

(89) エレクトロスラッグ再溶解法の鋼質におよぼす影響

日立金属工業, 安来工場

○一安 六夫・石川 勝久
工博 中村 信夫

Effects of Electro-Slag Remelting on the Properties of Steel.

Rokuo ICHIYASU, Katuhisa ISHIKAWA and Dr. Nobuo NAKAMURA.

1. 緒 言

ソ連で開発されたエレクトロスラッグ溶解法はすぐれた鋼を得る方法として広く紹介されており、各所²⁾³⁾⁴⁾⁸⁾で本法の調査が行なわれているが、著者らは昭和36年以来本法を各種鋼の溶解に応用してその特徴をしらべ、今日では鋼質におよぼす影響の全貌をはば伺い知るようになっている。

本報告は過去における溶解結果から、その特徴をあげたものである。

2. 溶 解 法

溶解装置、原理などについてはすでに各種の報告があるので省略する¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

溶解電流: 電圧: 40~50V, 3500~4800A

試験インゴット: 100~250kg 丸型

水冷鑄型 溶解用スラッグ: CaF₂を主成分とし、Al₂O₃, CaO, MnO 添加。

3. 溶解インゴット

溶解インゴットは 2~3mm のスラッグの外皮をつけている。このスラッグ外表皮は表層部は融化していな

い。

インゴット肌は美麗で、熱間加工前の疵取は不要である。しかし時として肌じわなどの生ずることがあるが、これは電流の変動があつた場合が多い。高粘性のスラッグ例えば高 SiO₂ 含有スラッグなどを用いるとスラッグの噛込などが現われる。

インゴット断面は柱状晶がよく発達しており、200mm φ 程度の直径では仰角 70~80° で周囲から延びており、インゴットすべてが柱状晶である。鑄型直径が小さくなると仰角は大きくなり、100mm φ 程度ではほとんど垂直になる。インゴット頭部にカップ状に自由晶が生ずる。これは溶解終了期に電流を切断するために生ずるもので、この自由晶の深さは、溶鋼プールの深さと対応していると考えられる。溶解プールの深さは溶解電流の強さとほぼ正比例する。

インゴット頭部は溶解スラッグで覆われ、適当にホットトップをかけることによつて、引け巣などの欠陥を完全になくすることができ、押湯の切捨ては不必要である。

インゴット底部は溶解スラッグの完全な融化までに電極の溶解がありスラッグの噛込などがあるのでこの部分は熱間加工時切り捨てる必要がある。切り捨て部は40~50mm 以下が普通である。

4. 鋼塊の成分変化

溶解により若干の成分は変動する。とくに酸化性元素である Al, Si, Ti などが変化する。その他の一般元素はほとんど差がない。Table 1 は数種の鋼について溶解前後の変化をしらべたものである。とくに Al の減少が著しい。S は CaO をスラッグ中に含有させれば幾分減少する。CaO 含有量が高ければ一層減少する。

Table 1. Variation of steel composition during electro-slag remelting.

Steel	Class	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	Cu
SACM 1	electrode (I)	0.44	0.21	0.60	0.018	0.004	—	1.47	0.21	1.14	—
	E. S. R. (I)	0.44	0.25	0.60	0.014	0.002	—	1.50	0.21	0.90	—
	electrode (II)	0.50	0.24	0.64	0.012	0.006	—	1.56	0.20	1.03	—
	E. S. R. (II)	0.47	0.25	0.60	0.012	0.003	—	1.54	0.20	0.78	—
SCM 5	electrode	0.45	0.31	0.70	0.012	0.017	0.10	1.12	0.18	—	—
	E. S. R. (I)	0.44	0.25	0.52	0.014	0.015	0.11	1.04	0.18	—	—
	E. S. R. (II)	0.43	0.21	0.57	0.010	0.011	0.11	1.10	0.19	—	—

Slag composition used: 65% CaF₂, 30% Al₂O₃, 5% CaO

Table 2. Effect of slag remelting on the sand marks of steel.

Electrode				Slag Remelting			
No.	Size mm φ	Area measured (cm ²)	JIS indication	No.	Size mm φ	Area measured (cm ²)	JIS indication
1	86.7	710	0.1—0.1—(1)	1	55.7	501	none
2	60	518	1.2—0.8—(2)	2	40	377	none
3	30.8	268	none	3	20	188	none
1	51	315	4.4—2.2—(3)	1	28	177	none
				2	23	145	none
2	36	221	2.5—1.5—(6)	1	28	172	none
				2	20	192	nene

Table 3. Effect of slag remelting on cleanliness of steel.

Electrode						Slag remelting				
	Size	Place	d _A	d _(B+C)	d _(A+B+C)	Size	Place	d _A	d _(B+C)	d _(A+B+C)
SACM 1	90 f	Center	0.05	0.06	0.10	60 f	Center	0.01	0.02	0.03
		Outside	0.05	0.05	0.10		Outside	0.01	0.03	0.04
	52 f	Center	0.01	0.11	0.12	15 f	Top	0.02	0.03	0.05
		Bottom				Bottom	0.03	0.03	0.05	
SNC 21	—	—	0.01	0.03	0.04	—	Middle	0.01	0.01	0.02
	—	—	0.01	0.05	0.05	—	Middle	0.02	0.00	0.02
	—	—	0.01	0.04	0.05	—	Middle	0.01	0.01	0.02
						Middle	0.02	0.03	0.03	0.04

Table 4. Effect of slag remelting on the gas contents of steel.

		Total gas cc/100g	[H] %	[O] %	[N] %
SACM 1	Electrode	17.90	0.00027	0.0038	0.0110
	Remelting	13.88	0.00028	0.0028	0.0086
SACM 1	Electrode	15.78	0.00020	0.0049	0.0084
	Remelting	12.33	0.00017	0.0041	0.0059
SNC 21	Electrode	17.95	0.00016	0.0065	0.0089
	Remelting	13.00	0.00018	0.0047	0.0056
	Remelting	13.85	0.00018	0.0047	0.0066

鋼塊内部の偏析は 200 f 程度のインゴットではほとんど認められない。しかし酸化性元素の減少は主として電極の持ち込む酸化スケールに基因すると考えられるため、スラッグ中の酸化成分が溶解を継続している過程に逐次増大し、インゴット底部と頭部で相違することがある。

5. 地キズ発生量

地キズは本溶解法により皆無に近くなる。鋼塊肌の劣るもの、頭部ホットトップの不足のものは時として発生することがある。インゴット断面マクロ試験によると、頭部自由晶と柱状晶境界付近にピッチングの発生することがあり頭部まで健全インゴットを得るためには電流切断前のホットトップが重要である。

窒化鋼は地キズの発生しやすい鋼種であるが、本溶解法により皆無に近くなる。Table 2 に SACMI 鋼の地キズ試験結果を示す。本溶解法により大巾に減少していることが解る。

6. 非金属介在物

非金属介在物は電極材に比較して半減している。Table 3 に SNC21, SACM1 における清浄度を比較し

て示す。

このように地キズ、非金属介在物の大巾な減少は本溶解法の特徴です。すでに多くの報告があるが⁵⁾⁶⁾⁷⁾、それらは浮上分離によると述べられているにすぎない。しかし著者らのモデル実験の観察ではイオン流による清浄分離作用もあるものと予想されている。この機構についてはさらに検討する必要がある。

7. ガス分析結果

Table 4 にガス分析結果を比較して示す。酸素、窒素ともに 70% 程度まで減少しているが、水素はあまり変りない。酸素、窒素の減少は酸化物、窒化物の分離効果によるものであろう。酸化物介在物の溶鋼中での浮上は理解できるが、窒化物介在物が、この程度の N 含有量でなお溶鋼中に異相として存在している点は今後の研究にまたねばならない。

8. 機械的性質その他

一般的に引張り強さ、伸び、絞り、衝撃値などの機械的性質はほとんど差がないか幾分改良される程度である。

すでにのべたように非金属介在物の減少効果の著しい

Table 5. Effect of slag remelting on mechanical properties of steel.

Sample	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction (%)	Charpy impact value (kg/mm ²)	Hardness HB	Composition (%)						
						C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	
1	Electrode	85.7	23.2	62.7	13.0	256	0.44	0.21	0.49	1.47	0.21	1.14
	Remelted	87.9	23.1	63.1	15.9	261	0.42	0.43	0.49	1.47	0.18	0.76
2	Electrode	92.5	23.1	67.5	15.5	264	0.50	0.22	0.64	1.56	0.20	1.03
	Remelted	92.3	22.6	67.4	17.4	264	0.47	0.25	0.60	1.54	0.20	0.78

Heat Treatment: 910°C (Q) → 710°C (T)

Table 6. Effect of slag remelting on corrosion resistance of 12% Cr steel.

Sample	5% H ₂ SO ₄ (g/m ² h)	10% H ₂ SO ₄ (g/m ² h)	Composition (%)					
			C	Si	Mn	Ni	Cr	
1	Electrode	1216	1962	0.13	0.43	0.50	0.22	12.94
	Remelted	1169	1252	0.12	0.40	0.51	0.23	12.85
2	Electrode	1214	1866	0.14	0.48	0.45	0.17	12.10
	Remelted	1126	1261	0.13	0.21	0.49	0.17	12.10

窒化鋼などでは衝撃値が向上する。しかし最初から清浄な SNC21 のようなものではほとんど差は認められない。Table 5 に窒化鋼の機械的性質を示す。

鋼のオーステナイト結晶粒度は窒化アルミニウムの含有量によつて影響される。溶解用電極として表面酸化物の多いものなどを使用すると溶解中 Al が減少し、混粒、粗粒鋼を発生することがある。かかるものでは電極材の Al 含有量を幾分高くするか、Vなどを添加して細粒効果を期待する必要がある。

非金属介在物の減少に伴う性質の改善効果は不銹鋼の耐酸化性、熱間加工性などにみられる。

Table 6 はスラッグメルトした SUS 22 鋼の硫酸に対する耐食性を比較した結果である。

9. 結 言

スラッグメルト再溶解法により 100~250 kg の鋼塊をつくり本溶解法の鋼質におよぼす影響をしらべた。

(a) 本溶解法によれば鋼塊は柱状晶がよく発達し、砂キズ、収縮孔などのマクロ欠陥は皆無に近くなる。

(b) 非金属介在物は約半減し、それに伴う衝撃値、耐食性などの向上が期待される。

(c) 鋼塊肌は美麗でキズ取が不要となろう。

(d) ガス含有量、とくに O, N は約 70% 程度に減少する。

(e) 溶解に伴ない酸化性元素は若干減少する傾向にある。

文 献

- 1) 例えば A. F. TREGUBENKO & S. A. LEIBENZON: エレクトロスラッグ再溶解法 (昭 39-5) 日ソ通信社
- 2) N. ROBINSON, & J. A. GRAINGER: Metallurgia

(1963-4) p. 161

- 3) 出口, 吉村, 湯浅: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 799.
- 4) 草道, 成田, 他: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 802
- 5) Yu. A. SHUL'TE, A. F. TREGUBENKO, V. F. SMOLYAKOV, V. D. MAKSIMENKO, V. P. FRANTSEV, S. A. LEIBENZON and I. A. GAREVSKIKH: Stahl in English, (1960) 1, p. 37
- 6) G. A. KHASIN, R. I. KOLYASNIKOVA et ali.: Stahl in English (1963) 10, p. 788
- 7) V. V. TOPILIN, M. M. KLYUEV et ali.: Stahl in English, (1963) 9, p. 700
- 8) A. C. WILLIAMS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), (1964) 1, p. 581

(90) エレクトロスラッグ再溶解法における電極直径と電気抵抗に対するモデル的考察

日立金属工業, 安来工場

○一安 六夫・石川 勝久
工博 中村 信夫

Model Consideration Concerning the Electric Resistance and Electrode Diameter at the Electro-Slag Remelting.

Rokuo ICHIYASU, Katuhisa ISHIKAWA and Dr. Nobuo NAKAMURA.

1. 結 言

エレクトロスラッグ再溶解法では熔融スラッグは抵抗