

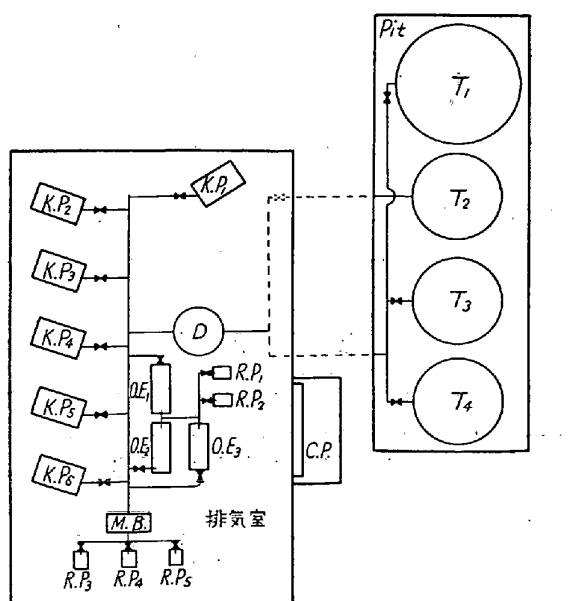
写真7. コンセルアーク溶解水冷銅ルツボ

VII. 真空鑄造による大型鋼塊の製造

鈴木登能弥, 朝熊利彦*

1. 設備概要

水素による欠陥防止, 清浄鋼の製造, 品質の向上に対し熔解法, 脱水素剤, 脱酸剤などにいろいろ試験研究を行なつたが, いずれも一貫した効果を見出すことができなかった. その根本的の責は大気にあることは従来よりあきらかにされていたので積極的手段として真空鑄造法を採り上げた. 昭和 30 年 6 月より真空中で鋼塊を造る方法の研究を進め, 150 kg 鋼塊の基礎実験ついで1~2 t 鋼塊の中間試験を経て昭和 32年 9 月に 20 t 鋼塊に対する設備を完成し, 現在 20 t, 10 t, 6 t 鋼塊を連続して鑄造できるようになった. 設備の概要は図 32 に示すごとくである.



T₁~T₃ : 真空槽
 K.P.₁~K.P.₆ : 回転ポンプ
 R.P.₁~R.P.₃ : 回転ポンプ
 O.E.₁~O.E.₃ : オイルエジェクター
 D : 集塵機
 MB : メカニカルブロー
 スター
 CP : 制御装置

図32. 真空鑄造装置の系統図

当時メカニカル・ブローが国内に出現する以前であつたため排気系は回転ポンプとオイル・エジェクターの組合せを選定した. オイル・エジェクターを真空鑄造に適用した例はない. その後メカニカル・ブローを加え回転ポンプは部分的に交互に使用し予備ポンプとしている. 真空タンクおよび蓋は普通鋼板二重壁水冷式で注入口および蓋と本体とのフランジは不銹鋼としピット内に据付けられた. 鑄込操作中タンク内部を観察するため, のぞき窓 2 箇所を設けてある. 真空計は水銀マンオメーター (測定範囲 100~1 mmHg) ガイスラー管 (10~1×10⁻² mmHg) 熱電対型真空計 (1~10³ mmHg) の 3 種類を備え, 水銀マンオメーターによつて計測されたものは4~10 mmHg の範囲を 6 段階に操作盤のランプによつて表示すると同時に 1~10 mmHg の範囲を連続して記録する. バルブ類はすべて圧縮空気操作式 (3 kg/cm²) を採用し電磁弁によつて開閉される. 停電の場合は電磁弁が自動的に閉鎖し, 冷却水の断水に対しては警報器, ランプの点滅による安全策がとられる. 操作盤には排気系統図を图示し制御はすべてここで行われる. ダスト・キャッチャーは金網, オイル・シャワー, 油面への吹付を組合せたものであるが, ダストは非常に微細であるため 100% の効果は得られない.

2. 操業

まず第一に注意しなければならないのは真空鑄造に使用する耐火物の乾燥である. 空気中における加熱では煉瓦その他の耐火物に含まれる水分を完全に除去することはできず真空処理は痕跡をも除く有効な手段ではあるがとくに真空タンク内に設置される押湯煉瓦の乾燥が不充分であると排気に長時間を要し, かつ操業時熔鋼によつて加熱されると深部からガス, 水分が放出され真空度を劣化させる. 同様に中間トリベ, ノズルの乾燥も充分に行う必要がある. 操業 1 時間前に清掃した真空タンク内に鑄型, 定盤, 押湯, 漏斗を設置し排気を開始する. 粗抜きには一部のポンプを使用し真空度の上昇, 操業開始時間をにらみ合せて順次排気容量を増加させるようにしている. 鑄込開始前の真空度は 1 mmHg 以下, 一般に 0.9~0.2 mmHg で鑄込操作中は 5 mmHg 以下を維持している. 鑄込開始直前に中間トリベをタンクに据付ける. 鑄込開始に当つて中間トリベとタンク・カバーとの空間はトリベ中に熔鋼のヘッドが生じ熔鋼によるシールが完全になつてから平衡弁を開いて排気しておく. この時真空度は若干劣化するがただちに回復する. しかしノズルの乾燥が悪いと不十分な真空度のまま鑄込を行なうことになる. ストッパーを引上げると熔鋼は Al 板を熔

* 関東特殊製鋼株式会社

かして真空タンク内の鑄型を充たす。鑄込作業を継続するためには湯切れ、または空気のまき込みを防ぎつつ、ヘッドにある程度の許容量が必要で一般に 300mm 以上とする。鑄込終了後ただちにリーク・バルブを開いて大気圧を回復させ大気中で凝固させる。ノズル、ストッパーの形状、材質は普通のものを使用する。ノズルは 30~40mmφ を使用し、鑄込速度は 1500~4000 kg/mn で通常 2000 kg/mn を採用している。真空の作用を受けているため空気中の約 2 倍となる。鑄込温度は空気中鑄込と同様としている。熔鋼が真空タンクに入ると静圧と瞬間的の圧力降下によつて微細な小滴となり、流滴の大きさは鋼束中心部では 10mmφ 程度であるがその周辺は数 μ の小さなものとなる。また流滴は円錐体に広がり真空度 10mmHg 以下において 60~70° の範囲に最も多量に落下し全範囲は約 90° となることを認めた。したがつて鑄型内に正確に導入する必要がある。また鋼粒は落下の途中で吸気側に吸引されぬよう鑄型の中心部に落下させる工夫もせねばならない。したがつて吸引口は鑄型直下に設けるのが理想的であろうが実際には

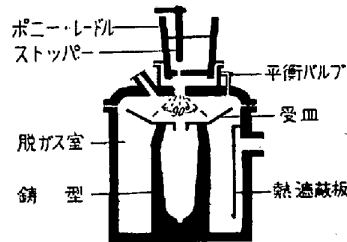


図33. 流滴脱ガス装置の概要図
困難である。この意味でタンク下方に取るのが合理的である。図 33 に当社で考案した装置を示し一度分散した熔鋼をふたたび収集して鑄型の中心部に落下させるようにしたものである。

以前真空鑄造鋼塊は鍛造時加圧によつて深い亀裂を生じたことがあるが以上のごとき対策によつて完全に防止することができる。押湯上面とタンク注入口との距離は鋼塊の大きさによつて 500~1500mm 位の変化があるがこの距離と脱ガス量とに一定の関係を見出すことができない。むしろ距離は鋼流の鑄型外への落下に影響する。その点、漏斗によつて高さの調節がはぶかれるという有利さがある。かくして鑄型に入った熔鋼は激しい沸騰のため湯面が上昇するから正確な鋼量を調節しなければならない。ときに鑄型外に溢出することがある。押湯と鑄型本体との境目に達したときに、電気的に回路を形成する湯面通報装置と注入時間の測定によつて好結果が得られる。押湯耐火材は脆弱なときは、例えば補修したような場合は鑄型内で沸騰する熔鋼のために侵蝕されることがあるから注意を要する。現在真空タンク 4 箇を所有しバルブの切換えによつて連続して 4 本の鋼塊が得られる。注入口のパッキングは 1 回の操業で炭化されるが注

入口 Al 板の形状の工夫によつて炭化の程度を軽減しゴムから放出されるガスを少なくすることができる。中間トリベ、タンク本体のパッキングは操業開始以来の使用に耐えている。排出ガスの温度は測定したことはないが真空ポンプと真空タンク間にある程度の距離があれば問題はない。のぞき窓に普通の硝子を使用し熱の影響を受けないことからわかる。現在当社では真空鑄造を C, Cr, W, Cr-Mo, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Cr-Mo-V 鋼の 3~16 t 鋼塊に適用している。

3. 真空鑄造の鋼質におよぼす影響

(1) 脱ガス

鑄込時、熔鋼の H 含有量は 3~6 ppm 程度となり特殊鋼または大型鋼塊においては白点その他の欠陥を防止するため熱処理に大きな犠牲を払わなければならない。図 34 は出鋼以後の H, O の変化で空気中の場合は次第に増加しているのに対し真空鑄造では脱ガスが行われる。

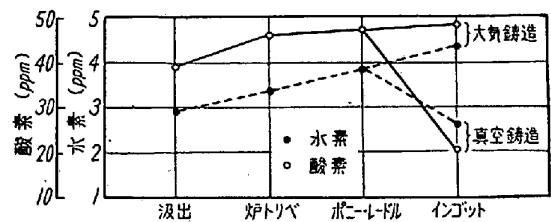


図34. 汲出後の水素、酸素含有量の変化
(1957年9月より1959年7月までの平均)

空気中における鑄込では H は 3 ppm 以下になることはきわめて稀れで大気中の湿度の影響を受ける。脱ガスは真空鑄造のもつとも強調すべき特徴で真空処理によつて 60% 程度の H が除去され、しかも 1600°C における熔鉄の平衡溶解度にはほぼ一致し、理論的の脱水素の行われていることがわかる。表 20 に真空鑄造鋼および普通鋼のガス含有量の代表例を示す。

表 21 は操業データからもとめた真空度と脱ガスの関係で 10 mmHg 以上では若干脱ガスが劣り 5 mmHg 以下の真空度によつて効果的な脱水素が行なわれているようである。O は 35~40% 程度減少する。表 22 によれば鋼種によつても脱ガスに影響する形跡が見られる。N は変化が少く Al, Cr との結合が強いことと真空度および処理時間が少ないことが原因していると考えられる。

(2) 機械的性質

図 35, 36 はそれぞれ Cr 鋼および Ni-Cr-Mo 鋼の機械的性質の比較を示す。

真空鑄造鋼は普通鋼に比べて降伏点、抗張力、衝撃値

表 20. 大気中および真空鑄造鋼の水素, 酸素含有量の比較

試料番号	鋼種	鑄造法	イット重量	ガス含有量 ppm	
				H	O
9065	Cr	A	5.5	2.3	37
		V	5.5	2.0	29
9087	Ni-Cr-Mo	A	5.5	3.5	31
		V	5.5	2.0	19
9128	Cr	A	5.5	4.8	36
		V	5.5	1.8	21
9168	Cr	L	—	4.3	73
		V	6.0	2.0	24
9385	Cr-Mo	L	—	3.4	27
		V	10.0	1.7	17
9490	Cr	L	—	3.2	35
		V	15.0	1.6	21
9541	C	L	—	4.6	40
		V	12.0	1.9	15
9560	Ni-Cr-Mo	A	3.0	4.2	43
		V	3.0	1.6	17
9566	C	L	—	5.1	31
		V	12.0	2.0	8
9602	C	L	—	4.9	39
		V	15.0	1.6	12
9659	Cr	A	3.0	3.3	48
		V	7.8	1.3	16
9848	Cr	A	3.0	2.8	29
		V	3.0	1.6	24

A: 大気中, V: 真空中, L: トリベ中の鋼

表 21. 真空度と脱ガス率の関係

圧力 (mmHg)	水素量 (%)	酸素量 (%)
2	50	39
3	58	35
4	58	36
5	56	38
6	56	37
7	56	36
8	51	36
9	—	—
>10	43	36

表 22. 鋼種と脱ガス率との関係

鋼種	水素の減少率 %	酸素の減少率 %	備考
Cr 鋼	60	37	大気中熔解鋼: H 4.8 ppm, O 41 ppm, Al 200 g/t
炭素鋼	59	44	大気中熔解鋼: H 4.8 ppm, O 42 ppm, Al 500 g/t
Ni-Cr-Mo 鋼	63	35	大気中熔解鋼: H 4.9 ppm, O 37 ppm, Al 400 g/t
Cr-Mo 鋼	54	38	大気中熔解鋼: H 4.8 ppm, O 36 ppm, Al 100 g/t

35~150 heats の平均

にはほとんど変化はないが伸び, 絞りが若干向上される。表 23 は機械的性質の最低値ならびに最高値の平均

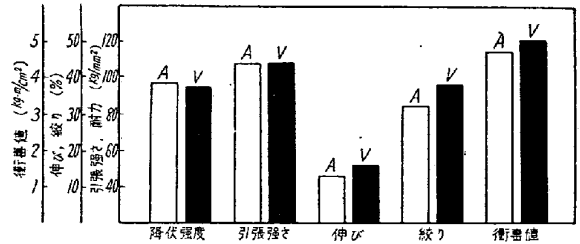


図35. 大気中熔解, 真空熔解した Cr 鋼の機械的性質の比較

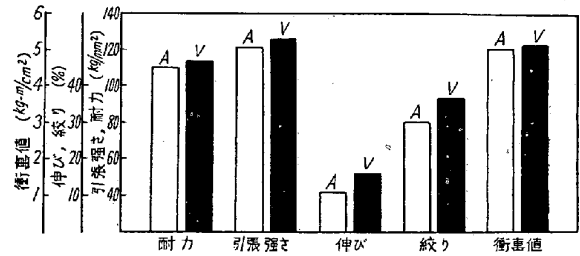


図36. 大気中および真空鑄造した Ni-Cr-Mo 鋼の機械的性質の比較

表 23. 機械的性質の均一性におよぼす真空熔解の影響 (Cr-鋼)

性質	平均値からの偏倚 (最小値)		平均値からの偏倚 (最大値)	
	大気中熔解鋼	真空中熔解鋼	大気中熔解鋼	真空中熔解鋼
耐力	7.6%	6.5%	9.3%	3.5%
引張り強さ	10.5%	4.7%	5%	2.9%
伸び	27.8%	10.3%	44.0%	10.3%
絞り	11.3%	5.7%	9%	4.5%
衝撃値	28.2%	24.0%	45.6%	22.0%

値に対する偏倚を Cr 鋼についてもとめたもので真空鑄造鋼はばらつきが少ないことがわかるこれより真空処理によつて機械的性質の向上を望むよりもむしろ均一になることの方に意義があるように思われる。

(3) 超音波試験

真空鑄造によつて超音波試験結果は著しく改良され, 欠陥反射, 透過性がともにきわめてすぐれている。とくに Ni-Cr-Mo 鋼, 大型 C 鋼に効果があり水素に基づく内部欠陥はほぼ完全に除去されることが明かとなった。

(4) 非金属介在物, 地疵

図 37 は Cr 鋼のサンドの分析の比較である。真空処

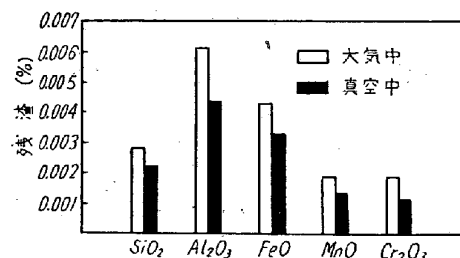


図37. 大気中鑄造鋼と真空鑄造鋼の砂成分の比較

表 24. 標準 step down テストの結果

インゴット No.	第 1 段 (110 mm φ)		第 2 段 (80 mm φ)		第 3 段 (60 mm φ)	
	数	全長(mm)	数	全長(mm)	数	全長(mm)
8818V	7・20	12・30	1・20	0・90	2・40	2・00
8818A ₁	2・22	4・45	3・64	3・64	2・44	2・80
8818A ₂	2・90	3・53	5・96	6・55	7・85	9・02

V: 真空中, A₁, A₂: 気中

表 25. 125 mm φ に鍛伸後の試験面の地疵数 (110 mm φ × 1000 mm)

長さ (mm)	V ₂₃	V ₂₉	A ₃₀	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃
0・1 ~ 0・5	*71—35・5	18— 9	20—10	71—30・5	49—24・5	31—15・5
0・51 ~ 1・0	67—67・0	42—42	40—40	78—78	66—66	65—65
1・01 ~ 1・5	10—20	4— 8	8—16	11—22	6—12	1— 2
1・51 ~ 2・0	5—10	3— 6	4— 8	2— 4	4— 8	3— 6
2・01 ~ 3・0	2— 6	2— 6			1— 3	
3・01 ~ 4・0	3—12					
4・01 ~ 5・0	1— 5	2—10				
総 計	159—155・5	71—81	72—74	162—134・5	126—113・5	100—88・5

* 始めの数字は砂疵の数, 後の数字は個々の砂疵の長さの総和である. V₂₃~V₂₉ 真空, A₃₀~A₃₃ 気中

理鋼は約 30% 少なくなり, 普通鋼よりも清浄である.

しかしながら実際製品表面に微細な地疵をかえつて多く残すことがある. 前述の如く鑄造過程において鋼流が小滴に分散し, かつ鑄型内で熔鋼が沸騰しているため鋼塊の外周部は普通鋼に比べてむしろ劣るように思われる. そのいくつかを例示する. 表 24 は 3 段階試験結果である. Ni-Cr-Mo 鋼鋼塊を 125 mm φ に鍛伸後それぞれ 110 mm φ, 80 mm φ, 60 mm φ に切削して地疵検査した. 表中の地疵は検査面積 100cm² について換算されており, 同一熔解である. 第 1 段の検査では真空鑄造鋼に地疵が多く第 2 段以後は減少している.

表 25 は同じく Ni-Cr-Mo 鋼の地疵で 125 mm φ に鍛伸後 110 mm φ に切削して検査した結果を示す.

真空鑄造鋼は普通鋼と同等もしくはそれ以上の地疵を検出され外周部の影響が現われている. 表 26 は Cr 鋼の地疵である. 真空鑄造鋼より生れたものは外周部が除かれているためきわめて清浄となつている.

表 27 は Cr-Mo 鋼の地疵でいずれも真空鑄造鋼である. 削り代 46・6 mm では相当の地疵を出しているが 76・6 mm においては地疵はまったく消滅した. 表 28 は真空鑄造した Cr 鋼を 350 mm φ に鍛伸後 310 mm φ に旋削して検査しついで 290 mm φ に旋削したところ最初はきわめて多数の地疵があつたが激減した.

以上の例に見られる如く真空鑄造鋼塊の表面層に近いところは普通鋼よりも多くの地疵が現われ, とくに表 28 の例では最初 1240 箇の地疵があつたが 20 mm φ の旋削によつて著しく減少している. これらの現象は真空鑄造における鋼流の調節によつてある程度避けられるものと思われるが現在それを正確に述べることはできない.

(5) 偏析, 組織

真空処理によつて成分偏析が減少するという報告もあるが本質的の差を見出すには至らなかつた. またサルファープリントについても真空鑄造の影響を認め難い. むしろ偏析を避けるためには他の手段すなわち真空アーク

表 26. 大気中および真空熔解鋼より鍛伸した棒中の地疵

試料番号	試験面の地疵数 (419 mm φ × 2993 mm)						総計		O
	<0・1 mm	0・10~0・20 mm	0・21~0・30 mm	0・31~0・40 mm	0・41~0・50 mm	>0・51 mm	数	長さ	
8408	55	0	4	11	3	1	74	12・2	58
8579	57	2	5	8	0	1	73	10・4	—
8314*	15	1	8	2	1	1	28	6・0	20
8612*	7	0	4	1	3	1	16	5・5	31

* 真空鑄造

表 27. 真空鋼塊中の種々の相に現われた地疵 (1)
試験面 533 mm φ × 1067 mm

インゴット No.	削り代 (径 mm)	地 疵	
		数	最大の地疵
9178	46*6	36	1*25 mm × 0*25 mm
9195		46	0*9 mm × 0*25 mm
9199		26	1*15 mm × 0*15 mm
9245		11	0*15 mm × 0*09 mm
9257		23	1*25 mm × 0*30 mm
9329		無 数	—
9351		2	1*5 mm × 0*1 mm
9376	76*6	0	—
9385		0	—
9405		0	—
9434		0	—

表 28. 真空鑄造鋼塊の種々の相に現われた地疵 (2)

地疵の長さ (mm)	0*1~ 0*5	0*51~ 1*00	1*01~ 2*00	2*01~ 3*00	3*01~ 4*00	4*01~ 5*00	5*01~ 6*00	総 計	検 査 面
数	243 24	814 23	145 2	21 0	7 0	5 0	5 0	1240 49	310 mm φ × 4800 mm 290 mm φ × 4800 mm

熔解によるべきである。

ゴーストについても減少するとは思われないがクラックをとまなうものは避けられるようである。デンドライトの発達が少ないことを認めた。

(6) 作業工程の短縮

真空鑄造鋼は熱処理工程をかなり短縮することができる。Cr 鋼, Ni-Cr-Mo 鋼について 1/2~1/3 短縮して水素による欠陥を発生せず製造工程に寄与するところがおおきい。

4. むすび

真空鑄造法は欧米はもちろんわが国においても非常な勢で発展しつつあり今や一つの流行の感を呈している。当社では早くから着手し数多くの成果をあげている。しかしながらすべてを解決するというものではない。まだ多くの問題が残されている。とはいっても製鋼技術における特筆すべき進歩で真空鑄造法採用によつて得られる利益はおおきい。なお真空鑄造の効果については他の機会に発表されるので簡単にふれ主として追加資料をもとにした。

VIII. 分科会経過報告

第 1 回分科会 1958 年 12 月 18 日

議 題

遠藤部会長, 長谷川主査挨拶の後, 真空冶金分科会の運営方針, 研究項目につき意見を交換するとともに, 各委員会社の真空冶金の現状および意見を口頭で説明し

た。配布資料なし。

第 2 回分科会 1959 年 1 月 29 日

議 題

1. 設備概況

真空鑄造設備 (真冶-4)*: 関東特殊製鋼

真空熔解設備概要 (真冶-5): 特殊製鋼

真空造塊設備の概況 (真冶-6): 大同製鋼

真空熔解設備の概要 (真冶-7): 住友金属工業

コンセル・アーク熔解法とその製品の諸性質 (真冶-10): 神戸製鋼

500 kg 試験用真空鑄造設備の概要: 日立金属工業 (配布資料ナシ)

100 kg 真空誘導熔解炉の概要 (真冶-11): 八幡製鉄

2. 研究報告

Fe-Ni-Co 系合金の真空熔解 (真冶-8), Ni 基耐熱合金の物理的性質におよぼす真空熔解の影響: 住友金属工業

第 3 回分科会 1959 年 3 月 12 日

議 題

1. 設備概要

実験用真空鑄造設備 (真冶-15): 日立金属工業安来工場

2. 研究報告

真空熔解せる耐熱合金 Nimonic 80A, S816 および 13Cr ステンレス鋼の機械的性質について, 真空熔解せる Cr-Mo 鋼 (SCM2) の諸性質について (真冶-16): 日立金属工業安来工場

鋼の真空鑄造について (真冶-2,3): 関東特殊製鋼
コンセルアーク熔解法とその製品の諸性質について (真冶-10): 神戸製鋼, 研究部

第 4 回分科会 1959 年 5 月 12 日

議 題

1. 設備概況

真空鑄造設備の概要 (真冶-17): 川崎製鉄

500 kg 真空熔解炉の概要 (真冶-20): 東北金属工業

2. 研究報告

真空熔解せる軸受鋼 S816 耐熱鋼について (真冶-19):

* 配布資料番号