

き、また酸素の移動を一緒に考えている点でも特徴がある。さらに同時反応の coupling の現象に一つの理論的基礎を与えることができた。今後、詳細な実験的裏づけをするとともに、さらに複雑な反応をとりあげて行きたい。

文 献

- 1) L. S. DARKEN, R. W. GURRY: Physical Chemistry of Metals, (1953), p. 485.
- 2) C. WAGNER: The Physical Chemistry of Steelmaking, edit. J. F. Elliott, (1958), p. 237.
- 3) T. B. KING: Electric Furnace Steelmaking Vol. I, edit. C. E. Sims, (1963), p. 317.
- 4) K. TESCHE: Arch. Eisenhüttenw., 32 (1961) 7, p. 437.
- 5) 森: 鉄と鋼, 47 (1961) 9, p. 1203.

(85) エレクトロスラグ法による高合金鋼の溶解

日本特殊鋼

工博 出口喜勇爾・吉村誠恒・湯浅悟郎

Remelting of High Alloy Steels by the Electroslag Process.

Dr. Kiyoji DEGUCHI, Masatune YOSHIMURA and Goro YUASA

1. 緒 言

エレクトロスラグ再溶解法は高品質の鋼を得る有力な消耗電極精錬法として近年開発されたもので、方法の内容、あるいは結果についてはソヴィエトそのほかの文献に多くの報告がある。その精錬効果を確認するため、当社大森工場で約1年の間小型アーク炉を改造したパイロットプラントによりおよそ 200 heat の再溶解を行なった。特に品質規格の厳しい高合金鋼、あるいは成分的に真空アークメルト法で溶解困難な耐熱鋼などを主な対象にした。これら高合金鋼の再溶解によつて得られた材質水準や溶解条件の影響などを以下に報告する。

2. 装置および溶解方法

溶解装置の概略を Fig. 1 に示す。電極には高周波炉溶解の鑄造材を用い、グラインダーで黒皮落して溶解した。図に示すようにストール上に鋼円板をおき、さらに鋼の切り粉を盛つて着火するが、これによりストールの溶損もなくなり着火成功率は殆んど 100% になる。精錬フラックスは 1 溶解当り 4~6kg 使用し、一部は切り粉の周囲に埋めてモールドへのアーク発生を防ぎ、一部は通電後上方から投入する。フラックスが溶け切つて高温のスラグになるまで 6~8min を要する。電流値は電極のスラグ浴への浸漬深さで変る故電極送りを加減して電流を制御する。電極表面(下方は赤熱する)および浴の空気酸化を防ぐためモールド内に N₂ ガスを吹き込み、上方に取付けたフードから fume と共に煙突へ排気した。

装置に関する各ディメンションを Table 1 に示す。

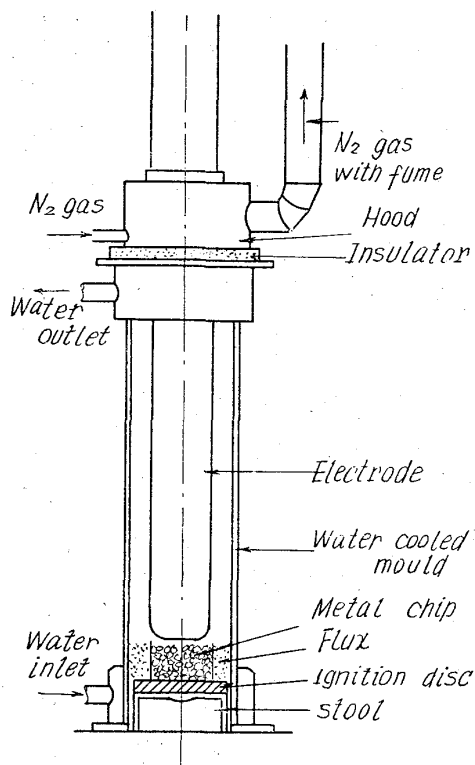


Fig. 1. The remelting furnace and the method for igniting (schematic).

Table 1. Dimentions on the mould, electrode, and remelted ingot.

	Diameter (mm)	Length (mm)
Water cooled mould	160	850
Electrode (cast, with taper)	top 105	max. 1700
	foot 90	
Ingot (max. weight 110 kg)	155	max. 650

3. 再溶解条件

Table 2 に代表的な 12 heats を選び、それらの再溶解上の諸条件を示す。溶解電力が低い場合はスラグに浸漬する電極の先端は鉛筆型になるが、60V では全くフラットになつてしまう。電極の溶込速さは電力を変えれば当然変化するが、素材の溶融温度によつても著しい差がある。溶解中のスラグ浴温度は 1800°C 内外(光高温計で測定)、凝固後のスラグキャップの高さは 8~10cm である。なお弗化物ばかりのフラックスを用いて若干溶解して見たが、いずれの組成も浴の電気抵抗が低すぎて結果は良くなかつた。

4. 材質検査結果

再溶解した鋼塊は、厚さ 0.5~1mm の薄いスラグ層を被り、top から 2/3 程は金属光沢を有し、表面は平滑無欠陥で疵取なしで鍛伸することができた。ただし完全にスラグができないうちに溶けた底部は表面状態が悪く、内部にもブローホールや偏析が生じ、化学成分にも乱れが起りやすい。この欠陥部の高さは鋼塊で平均 8cm、重量約 12kg に相当する。これらの欠陥は 15~18kg の底部切捨てで消失する。

Table 2. Steels remelted and the melting conditions.

Heat No.	Steel	Flux composition (%)				Electrical condition		Power needed (kWh)	Melting time (min)	Ingot weight (kg)
		CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	BaF ₂	V	kA			
ESR-19	13 Cr stainless (type 1)	75	25			25	3.5	180	107	60
ESR-33	21-12N	70	20	10		25	4.0	60	39	35
ESR-34	21-12N	70	20	10		25	4.0	120	65	62
ESR-43	13 Cr stainless (type 2)	70	20	10		30	4.0	170	83	60
ESR-51	21-12N	60	20	10	CeF ₃ 10	60	3.0	148	48	90
ESR-56	21-4N	70	20	10		60	3.0	116	42	100
ESR-59	M50	70	20	10		60	3.0	172	48	90
ESR-70	21-12N	70	20	10		60	3.0	158	51	85
ESR-101	LCN155	60	20	10	10	60	3.0	136	44	96
ESR-106	13 Cr stainless (type 1)	60	20	10	10	60	3.0	192	66	95
ESR-152	YA2*	60	20	10	10	60	3.0	146	51	100
ESR-183	GT6N**	60	20	10	10	60	3.0	140	44	93

Star note: * mean composition 0.27C 0.50Si 8.50Mn 19.5Cr 9.5Ni 1.5Mo 1.7W 0.50Nb 0.30N
 ** // 0.12C 0.50Si 0.60Mn 19.0Cr 12.0Ni 3.25W 1.0Nb 0.20N

Table 3. Quality grade of macrostructure in remelted steels. The result shows an influence of melting power on macroscopic soundness.

	In-spected part	Quite sound	Pas-sably sound	Defec-tive	With heavy defect
12 heats with melting power under 90kW	Top	1	8	2	1
	Middle	2	4	5	1
	Bottom		1	1	10
22 heats with more than 100 kW	Top	18	4		
	Middle	22			
	Bottom	3		10	9

Table 3 に再溶解材のマクロ検査成績を示す。Bot-

tom の試料は 10kg 切捨てた処から採取した。底部の欠陥以外に、過度な低電力溶解を行なうと top, middle にも偏析パターンが現われる。電力が十分ならば鋼塊は bottom 以外は全く健全になり、頭部にわずかな中心偏析を残すものが時折現われる程度である。

地疵は再溶解によつて非常によい結果を得ることが出来る。Table 4 に示すごとく、高い品質水準の鋼を作ることは容易であり、またそれは鋼の化学成分のいかに関係しない。GT6N の三段削りにおける地疵総長は普通鋼塊の総長の約 1/15 の値を示した。

非金属介在物の精錬には、興味ある傾向が認められる。(Fig. 2)。適切なフラックスを用いたとき、再溶解材のミクロ介在物の量は、1. 母材の脱酸元素 (Si, Al など) 含有量 2. 溶解電力 3. 素材溶融温度 などに左右されるものと思われる。また母材の介在物がわずか

Table 4. The result obtained by sand mark inspection.

Steel	Ingot part	Forged diameter (mm)	Sand length (mm) × counting		
			D-2 ×63mm	2/3 D ×63mm	1/2 D ×63mm
ESR-59 M50	Middle	φ 20	none	—	—
ESR-101 LCN155	Top	φ 45	1×1	none	none
	Middle		none	none	
	Bottom		1×3 2×2 3×2 7×1	none	none
ESR-106 13 Cr stainless (type 1)	T	φ 50	none	none	none
	M		none	none	
	B		none	none	
ESR-152 YA2	T	φ 22	none	—	—
	M ₁		none	—	
	M ₂		1×1	—	
	B		1×1	—	
ESR-183 GT6N	T	φ 50	0.4×3 1×1	0.4×7 1×2	0.4×4 1×1
	M		0.4×1	none	none
	B		none	none	none

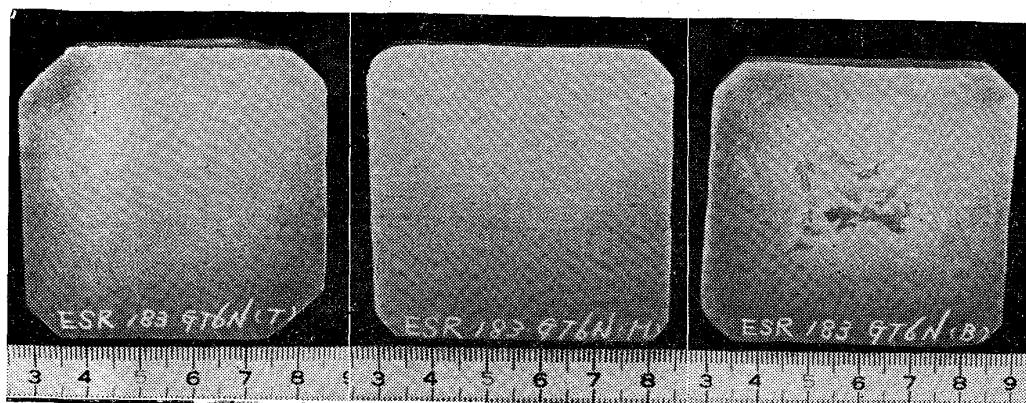


Photo. 1. Macrostructure of remelted heat-resistant steel. A big segregation is observed in the bottom part.

殆どの再溶解に脱硫が起つている。Si は多くの場合若干酸化する。top, middle におけるほかの元素の変動は 1,2 の異常値を除いて分析誤差, あるいは普通溶解での試料間のバラッキの範囲を出ない。高 Mn 鋼については, スラグが高温であるにもかかわらず認め得る程の Mn の揮発は起つていない。

B 部の分析値の乱れは

ならば再溶解材の清浄度も高いが, 母材介在物が並外れて多くてもある水準までは容易に低下する。介在物精錬に対しては, 鋼浴が深いと不利になるという報告 (Tregbenko et al) があるが, 明らかに電力が高い時, 素材融点の低い時に除去率が悪くなつており, この点でマクロ成績とは逆の傾向を示す。鋼浴の深い場合には B+C 型の介在物はかなり除去できても A 型の下り方は良くない。この事実は silicate の分離性が oxide より悪いことを示唆している。反対に再溶解材の脱酸元素, たとえば Si が非常に低い時は, 勿論 [O] 含有量が高いことが期待され, それが多く B+C 型となつて残るようである。

本溶解装置においては, マクロ成績, 介在物量共に最良の結果を得るための適正溶解電力は, 13% Cr 系の鋼で 120 kW, より融点の低い高 Ni 高 Mn 鋼では 100 kW 位と考えられる。

化学成分の分析結果は Table 5 に掲げた。明らかに

着火材の溶入がその一因ではないかと思われる。

精錬スラグは SiO₂ 含有量が非常に低く, それが介在物溶解能力にすぐれる理由でもあるが, そのため鋼浴の酸化反応は活発化する。分析値の低下や新たな珪酸塩系介在物の生成を防ぐため, 電極スケールの除去, イナートガスの導入を行ない, また母材に適度な水準の Si, Al などの脱酸剤を添加して [O] を低下せしめておくなど, 酸素のあらゆる供給経路を遮断することが必要である。

5. 結 言

エレクトロスラグ法によつて, 弗化カルシウム・アルミナベースの数種のスラグの下で再溶解した高合金鋼の品質を調査した結果, 以下の事項を確認した。

(1) フラックスの組成と材質との間には, 挙げるに足る程の関連性は認められなかった。

(2) 再溶解材のマクロ組織は, 溶解電力が不足すると劣化する。適正電力下では鋼塊の底部以外は健全で緻密であり, 普通材より優れている。

Table 5. Chemical analysis of mother and remelted materials.

Heat		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Co	Nb	N
ESR-51 21-12N	Mother	0.26	0.98	1.42	0.026	0.029	21.20	11.09	—	—	—	—	0.22
	Top	0.26	0.98	1.38	0.026	0.009	21.32	10.97	—	—	—	—	0.230
	Middle	0.26	0.98	1.37	0.026	0.009	21.33	10.97	—	—	—	—	0.228
	bottom	0.27	0.85	1.25	0.047	0.009	18.65	10.86	—	—	—	—	0.189
ESR-56 21-4N	Mother	0.60	0.51	8.74	0.036	0.014	20.80	4.66	—	—	—	—	0.36
	T	0.60	0.44	8.80	0.039	0.008	21.00	4.72	—	—	—	—	0.358
	M	0.60	0.45	8.65	0.038	0.009	21.00	4.84	—	—	—	—	0.354
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESR-101 LCN155	Mother	0.12	0.54	1.40	0.021	0.010	20.10	20.05	3.05	2.64	19.96	0.98	0.15
	T	0.11	0.55	1.39	0.022	0.008	20.21	20.10	3.00	2.80	20.80	0.85	0.176
	M	0.12	0.59	1.39	0.020	0.008	20.17	20.10	3.05	2.80	20.20	0.87	0.174
	B	0.17	0.44	1.30	0.022	0.005	18.35	18.17	2.70	2.58	19.50	0.92	0.150
ESR-106 13 Cr stainless (type 1)	Mother	0.12	0.11	0.37	0.018	0.009	12.20	0.38	—	—	—	—	—
	T	0.13	0.08	0.38	0.017	0.010	12.20	0.40	—	—	—	—	—
	M	0.13	0.05	0.36	0.016	0.010	12.10	0.39	—	—	—	—	—
	B	0.12	0.05	0.40	0.018	0.010	12.10	0.40	—	—	—	—	—
ESR-152 YA2	Mother	0.32	0.69	8.43	0.038	0.010	19.84	9.68	1.63	1.41	—	0.54	0.279
	T	0.29	0.56	8.36	0.038	0.009	20.00	9.15	1.58	1.66	—	0.55	0.333
	M	0.31	0.61	8.80	0.039	0.007	19.90	9.80	1.56	1.69	—	0.53	0.322
	B	0.31	0.62	8.69	0.036	0.007	19.90	9.80	1.56	1.69	—	0.64	0.313

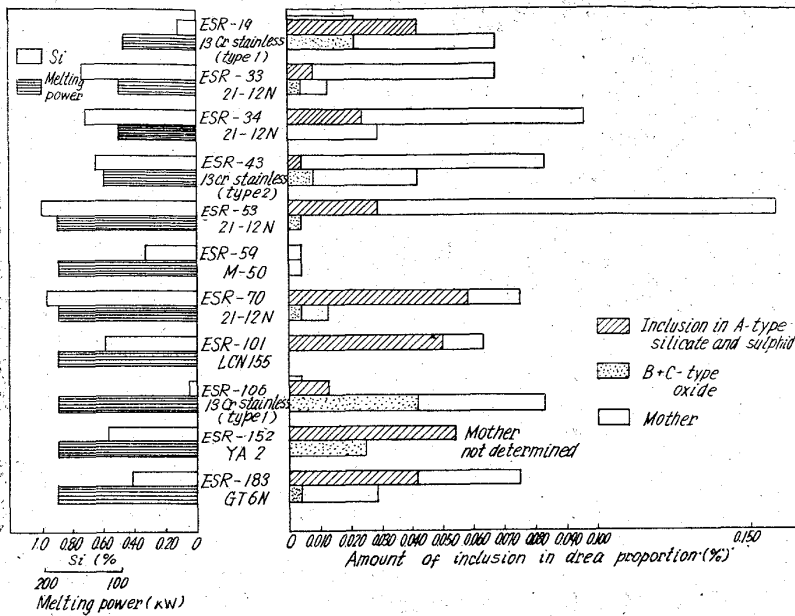


Fig. 2. Removal of non-metallic inclusion and two affecting factors, power applied and Si content in remelted steel.

(86) エレクトロスラグ法による鑄塊の鑄肌、鑄塊性および溶解速度について

(エレクトロスラグ再溶解-ESR-法に関する研究-I)

神戸製鋼所, 中央研究所

理博 草道 英武

工博 成田 貴一

○福原 義浩・小山 伸二

On Ingot Surface, Ingotism and Melting Rate of Electroslag Remelted Ingot. (Studies on electroslag remelting, ESR-I)

Dr. Hidetake KUSAMICHI,

Dr. Kiichi NARITA,

Yoshihiro FUKUHARA

and Shinji KOYAMA

1. 緒 言

コンセルアーク溶解法の開発は高品質、高信頼性の特殊鋼の溶解技術に画期的な進歩をもたらした。たしかにコンセルアーク溶解法には周知のごとくいろいろの特徴があるが、また一方では2, 3の改良すべき点も残されている。すなわち1) 鑄肌があまり良好でない、2) 直流電源および真空排気系を必要とするので設備費が高価である、などである。ソ連ではエレ

コンセルアーク溶解法の開発は高品質、高信頼性の特殊鋼の溶解技術に画期的な進歩をもたらした。たしかにコンセルアーク溶解法には周知のごとくいろいろの特徴があるが、また一方では2, 3の改良すべき点も残されている。すなわち1) 鑄肌があまり良好でない、2) 直流電源および真空排気系を必要とするので設備費が高価である、などである。ソ連ではエレ

(3) 地疵については容易に極めて水準の高い材質を得ることができる。

(4) 非金属介在物の精錬には、素材の脱酸素素含量が十分で、溶解電力を余り上げず、かつ鋼の溶融点が高い場合に最も優れた結果を得た。溶解速度が早い時はA型介在物の除去率が悪く、脱酸素素量の少ない時にはB+C型が多く残留した。

(5) 化学成分は鋼塊底部に大きな変動がみられたがそれ以外の部分ではSiに多少の酸化損失がある程度でほかの元素には母材に比して問題となる程の差を見なかつた。なおS分析値は再溶解によりかなりの脱硫が行なわれることを示している。

文 献

- 1) トレグベンコ, レイベンソン: エレクトロスラグ再溶解法による製鋼 (1962) ソ連冶金出版局, 日ソ通信社訳。
- 2) A. F. TREGBENKO et al: Stal (in English), 3 (1961), p. 190.
- 3) V. V. TOPILIN et al: Stal (in English), 9 (1963), p. 700.
- 4) W. RICHLING: Neue Hütte, 9 (1961), p. 565.
- 5) A. C. WILLIAMS: J. Iron & Steel Inst.(UK), 7, (1964), p. 581.

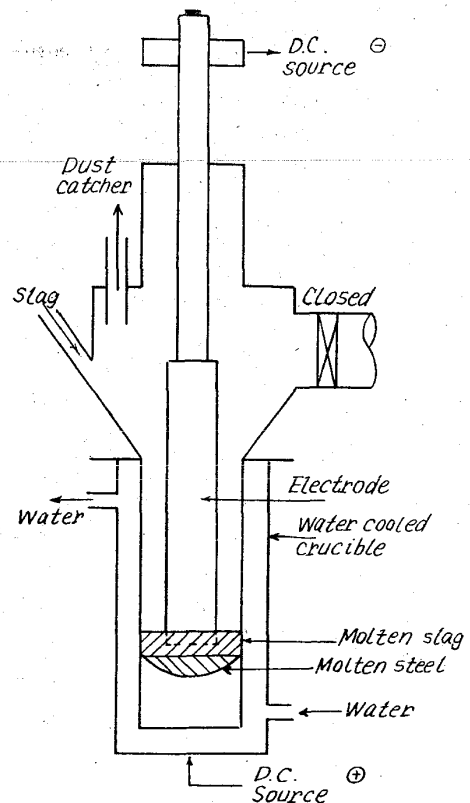


Fig. 1. Apparatus for ESR.