

リムド鋼の熱間加工性に關する研究* (II)

池島俊雄**・森島達明***

STUDY ON THE HOT-WORKING PROPERTIES OF RIMMED STEEL (II)

Toshio Ikeshima and Tatsuaki Morishima

Synopsis:

In the 1st report, (Tetsu-to-Hagané Vol. 41, No. 1, 1955 p. 17~22) it was shown that the black spots acted as defect points for the hot working. In this report, the following studies were carried out. The chemical compositions of the black spots were analysed and their microstructures were examined. About 0.15% of sulphur and 0.4% manganese were contained and sulphide particles were concentrated remarkably in these spots. The hot-working properties of steel containing the same amount of sulphur as that of the black spots were investigated by the impact-bending tests and tensile tests at high temperatures. By this investigation, it was shown that the hot-working properties were injured when the sulphur content surpassed 0.15%. Therefore, sulphur was found most influential factor for defect points. But increase of manganese content was effective to the improvement in the hot-working properties of the high-sulphur steel.

Beside the numerous MnS inclusions, FeS inclusions were detected in the black spots of some billets. When the billets or ingots containing FeS inclusions were heated at the temperature from 800°C to 1200°C for several hours, it was found that the FeS converted into the MnS.

I. 緒言

第1報¹⁾では丸鋼横断面をマクロ・エッチした際に現われる Black spots が熱間加工に対する欠陥となり、穿孔の場合にもこれが原因となつて疵が発生することを明らかにした。本報においては Black spots が何故欠陥となるかを明らかにした結果、ならびにリムド鋼中の FeS inclusion は加熱により MnS に変化することを実験的に確めた結果についてのべる。

II. Black Spot の成分およびその組織

第1報の結果から Black spots が欠陥となることが判つたが、然らば何故欠陥となるか、その原因を明らかにする必要がある。そこでその原因を明らかにするために Black spots の成分およびその顕微鏡組織を調べた。

1. Black Spot の分析結果

適当に選定した 10 チャージから、各々鋼塊 (1.2t) 1 本宛選び、丸鋼に圧延後トップ15%切捨てた所で横断面をマクロ・エッチし、φ2mm のドリルで Black spots の分析試料を採取し、10チャージをよく混合して分析した。その結果を Table 1 に示す。S以外の成分にはそう著しい偏析はないが、Sの偏析は著しく、10チャージのレードル分析の平均Sは0.025%であるに対し、Black spots では実に5.48倍の0.137%という高い

値を示している。分析試料の採取法が余り厳密なものではなく、試料中には他の部分も相当含まれているはずで更に厳密に Black spots の部分のみを分析すれば、この結果を相当上廻るものと思われる。Sの熱間加工性に及ぼす影響はよく知られた事実であつて、Black spots がこの様にSが高いことは当然その害を考えなければならぬ。

Table 1. Results of chemical analysis of black spots

	C	Si	Mn	P	S	Mn/S
a... Black spots	0.32	tr	0.43	0.017	0.137	3.12
b... Ladle analysis (mean value of ten charges)	0.15	0.02	0.34	0.013	0.025	13.60
a/b	2.13	1.0	1.27	1.31	5.48	

2. Black Spots の顕微鏡組織

多数の丸鋼に就いて内部の顕微鏡組織を調べたが、そ

* 本論文は昭和23年10月、昭和24年4月、昭和24年10月および昭和27年11月本会講演大会において講演したものを総括したものである。

** 住友金属鋼管製造所、工博

*** 住友金属鋼管製造所

の結果を総括すると次の様になる。Black spots には inclusion が極めて多く、inclusion はこの部分に局部的に密集している。第1報のマクロ・エッチの項でのべた色の薄い斑点にもかなり inclusion が見られる。併し Black spots に較べると、はるかに inclusion は少い。コア内部の地の部分は斑点部と異つて inclusion は僅かである。Fig. 1 に Black spots と色の薄い斑点部の inclusion の状態の一例を示す。これらの inclusion は大部分 Sulphide で、色の薄い斑点部においては Inclusion の型は何れも MnS のみである。Black spots においては大体において MnS 単独の場合が多いが、MnS の外に FeS が認められる場合もかなりある。inclusion が MnS のみであるか或いは FeS が混在するか、その型の相違は Black spots が欠陥となることに対する必ずしも決定的な要素ではないが、FeS が混在する場合、MnS 単独の場合よりも当然その害が大きいたことが考えられる。又この結果から Black spots と色の薄い斑点の色の相違は inclusion の多少に基くものと推察される。即ち Black spots と色の薄い斑点部では inclusion の量に相当差があり、Black spots では inclusion が極端に多いが、この様に inclusion の多いものはマクロ・エッチした際特に黒く見え、inclusion の少ないもの程その色が薄く見えるものと考えられる。尙これらの斑点部においては Sulphide inclusion が多い以外、その外に特に熱間加工性を害する様な割れ、その他の組織上の欠陥は見られなかつた。

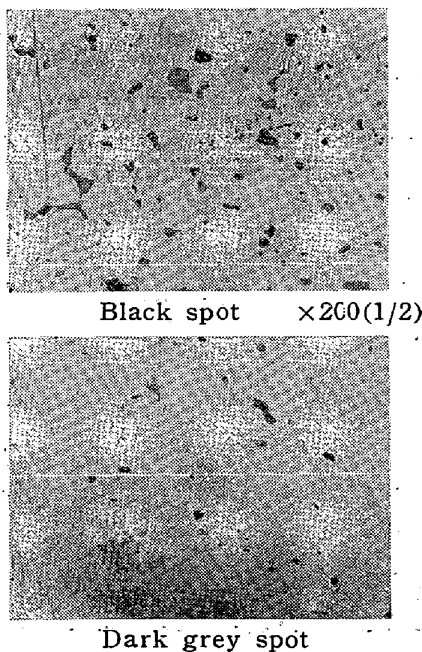


Fig. 1. Microphotographs of inclusions in black spot and dark grey spot

III. 熱間加工性に及ぼす S および Mn の影響

以上の実験結果から Black spots には Sulphide inclusion が多く、S が局部的に著しく偏析していることが判つた。A. Niedentahl の論文²⁾等にも見られる如く、この様に S が高いことは当然その害が考えられる。そこで S が果してどの程度実際に鋼の熱間加工性を害するか、二、三の実験を行つてその影響を確かめた。又 S の脆性に対する Mn の効果は大きいものと考えられるので、Mn の影響に就いても併せて検討した。

1. 高 S 鋼の熱間加工性

実際に用いた材料は 50 kg 高周波炉で溶解した Table 2 に示す 5 チャージである。S 0.15 は前述の Black spots の成分に近いものをねらつたもので、S 0.10, S 0.20, S 0.25 はその前後を考えたものである。S 0.20 だけは Mn が極端に低くなり、Mn/S は 1.72 より小さくなつた。S 0.03 は比較用の S の少いものである。後述するが加熱が不充分の場合には鋼中の Sulphide inclusion は MnS になりきらず不平衡の FeS が残るので、試片の製作に当つては充分加熱、鍛造を繰返し Sulphide としては MnS の型とし、不平衡の FeS は残らない様に注意した。鍛造後顕微鏡で Inclusion の状態を調べたが凡て MnS であつた。S 0.20 は Mn/S が 1.72 より小さいので鍛造後も FeS が残るはずであるが、これでも inclusion の色が他に較べて MnS としては多少黄色味を帯びていると思われる程度で、特に明瞭な FeS は認められなかつた。これは MnS が相当 FeS を固溶し得ることによるものと考えられる。

Fig. 2 は高温シャルピー試験の結果で屈曲部における亀裂の状況を示す。S 0.03 では如何なる温度でも亀裂は発生していないが、S 0.10 以上では S が高くなるに従つて順次亀裂が大きくなり、加工性が悪化することを示す。特に Mn/S < 1.72 の S 0.20 では完全に破断している。Fig. 3 は高温抗張試験における断面収縮を示す。この結果はシャルピー試験の結果とよく一致して

Table 2. Chemical compositions of steels containing sulphur.

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mn/S
S 0.03	0.17	0.09	0.43	0.018	0.032	0.19	13.44
S 0.10	0.20	0.06	0.33	0.011	0.109	0.22	3.02
S 0.15	0.23	0.05	0.36	0.018	0.157	0.24	2.29
S 0.20	0.20	0.04	0.26	0.014	0.197	0.22	1.32
S 0.25	0.30	0.05	0.48	0.020	0.254	0.20	1.89

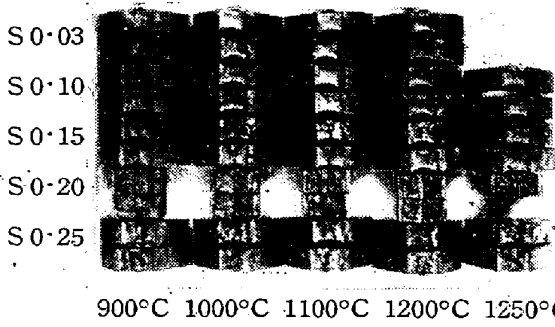


Fig. 2. Results of impact bending tests of steels containing sulphur at high temperatures.

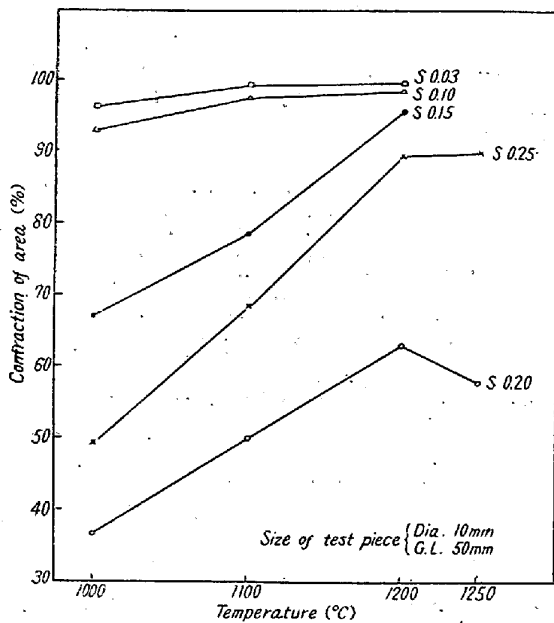


Fig. 3. Results of tensile tests of steels containing sulphur at high temperatures.

おり、 $S=0.15\%$ 以上で断面収縮が著しく減少している。伸に就いても断面収縮と略同様の結果が認められた。

2. Mn の影響

実験に用いた材料は S 量は 0.15% および 0.20% 一定とし、Mn 量を変えた Table 3 に示す 7 種類である。これに就いて加工性を調べたが、その結果の一例として Fig. 4 に高温抗張試験における断面収縮を示す。図から判る様に Mn 量の増加と共に加工性が良好となる。Mn/S が 1.72 以下の場合には加工性が極端に悪く、Mn/S が 1.72 以上であるときはこの比が大きい程よい。従つてこの結果から Mn の効果は大きいことが判る。

以上の実験結果から $S=0.15\%$ 以上では鋼の熱間加工性は著しく悪化することが判つた。従つて Black spots

Table 3. Chemical compositions of steels containing sulphur and manganese.

Series of experiments	Mark	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mn/S
S 0.15%	Mn 0.40	0.230	0.050	0.360	0.0180	0.1570	0.24	3.02
	Mn 0.60	0.220	0.120	0.620	0.0150	0.1660	0.19	3.74
	Mn 0.80	0.230	0.200	0.850	0.0130	0.1440	0.20	5.90
S 0.20%	Mn 0.30	0.200	0.040	0.260	0.0140	0.1970	0.22	1.32
	Mn 0.40	0.220	0.070	0.360	0.0140	0.1900	0.19	1.90
	Mn 0.60	0.260	0.050	0.670	0.0180	0.1920	0.20	3.49
	Mn 0.80	0.210	0.060	0.840	0.0140	0.1760	0.19	4.78

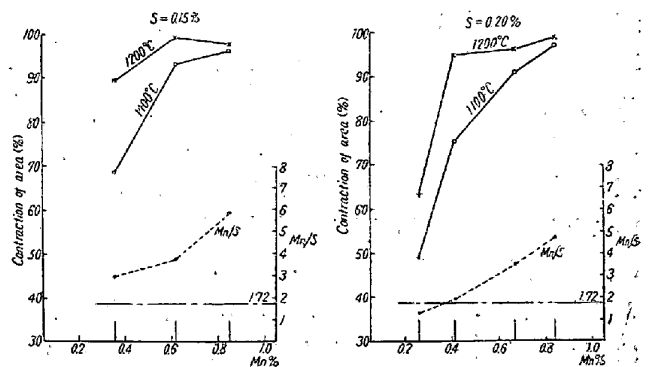


Fig. 4. Effect of manganese on hot workability of steels containing sulphur.

が欠陥となることに対しては S が主要な原因をなすものと考えられる。併し Mn を高くすると S の害は相当軽減されるので、かかる高 S 鋼に対する Mn の効果は大きい。

IV. 加熱による Sulphide Inclusion の変化

Black Spot の組織の項でも述べた如く、Black spots 中に含まれる Sulphide inclusion は大部分の丸鋼では MnS 単独であるが、中に FeS がかなり混在する丸鋼も認められた。これは S が高く、Mn の低い丸鋼に概して多い傾向はあるが、必ずしもその成分には関係しない。又 Black spots における S の局部的偏析が著しく Mn/S の値はかなり低い値を示すものとは考えられるが、この S の偏析程度の大小が直接の理由とも考え難い。又鋼塊に就いて Sulphide inclusion を調べた結果、Fig. 5 にその例を示した如く、鋼塊では逆に大部分が FeS 又は FeS-MnS 混合物で MnS は寧ろ逆に少いことが判り、鋼塊と丸鋼で FeS の量に著しい差があることを発見した。この様に S および Mn 量から考えると当然 MnS になつて然るべきと思われるに拘らず丸鋼に FeS が見られること、或いは鋼塊と丸鋼では FeS の量に差があること等の事実は、S および Mn の含有量以外に FeS の存在に影響する何らかの他の原因があるものと

考えざるを得ない。そこでその原因として次の如く推定した。

Sは固体状態ではFeに不溶であるので、鋼中においてはFeSがMnSの型で存在し、その間には(1)式の如き反応が成立する。



これは可逆反応であることは一般的によく知られているが、この反応に関し名大の佐野教授は熱力学的固体状態におけるその平衡恒数

$$K_c = \frac{[\text{MnS}][\text{Fe}]}{[\text{FeS}][\text{Mn}]} = \frac{[\text{MnS}]}{[\text{FeS}]} \times \frac{[\text{Fe}]}{[\text{Mn}]} \dots \dots (2)$$

を計算され、一定のMn%において平衡状態で存在する[MnS]と[FeS]の%を計算されている。その結果をFig. 6に示す。これから判る様に高温になるに従いFeSが多くなり、逆に温度が下るに従ってMnSが多くなる。同様の関係は又A. McCance³⁾の論文にも見られる。そこで鋼塊が凝固後冷却する場合、温度の降下と共にFeSが減少し次第にMnSが多くなる。そうしてある程度MnSが多くなつてくるとFeS-MnSの平衡状態図⁴⁾から判る様に、MnSに相当FeSを固溶し得るので、残りのFeSはMnSにとけてSulphideの型としてはMnS(β)のみとなる。更に温度が下り(1)式の反応が右に進むと、MnS(β)としての相には変化はないが固溶したFeSは減少し次第に純然たるMnSに近づくものと考えられる。従つてリムド鋼の如きMn及びSの含有量のものでは、(1)式が完全な平衡状態にある場合、常温ではFeSが残らず凡てMnS(β)になるべき筈である。然るに実際にはFeSが多く存在していることは鋼中のMnの拡散が割合遅いと考えられるために、鋼塊が凝固後常温迄冷却する過程において(1)式の反応が完全に平衡せず、高温におけるFeSがそのまま常温にもたらされたことによるものと推察される。

この様に考えるときFeSを含むリムド鋼は、ある適当な温度、時間で加熱すると、平衡状態がもたらされ、FeSをMnS(β)に変化せしめ得る可能性がある。そこで果してこの様な変化が実際に起り得るか否か実験で確かめてみることにした。

1. 実験 その1

実験に用いた材料は第1報のTable 1に示したものと同一のもので、Table 4に示す3チャージである。各チャージ1本の鋼塊[1.2t, 370mm角]を縦方向に4つに切断し、その1/4をφ80mmの丸棒に鍛造し、これを庄延工場の鋼塊加熱炉に装入し、1000°C附近で24hおよび96h加熱した。加熱後顕微鏡でBlack Spot

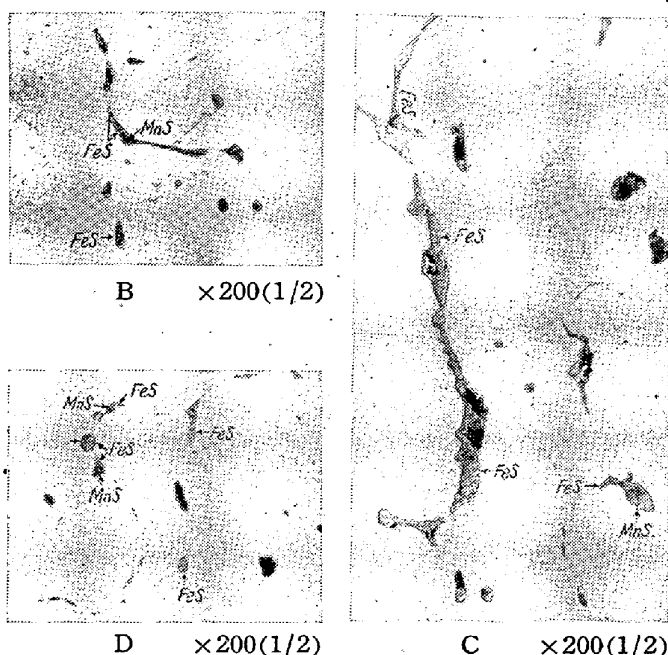


Fig. 5. Examples of sulphide-inclusions in ingots.

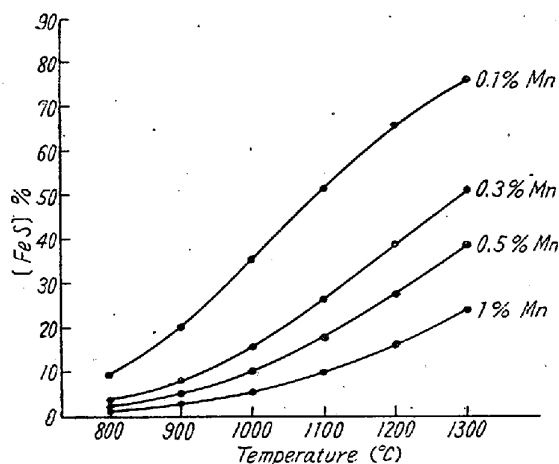


Fig. 6. Variation of [FeS] and [MnS] with temperatures.

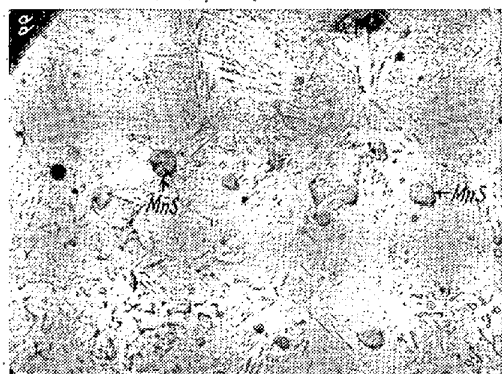
部におけるFeSの変化を調べた。顕微鏡でFeSかMnSかを区別する場合、FeSは黄色であり、MnSは青灰色であるので特別にetchしなくてもその色の相違から区別することは可能であるが、これらの実験では主として1%酒石酸でetchしてFeSとMnSを区別した。酒石酸でetchすると黄色のFeSには変化はないが、青灰色のMnSは黒くなるので、FeSとMnSは容易に区別出来る。加熱前にはBlack spots中にFeS或いはFeS-MnS混合物が多数存在していたが、24h加熱すると僅かにFeS-MnS混合物の残っている所もあつたが、大部分はMnSに変化しており、96hでは凡て完全にMnSに変化していた。加熱前と加熱後のinclusionの状態をFig. 7に示す。

Table 4 Chemical compositions of tested materials.

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mn/S
B	0.12	tr	0.25	0.014	0.036	0.19	6.9
C	0.15	"	0.29	0.013	0.026	0.22	11.2
D	0.12	"	0.25	0.014	0.041	0.13	6.1



Before heating ×200(3/5)



After heating (heating time 96h)

Fig. 7. Aspect of sulphide inclusions in black spots before and after heating.

2. 実験 その2

実験その2では直接鋼塊に就いて実験を行った。加熱に用いた鋼塊は Table 4 の B で試片は鋼塊のトップ附近から削り出し、管状電気炉で 800~1200°C の間で 1~15h 加熱した。ここでは FeS の変化量をやや定量的に取扱うために、検鏡の場合試片の研磨面中に存在する FeS, MnS-FeS および MnS の数を夫々勘定し次の如く FeS の量を表わした。

FeS 量 =

$$\frac{\text{FeS の個数} + \text{FeS-MnS の個数}}{\text{FeS の個数} + \text{FeS-MnS の個数} + \text{MnS の個数}}$$

実験の結果を Fig. 8 に示す。図は縦軸に

$$\text{FeS 残留\%} = \frac{\text{加熱後の FeS 量}}{\text{加熱前の FeS 量}} \times 100$$

をとっている。結果にはかなりばらつきはあるが、全体の傾向として加熱温度が高くなる程、又加熱時間が長

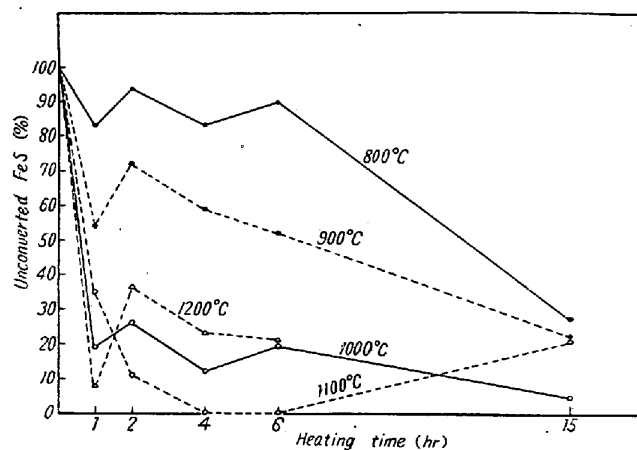


Fig. 8 Conversion of FeS→MnS by heating.

くなる程 FeS が減少している。結果のばらつきに就いては鋼塊では中間気泡或いは内部気泡附近の如く非常に inclusion が多く且つ FeS が多い所と、そうではない所があり、各試片で最初の inclusion の存在状態にかなり相違があつたので変化の仕方も各試片で若干の相違があり、これがためにばらつきを生じたものと考えられる。

以上二つの実験結果から初めの推定通り、リムド鋼中の FeS は加熱することにより実際に MnS に変化することが明らかになつた。尙 J. H. Whiteley⁵⁾⁶⁾ も、リムド鋼に就いてではないが、鋼中の FeS は加熱することによつて MnS に変化し得ることを認めている。

V. 総括

以上研究の結果を総括すると次の様になる。

Black spots が何故熱間加工に対する欠陥となるかを明らかにするために、Black spots の成分およびその組織を調べた結果、この部分には S が局部的に著しく偏析しており、少なくともその量は 0.15% 以上で、Sulphide Inclusion が極めて多いことが判つた。そこで Black spots と S が同程度に高い鋼に就いて S が実際に熱間加工性に及ぼす影響を調べた所、S=0.15% 以上では加工性が著しく悪化することが判つた。従つてこれらの結果から Black spots が欠陥となる主要な原因は S であると考えられる。Black spots が欠陥となることに対し、S 以外に現状の段階では究明困難な、例えば鋼中の酸素の問題等、尙その他の要素があるかも知れない。これらの問題に就いては本研究は必ずしも充分とはいえないが、本結果から一応 S が最も大きな原因と考えて特に誤りは無いものと思われる。尙 Mn を高めると S の害は相当軽減されることが判つたので、出来るだけ Mn を高くすることは望ましい。

Black spots 中の Sulphide は大部分の丸鋼では MnS

単独であつたが、中に FeS の混在する丸鋼もかなりあつた。この FeS の存在は $\text{FeS} + \text{Mn} \rightleftharpoons \text{MnS} + \text{Fe}$ 反応の不平衡によるものと考え、加熱に関する実験を行つた所、リムド鋼中の FeS は加熱により MnS に変化することが判つた。Black spots 中に FeS が存在することは black spots が欠陥となるための必ずしも決定的な要素ではないが、Sulphide inclusion が FeS の場合には MnS の場合よりも更に加工性が悪化することが考えられ、加熱による FeS \rightarrow MnS 変化の現象はリムド鋼の熱間加工性の観点より加熱が極めて意義あることを示すものである。

以上第1報、第2報の結果を綜合して熱間加工性の良好なリムド鋼を得るためには、次の手段を講ずる必要があることが判る。

- ① 硫黄の絶体値を下げること。
- ② 偏析を出来るだけ少くし、コア内部における black spot をなくすること。
- ③ マンガンの量を出来るだけ高くし、black spots

部における Mn/S の値を出来るだけ高くすること。

- ④ 加熱条件に注意し FeS を完全に MnS に変化させること。

最後に FeS \rightarrow MnS 変化に関し、有益な御教示を賜つた名古屋大学佐野教授に対し厚く感謝する。

(昭 29—8 月寄稿)

文 献

- 1) 池島, 森島: 鉄と鋼, 41(1955) No. 1 p. 17~22.
- 2) A. Niedentahl: Arch. Eisenh., 3 (1929/30), S. 79
- 3) A. McCance: I. & S. Inst., Symp. Steel-making, (1938), p. 331
- 4) 柴田: 金属の研究, 3 (1926) p. 403
- 5) J. H. Whiteley: 7th Rep. Hetero. Steel Ingots, I. & S. Inst., Spec. Rep., No 16 (1937), p. 23
- 6) J. H. Whiteley: Jour., I. & S. Inst., (1941) No. 2 p. 9

オーステナイト結晶粒の成長性に関する二、三の観察*

河 井 泰 治**・益 子 美 明**

SOME OBSERVATIONS ON GRAIN GROWTH CHARACTERISTICS OF AUSTENITE

Taiji Kawai and Yoshiaki Masuko

Synopsis:

As the first stage of a study on grain size controll in steel-making plant, the authors observed experimentally some problems as stated below, mainly from the view point of grain-growth characteristics of austenite:

(i) Change of grain size and grain-growth characteristics during melting and teeming practice,

(ii) Relation of grain size and grain-growth characteristics between a ladle sample and a finished product of the same heat,

(iii) Dependence of grain-growth characteristics upon the degree of duplication of grains.

Results obtained were as follows:

(1) In the case of melting of medium-carbon Cr-Mo steel in a basic electric arc furnace, as the reducing proceeds, austenite grains became finer and more uniform, and the coarsening temperature rose. And by the addition of Al, ansthenite grains became finer and the coarsening temperature rose higher, but as the time passed on, the coarsening temperature fell.

(2) In the case of 0.3% C (Al-killed) steel and Ni-Cr-Mo case-hardening steel, a finished product had nearly the same grain-growth characteristics as a ladle sample, and at 925°C both had the equal grain-size. But in the duplex-grained steel, a finished product had coarser

* 昭和 29 年 4 月本会講演大会にて講演 ** 住友金属工業株式会社製鋼所, 技術部研究課