

Table 2. Tensile properties of various positions in ingots.

Ingot No.	1										
	T			M ₁		M ₂			B		
	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3
Y. S. (kg/mm ²)		39.0	35.7	36.4	35.7	37.7	37.0	36.4	42.2		
T. S. (kg/mm ²)	46.8	52.0	52.0	43.5	51.4	47.4	46.8	46.8	50.7	53.6	53.6
Elong. (%)	0.4	13.4	21.0	23.8	23.8	13.6	9.0	11.0	12.8	17.0	21.0
R. A. (%)	0.8	17.7	32.6	39.4	38.3	38.3	22.8	29.0	21.6	26.5	26.5

Ingot No.	4						8									
	T		M		B		T			M			B			
	1	2	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Y. S. (kg/mm ²)	46.8	42.8	39.0	37.0	35.7	39.0	39.0	39.6	40.3	35.7	36.4	40.3	38.3		40.3	38.3
T. S. (kg/mm ²)	51.4	54.0	46.8	48.7	48.1	53.3	52.9	52.0	52.6	52.6	45.5	50.7	52.0	44.8	50.7	52.6
Elong. (%)	5.5	22.2	8.8	8.0	8.8	20.0	25.4	9.0	10.0	24.2	7.4	9.2	21.0	6.6	10.4	21.8
R. A. (%)	16.4	36.0	11.1	13.8	15.1	26.5	36.0	13.8	13.7	36.0	11.1	11.1	36.0	9.8	17.7	34.8

Table 3. Tensile strength and elongation of the rolled specimens.

Specimen	Without white negative segregation		With white negative segregation			
	A	B	C	D	E	F
Tensile strength (kg/mm ²)	53.6	55.1	52.6	53.0	53.0	53.6
Elongation (%)	25.0	23.6	25.6	26.9	20.0	18.2

ていない。

ロ) 加圧時期の早い場合には、加圧時直前まで未凝固であつたと推定される部分は、サルファープリントに白くあらわれ、この部分の、各種化学成分、非金属介在物は他の部分に比較して低値を示す。

ハ) 鋼塊ままの材力試験結果では、白色負偏析帯の部分は、多少材力的に他の部分と異なるが、大きな相違はない。

ニ) 圧延後の材力は、白色負偏析帯にはほとんど影響を受けない。

ホ) 本試験結果より、鋼塊の凝固過程において、未凝固部分を残す状態で圧力を加え、いわゆる加速凝固せしめた場合、その時期が適当であれば、最初の目的通り、内部性状の健全な鋼塊が得られることが推定せられる。

(92) 含硫鋼の凝固速度と硫化物系介在物の生成についての予備実験

(鋼の凝固速度と鋼塊組織に関する研究—II)

東京大学、工学部 工博 荒木 透
 金属材料技術研究所 ○平井 春彦
 愛知製鋼 小島 是彦

Preliminary Experiments on the Solidifying Rate and Formation of Sulfide Inclusions in Resulfurized Steels.

(Studies on the solidification process and structure of steel ingot—II)

Dr. Tōru ARAKI, Haruhiko HIRAI and Yoshihiko KOJIMA.

1. 結 言

著者らは前報において低炭素系含硫鋼のS含有量、脱酸条件および凝固速度を変動させたモデル的凝固実験を行い、その際生成する硫化物系介在物の偏析、組成、型態、分布などを調べたが今回はこれに引続き高炭素系含硫鋼の凝固速度と硫化物系介在物について調べた結果ならびに市販硫黄快削鋼について凝固速度を変化した結果を調査したので報告する。

2. 実験方法

試料の溶解装置、溶解方法は前報と全く同様で攪拌効果を抑制した装置を用いた。また実験素材(C: 0.15%, Si: 0.26%, Mn: 0.53%, O: 0.0083%, N: 0.0143%)も前報と同一素材を用いた。Cの添加にはFe-C合金を

Table 1. Chemical composition of each part in ingot and coil moving rate.

No.		C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	Sol. Al (%)	O ₂ (%)	Coil moving rate (mm/min)
L211	T	0.41		0.50	0.14			1.5
	M	0.36		0.48	0.11			
	B	0.35		0.48	0.10			
L212	T	0.45		0.50	0.18		0.0033	6.5
	M	0.29		0.52	0.09		0.0040	
	B	0.28		0.53	0.09			
L221	T	0.42	0.29	0.51	0.29	0.002		1.5
	M	0.42	0.29	0.50	0.25	0.002		
	B	0.42	0.29	0.49	0.25	0.003		
L222	T	0.43		0.52	0.26		0.0049	6.5
	M	0.28		0.54	0.13		0.0046	
	B	0.26		0.54	0.13			
LM211	T	0.41		1.41	0.14			1.5
	M	0.33		1.29	0.09			
	B	0.33		1.30	0.09			
LM212	T	0.36		1.39	0.15		0.0042	6.5
	M	0.28		1.04	0.09		0.0032	
	B	0.28		1.05	0.11			
A211	T	0.42	0.26	0.50	0.19	0.035		1.5
	M	0.41	0.28	0.50	0.17	0.029		
	B	0.39	0.27	0.50	0.18	0.029		
A212	T	0.45	0.27	0.49	0.17	0.033		6.5
	M	0.30	0.27	0.50	0.09	0.007		
	B	0.30	0.28	0.50	0.09	0.007		
A221	T	0.46	0.28	0.48	0.29	0.090	0.0044	1.5
	M	0.31	0.29	0.48	0.17	0.004	0.0037	
	B	0.30	0.26	0.48	0.15	0.003		
A222	T	0.43	0.28	0.49	0.26	0.064	0.0055	6.5
	M	0.31	0.29	0.50	0.16	0.013	0.0035	
	B	0.30	0.27	0.51	0.18	0.012		
AM211	T	0.42	0.31	1.34	0.15	0.116		1.5
	M	0.39	0.29	1.19	0.13	0.032		
	B	0.39	0.28	1.19	0.13	0.032		
AM212	T	0.46	0.28	1.52	0.21	0.097		6.5
	M	0.38	0.29	1.22	0.14	0.032		
	B	0.37	0.28	1.16	0.15	0.017		

所定量坩堝中に装入し、またSの添加は純硫化鉄鉱(FeS₂)を用いAl脱酸したものとAl無添加の2種類のものについて行なった。また約1.5%Mnを添加した試料についても実験を行なった。各種試料の調整ならびに試料採取位置も前報と同様である。

市販硫黄快削鋼の凝固速度を変えた実験でも装置、方法、坩堝など前報と同一である。ただコイル移行速度を0.5, 1.2, 5.6, 12 mm/minおよびコイルを上昇せず急冷した試料の5段階に変えた。

3. 実験結果および考察

3.1 化学分析結果

Table 1に化学分析結果を示す。酸素分析は液体空気の凝縮系を有する測圧式真空溶融法にて行なった。Table 1より明らかなように低炭素の場合とは異なりCの

偏析が著るしい。また酸素分析値はAl脱酸したものとししないもの間に有意差は認められなかった。またTable 2に市販硫黄快削鋼の実験条件および鋼塊中の数箇所を分析した結果を示した。

3.2 Sのマクロ偏析

各鋼塊の縦断面のSプリントを観察した。前報の低炭素鋼の場合は凝固速度のおそい試料が速い試料に比しわずかながらSのマクロ偏析の著るしい結果を得たが、本実験では大部分の試料は凝固速度の速い方がマクロ偏析が大きい。これら高炭素系試料と前報の低炭素系試料についてSのマクロ偏析の度合を[T部の%S]/[M部の%S]=S_Sとして比較すると高炭素系試料の方がSのマクロ偏析は大きいことがわかる。

また市販快削鋼の場合は凝固速度のおそいNo.1, No.2,

Table 2 Coil moving rate solidification velocity and chemical composition of each part in ingot.

No.	Coil moving time	Coil moving distance	Solidification distance	Coil moving rate	Solidification velocity
1	85min	46 mm	30 mm	0.5 mm/min	0.4 mm/min
2	48	58	57	1.2	1.2
3	12	67	66	5.6	5.5
4	6.5	79	—	1.2	—
5	0	0	—	—	—

No.	*analytical position	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al(total) (%)
1	0.7 cm	0.13	0.18	1.16	0.016	0.123	0.004
	2.1	0.13	0.21	1.16	0.017	0.121	0.008
	3.7	0.13	0.21	1.16	0.016	0.134	0.008
2	0.6	0.13	0.18	1.40	0.016	0.130	0.004
	2.0	0.13	0.16	1.55	0.016	0.130	0.003
	3.8	0.13	0.16	1.50	0.017	0.124	0.002
	5.0	0.13	0.18	1.35	0.017	0.132	0.004
	6.4	0.14	0.16	1.27	0.016	0.140	0.006
3	0.6	0.13	0.18	1.20	0.016	0.137	0.004
	1.8	0.13	0.17	1.18	0.016	0.131	0.005
	3.9	0.13	0.17	1.18	0.014	0.137	0.004
	5.7	0.14	0.18	1.18	0.016	0.137	0.004
4	0.6	0.13	0.18	1.18	0.015	0.139	0.003
	1.6	0.13	0.19	1.18	0.013	0.137	0.004
	3.0	0.13	0.18	1.19	0.014	0.131	0.004
	4.3	0.13	0.19	1.20	0.015	0.140	0.003
5	0.6	0.15	0.17	1.19	0.016	0.134	0.004
	4.8	0.15	0.17	1.21	0.018	0.137	0.005

※ Analytical position : Disance from bottom fo steel ingot

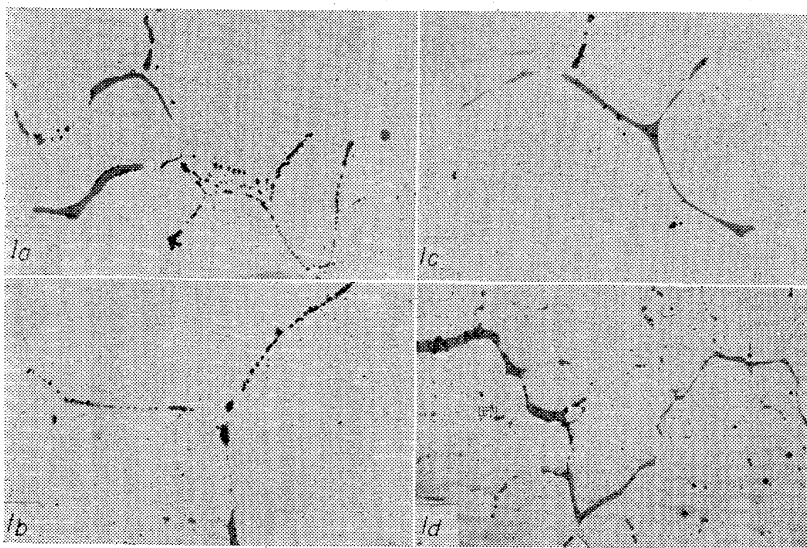
においてマクロ偏析が認められたがその他の試料中では認められなかった。

3.3 硫化物の型態および分布

硫化物の型態, 分布の凝固速度別による差は明瞭に認

められなかった。高素炭系試料には一般に低炭素系試料に比べ、また Al 含有試料は Al 無添加試料に比べ硫化物とマトリックスの共晶状析出が多く見られこれらはすべて MnS である (Photo. 1-a)。またこの共晶硫化物は試料により析出している場所が異なる。従つてこの共晶状硫化物は凝固速度の影響とともに組成の相違による影響が考えられる。また粒界析出の場合 MnS はすでに知られているように点状で析出しているのに対して FeS は膜状に析出する傾向がある (Photo. 1b, 1c)。また方向性のある硫化物分布は柱状晶の発達と関係して S プリントと同様高炭素試料程、また Al 添加試料ほど多い。さらに A-221 の T 部にみられた鋼塊横割れ近辺の硫化物の析出状態を観察した結果、割れに沿つて平行に硫化物の多い zone が認められた (Photo. 1d)。従つてこのような方向性のある硫化物は鋼塊割れなどの欠陥の原因になると考えられる。

市販硫黄快削鋼の凝固速度のおそい No.1, 2 では T 部に粒界, 粒内均一に硫化物が分布しているところが多く, M 部では柱状晶境界部に硫化物に富む zone が多く見られ, B 部には大きな硫化物と点状に連なる小さな硫化物の混在が見られた。FeS は各部にわずかながら存在し, その量は T 部にいくほど多くなつて



Ia: Entectic sulfid and FeS ×280
 Ib: MnS inclusions of grain boundary ×280
 Ic: FeS inclusion of grain boundary ×280
 Id: Sulfide inclusion near crack of ingot ×110 (3/5)

Photo. 1. Various type of observed sulfide inclusion.

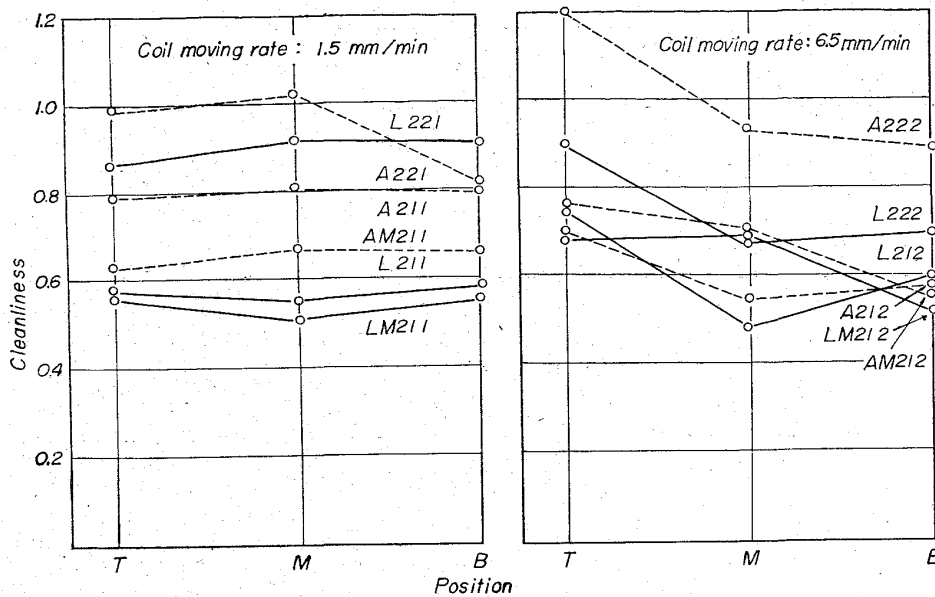


Fig. 1. Cleanliness values at each position of ingot in different solidifying rate.

いる。No. 3 では T, M, B 各部に MnS の共晶析出が発達している。M部では硫化物に富む zone が見られるがその方向は横方向であり zone の巾もせまい。No. 4, 5 では全体的に共晶状硫化物が大部分である。また FeS は No. 3, 4, 5 にはほとんど認められなかつた。また一般にコイル移行速度の小さい場合には核発生よりも結晶の成長が優先すると考えられるが検鏡観察の結果も凝固速度のおそい試料ほど柱状晶がよく発達している。

3.4 硫化物系介在物の清浄度, ミクロ偏析

各試料の各部について J. I. S. 点算法により介在物の面積分布を測定した。その結果を Fig. 1 に示す。この結果より見ると試料各部の清浄度は大体 S 分析値と対応してコイル移行速度の速い方が偏析の著しいことを示している。また各試料各部の全硫化物中にしめる FeS の割合は鋼塊上部へいくにしたがつて FeS が生成し易くなるのが判る。またこの傾向はコイル移行速度 1.5, 6.5 mm/min の何れにも認められた。

つぎに硫化物のミクロ偏析の程度を点算法により測定した。測定は直線状に発達した柱状晶を対象とした (S プリントで検知できるとくに大きな柱状晶であつてその巾は最大 1 mm)。柱状晶の成長方向に平均 15 視野について測定しその位置における清浄度を求めた。その結果の一例を Fig. 2 に示す。この結果より柱状晶内外の硫化物のミクロ偏析は凝固速度のおそい試料の方が大きいことがわかる。しかしこの傾向は Mn 含有量の少ない試料では凝固速度のおそい試料の方が柱状晶内外とも FeS が高かつた。

またマクロ偏析との比較のために試料として T-M 部の境界線が明瞭でかつ直線的な A212 および A222 について境界線に平行に 30 視野清浄度を測定した。その結果を Fig. 3 に示す。

これらの結果から一次結晶内部における偏析度はマクロ偏析の程度に比べかなり大きいことがわかる。すなわち一次結晶偏析度, (柱状晶境界の清浄度)/(柱状晶内の

清浄度) は 2~5 程度であるのに対してマクロ偏析度, (T 部の清浄度)/(M 部の清浄度) は 2 以下である。これは凝固過程で溶質の濃縮液が樹枝状柱状晶間にトラップされる度合いが大きく, マクロ的な固-液界面の前方へ溶質が拡散と同時に必ずしも継続的に押し出されてゆかないことを意味すると考えられる。これは本実験に用いた比較的凝固速度が速く攪拌のない条件では, 柱状晶の成長過程で S は C によりその活量を増大することと相まって, 柱状晶の進行方向前面へ溶質が拡散しつつ液相が濃化するのみならず, むしろ横方向へ移動して取り残されることによる偏析現象が著しい結果と思われる。従つて境界部分は周囲の柱状晶からの濃縮液が集まりトラ

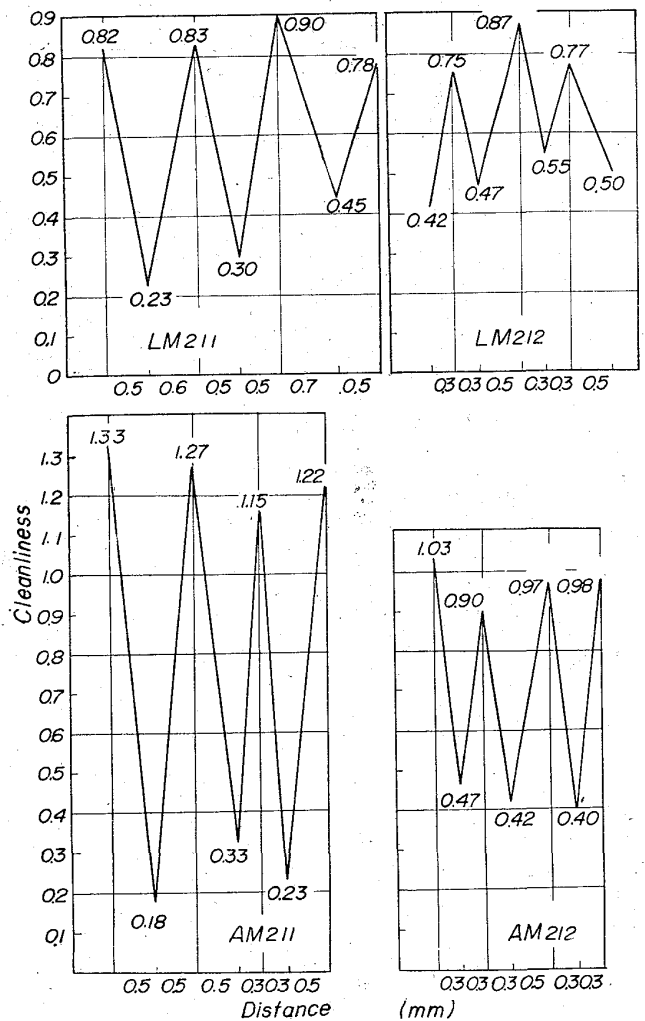


Fig. 2. Relation between cleanliness of MnS inclusion in columnal crystal or boundary region and distance.

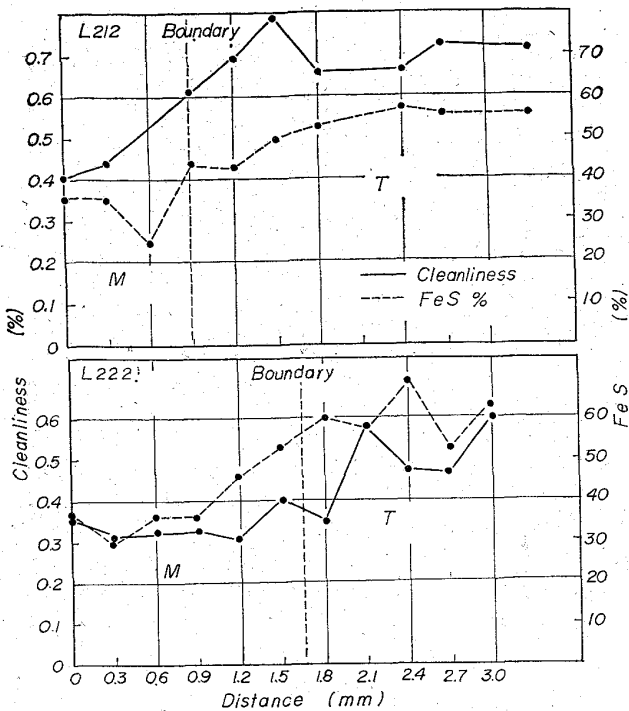


Fig. 3. Cleanliness values at the vicinity of boundary region between controlled solidifying part and quenched part.

ップされた結果できたものと考えられる (Fig. 3).

市販快削鋼の場合も高炭素系試料と同様に柱状晶内と境界部およびM部とT部との境界部についてマイクロ偏析を調べた。その結果は柱状晶境界部に濃縮される硫化物の濃縮程度は凝固速度がおそいほど大きいことを示しており、またM部とT部との境界部分のマイクロ偏析度を比較すると凝固速度のおそいほど著しい傾向が定性的に認められ、高炭素系試料の場合との相違が見られた。

3.5 平衡分配係数について

各種溶質元素の実効分配係数と平衡分配係数の間には次式の関係が認められている^{3)~5)}。

$$\ln(1/k-1) = \ln(1/k_0-1) - f\delta/D \dots\dots\dots (1)$$

δ : 界面に接して生ずる拡散層の厚さ

D : 拡散定数 (溶鉄に対する溶質の)

f : 溶融帯移動速度

k : 実効分配係数

k_0 : 平衡分配係数

しかし δ は溶鉄中の拡散層の厚さであつて溶鉄の攪拌された条件では δ は十分小さな値を示すが、本実験の溶解条件では攪拌がほとんどなく、換言すれば実際の鋼塊の凝固条件に近く、上に考察した理由などによりマクロ偏析の値はあてはまらないのでマイクロ偏析の値を代入して k_0 を求めたが大きなへだたりを示し、満足な値が偏析元素について得られなかつた。これは溶質間相互作用、凝固反応条件その他について検討を要するものと思われる。

4. 総 括

(1) 前報で行なつた低炭素系含硫鋼に比べ0.4%程度の高炭素系含硫鋼の場合はCのマクロ偏析が顕著であり、これはSの偏析生成機構とも関連があると思われる。

る。

(2) Sのマクロ偏析と凝固速度の関係については、柱状晶の生成機構、比較的速い凝固速度および第3、第4成分との相互作用、溶湯の攪拌条件などがSの偏在濃縮に関連しマイクロ偏析の観察結果とあわせ考察することができる。マクロ偏析は低炭素鋼とは逆に凝固速度の速い試料がおそい試料より大であつた。また同一凝固速度の試料ではAlを添加したものが添加しないものよりもマクロ、マイクロとも偏析量が大きく、Mnの多い試料ではマイクロ偏析が大きく、マクロの傾向と凝固速度の関係は不明確であつた。

(3) 分布硫化物中にFeSの占める割合は各試料とも凝固開始の底部より上部に行くに従つて増加しており、この現象は低炭素系試料の場合と同一傾向を示した。

(4) 市販硫黄快削鋼の実験ではSのマクロ、マイクロ偏析ともに凝固速度が小なるほど大であり、この傾向は前報の低炭素鋼の結果と一致する。また硫化物のFeSは凝固速度のおそい試料中にかなり観察された。

文 献

- 1) 平井, 荒木, 松隈, 小島: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 816
- 2) 円羽, 下地, 新明: 学振資料, 19 委 6765
- 3) 大岡, 三村, 矢野, 添田: 日本金属学会誌, 27 (1963), p. 342
- 4) W. A. TILLER: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 192 (1959), p. 338
- 5) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 2175

669.141.241.4-412:620.192.47

(93) 中炭リムド鋼塊の気泡の分布について

富士製鉄, 室蘭製鉄所

伊藤幸良・星野 彰・○伊藤 秀雄

On the Distribution of Blowholes in the Medium-Carbon Rimmed Steel Ingots.

Yukiyo ITOH, Akira HOSHINO and Hideo ITOH.

1. 結 言

室蘭製鉄所では生産品種の主体である極軟リムド鋼の偏析その他の性状、これらにおよぼす造塊条件の影響などについてすでに報告してきたが¹⁾²⁾、今回、幾分C%の高い中炭リムド鋼についても調査を行なつた。

中炭リムド鋼は磨棒や電線管材として用いられているが、造塊時のリミングアクションが比較的悪いために、極軟リムド鋼と異なつた特徴を持つている。特に、底部の管状気泡が表面近くから発達しているほか、頭部側リム層にも気泡が見られることがあり、これらの気泡は表面欠陥を発生するおそれもあるので注意を要する。また、パイプ材として使用すると大型非金属介在物に起因すると考えられる溶接部欠陥を発生することもある。以下に、主として気泡の分布その他の表面層性状を述べ、あわせて偏析および大型介在物についても述べる。気泡