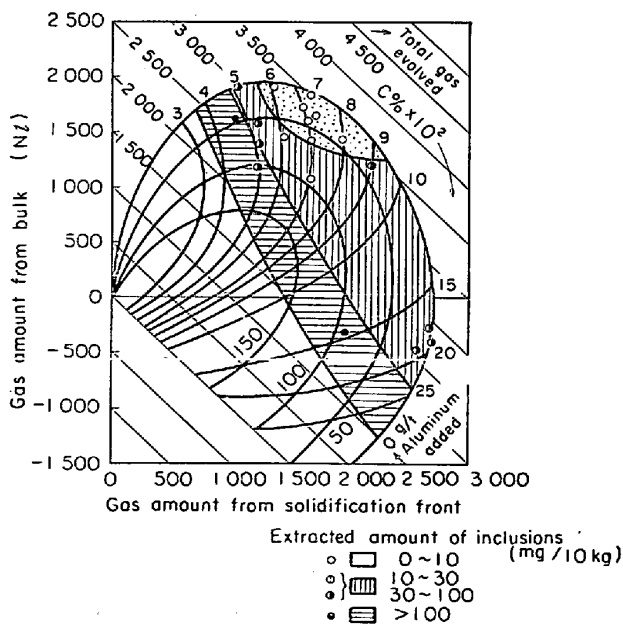


Fig. 16. Relation between gas amount and the non-metallic inclusions extracted from rim-middle-zone.

いる。またリミングアクションの全強度 V_{tot} は Fig. 14 と類似の傾向をもち、またリミングアクションの持続時間 (T_c) は Fig. 15 と類似した傾向を示す。

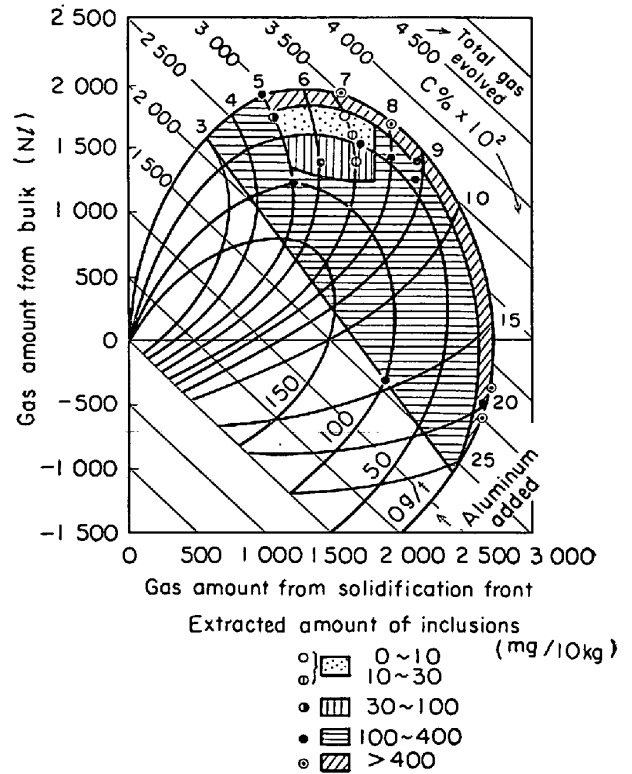


Fig. 17. Relation between gas amount and the non-metallic inclusions extracted from core-bottom-zone.

delayed time (T_D) についてはこれらの図のような傾向は見い出されず、他の要因の影響が大きいことが考えられる。

このように G_1 - G_2 図によつてリミングアクションの諸特性値が整理できることがわかったが、さらに同様な考え方をリム層ならびにコア底部の非金属介在物含有量に適用し Fig. 16, 17 のような結果を得た。Fig. 16 はリム層中央部における抽出介在物量とガス発生量の関係を示す。本図からリム層内の介在物量は全ガス発生量にほぼ反比例して減少していることがわかる。すなわち $C=0.06\sim0.09\%$ であつアルミニウム添加量が少ないほど、ガス発生量が多く、この場合にリム層内における大型介在物も少ない。これが炭素含有量の違いやアルミニウム添加量の増加によつて、ガス発生量が減少するに従い次第に増加する。このようなことから、リム層の大型介在物はガス発生量が多いほどよく洗滌除去されて少なくなるといえよう。Fig. 17 には、前述の手法によつて、底部コア部における抽出介在物量とガス発生量の関係を示した。本図からコア部底部ではアルミニウム添加量が 0 g/t の場合に炭素含有量に無関係に大型介在物が多いことである。しかも、炭素含有量が $0.05\sim0.08\%$ の場合において、アルミニウムを $10\sim50\text{ g/t}$ 加える

ことによつて、その大型介在物量が約 1/10 以下に減少することは重要なことであり、しかも、Al 添加量がこれ以上に増加すると逆に大型介在物量は大幅に増加する。すなわち、アルミニウムを添加しない場合には介在物量は多いが、わずかにアルミニウムを加えることによつて、これがきわめて少なくなる。しかしながら、加えすぎると大型介在物は再び多くなり、アルミニウム添加量に最適値があることを示している。

以上述べたようにガス発生量もしくはリミングアクションがリムド鋼中の非金属介在物含有量と密接な関係があり、しかも、必ずしもガス発生量にもリミングアクションにも一義的に依存するものではないということは、実作業においてはリミングアクションの強さをその鋼塊の用途に応じて適当に選ばねばならないことを示している。

5. 結 言

リムド鋼のリム層中央部ならびにコア部底部の非金属介在物含有量をリミングアクションのガス発生量や形態と関係づけ種々考察したが、概括的にはよく説明することができた。しかしながら詳細に見ると、必ずしも明解には説明づけえない場合もあることがわかつた。その理由は、リミングアクションの強度とガス発生量とは必ずしも対応しないことによるものである。この点については今後さらに明確にする予定であるが、本文中に述べたように、操業条件の選定によつて非金属介在物の量を任意に変化せしめることが可能であることがわかつた。したがって最終成品の特性にどの位置のどのような非金属介在物がとくに有害であるかを明らかにすることによつてその鋼種に適合した操業条件を選ぶことができるであろう。

文 献

- 1) A. HULTGREN and G. PHRAGMEN: Trans. AIME, 135 (1939), p. 133
- 2) E. SCHÜRMAN, W. GROETSCHEL, and O. PETER: Arch. Eisenhüttenw., 36 (1965), p. 619
- 3) E. SCHÜRMAN, P. HADJISAROSO, and O. PETER: Arch. Eisenhüttenw., 35 (1964), p. 739
- 4) H. KOSMIDER, H. NEUHAUS, H. J. KIRSCHNING, and W. MÜNSTERMANN: Stahl u. Eisen, 77 (1957), p. 133
- 5) 大久保, 榊井, 佐藤, 三好: 鉄と鋼, 54 (1968) 3, S 76, 77
- 6) 土肥, 田阪, 伊藤, 前出: 鉄と鋼, 55 (1969) 11, S 518, 519
- 7) S. FEIGENBAUM: Trans. AIME, 32 (1949), p. 225
- 8) W. HESS: Stahl u. Eisen, 79 (1959), S 1567
- 9) W. HESS: Stahl u. Eisen, 81 (1961), S 103
- 10) 加藤, 今井: 製鉄研究, 206 (1954), p. 424
- 11) V. PARMA: Hutnik Listy, 20 (1965) 2, p. 87
- 12) H. HOFF, H. LESSING, and G. MASING: Stahl u. Eisen, 76 (1956) 22, p. 1442
- 13) K. MORINAGA, S. IZUMI, H. HIROTANI, and Y. ITOH: Tetsu-to-Hagané Overseas, 4 (1964) 1, p. 35
- 14) 下川, 田上: 鉄と鋼, 37 (1951) 11, p. 503
- 15) H. RELLERMEYER and R. HAMMER: Stahl u. Eisen, 78 (1958) 22, p. 1505
- 16) P. NILLES: JISI, 202 (1964), p. 601
- 17) 大久保, 榊井, 佐藤, 三好: 鉄と鋼, 53 (1967) 3, p. 382
- 18) 松野, 岡野: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 1522
- 19) 浅野, 佐伯: 鉄と鋼, 55 (1969) 14, p. 1312
- 20) 石原: 鉄と鋼, 40 (1954), p. 403