

- A: 真空熔解 FCH-1 29 Cr, 4.8 Al, 残 Fe
- B: 真空熔解 FCH-2 20 Cr, 3.3 Cr, 残 Fe
- C: 大気中熔解試作 FCH-2 19 Cr, 3.8 Al, 残 Fe
- D: 大気中熔解市販 FCH-2 18 Cr, 3 Al 残 Fe
- E: 大気中熔解市販 HCH-1 19.3 Cr, 77.0 Ni, 2.4 Mn

図27. 強制寿命試験

(4) その他
Thermo-couple 用合金, Expand metal や封着合金などは成分の配合が正確におこなわれ, 性能の高いものが得られた。また軸受鋼, 耐熱鋼もすぐれた性能のものが得られる。

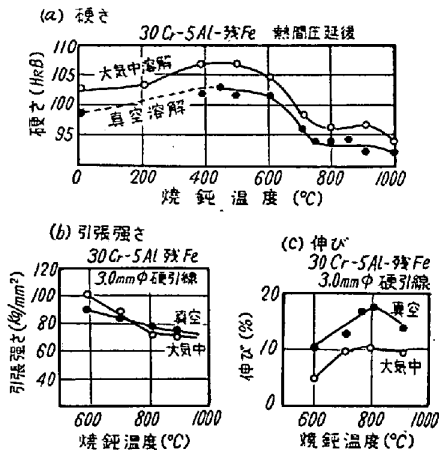


図28. 電熱合金の機械的性質

V. 鋼の真空熔解鑄造に関する研究*

松本茂樹**

最近鋼質改善の方法として実際工業的規模で, 真空熔解や真空鑄造が各所でおこなわれ, 当所においても真空

鑄造の技術を西独ボフマー社より導入して実施中である。また一昨年秋当研究所においても熔解量 5 kg の小型真空熔解鑄造装置を設置以来各種の試験運転を続けて来たが本報においては, 真空造塊作業の基礎的資料その他の資料を得る目的をもって, この装置を用い各種の鋼を熔解し成分歩留, ガス含有量, その他の諸条件ならびに真空熔解鋼塊と, 大気熔解鋼塊との各種性状と二, 三の機械試験の比較を実施したのでその結果について簡単に報告する。

1. 試験要領

炭素量の種々異なる普通鋼と二, 三の特殊鋼を熔製し熔解諸条件, 熔製鋼塊の性状, 二, 三の機械的性質を調べた。

熔解材料の化学成分およびガス量を表 14 に示す。

後掲のごとき化学成分の炭素鋼 5 種および高炭素 Cr-Mo 鋼, Ni-Cr-Mo-V 鋼, Cr-Mo-V 鋼, Mo 鋼, 高炭素 Ni-Cr-Mo 鋼の計 10 鋼種を選び, 真空ならびに大気中とも高アルミナ製のルツボをもちいて熔解し, 諸種の試験に供した。

(1) 真空熔解

表 14 に示した主材料を適当に配合し, ルツボ中に装入し真空ポンプを作動して 10^{-5} mmHgに達した後, 加熱熔解を開始する。しかるときは原料内のガス放出により 10^{-2} mmHg程度に圧力が上昇する。完全に熔解後 7~20 mn 経過すれば圧力は 10^{-3} mmHgに達する。この間に温度を上昇せしめ 1630°C に達した後表14に示した添加材料を添加室より投下して 2mn 後に鑄型に鑄込んだ。

(2) 大気熔解

表 14. 熔解材料の化学成分およびガス量

品名	成分	化学成分 (%)						ガス量 (ppm)		
		C	Si	Mn	P	S	その他	H ₂	O ₂	N
鋼材	B 1	0.09	0.12	0.25	0.016	0.027		1.81	30	48
	B 3	0.35	0.23	0.45	0.018	0.025	Ni 0.13 Cr 0.06	3.67	30	39
	B 5	0.56	0.38	0.52	0.028	0.034	Ni 0.22 Cr 0.09	0.80	110	34
純鉄		0.03	0.01	tr	0.003	0.010		108.18	710	56
鉄	Pig No. 1	4.30	2.70	0.65	0.025	0.060		13.34	190	109
	Pig No. 2	3.57	0.40	0.13	0.192	0.030		0.59	70	84
	Pig No. 3	4.27	0.01	tr	0.003	0.010		3.75		33
添加材料	金属 Si		99.56					4.32		1009
	金属 Mn			99.00				37.28		440
	金属 Cr						Cr 99.00	2.69		308
	Fe-Mo	0.10	0.23	0.10	0.010	0.030	Mo 64.76	1.07		
	Fe-V	0.08	0.49	—	0.011	0.053	V 56.87	14.77		
	Fe-P				23.54			5.30		
	L-C	96.0				29.28				

* 生産炉について発表する予定であったが, まだ十分なデータが集積されていないので小型炉について行なつた基礎実験の結果を報告する。
** 株式会社日本製鋼所

真空熔解の場合と同質のルツボに主材料を適当に配合熔解し、1630°C に達した後添加材料を投入し 2mn 後に鑄型に鑄込んだ。

(3) 分析方法

化学成分の分析は学振迅速分析法、水素分析は真空加熱抽出法、酸素は真空熔融法、窒素は蒸留法、酸化物は温硫酸法によつてそれぞれ分析した。介在物の判定は学振第3法によつた。

2. 試験結果

(1) 各種元素の歩留

真空熔解および大気熔解の場合の各鋼塊の成分とその

歩留りを表 15 に示した。

すなわち真空熔解せる場合各成分のうち Mn の歩留がもつとも低く炭素鋼、特殊鋼ともに約 30% であつて、大気熔解の場合に比較し 1/2 以下である。C は炭素鋼においては真空熔解の場合、かなり減少している。その割合は低圧における C-O の関係にしたがつて減少すると考えられるよりもはるかに多い。これはルツボ材との反応などにもよるものであると考えられる。また Cr, Mo, V など C の活動度を減少せしむるがごとき成分の共存する特殊鋼においては C の減少は顕著でなく、かつ大気熔解との差がほとんどない。

表 15. 成分および歩留

鋼種	符号	産出成分 (歩留%)								
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
炭素鋼	V 1	・04 (27・0)	・01 (83・5)	・26 (28・0)	・022 (105)	・024 (89・0)				
	O 1	・06 (10・0)	・03 (15・0)	・22 (48・0)	・025 (104)	・018 (70・0)				
	V 3	・23 (66・0)	・40 (100)	・24 (27・0)	・026 (100)	・017 (68・0)				
	O 3	・25 (71・1)	・32 (64・0)	・25 (55・6)	・020 (102)	・019 (76・0)				
	V 5	・45 (64・5)	・44 (100)	・32 (33・5)	・024 (105)	・018 (76・0)				
	O 5	・40 (71・5)	・43 (78・2)	・34 (61・6)	・031 (104)	・030 (88・2)				
	V 7	・60 (75・0)	・53 (100)	・28 (37・4)	・032 (102)	・022 (87・0)				
	O 7	・61 (81・4)	・51 (81・0)	・34 (65・4)	・034 (100)	・018 (53・0)				
	V 9	・89 (89・0)	・40 (100)	・16 (21・3)	・052 (98・0)	・021 (81・0)				
	O 9	・79 (75・0)	・32 (64・0)	・23 (64・0)	・047 (91・0)	・026 (100)				
高炭素 Cr-Mo 鋼	VA 1	・83 (89・2)	・21 (68・5)	・18 (22・5)	・017 (100)	・018 (82・0)	・06 —	1・93 (96・6)	3・1 (104)	・01 —
	OA 1	・79 (89・7)	・26 (81・2)	・27 (77・1)	・015 (97・5)	・022 (99・0)	・04 —	1・86 (96・4)	・30 (100)	・04 (100)
Ni-Cr-Mo-V 鋼	VA 2	・25 (83・5)	・32 (100)	・43 (36・8)	・017 (95・0)	・014 (56・0)	2・24 (93・4)	・60 (100)	・48 (80・0)	・11 (100)
	OA 2	・28 (83・2)	・33 (82・5)	・48 (80・0)	・018 (104)	・022 (83・5)	2・17 (96・5)	・62 (105)	・48 (96・0)	・11 (84・6)
Cr-Mo-V 鋼	VA 3	・40 (83・3)	・33 (100)	・82 (28・2)	・017 (95・0)	・015 (63・0)	・47 (94・0)	1・09 (99・0)	1・53 (100)	・32 (100)
	OA 3	・34 (75・6)	・35 (87・6)	・79 (81・4)	・016 (100)	・020 (85・0)	・43 (91・8)	1・04 (94・6)	1・48 (98・1)	・29 (85・3)
Mo 鋼	VA 4	・25 (73・6)	・58 (83・0)	・41 (20・5)	・018 (106)	・012 (48・0)	・06 —	・05 —	・64 (107)	tr
	OA 4	・28 (82・3)	・53 (80・2)	・42 (75・0)	・019 (106)	・020 (80・0)	・05 —	・05 —	・64 (100)	・01 —
高炭素 Ni-Cr-Mo 鋼	VA 5	・75 (85・1)	・36 (94・9)	・90 (41・0)	・012 (85・0)	・018 (86・0)	2・48 (99・0)	・85 (94・3)	・60 (100)	・02 —
	OA 5	・66 (79・5)	・31 (91・2)	・99 (90・0)	・017 (108)	・022 (92・0)	2・46 (98・5)	・82 (95・5)	・60 (100)	・01 —

V: 真空熔解 O: 大気熔解

Sは炭素鋼では大気熔解と真空熔解との差異は認められないが特殊鋼では、真空熔解の場合の減少量は大きくある。また Ni, Cr, Mo の歩留りは真空および大気熔解の差異は認められない。V の場合は真空の場合ほぼ100%、大気熔解の場合は約 90% の歩留りを示している。

(2) 各種ガス類、各種介在物および結晶粒度の変化鋼中の水素、酸素、窒素、顕微鏡的非金属介在物およびオーステナイト結晶粒度の真空熔解と大気熔解との場合の比較を表 16 に示した。

i) 水素、酸素、窒素

水素は純熔鉄の場合平衡水素量は水素圧が 10^{-2} mm

Hg であれば 0.1 ppm 以下、 10^{-3} mmHg では約 0.035 ppm である。本結果は炭素鋼で $0.15 \sim 0.67$ ppm, 平均 0.29 ppm, 特殊鋼では $0.25 \sim 0.83$ ppm, 平均 0.64 ppm を示している。これは共存成分の影響を受けるためと考えられるが、熔鉄中の水素におよぼす他成分の影響に関する基礎的資料に乏しいので、この理由については明らかになし得ない。しかしいづれにしても水素量は大気熔解の場合に比較してかなり顕著に低くなっている。

酸素については CO 分圧 10^{-2} mmHg, 炭素量 0.2% であれば酸素量は約 1 ppm である。したがって共存成分の影響を考慮してほぼ平衡

に近い状態まで酸素量が低下しているものと推定される。

窒素は真空熔解をおこなつても水素、酸素などのごとく顕著に低減しない。これはきわめて安定な化合物の生成、熔鉄中の拡散速度のおそいことなどの原因によるものと考えられる。しかし大気熔解のものに比較して $1/5$ 程度まで低下している。

ii) 非金属介在物

真空熔解することにより酸化物系の C 型介在物は非常に減少する。大気熔解のものに比較して、炭素量が低くなるにつれてその差異が顕著になつている。また硫化物系を主体とする A 型介在物は真空熔解と大気熔解とは差異は認められない。両者の代表例を写真 1 に示した。

iii) オーステナイト結晶粒度

オーステナイト結晶粒度は真空熔解と大気熔解ではほとんど差異がない。

(3) 鋼塊諸性状の比較

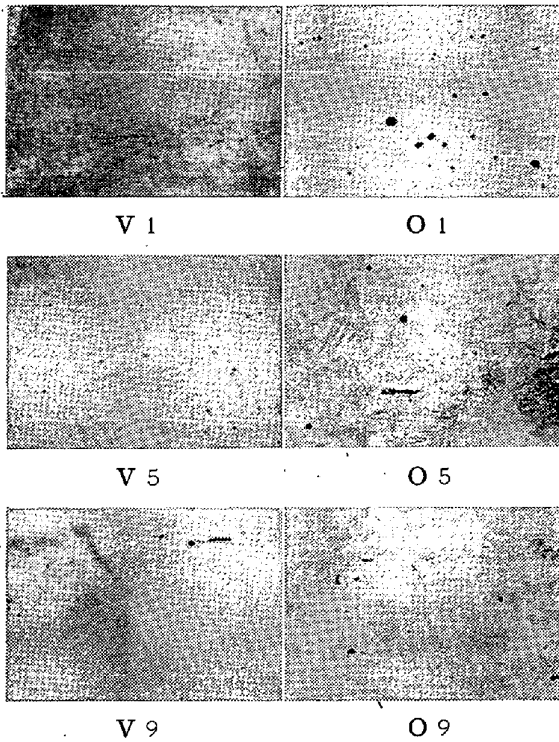
真空熔解および大気熔解せる鋼塊の二、三の性状につき比較する。

i) 鋼塊鑄肌

表 16. ガス、介在物、および結晶粒度測定結果

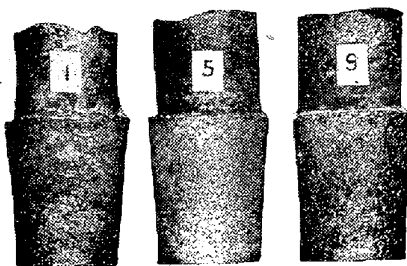
鋼 種	符 号	ガ ス 量 (ppm)			介在物面積率 (%)		結晶粒度 G. No.
		H ₂	O ₂	N ₂	A 型	C 型	
炭 素 鋼	V 1	0.15	3	31	0.000 0.004	0.025 0.025	5.0 5.0
	O 1	1.64	236	92	0.000 0.028	0.351 0.225	4.5 4.5
	V 3	0.20	10	31	0.017 0.042	0.058 0.008	3.0 3.0
	O 3	3.02	249	154	0.045 0.025	0.200 0.238	4.0 4.0
	V 5	0.25	13	22	0.021 0.058	0.028 0.042	5.0 5.5
	O 5	2.29	97	123	0.042 0.075	0.095 0.092	4.5 4.5
	V 7	0.67	2	28	0.063 0.063	0.017 0.000	5.0 5.0
	O 7	2.46	62	87	0.088 0.092	0.175 0.108	4.0 4.5
	V 9	0.22	3	11	0.058 0.067	0.013 0.079	5.0 5.0
O 9	1.76	76	48	0.042 0.050	0.121 0.066	5.0 4.5	
高 炭 素 Cr-Mo 鋼	V A 1	0.68	10	31	0.025 0.042	0.004 0.008	6.5
	O A 1	2.48	87	120	0.050 0.050	0.029 0.038	6.5
Ni-Cr-Mo- V 鋼	V A 2	0.78	4	56	0.033 0.033	0.025 0.000	6.5
	O A 2	5.40	127	98	0.054 0.071	0.062 0.071	6.5
Cr-Mo-V 鋼	V A 3	0.25	6	45	0.046 0.058	0.017 0.008	6.0
	O A 3	3.47	110	126	0.050 0.129	0.054 0.073	6.0
Mo 鋼	V A 4	0.67	3	45	0.054 0.058	0.008 0.017	7.0
	O A 4	2.91	111	84	0.054 0.033	0.128 0.038	5.0
高 炭 素 Ni-Cr-Mo 鋼	V A 5	0.83	6	31	0.046 0.050	0.004 0.000	6.0
	O A 5	1.86	112	101	0.075 0.146	0.054 0.033	6.0

写真1. 顕微鏡的介在物 ×400
真空熔解 大気熔解



真空熔解せるものはその一例を写真2に示すごとく、
 鑄込時飛散し、乱注となり易く鋼塊鑄肌は不良となつて
 いる。しかし後に示すごとく極く表面の不良部分は表層
 部に限られている。

写真2. 真空熔解鑄造鋼塊の鑄肌
V1 V5 V9



ii) 鋼塊内部状況

鋼塊の縦断面のマクロエッチ、およびサルファプリントの代表例を写真3にそれぞれ示した。

(4) 材力試験結果

i) 炭素鋼

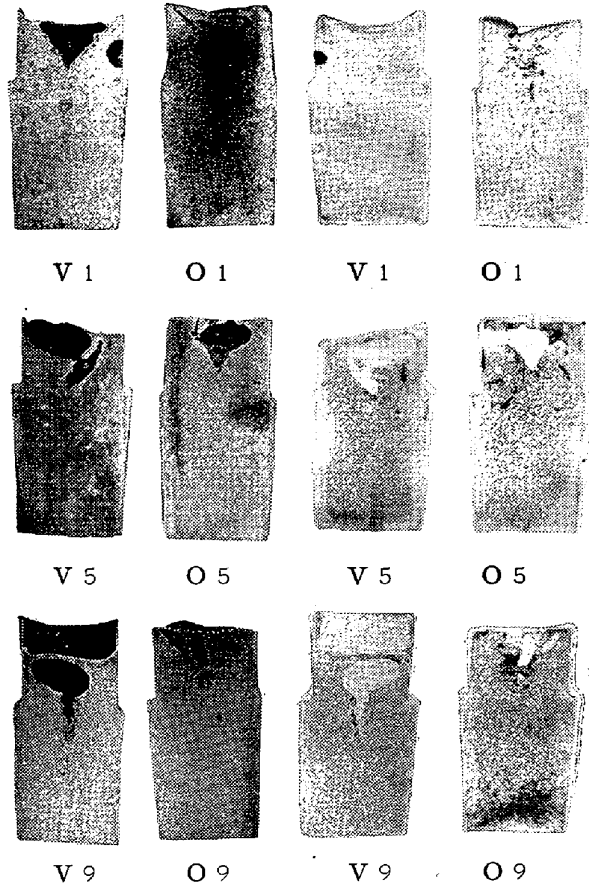
炭素鋼の焼鈍試料について衝撃試験と抗張試験を行なつた。その平均結果を示すと図29および図30のごとくである。

ii) 二、三の特殊鋼

つぎに示すごとき熱処理を施した7mm型抗張試験片およびVノッチ、シャルピー試験片による常温の材力

写真3. 真空熔解鑄造と大気熔解鑄造による鋼塊の比較

マクロ組織 サルファプリント
 真空熔解 大気熔解 真空熔解 大気熔解



試験結果を表17に示す。

- イ) VA2. OA2 840°C × 1h OQ 650°C × 3h Oil
 - ロ) VA3. OA3 950°C × 1h OQ 650°C × 3h Oil
 - ハ) VA5. OA5 900°C × 1h OQ 650°C × 3h Oil
- 特殊鋼の場合も炭素鋼の場合とほぼ同じ傾向である。

3. 総括

本試験においては真空熔解と大気熔解との各種ガス類介在物および結晶粒度の変化、鋼塊諸性状二、三の機械的試験結果を比較した。これを要約すると、

(1) 各種成分の歩留りより

真空熔解に際しては熔解操作上炭素は酸素あるいはルツボ材と反応し低減するため、その歩留りは悪くC量の調節は困難である。

マンガンは非常に蒸発し易く歩留りが極めて悪く、その調節が一番難かしいので今後この点研究を要する。その他の成分はあまり変動がないので調節は比較的容易である。

(2) 真空熔解せる鋼塊は水素、酸素は非常に減少す

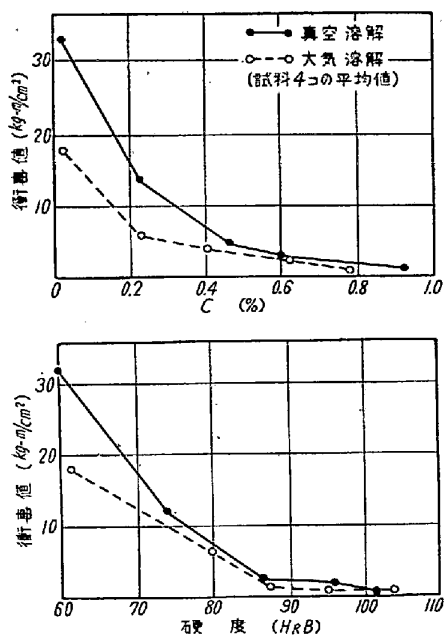


図29. 上 C量と衝撃値との関係
下 硬度と衝撃値との関係

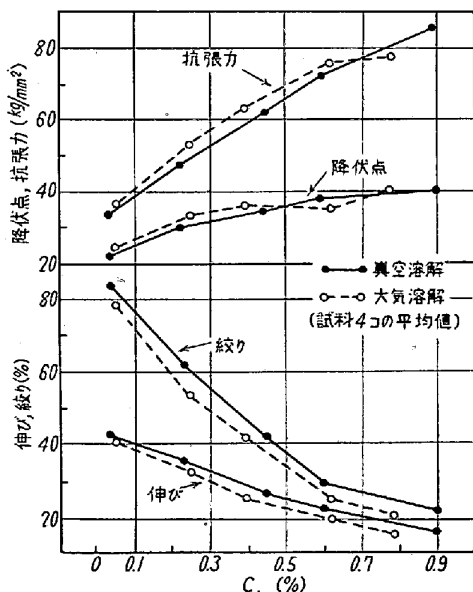


図30. C量と材力との関係

る。窒素は余り顕著に減少しない。本実験では水素、酸素は大気熔解のものに比較し約 1/10 程度に、また窒素は 1/5 程度まで低下する。

酸化物系介在物は非常に減少するが硫化物系介在物は 大気熔解の場合と差がない。結晶粒度は余り顕著な相違はない。

マクロ組織、サルファプリントは大気熔解のものと大差がない。ただし微少亀裂やプロホールはほとんど存在しない。機械的性質は衝撃値、伸び、絞りが増大し強靱性が增加する。

表 17. 抗張試験および衝撃試験結果

符 号	降伏点	抗張力	伸び	絞り	衝撃値
VA 2	50.1	52.3	22.0	63.9	14.0
	51.5	53.3	20.8	62.3	12.1
OA 2	48.6	50.7	21.2	63.9	6.3
	49.9	50.9	20.8	58.7	7.1
VA 3	61.3	62.3	16.4	53.0	14.8
	60.8	62.3	16.0	53.0	13.1
OA 3	60.8	61.6	16.4	51.0	7.4
	60.8	62.0	15.6	51.0	6.4
VA 5	60.3	62.3	12.0	21.5	8.1
	60.3	62.3	13.2	24.0	5.9
OA 5	59.2	61.1	5.2	8.3	2.5
			試材 ネックより破断		

VI. コンセルアーク熔解法の動向と将来性

高尾善一郎*

1. 欧米の動向

コンセルアーク熔解法は、もともとチタン、ジルコニウム、モリブデンなど難熔かつ活性金属の熔解法として登場し発展してきたものである。最近鉄鋼方面にもその工業的価値が広く認識され真空熔解法の主流として注目されるにいたつたのである。

コンセルアーク熔解法は金属チタン工業とともに発展したもので、現在工業的規模で稼働しているのは、米国と日本とであると言つてよく、英独など欧州諸国はきわめて最近のことである。表 18 は世界各国の設備概況を示したものである³⁰⁾。米国の金属チタン工業は航空機工業の転換のために、多少衰えたとはいえ、新らしい化学方面へのいちじるしい需要伸長のため、最近では年間 6000~7000 t ベースのインゴット生産をとりもどしている。主なメーカーは T.M.C.A 社、Republic Steel 社 Crucible Steel 社、Mallory Sharon 社などである。鉄鋼方面では Allegheny Ludlum 社をはじめとして、ジェットエンジン用耐熱鋼、原子炉用ステンレス鋼など年間 70,000 t (1958 年) 以上に達したといわれる。最近ではその品質の優秀性が使用実績に現われ、軸受鋼をはじめ高力合金鋼までにおよび、その分野がいちじるしく広がっている。表 19 に米国にてコンセルアーク熔解されている鋼種を示した。

一方欧米では、英国の I.C.I 社にチタン炉、Jessop 社に耐熱鋼など特殊鋼の工業的規模の設備がある位で、ドイツその他には見るべきものがほとんどなかったが、パイロットないし実験的段階のもので最近漸く工業規模のプラントを計画しつつある現状である。

* 株式会社神戸製鋼所