

われておられると思われる。溶鋼プールはイオン流によつて常に叩かれ波立っており、実際、電極溶融スラグ層に深く浸漬すると、時として溶鋼面が電極下端を打つような音響を發する。またこの異物を外周部へ押しやる現象は非金属介在物の分離と関係が深いと考えられる。

本結果と実際の溶解時の現象と照合すれば興味ある点が得られるものと考えられる。

6. 結 言

エレクトロスラグメルト溶解法の電極と鑄型との寸度の差による電気抵抗への影響をモデル的に取り扱い、実験式 $R=C S/\sigma D^2(d/S)^q(d/P)^r$ を導き、C, q, r の値を D/d に対応させて図から求めた。

電流を通じたときのスラグの運動、電極の運動を調べて、実際の溶解現象と対比して考察する資料を求めた。

(91) エレクトロスラグ再溶解法における溶解時の 2, 3 の現象に対する考察

日立金属工業, 安来工場

○一安 六夫・石川 勝久
工博 中村 信夫

Consideration of Some Phenomena at Electro-Slag Remelting.

Rokuo ICHIYASU, Katuhisa ISHIKAWA and Dr. Nobuo NAKAMURA.

1. 緒 言

エレクトロスラグ溶解法の原理は早くから hopkins process や kellogg process などとして知られていたが工業化されるまでにはいたらなかつた。しかし近年になつて特にソ連においてその開発がなされ高品質の鋼を得る精錬方法として注目されるようになってきた。著者らも昭和36年以来パイロットプラントによりその精錬効果を確認してきた。

本報では溶解時の 2, 3 の現象に対する考察を行なつたので報告する。

2. 溶 解 方 法

原理および溶解方法についてはすでに多くの文献^{1)~6)}によつて紹介されてきたものであるから本報では省略する。

なお実験に使用した装置の容量を下に示す。

電 圧	電 流	鋼塊寸度
1) 30V~40V	300~800 A	70φ, 100φ
2) 40V~50V	3500~4500A	210φ, 270φ

3. 鋼塊肌におよぼす電流変動および電極寸度の影響

スラグ溶解を行なつた鋼塊の1つの特徴は鋼塊側面がスラグの衣で覆われ美しい肌を有していることである。しかし溶解中の条件によつては鋼塊側面に凹凸を生じキズ取りを必要としたり時としては割れの発生やインゴットパターンの原因となる。これらの原因として溶解電流の変動と電極寸度の影響があげられる。

3-1 電流変動と鋼塊肌

溶解過程中的電流の変動は溶解途中スラグの添加を行なう場合一時に多量のスラグを装入すると溶融スラグの温度が急激に下り、抵抗の変化電流の変化をもたらす。他の1つは装置自体の問題すなわち電極下降速度が一定速度に制御されていないと溶鋼プール面と電極間隔が一定せず著しい電流の変動となつてあらわれる。前者はスラグの投入を溶解初期に行なつてしまい途中で添加をなくすかまたは少量にすることによつて解決される。後者は主に制御方法が問題となる。

以上の2点の外に鋼塊肌の状況は溶解スラグの性質によつて変化する。すなわち電気抵抗の小さいスラグは発熱量が不足し鋼塊の外側が波打つようになる。特に SiO₂ の含有量の高いスラグは電気伝導度が低下する。電気伝導度が増大しても最大電流が制限され十分電流が供給されない場合はスラグの発熱量は低下し鋼塊肌は悪くなる。しかし電気伝導度が低下したスラグを使用する場合は設定電圧を高くすることにより幾分スラグ

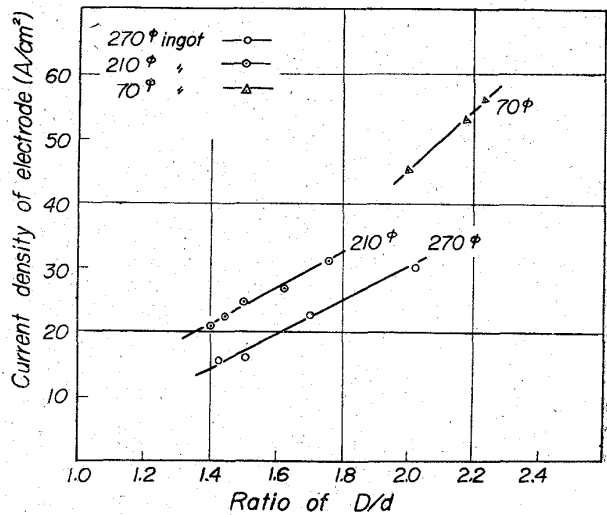


Fig. 1. Relation between current density of electrode and ratio of mold dia. D/electrode dia. d. The region above each line denote fine ingot surface.

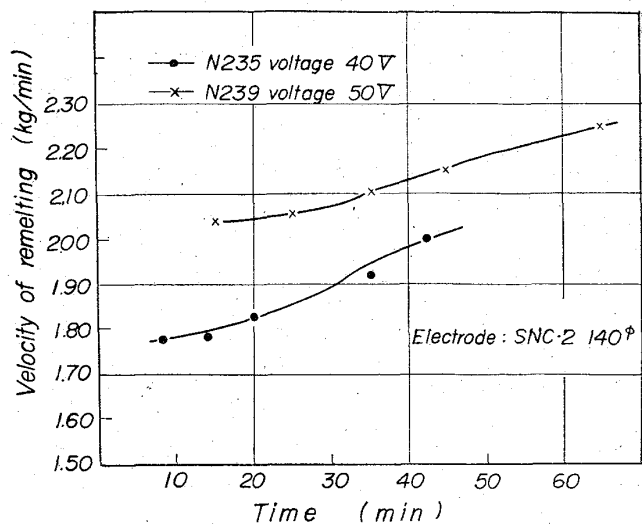


Fig. 2. Variation of the remelting speed with time.

の温度を高くし得る。設定電圧は電極下端と溶鋼プール面との距離を規定し低い電圧ではこの間が接近し高い電圧では大きく隔たる。これは溶解スラッグの電気伝導度と関係し著しく電圧を高めるとスラッグ層が厚くなり多量のスラッグを必要とする。

以上のように溶融スラッグの温度変化をもたらす電流の変動は波状の鋼塊肌をつくる結果となる。したがって電流の変動は±50A 以下に制御されることが望ましい。

3.2 電極寸度と鋼塊肌

鋼塊肌の状況は電極寸度によつてもかわる。すなわち鋳型径および電極の電流密度が一定であれば電極径が小さくなるほどスラッグの温度上昇は低くなり、鋼塊肌に凹凸を生じる。したがって電極径がある程度以下に小さくなると鋼塊肌の良好な溶解は不可能になつてくる。Fig. 1 に鋳型の径: D と、電極径: d との比に対する電極に必要な電流密度とを示す。電極径が小さくなるにしたがって鋼塊肌を良好に保つに必要な電流密度は大きくなつてくる。

4. 溶鋼滴の推定

40 f の電極を水冷式の鉄製鋳型(100 f)の模型溶解装置でスラッグ溶解を行なつたときの溶鋼滴の大きさを測定した。測定は溶解電流の変化をオシロスコープに受像し溶鋼滴が電極よりはなれた瞬間の電流の歪の数を測定した。

溶鋼滴の数: 150滴/min, 溶解速度: 365 g/min
溶鋼の比重を 7.2 とすれば溶鋼滴の径は約 8.6mm となる。

一方溶解後電極端面をみると溶鋼滴が電極から分離した跡がアバタ状に残っている。このアバタの径は約 6 mm である。溶鋼の表面張力を 970dyne/cm², 溶融スラッグの比重を 3.0 とし溶鋼滴が発達して電極から分離するときの大きさを計算すると約 9.5mm の径となり大体前の値と一致する。上と同様の計算を 40V, 4500A, 120mm f の電極について行なうと約 11~13mm の溶鋼滴が形成されて落下していることになる。しかしこの

値は溶解鋼種や電流密度などによつても異なつてくる。また一般にスラッグ層に浸漬せる電極先端は円錐状をなしその中心から溶鋼滴が落下しているが融点の低い鋼やが非常に高い場合は電極先端は平面となりその端面の数スラッグの温度個所から溶鋼滴が形成され落下している場合もある。

ここで得た溶鋼滴の大きさはソ連の文献⁸⁾⁹⁾による値とはいく分異なつている。

5. 溶融スラッグの運動

溶解中スラッグの層は強い攪拌が行なわれスラッグ表面は外周へ向つて運動している。電極直下は高温であり対流作用が強いため溶湯プール面上でもスラッグ流は外周へ押し流されていると推測される。

この運動はさきに食塩水によるモデル実験から考察されたところである。溶湯面の運動は不明であるが電極面はイオンが吸引されていると考えられるから恐らくスラッグの運動と同様中心から外周へ向つて流れていると考えられる。

6. 溶解電圧の影響

溶解電圧が鋼塊におよぼす 2, 3 の影響を調べた。電圧は装置の都合により 40V, 50V の 2 つの変化について調査した。電極は SNC-2, 140 f のものを使用した。

6.1 溶解速度, 溶鋼プール深さにおよぼす電圧の影響

電極下降速度, スラッグ面上昇速度を測定し溶解速度を計算した。Fig. 2 に溶解速度の時間的変化を示す。時間とともに速度が増しているのは溶融スラッグの成分の変化に伴う電気伝導度の変化および溶解とともに電極自体の抵抗の減少によるものと思われる。

溶鋼プール深さの測定は溶解途中 Pb を投入しプール底面に沈積せる Pb 層を鋼塊の断面マクロ腐食を行なつて測定を行なつた。Table 1 にこれらの比較表を示す。電圧 50V ではスラッグの使用量が 40V におけるより 2 倍の量を必要としているがプールの深さはむしろ浅くなつている。なお 40V における時の電流と溶鋼プールの深さの関係を Fig. 3 に示す。

Table 1. Effect of voltage on remelting.

Heat No.	Voltage	Amperage	Slag volume	Top slag pool depth	Molten metal pool depth	Electric power	Desulphurization
N 235	40V	4500A	10 kg	75mm	90mm	1.35kWh/kg	30%
N 239	50V	4500A	20 kg	150mm	75mm	1.80kWh/kg	36%

Table 2. Effect of voltage on distribution of inclusions.

Heat No.		N 235 (Volt. 40V)			N 239 (Volt. 50V)							
Size of inclusion		< 5 μ	5~10μ	10μ<	~1μ	~2μ	~3μ	~4μ	~5μ	5~10μ	10μ<	
Distribution of inclusions	normal layer	Outside	197	16	3	37	71	43	9	7	8	1
		Middle	143	11	3	6	24	24	14	7	3	0
		Center	155	7	2	21	32	22	8	5	3	0
	coold layer	Outside	215	10	1	91	62	28	13	6	6	0
		Middle	96	31	3	82	62	29	14	3	5	0
		Center	212	19	15	56	48	23	10	5	7	2

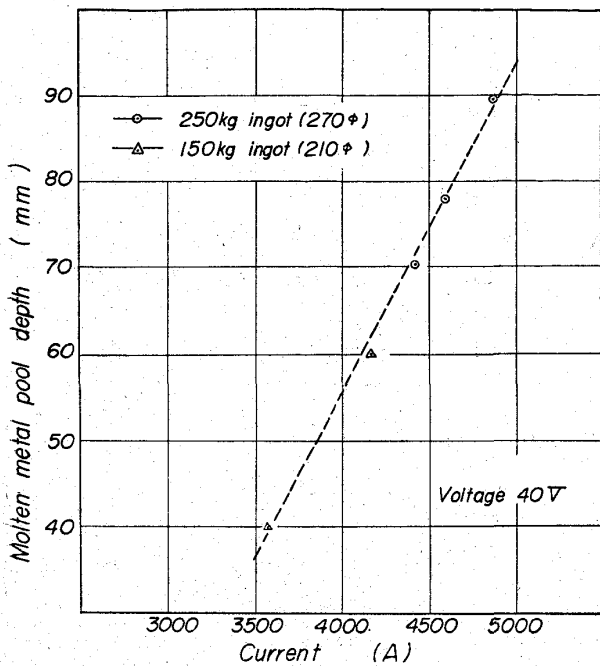


Fig. 3. Relation of molten metal pool depth and current.

6.2 介在物の粒度分布におよぼす電圧の影響

エレクトロslag溶解した鋼塊の1つの特徴として非金属介在物が減少することが挙げられる。この介在物の分離機構として、1)溶鋼滴がslag層を落下する途中において分離される。2)溶鋼プールにおいてslag層へ浮上分離される。この2点が考えられる。そこで先に40Vおよび50Vの電圧で溶解を行なった鋼塊について介在物の粒度分布状態を調べた。測定は清浄度測定用の格子(20×20)の中に入つたものの粒度を調べ60視野3回の平均をとつた。Table 2にその結果を示す。

定常層とは一定の電流電圧で溶解が行なわれ水冷凝固された部分で急冷層とは溶鋼プールの深さを測定するために鉄片を投入して溶鋼が攪拌、急冷された層である。定常層では5μ以上の介在物は外側より中心部に向つて減少しているが急冷層ではその傾向はみられない。

溶湯はlayer by layerに凝固しているために溶湯状態に保たれる時間は中心から周辺に行くにつれて短くなつていく¹⁰⁾。したがつて介在物がストークスの法則にしたがつて浮上しているため中心部よりも外周部の方が粒度の大きな介在物が多くなつたと推定される。しかし急冷層においては攪拌凝固されるためこの法則にしたがつていない。

また溶解電圧が50Vになれば10μ以上の介在物は非常に少なくなつた。これは粒度の大きな介在物は溶鋼プールに落下してくるまでにすなわちslag層で分離されるものと思われる。

7. 結 言

エレクトロslag再溶解法における溶解時の現象について実験を行なった結果、次のようなことが推定される。

- a) 鋼塊肌は電流変動、電極寸度などに影響されD/dが大きくなるにしたがつて電流密度を増す必要がある。
- b) 溶鋼滴の大きさは約12mm程度の球と推定される。

る。

c) slagの運動はslag表面において中央から外周に向つて流れている。

d) 溶解速度は電圧が50Vになれば40Vにおけるよりも約17%速くなるがプールの深さは浅くなる。また電圧が一定であれば溶鋼プール深さは大体電流に比例して深くなる。

e) 介在物はストークスの法則にしたがつて浮上分離されているが粒度の大きいものはslag層中でも分離されていると思われる。その分布は外周の方に粒度の高いものが多い。

文 献

- 1) A. F. TREGUBENKO, S. A. LEIBENZON: エレクトロslag再溶解法(昭39-5)日ソ通信社
- 2) N. ROBINSON and J. A. GRAINGER: Metallurgia, 67 (1963) 4, p. 161
- 3) B. E. PATON and B. I. MEDVAR et al: Iron and Steel, 34 (1961) 3, p. 102
- 4) B. I. メドワル, Yu. V. ラタシュ: ソ連冶金技術シリーズ, No. 1
- 5) 出口, 吉村, 他: 鉄と鋼, 50 (1965) 4, p. 791
- 6) 草道, 成田, 他: 鉄と鋼, 50 (1965) 4, p. 302
- 7) 実用金属便覧: p. 179
- 8) I. A. GAREVSKIKH, Yu. A. SHUL'TE et al: Stal in English, (1962) 1, p. 32
- 9) V. V. TOPILIN, M. M. KLYUEV et al: Stal in English, (1963) 9, p. 700
- 10) 西原, 八木, 他: 鉄と鋼, 49 (1963) 2, p. 144

(92) 交流小型エレクトロslag再溶解炉による反応機構の検討

(エレクトロslag再溶解法に関する基礎的研究-I)

神戸製鋼所, 中央研究所

成田 貴一・○伊藤 孝道
松本 重喜

Slag-Metal Reaction in the Electro-Slag Remelting Process.

(Fundamental studies on electro-slag remelting -I)

Kiichi NARITA, Takamichi ITO and Shigeki MATSUMOTO.

1. 結 言

エレクトロslag再溶解(ESR)法は金属、特に鉄鋼材料の品質を改善する目的でソ連のウクライナ科学アカデミー, E. O. PATON 電気溶接研究所において開発された技術であり、本法を適用することにより、均一な凝固組織を有する鋼塊が得られ、OならびにSは減少し、非金属介在物の少ない清浄度のすぐれた鋼材が得られる。