

上注および下注造塊法と砂疵との関係について*

(鋼中非金属介在物, とくに砂疵に関する研究—IV)

成 田 貴 一**・宮本 醇**

On the Relation between Sand Marks and Top- and Bottom-Teeming Procedures.

(Studies on the nonmetallic inclusions, especially sand marks in steel—IV)

Kiichi NARITA and Atsusi MIYAMOTO

Synopsis:

With the chromium-molybdenum steel No.21 containing vanadium acting as the austenite grain refiner, which had been treated with calcium-silicide as deoxidizer, the authors examined top- and bottom-teeming procedures for ingot making, which had some effects on the occurrence of the sand marks.

Experimental results are as follows:

1. The occurrence tendency of the sand marks is a little more remarkable in the bottom-teeming than in the top-teeming.
2. Sand marks of the complicated and the amorphous types are found in the examined steel. The rate of the occurrence of the complicated type sand marks are more remarkable than that of the amorphous type sand marks.
3. No difference are found between top- and bottom-teeming procedures in the type of the sand marks and in the nonmetallic inclusions which constitute them.
4. Oxide inclusions in the examined steel mainly consist of MnO and SiO₂ and, in general, the bottom-teemed ingot has a little more oxide inclusions than top-teemed one. In the top-teemed ingot, oxide inclusions are rich in the top part of the ingot, while relatively poor in the middle and the bottom parts of it in quantity. In the bottom-teemed ingot, on the other hand, they are rich in the top and the bottom parts, but relatively poor in the middle part.
5. There is a correlation between the occurrence tendency of the sand marks and the quantities of oxide inclusions. Namely, forged or rolled steel containing many oxide inclusions has a greater possibility of the occurrence of the sand marks in comparison with forged or rolled steel which has less oxide inclusions.

I. 緒 言

鋼中非金属介在物とくに砂疵に関する研究の一環として、塩基性電気炉溶製のクロム・モリブデン鋼 21 種 (SCM21) を対象とし、砂疵発生傾向におよぼす (1) 造塊法すなわち上注と下注造塊法、(2) 脱酸剤および結晶粒度調整剤、(3) 溶鋼の大気酸化などの影響について検討をおこない、その一部はすでに前報^{1)~3)}において報告した。本報においては脱酸剤としてカルシウム・シリサイドを用い、オーステナイト結晶粒度調整剤としてアルミニウムよりも脱酸力が弱く、溶鋼中でほとんど酸化されないと考えられるバナジウムを添加した場合について、砂疵発生傾向におよぼす造塊法すなわち上注と下注造塊法の影響ならびに砂疵と非金属介在物とくに酸化物

との関係について検討をおこなった結果を述べる。

II. 供 試 材

1. 鋼種: クロム・モリブデン鋼 21 種 (SCM21)
2. 溶解: 10 t 塩基性電気炉
3. バナジウム添加: 精錬過程中還元期, スラグを白滓化したのち酸化バナジウム (V₂O₅) を散布し, カルシウム・シリサイドおよび電極屑を加えてバナジウム 0.1% を溶鋼中に還元添加した。
4. 造塊条件: 本研究においては砂疵発生傾向ならびに酸化物系介在物におよぼす上注および下注造塊法の影

* 昭和36年4月本会講演大会にて発表

** 株式会社神戸製鋼所中央研究所

Table 1. Details of top-and bottom-teemings.

Heat No.	Teeming procedure	Ingots	Killing time (mn)	Diameter of nozzle (mm)	Temperature of ingot case(°C)	1 st ingot		2 nd ingot		3 rd ingot		4 th ingot	
						Teeming temp. (°C)	Teeming time	Teeming temp. (°C)	Teeming time	Teeming temp. (°C)	Teeming time	Teeming temp. (°C)	Teeming time
KE 1161	Top	3 t × 4	5	28	100~120	1560	1'40''	1558	1'55''	1558	2'10''	1555	2'25''
KE 1162		3 t × 4	4	28	100~120	1559	1'40''	1553	1'50''	1552	1'50''	1550	2'20''
LF 1505		3.5 t × 3	3	28	100~120	1550	2'20''	1546	2'55''	1542	2'27''	—	—
LF 1504*		3.5 t × 1	5	28	100~120	1553	2'23''	—	—	—	—	—	—
LF 1456*		3.5 t × 1	3	28	100~120	1547	2'15''	—	—	—	—	—	—
KE 1163	Bottom	3 t × 4	6	60	100~120	Teeming Initial 1556°C, Final 1550°C, Teeming temp.						3'40''	
KE 1185		3 t × 4	4	60	100~120	1554°C,						5'10''	
KE 1187		3 t × 4	6	60	100~120	1554°C,						4'20''	
LF 1504*		3.5 t × 2	5	28	100~120	1550°C,						3'40''	
LF 1456*		3.5 t × 2	3	28	100~120	1543°C,						4'10''	

Note: The (*) marked heats given in the table indicate that one ingot made by the top-teeming procedure and two ingots made by the bottom-teeming procedure from molten steel of the same heat.

Table 2. Chemical composition of specimens (%).

Heat No.	Teeming procedure	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Recovery of vanadium
KE 1161	Top	0.18	0.71	0.28	0.009	0.010	0.14	0.07	1.04	0.26	0.100	100
KE 1162		0.17	0.70	0.26	0.013	0.013	0.14	0.07	1.06	0.24	0.087	87
LF 1505		0.18	0.67	0.31	0.013	0.015	0.20	0.10	1.08	0.24	0.116	116
KE 1163	Bottom	0.16	0.69	0.23	0.014	0.014	0.12	0.07	1.08	0.25	0.097	97
KE 1185		0.18	0.67	0.26	0.011	0.012	0.19	0.11	0.93	0.21	0.106	106
KE 1187		0.16	0.72	0.28	0.008	0.010	0.15	0.12	1.06	0.26	0.094	94
LF 1504	Top & Bottom	0.17	0.65	0.28	0.012	0.010	0.12	0.08	1.07	0.25	0.108	108
LF 1456		0.18	0.74	0.24	0.013	0.010	0.18	0.06	1.05	0.24	0.107	107

Table 3. Size and forming ratio of specimens.

Heat No.	Teeming procedure	Size of rolled material (mm)	Forming ratio	Heat No.	Teeming procedure	Size of rolled material (mm)	Forming ratio
KE 1161	Top	110 φ	28	KE 1163	Bottom	100 φ	28
KE 1162		110 φ	28	KE 1185		162 φ	14
LF 1505		80 φ	57	KE 1187		162 φ	14
LF 1504		110 φ	30	LF 1504		110 φ	30
LF 1456		80 φ	57	LF 1456		80 φ	57

響を比較検討するため、上注および下注各 5 造塊を実施し、可及的に造塊条件を一定に保つため出鋼温度を 1620~1630°C の範囲に統一した。造塊条件の詳細を示すと Table 1 のとおりである。

5. 供試材の一般化学成分組成：本実験供試材の一般化学成分組成を示すと Table 2 のとおりである。この分析結果によれば、上記 3 項に述べた方法によつてバナジウムを溶鋼中にほぼ定量的に添加し得ることがわかる。

6. 供試材採取要領：Table 3 に示した寸法の圧延材

よりもとの鋼塊の top, middle および bottom 部に相当する部分を切断して供試材とした。

III. 実験結果

1. 段割り肉眼試験

各圧延材についておこなつた段割り肉眼試験 (JIS, G 0556, 鋼の地疵の肉眼試験法, 1956) の結果を示すと Table 4 のとおりである。本試験結果によれば、バナジウム約 0.1% を添加したクロム・モリブデン鋼 21 種鋼材における砂疵発生傾向は前報³⁾ に述べたアルミニウ

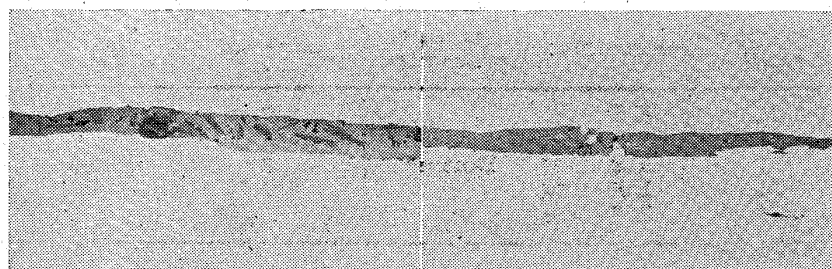
Table 4. Detected frequency of sand marks.

Heat No.	Teeming procedure	1st ingot			2nd ingot			3rd ingot			4th ingot			
		Top	Middle	Bottom	Top	Middle	Bottom	Top	Middle	Bottom	Top	Middle	Bottom	
KE 1161	Top	1.2(1)	0	0	2.2(2)	0	2.0(2)	0	1.8(2)	0	0	0	1.1(1)	
KE 1162		0	2.4(2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LF 1505		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LF 1504		0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
LF 1456		0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
KE 1163	Bottom	0	0	2.0(2)	2.8(3)	0	0	0	0	0	0	2.3(2)	1.6(2)	
KE 1185		1.8(2)	0	0	0	0	0	0	0	3.0(3)	0.5(1)	0	0	
KE 1187		1.7(2)	0.8(1)	2.2(2)	0	0	3.5(4)	2.0(2)	0.5(1)	0	1.0(1)	0	1.0(1)	
LF 1504		—	—	—	0	0	0	0	0	0.5(1)	—	—	—	
LF 1456		—	—	—	0	0	0	1.5(2)	0	2.0(3)	—	—	—	

Note: The figures given in the table are an indication of the total length (mm) of sand marks detected, and the figures in parentheses are the number of sand marks.

Table 5. Classification and composition of sand marks in chromium-molybdenum steel No. 21 containing vanadium.

Heat No.	Teeming procedure	Count of sand marks detected	Classification of sand marks			Composition of sand marks		
			Count of crystalline type	Count of complicated type	Count of amorphous type	Types	Appearance	Identified inclusions
KE 1161	Top	6	0	5	1	Amorphous Complicated	Dark grey undeformed crystals are included in grey~dark grey glassy inclusions elongated plastically along the direction of rolling.	Non-deformed crystals: Al_2O_3 , aluminosilicates (for example, $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, $3MnO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$, $3FeO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$ etc.)
KE 1162		2	0	2	0			
LF 1505		0	0	0	0			
LF 1504		0	0	0	0			
LF 1456		0	0	0	0			
KE 1163	Bottom	6	0	5	1	Amorphous	Grey~dark grey glassy inclusions elongated along the direction of rolling.	Elongated inclusions: silica(SiO_2), iron-, manganese-silicates.
KE 1185		4	0	4	0			
KE 1187		8	0	6	2			
LF 1504		0	0	0	0			
LF 1456		4	0	4	0			



Complicated type sand mark Amorphous type sand mark
×400 (2/3)

Photo. 1. Sand marks on the finishing surface of the forged or rolled chromium molybdenum steel No. 21 containing vanadium.

ムを添加した鋼材に比較して少なく、また下注鋼塊の方が上注鋼塊よりもやや大きい傾向が認められる。

2. 砂疵の形態および構成成分

上記段割り肉眼試験によつて検出された砂疵部を切り出して光学顕微鏡で観察し、本研究第1報¹⁾において詳述した砂疵構成成分認定法に準拠して砂疵の分類とその構成成分の認定を試みた結果を Table 5 に示す。光学

顕微鏡的観察にさき立ち研磨をおこなう関係上、段割り試験材上に検出された砂疵の一部が研磨中に消失することがあり、したがつて砂疵構成成分の認定に供した砂疵の個数は、本実験の性格上段割り肉眼試験によつて検出された砂疵の個数にかならずしも一致しない。また Photo. 1 はオーステナイト結晶粒度調整剤としてバナジウムを約0.1%添加したクロム・モリブデン鋼 21 種鋼材に認

められる代表的な砂疵の光学顕微鏡的形態を参考までに示したものである。

Table 5 に示した実験結果ならびに Photo. 1 から明らかに

(1) 砂疵の形態と構成成分におよぼす造塊法の影響、すなわち上注と下注造塊とによる本質的な差異は認められない。

(2) バナジウムを添加したクロム・モリブデン鋼 21 種鋼材に現出する砂疵は混在型砂疵と不定形型砂疵であり、発生頻度は一般に前者の方が後者よりも大きい。砂疵部のマトリックスはいずれも軟化温度が低く可塑性の比較的に大きいガラス状のシリカまたは鉄、マンガン珪酸塩であり、混在型砂疵ではそのようなシリカまたは珪酸塩マトリックス中に粒状または柱状のコランダム ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) あるいは粒状のスペーサイト ($3\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$)、アルマンディン ($3\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$)、板状または針状のムライト ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) などのアルミノ珪酸塩が析出している。

3. 鋼塊内における酸化物の分布

上注と下注造塊法とについて、鋼塊内における酸化物すなわち温硝酸法⁴⁵⁾によつて定量した $\{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + (\text{MnO})_{\text{compl.}} + (\text{FeO})_{\text{compl.}}\}$ 量と酸化物成分すなわち Al_2O_3 , SiO_2 , $(\text{MnO})_{\text{compl.}}$, $(\text{FeO})_{\text{compl.}}$ の分布を調べた結果を Fig. 1~3 に示す。すなわち、

(1) 酸化物成分：バナジウムを添加したクロム・モリブデン鋼21種鋼材中の酸化物は SiO_2 および $(\text{MnO})_{\text{compl.}}$ が主成分であり、 Al_2O_3 は比較的に少なく、 V_2O_5 はほとんど認められない。

(2) 酸化物量：酸化物量は下注鋼塊の方が上注鋼塊よりもやや多い傾向が認められる。

(3) 鋼塊間における酸化物量の変動：鋼塊間における酸化物量は上注造塊の場合の方が下注造塊の場合よりも変差がやや大きい。しかしながら、

(4) 鋼塊内における酸化物の偏析：鋼塊内における酸化物の偏析は上注鋼塊の方が下注鋼塊よりも少ない。

(5) 鋼塊内における酸化物の分布：鋼塊内における酸化物の分布は Fig. 3 に示したように上注鋼塊では鋼塊の top 部に比較的に多く、middle および bottom 部はやや少なく、下注鋼塊では top および bottom に多く、middle 部は比較的に少ない。同様の傾向は真空溶融法によつて定量した酸素の鋼塊内における分布にも認められる。

4. 砂疵発生傾向と酸化物との関係

Table 4 に示した段削り肉眼試験による砂疵の検出傾向と酸化物との関係を図示すると Fig. 4 および 5 のと

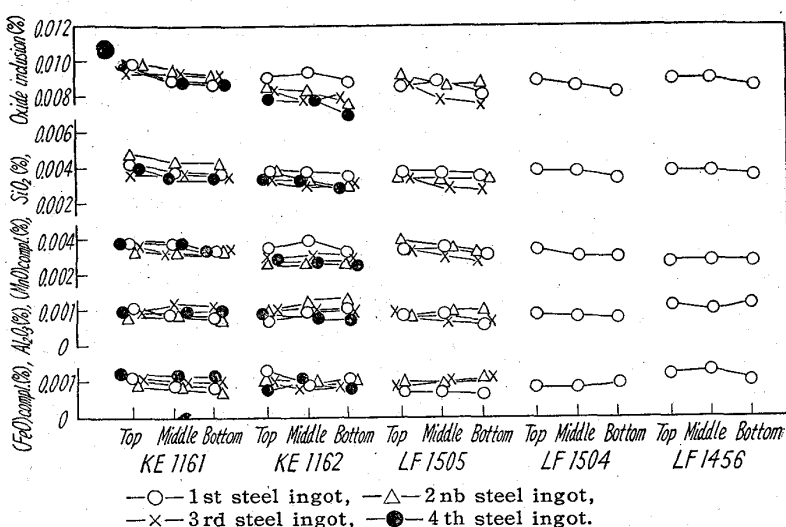


Fig. 1. Distribution of oxide inclusions in the top-teemed steel ingot containing vanadium.

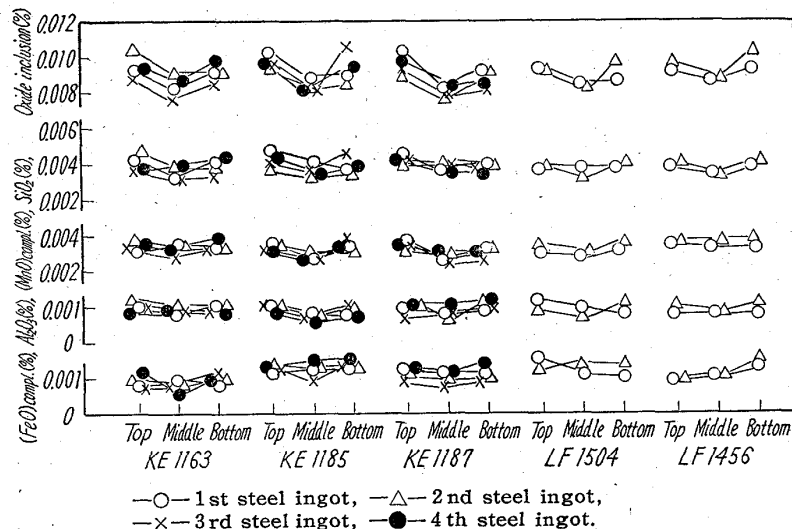


Fig. 2. Distribution of oxide inclusions in the bottom-teemed steel ingot containing vanadium.

おりである。すなわち砂疵発生傾向の顕著な供試材中の酸化物量は砂疵発生傾向の少ない供試材または砂疵の認められない供試材中の酸化物量よりもやや多い傾向がある。

5. 砂疵部の化学分析および分光分析

本実験供試材について、本研究第1報において述べた方法により、20倍の拡大鏡下にあらかじめ光学顕微鏡で観察して分類した砂疵試料を置き、厚刃のカミソリ刃で砂疵部を摘出し、切り出した砂疵部をあつめ温硝酸法によって処理し砂疵部の化学分析をおこなつた。その結果を示すと Table 6 のとおりであり、同表中には温硝酸にとけない介在物残渣の定性分光分析結果を参考までに併記した。Table 6 に示した分析結果より明らかなように、混在型砂疵中にはかなりのアルミニウムが存在するにかかわらず不定形型砂疵中にはアルミニウムが少ない

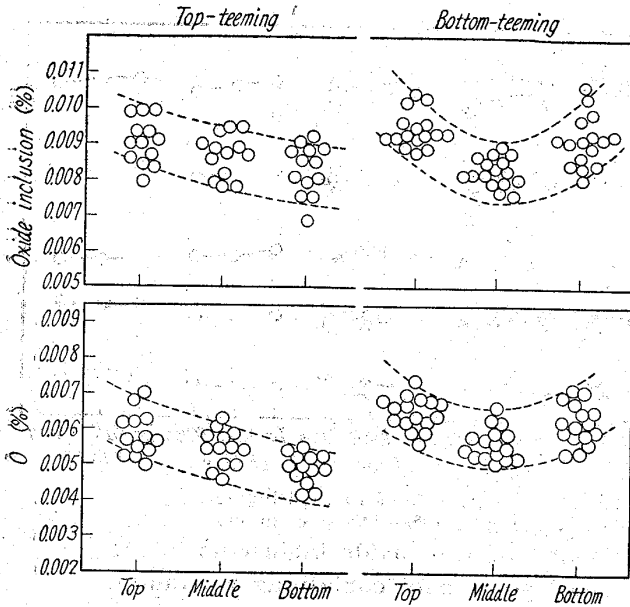
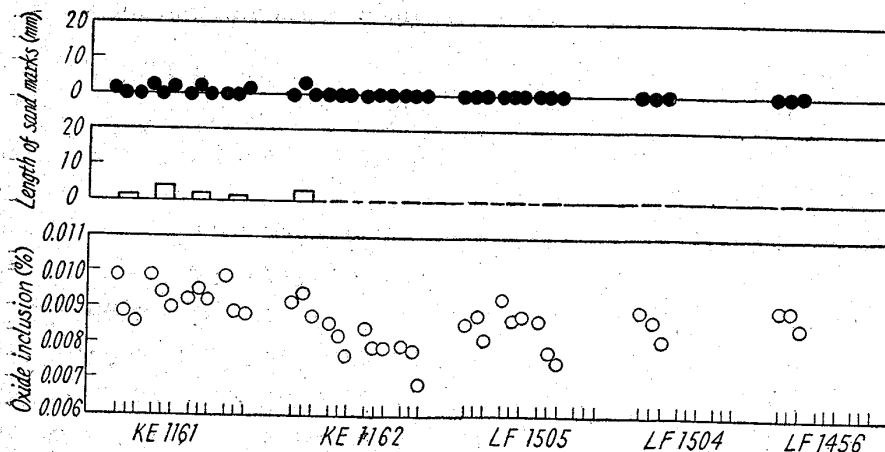


Fig. 3. Distributions of oxide inclusions and oxygen in the steel ingot containing vanadium.

こと、また混在型および不定形在型疵中にはいずれもかなりの鉄、マンガン、珪素が存在しているという事実は Table 5 に示した砂疵構成成分の認定結果の妥当性を示すものである。

IV. 総括

カルシウム・シリサイドで脱酸し、オーステナイト結晶粒度調整剤としてバナジウムを添加したクロム・モリブデン鋼 21 種鋼材を対象として砂疵発生傾向におよぼす上注および下注造塊法の影響ならびに砂疵と酸化物系在物との関係について検討をおこなった結果を総括す



Note: Dots (●) denote the total length (mm) of sand marks detected in the top, the middle and the bottom parts of each steel ingot, from left to right in order. Height of the plot (□) are an indication of the total length (mm) of sand marks detected in each steel ingot.

Fig. 4. Relation between the occurrence tendency of sand marks and the oxide inclusions in the top-teemed steel ingot containing vanadium.

るとつぎのとおりである。

1. 砂疵発生傾向は下注鋼塊の方が上注鋼塊よりもやや顕著である。

2. 上記クロム・モリブデン鋼 21 種鋼材に現出する砂疵は混在型および不定形型砂疵であり、結晶型砂疵は認められない。発生頻度は混在型砂疵の方が不定形型砂疵よりも大きく、現出する砂疵の大部分を占めている。

3. 混在型砂疵は加工方向に塑性変形した灰色～暗灰色の無定形状非金属介在物中に暗灰色の結晶状非金属介在物が析出した状態で現出している。無定形状非金属介在物はガラス状のシリカまたは鉄、マンガノ珪酸塩であり、結晶状非金属介在物はコランダム ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) またはスペサータイト ($3\text{MnO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2$)、アルマンデイン ($3\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2$)、ムライト ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) などのアルミノ珪酸塩である。不定形型砂疵は加工方向に塑性変形した灰色～暗灰色の無定形状非金属介在物のみからなっており、主としてガラス状のシリカおよび鉄、マンガノ珪酸塩である。

4. 砂疵の形態および構成成分におよぼす造塊法の影響すなわち上注と下注造塊法の影響は認められない。

5. カルシウム・シリサイドで脱酸しバナジウムを添加したクロム・モリブデン鋼 21 種鋼材中の酸化物は SiO_2 および $(\text{MnO})_{\text{compl}}$ が主成分であり、 Al_2O_3 は比較的少なく、 V_2O_5 はほとんど認められない。酸化物は一般に下注鋼塊の方が下注鋼塊よりもやや多い傾向がある。

6. 各鋼塊間における酸化物量の変動は上注造塊の場合の方が下注造塊の場合よりも大きい。しかしながら鋼塊内における酸化物の偏析は上注鋼塊の方が下注鋼塊よりも少なく良好である。

7. 酸化物は上注鋼塊では鋼塊の top 部に多く、middle および bottom 部はやや少なく、下注鋼塊では top および bottom 部に多く、middle 部は比較的少ない傾向がある。

8. 砂疵発生傾向と酸化物量との間には相関性があり、酸化物量の多い鋼材は砂疵発生傾向が大きい。

V. 結言

本研究第 1 報～第 4 報に述べた

Table 6. Results of chemical and spectroscopic analyses of sand mark portions and sound portions.

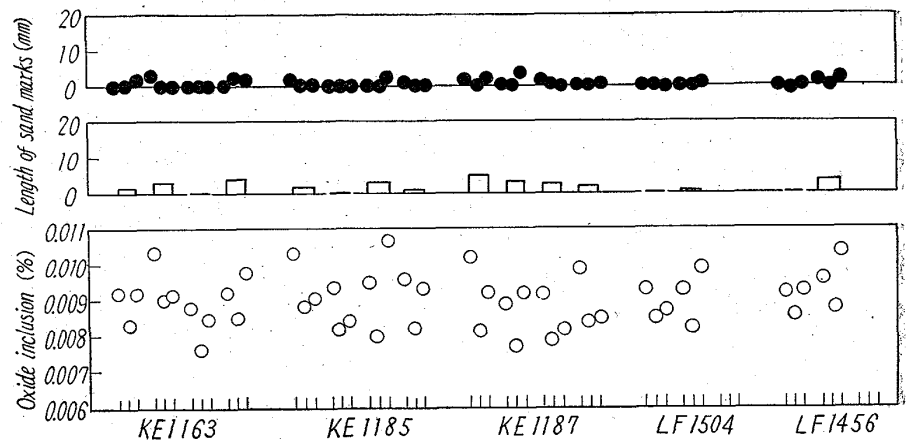
Type of sand marks	Analysis	Al(%)	Si(%)	Mn(%)	Fe(%)	Ca	Mg	V	Al/Si
Complicated	Chemical Spectroscopic	0.029 ++	0.038 ++	0.024 ++	0.010 +	-	-	-	0.76
Amorphous	Chemical Spectroscopic	0.007 ±	0.031 ++	0.018 ++	0.009 ±	-	-	-	0.23
Sound portion	Chemical Spectroscopic	0.0003 ±	0.0015 ±	0.0022 ±	0.0004 ±	-	-	-	

Note: Samples for chemical analysis were taken and weighed about 1 gram of sand mark portion and about 2 grams of sound portion, while for spectroscopic analysis they were taken and weighed about 100 milligrams and about 2 grams respectively.

実験結果によれば、砂疵の発生を防止し健全なる鋼をつくるためには、まづ非金属介在物とくに酸化物の少ない清浄な鋼の溶製法を確立することが先決問題である。それには脱酸、結晶粒度調整、造塊雰囲気、耐火材ならびに造塊法などに関する総合的な基礎研究が必要である。これらの諸点に関しては、すでに検討を実施中であり、その詳細は別の機会に報告する予定である。(昭和36年11月寄稿)

文 献

- 1) 高尾善一郎, 下瀬高明, 成田貴一, 宮本 醇: 鉄と鋼, 47 (1961) 7, 907~918
- 2) 高尾善一郎, 成田貴一, 神田一男, 宮本 醇: 鉄と鋼, 47 (1961) 9, 1156~1162
- 3) 高尾善一郎, 下瀬高明, 成田貴一, 宮本 醇: 鉄と鋼, 47 (1961) 11, 1588~1593
- 4) 日本学術振興会: “鉄鋼化学分析全書” 下巻, (1952), 日刊工業新聞社
- 5) 日本学術振興会: “鉄鋼迅速分析法” (1956), 丸善株式会社



Note: Dots (●) denote the total length (mm) of sand marks detected in the top, the middle and the bottom parts of each steel ingot, from left to right in order. Height of the plot (□) are an indication of the total length (mm) of sand marks detected in each steel ingot.

Fig. 5. Relation between the occurrence tendency of sand marks and the oxide inclusions in the bottom-teemed steel ingot containing vanadium.