

溶融状態に保持される時間は5分程度であるといわれるから溶融プール中における反応が継続中に凝固することになる。したがって特に急冷される鋼塊表皮に porosity の欠陥を集中する可能性がある。上述の溶解でえられた試料を縦断してマクロ試験を行なった結果、脱ガス反応の著しかった溶解ほど鋼塊表皮に blow hole を残したことは上述の理由にもとづくものと思われる。

以上のことから真空アーク溶解法において健全な鋼塊を製造するためには、可及的清浄な電極を用いること、組成による反応条件を考慮して雰囲気、溶解電流の諸元を撰択すること等が極めて重要であろう。勿論脱ガス反応がこのようにプール中において支配的に行なわれるものとするれば、炉の容量によりその反応の程度は異なるものと考えられ以上は 2000 Amp 容量の炉による実験結果であり本溶解法の特質についての定性的な見解を示したものであることを附言しておく。

IV. 総 括

炭素濃度の異なる鉄、鉄クロム合金、オーステナイト・ステンレス鋼等を実験室的規模で真空アーク溶解を行ない、その脱ガス機構につきつぎの見解がえられた:

(1) 脱酸、脱ガス反応は主として溶融プール中において浮揚精錬効果および C-O 反応によつて行なわれる。窒素は酸素に比較して除去され難い。

(2) 溶融プール中における溶鋼の滞在時間が短いため平衡条件に極めて到達し難い。したがってクロムを添加して酸素が拘束された条件下でも到達酸素値に差は検出せられなかつた。

(3) 脱ガス反応が主として溶融プール中において行なわれるものとするれば、その脱ガス効果は溶解炉の容量、溶解電流等によりその反応程度も異なるものと予想される。

文 献

- 1) 川畑, 渡辺: 鉄と鋼, 47 (1961), 715
- 2) 高尾: 学振 19 委, 6382

667.10.096.517-982;
669.187.251624.192.98
1062036
(36) 組成変化および鋼塊の偏析について 6672-894

(真空アーク溶解法の精錬効果に関する研究—II)

日本冶金工業川崎製造所

工博 川畑 正夫・○渡辺 哲弥

Consideration on Composition-Change and Ingot Segregation.

(Study on the refining process of vacuum arc melting—II)

Dr. Masao KAWAHATA and Tetsuya WATANABE.

I. 緒 言

第1報において実験室的規模の真空アーク溶解装置を用い、真空アーク溶解の基本的な精錬機構についての見解をのべ、その際精錬効果は溶解炉の容量により、ある程度影響をうける可能性があることを附言したが、筆者らはさらに 8000 Amp 容量の半工業的規模の真空アーク

溶解装置により、主として AISI-304, A-286 耐熱合金の溶解を行ない、その精錬機構を追求した。本実験は主として酸素、窒素等のガス成分を含めて、真空アーク溶解による成分変化、および鋼塊の均一性について、統計的な手法により解析考察したものである。

II. 供試材および実験方法

電極材の製造条件は、AISI-304 については 10 等 塩基性電弧炉にて 1 等 鋼塊 8 本に造塊し、これらを鍛造、皮削り後 170mm φ に成型し供試電極材とした。A-286 合金については、1 等 大気中誘導炉にて溶解し、500 kg 鋼塊 2 本に分注したのち、1 本を熱間鍛造、皮削りにより 170mm φ に成型し、供試電極とし、残り 1 本は大気溶解代表の試料に充当した。

両鋼種とも真空アーク溶解の作業性は良好で、グロー放電等の障害もなく、溶解中の真空度も 1 μ Hg 程度の最良の条件で、径 250mm φ、高さ約 500mm の鋼塊に再溶解することができた。鋼塊は AISI-304 については表面皮削り後熱間鍛造、圧延工程をへて 12mm 厚の板に加工し、真空アーク溶解鋼塊の中心部該当位置より分析試料を採取し、一方それぞれの電極残材より採取した大気溶解材試料の分析組成と対比させた。A-286 については大気溶解材、真空溶解材ともに Fig. 1 に示すごとく鋼塊を縦断し、片側はマクロ試験に供し、片側は鋼塊各所より分析試験片を採取し、両者の各元素組成の均一性、組成変化を考察した。

III. 試 験 結 果

(1) AISI-304 についての組成変化

Table 1 に溶解前の電極材組成と、真空アーク溶解材組成を対比して示した。対の各データは対応があるものであり、大気溶解材、真空アーク溶解材の各グループをそれぞれについてプールし、両者の平均値を各元素について比較しその有意性を検定すれば、真空アーク溶解に際しての組成変化に対する技術的見解がえられる。ただし N, O に関しては両者の平均値をみれば真空アーク溶解材により、これらガス成分は著しく低下していることは明かであり、Mn についても同様であるので、この場合両溶解法のバラツキすなわち分散比の検定のみ行なつた。

検定結果では、C については真空アーク溶解による平均濃度の減少は高度に有意であり、Si, Ni は真空アーク

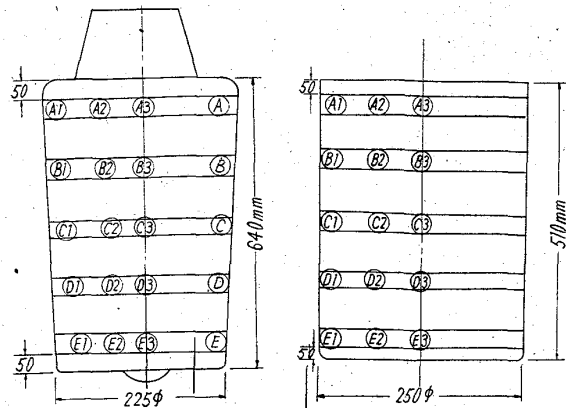


Fig. 1. Location for taking analytical samples.

Table 1. Chemical composition of AISI-304.

No.	Code	Chemical composition (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	O
29764-1	* A	0.066	0.70	1.47	0.031	0.007	8.71	18.67	0.21	0.032	0.0059
	** V	0.062	0.72	1.27	0.030	0.007	8.62	18.61	0.21	0.028	0.0027
-2	A	0.065	0.70	1.48	0.030	0.007	8.74	18.56	0.20	0.036	0.0051
	V	0.062	0.72	1.08	0.032	0.007	8.93	18.65	0.20	0.023	0.0024
-3	A	0.070	0.70	1.48	0.031	0.007	8.71	18.61	0.21	0.035	0.0053
	V	0.058	0.71	1.16	0.030	0.007	8.67	18.65	0.20	0.027	0.0027
-4	A	0.069	0.71	1.51	0.032	0.007	8.73	18.59	0.20	0.034	0.0087
	V	0.070	0.73	1.10	0.035	0.007	9.05	18.62	0.21	0.023	0.0029
-5	A	0.070	0.73	1.49	0.031	0.006	8.75	18.66	0.20	0.034	0.0075
	V	0.055	0.72	1.19	0.030	0.007	8.81	18.58	0.21	0.021	0.0032
-6	A	0.064	0.70	1.48	0.030	0.007	8.69	18.64	0.20	0.035	0.0068
	V	0.055	0.72	1.06	0.030	0.007	8.97	18.71	0.20	0.023	0.0027
-7	A	0.068	0.70	1.48	0.031	0.007	8.70	18.59	0.21	0.030	0.0069
	V	0.062	0.71	1.10	0.029	0.007	8.88	18.63	0.21	0.023	0.0031
-8	A	0.065	0.71	1.48	0.030	0.006	8.71	18.68	0.20	0.032	0.0058
	V	0.061	0.73	1.08	0.030	0.007	8.91	18.67	0.21	0.025	0.0029
Average	\bar{A}	0.067	0.705	1.485	0.0308	0.0067	8.72	18.65	0.205	0.033	0.0068
	\bar{V}	0.062	0.72	1.125	0.0307	0.0070	8.86	18.64	0.205	0.024	0.0032

* Electrode

** Vacuum arc-melted steel.

Table 2. Chemical composition of air-melted and vacuum arc-melted ingots.

Code	Position	Chemical composition (%)												
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al	N	O
Air-melted ingots	A-1	0.053	0.47	1.45	0.016	0.004	26.55	15.63	1.44	0.39	1.53	0.24	0.009	0.0012
	A-2	0.054	0.47	1.47	0.016	0.004	26.55	15.62	1.35	0.46	1.65	0.35	0.009	0.0012
	A-3	0.052	0.45	1.47	0.016	0.006	26.55	15.62	1.42	0.43	1.78	0.31	0.009	0.0015
	B-1	0.054	0.45	1.54	0.016	0.004	26.65	15.63	1.37	0.50	1.53	0.25	0.009	0.0113
	B-2	0.056	0.46	1.45	0.016	0.006	26.68	15.66	1.44	0.41	1.63	0.21	0.008	0.0009
	B-3	0.053	0.46	1.43	0.020	0.004	26.59	15.76	1.44	0.41	1.80	0.22	0.010	0.0008
	C-1	0.051	0.46	1.45	0.016	0.006	26.59	15.61	1.42	0.41	1.63	0.30	0.011	0.0037
	C-2	0.055	0.46	1.47	0.016	0.004	26.60	15.59	1.44	0.41	1.78	0.24	0.008	0.0029
	C-3	0.053	0.45	1.45	0.016	0.006	26.67	15.60	1.46	0.48	1.80	0.26	0.009	0.0012
	D-1	0.053	0.47	1.45	0.016	0.007	26.68	15.58	1.43	0.48	1.65	0.24	0.008	0.0048
	D-2	0.053	0.45	1.43	0.016	0.004	26.65	15.59	1.44	0.46	1.72	0.34	0.010	0.0012
	D-3	0.052	0.45	1.45	0.016	0.004	26.64	15.50	1.44	0.44	1.77	0.31	0.010	0.0006
	E-1	0.054	0.46	1.46	0.016	0.007	26.68	15.58	1.43	0.46	1.59	0.23	0.009	0.0006
	E-2	0.054	0.45	1.47	0.016	0.004	26.67	15.74	1.39	0.46	1.78	0.31	0.009	0.0006
	E-3	0.052	0.45	1.45	0.016	0.006	26.50	15.60	1.46	0.44	1.79	0.28	0.010	0.0006
Average		0.053	0.46	1.46			26.62	15.62	1.43	0.41	1.70	0.27	0.009	0.0022
Vacuum arc-melted ingots	A-1	0.049	0.49	1.29	0.015	0.006	26.92	15.70	1.46	0.40	1.66	0.26	0.010	0.0006
	A-2	0.051	0.50	1.28	0.016	0.004	26.85	15.57	1.47	0.40	1.68	0.27	0.009	0.0006
	A-3	0.053	0.49	1.29	0.016	0.004	26.92	15.60	1.46	0.40	1.64	0.26	0.008	0.0007
	B-1	0.053	0.49	1.34	0.017	0.006	26.92	15.49	1.46	0.42	1.59	0.23	0.007	0.0006
	B-2	0.053	0.49	1.32	0.015	0.004	26.91	15.65	1.46	0.38	1.59	0.29	0.007	0.0007
	B-3	0.050	0.48	1.29	0.015	0.006	26.80	15.64	1.49	0.45	1.52	0.28	0.011	0.0010
	C-1	0.050	0.49	1.38	0.016	0.006	26.85	15.64	1.48	0.43	1.60	0.29	0.011	0.0011
	C-2	0.050	0.48	1.35	0.015	0.004	26.90	15.65	1.49	0.40	1.57	0.26	0.009	0.0011
	C-3	0.051	0.48	1.33	0.015	0.006	26.75	15.65	1.49	0.40	1.58	0.29	0.009	0.0010
	D-1	0.050	0.49	1.38	0.015	0.004	26.80	15.57	1.51	0.38	1.56	0.20	0.010	0.0008
	D-2	0.041	0.47	1.35	0.015	0.004	26.72	15.50	1.49	0.50	1.62	0.23	0.012	0.0007
	D-3	0.043	0.48	1.37	0.015	0.004	26.94	15.60	1.47	0.41	1.64	0.27	0.010	0.0008
	E-1	0.043	0.47	1.31	0.015	0.006	26.85	15.43	1.42	0.46	1.69	0.27	0.009	0.0006
	E-2	0.043	0.47	1.35	0.015	0.006	26.87	15.52	1.48	0.41	1.67	0.20	0.009	0.0008
	E-3	0.043	0.48	1.34	0.015	0.004	26.70	15.57	1.50	0.46	1.59	0.22	0.007	0.0013
Average		0.048	0.48	1.31			26.96	15.58	1.47	0.43	1.62	0.25	0.009	0.0008

溶解することにより含有値はアーク溶解前より増加し、しかもこの平均値の増加は 95% 信頼限界にて有意であると判定される。Cr についてはその平均値の差は有意でない。分散比の検定では、N については両者のグループのバラツキは同程度であり、O については大気溶解材のバラツキは真空アーク溶解することにより著しく減少し、Mn は逆に真空アーク溶解の方がバラツキが大きい。

(2) A-286 についての偏析および組成変化

Table 2 に大気溶解、真空アーク溶解鋼塊本体各位置から採取した試料の分析試験結果を示す。両鋼塊の偏析度の比較は各成分についての分散比を検定すればよい。また両者の各成分の平均値の有意差を検討すれば、前項実験の場合と同様真空アーク溶解における各成分の動向を知ることができる。この場合両溶解法による鋼塊の凝固条件が全く異なるので対応あるものとはいえない。したがって検定手順としては、各成分についてまず両者の分析成分のバラツキを F 検定し、その結果分散が有意でなければ t 検定し、分散が有意であれば Welch の方法により両者の平均値の有意性を検出した。分散比の検定では C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, V, Al, N の各元素はいづれの場合も有意差がみとめられず、両者とも均一性に差はないことが判明した。Ti, O については真空アーク溶解鋼塊は大気溶解鋼塊に比較し、高度に均一であることが判明した。両者の平均値の有意性の検定では、真空アーク溶解による C, Mn, Ti, O の平均含有値の減少、Si, Ni, Mo の平均含有値の増加はいづれも高度に有意であり、Cr, V, Al, N の両者の平均含有値は有意でないとして検定された。すなわちほぼ AISI-304 の結果と同様の傾向であるが、この場合脱窒効果はえられていない。

IV. 考 察

以上の解析結果を総括して考察すると、まず成分変化については、真空アーク溶解による含有値の減少が有意であったものは、C, Mn, O, N (AISI-304), Ti, 含有値の増加が有意であったものは Si, Ni, Mo, V, 含有値の変化に有意性がなかつたものは Cr, Al, N (A-286) ということになる。両鋼種の各元素の組成濃度における蒸気圧を考慮すると、鉄とはほぼ同一または鉄より高い蒸気圧を示すものは減少または成分変化をきたさず、鉄より低い蒸気圧を示す元素は濃縮する傾向がある。したがって真空アーク溶解においても、溶解中に組成金属の蒸発が間断なく行なわれ、わずかながら組成変化をおこしていることが判明した。また分散比の検定結果をあわせて脱ガス機構について考察すると、N は真空アーク溶解により有意に除去されるが、その到達値のバラツキは原料電極材程度であり、換言すれば真空アーク溶解による N 到達値は主として電極材中の N 量に支配されるともいえる。A-286 では N が有意に減少しなかつたことは、電極材中の N が低いことによるものであろう。O については極めて有意に除去されるのみならず、到達した O 量のバラツキは溶解前のバラツキを消滅し、極めて狭い範囲に管理されるものと考えられる。A-286 で Ti が有意に減少したことは、この場合むしろ有害な金属間化合物の偏析の解消と解釈した方が妥当であろう。このよう

に C, O 各両素の動向から溶融プール中における C-O 反応の存在が確証づけられる。とくに A-286 のごとく活性合金元素を多量に含有する組成においては、真空アーク溶解法により脱ガス効果が達せられるのみならず、合金元素を著しく均一化する効果があることが判明した。

最後に高蒸気圧成分 Mn の動向を考察すると、AISI-304 の場合では供試電極材はいづれも同チャージで、その含有量はほぼ同一であるにもかかわらず、これを真空アーク溶解したものはバラツキが著しかつた。これは Mn のごとき蒸発性元素の蒸発程度は、単に原料電極材の含有量のみで一次的にきまるものではないことを意味している。しかしこの場合でも真空アーク溶解鋼塊内の分布は極めて均一である。

(37) 消耗電極式真空アーク溶解法による鋼塊について

(鋼塊の内部性状—Ⅱ)

特殊製鋼

平野 昇・鈴木 紀政

石川英次郎・田中 哲夫

Ingots Melted in a Vacuum Melting Furnace with a Consumable Electrode.

(Internal structure of ingots—Ⅱ)

Noboru HIRANO, Michimasa SUZUKI,
Eijiro ISHIKAWA and Akio TANAKA.

I. 緒 言

前報で消耗電極式真空アーク溶解法（以下真空アークメルト法と略称する）は優秀な鋼塊内部性状を得るための凝固条件を溶鋼に附与すること、当法による SUS 22 の鋼塊および鋼材は大気製のそれらに比較して著しく優れていることを報告した。

筆者らは、更に真空アークメルト法による SKH 2 の 100 kg および 200 kg 鋼塊ならびに SUJ 2 と 13 Cr-Mo の 300 kg 鋼塊について、それらの内部性状と鍛圧鋼材を調査したのでそれらの結果を報告する。

II. 試 験 要 領

大気中の酸性高周波炉にて SKH 2、塩基性電弧炉にて SUJ 2 および 13 Cr-Mo を溶解し、それぞれの鋼塊を鍛造後表面を約 1mm 旋削し、SKH 2 の棒鋼 (150 φ × 約 760mm) を 5 本、SUJ 2 または 13 Cr-Mo の棒鋼 (177 φ × 約 2230mm) を各 1 本製造し、これらを電極母材とした。これら母材の化学成分を Table 1 に示す。

これらの電極材を 1 t 真空アークメルト炉にて溶製し SKH 2 の 200 kg 鋼塊を 2 本 (SL-401: 195 φ × 870 mm, SL-402: 195 φ × 910 mm) と 100 kg 鋼塊 (SL-403: 195 φ × 435 mm 磁場冷却) を 1 本得、SUJ 2 および 13 Cr-Mo の 300 kg 鋼塊を各 1 本 (VAC-1: 290 φ × 700 mm, VAC-2: 290 φ × 720 mm) 得た。この SL-401 および SL-403 鋼塊は軸心をとる縦断面をヘール仕上し、マクロ腐食後肉眼検査し、各所より分析試料と検鏡試験片を採取し、成分偏析、炭化物分布状態を調