

2・4 炉外精錬法

2・4・1 溶銑の予備処理法

一般に高炉によつてつくられる溶銑中には C, Si, Mn, P, S, Ti, V などが 5～8% 程度含まれており、それらのうち P, S などの不純物元素はつぎの製鋼過程でできるだけ少なくなるように精錬除去される。このような不純物元素が多い場合には必然的に製鋼における生産能率が低下するので、溶銑の成分組成、製鋼精錬方式および生産鋼種に応じて溶銑の予備製錬をおこなうことが必要であり、種々の方法が検討されている。しかしながらわが国においては溶銑の予備処理は脱硫が主体であり、その他の元素についてはほとんどおこなわれていない。したがつて本稿においては主として溶銑の炉外脱硫についてその概要を述べ、斯界の参考に供したい。

(1) 溶銑の炉外脱硫法

近年いずれの製鉄所においても高炉装入原料の管理と高炉操業技術の進歩によつて溶銑中の S 量についてはかなり低い水準に維持されている。しかしながら鋼材の品質面から S 量に対する要求は非常にきびしくなり、用途によつては S 量が 50 ppm 以下の鋼が必要とされるようになってきた。また一方では、高炉における原料事情は政策的にも、品質的にもますます楽観を許されぬ状態になりつつあり、製鋼操業において精錬可能な限界量以下の S を含む溶銑を容易にうることがむずかしくなってきた。一般に製鋼過程で脱硫する場合にはおのずから造滓材原単位が増大し、生産性の低下をきたし、さらに転炉製鋼においては脱硫効率自体にも限界があり、したがつて製鋼過程で効果的に脱硫を達成することは容易ではない。そこで溶銑中の S 量が多い場合とか低硫鋼を溶製する場合には、溶銑の強制脱硫処理すなわち炉外脱硫が必要となつてくる。また高炉-転炉プロセスによつて低硫鋼を製造するという立場から、高炉内脱硫、炉外脱硫および転炉内脱硫について、検討がおこなわれた結果によれば、技術的にも経済的にも炉外脱硫がもつとも有利であるといわれている。このような観点から各社において溶銑の炉外脱硫技術の開発あるいは改善がかなり積極的に進められており、すでに工業化されている方法もかなりある。

溶銑の炉外脱硫には種々の方式があり、その選択に際してはもちろん脱硫装置の操業性、脱硫効率および保守性が問題になるが、そのほかに工場の立地条件、溶銑の輸送方式、製鋼精錬における目標 S 量、低硫鋼の生産量および溶製比率などを充分よく考慮してその工場にもつとも適した方法を採用するのがふつうである。現在工業化されている代表的な溶銑の炉外脱硫法を示すと表 2・4・1 のとおりであり、炉外脱硫法はいずれも溶銑と脱硫剤との接触界面積を増大させ、脱硫反応を効果的に促進させる方法であり、いろいろな形式の攪拌方式が採られている。

(a) 揺動取鍋法 (Shaking Ladle Method)

この方法は容器自体を機械的に運動させ、溶銑と脱硫剤とを混合攪拌させる方式であり、1951年に工業化され

表 2・4・1 代表的な炉外脱硫法

区 分	
揺動取鍋法	揺動取鍋法 DM コンバータ法 回転ドラム法
スターラー法	Demag-Östberg 法 Rheinstahl 法 K R 法 N K K 法
インジェクション法	A T H 方式 新日鉄方式
気体吹き込み攪拌法	取鍋底吹法 上吹法
Mg を用いる方法	インジェクション方式 プランキング・ベル方式
気泡ポンプ式環流攪拌法	

表 2・4・2 40 t DM コンバーター本体仕様

最大溶銑装入量	42 t
揺動回転数	43 rpm
揺動偏心量	175 mm
揺動モーター容量	150 kW, AC 440 V
傾動モーター容量	40 kW, AC 440 V
炉体レンガ積内径	2,350 mm

た回転ドラム法にひきつづき開発された方法であり、これには一方向回転式揺動取鍋法および正逆回転式揺動取鍋法 (DM コンバーター法) とがある。1959年 EKETORP KALLING によつて偏心・一方向回転式揺動取鍋法が発表されスウェーデンの Domnarfvet 工場に 3 t 装置が設置された。わが国にもこの方法が導入され、新日鉄・八幡製鉄所においては約 30 t 規模の装置が稼働している。昭和 37 年神戸製鋼・尼崎製鉄所では偏心・一方向・回転の揺動取鍋に改良を加え、正逆回転の可能な DM コンバーターの開発に成功した。この方法の特長はスウェーデン方式の揺動取鍋が偏心、一方向回転で認められるブレード現象を利用するのに対し、適当な時間的間隔で回転方向を交互に切りかえ、渦巻き状運動を効率よく発生させて CaC_2 などの脱硫剤と溶銑とを反応させる方式である。昭和 41 年に神戸製鋼・尼崎製鉄所に設置された容量約 40 t の DM コンバーターの構造および炉体諸元を示すと、それぞれ表 2・4・2 および図 2・4・1 のとおりである。この場合正逆回転の時間的間隔は約 17 sec がもつとも適切であるといわれている。

揺動取鍋はその機構上 100 t 以上の設計がむずかしいともいわれているが、スウェーデンでは溶銑処理能力約 100 t の揺動取鍋が製作されている。そのほか南アフリ

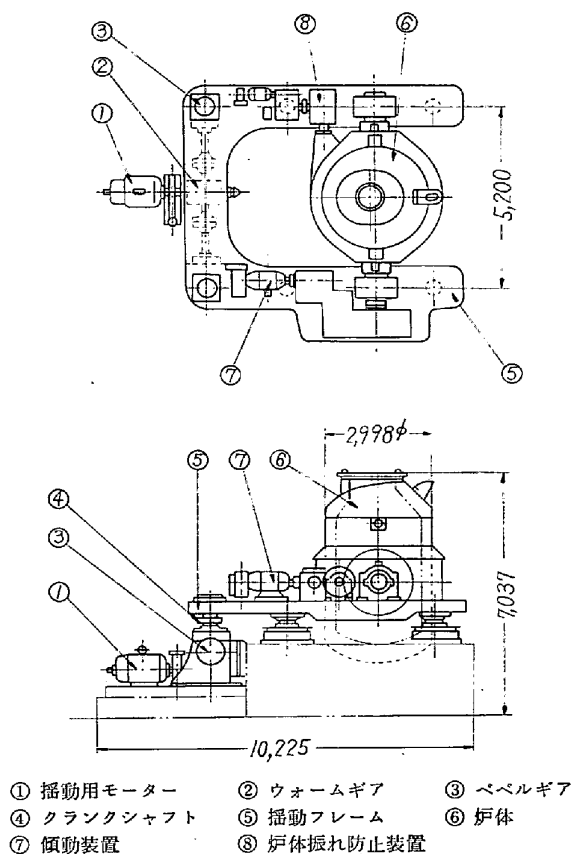
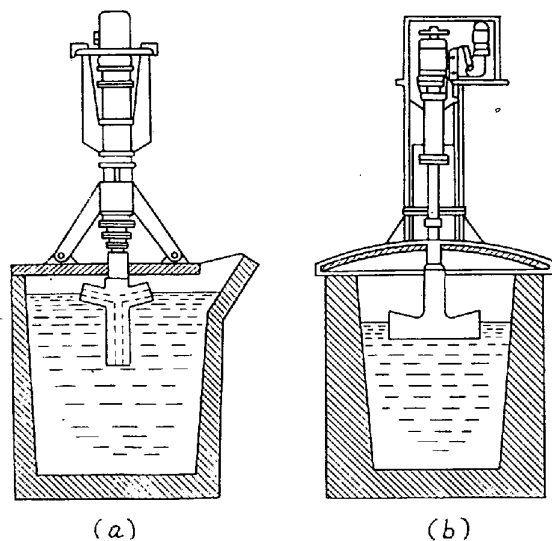


図 2-4-1 40 t DM コンバーター
(飯浜, 塩飽: 鉄と鋼 53 (1967) 3, p. 271)



(a) Demag-Östberg 法 (b) Rheinstahl 法

図 2-4-2 溶銑の脱硫用スターラー

(J.E ÖSTBERG: Giesserei, 53 (1966) 24, p. 816)

(F. KRAEMER, J. MOTZ and K. RÖHRIG: Giesserei, 55(1968)7, p.145)

カでは約60 t 揺動取鍋により溶銑中のバナジウムの除去がおこなわれている。

(b) スターラー法 (Stirrer Method)

この方法はスターラーすなわち攪拌棒あるいは攪拌翼を溶銑中に浸漬し、これを回転して溶銑と脱硫剤とを混

合攪拌し、脱硫反応を促進させる方法である。代表的な方法としては Demag-Östberg 法, Rheinstahl 法および KR 法があり、一般に取鍋内溶銑処理を対象としている。

Demag-Östberg 法は ÖSTBERG によつて 1966 年に開発された方法であり、耐火物製の T 字型をしたパイプ状のスターラーを使用する方法である。図 2-4-2 (a) に示したようにこのスターラーを回転し、側管内の溶銑を遠心力によつて外へ放出させると同時に垂直管に溶銑を上昇させ、取鍋下部の溶銑をスターラーを介して連続的に溶銑表面へ環流させ、表面上の脱硫剤と接触混合させて効果的に脱硫をおこなう方法である。ATH 社では 1968 年に 95 t 装置を設置し、約 90 rpm で溶銑を 10 min 間処理し、脱硫操作をおこなっている。Rheinstahl 法は 1968 年 Rheinstahl Hüttenwerke 社の KRAEMER らによつて開発された方法であり、図 2-4-2 (b) に示したように、耐火物製の単純な攪拌棒を設け、これを回転して溶銑を脱硫する方法である。Mannesmann 社には 200 t 装置が導入されており、そのほか欧州各国でかなり採用されている。200 t 装置のスターラーの大きさは約 1.4 m で、取鍋内溶銑処理が対象である。Rheinstahl 社ではこの種の方法を高炉湯道に適用して連続的に脱硫するパドル型スターラーを開発した。Henrichshütte 工場ではこの方式により高炉 (炉床径 7.2 m) 湯道で約 1,500 t/day の溶銑を処理し、上吹酸素転炉によつて低硫鋼を製造している。KR 法は新日鉄・広畑製鉄所で昭和 40 年に工業化に成功した方法であり、回転翼を用いてこれを溶銑中で回転させ、渦流陥没部をつくり溶銑の脱硫を促進させる方法である。新日鉄、住金、鋼管などで採用されており、現有設備の最大能力は約 200 t/ch であり、それ以上の大形化も可能であるといわれている。新日鉄・名古屋製鉄所ではこの方法により月間約 40,000 t の溶銑を脱硫処理している。また鋼管・京浜製鉄所では独自のスターラー法 (NKK 法) を開発し、取鍋内溶銑を対象とする 50 t 装置を設置し、操業している。

以上、スターラー法の代表例について述べたが、この方法は一般に極低硫鋼あるいは低硫鋼の製造プロセスの 1 つとしてかなりひろく適用されている。攪拌翼を用いる KR 法は脱硫剤を溶銑中に巻き込ませる機構上他の方法に比較してすぐれているといえよう。しかしながら攪拌により渦流を生成させるためには回転速度を少なくとも 60~90 rpm にする必要がある、したがってスターラーの寿命が大きな問題になるであろう。

(c) インジェクション法 (Injection Method)

本法は CaC_2 のように溶銑の温度下において固体の微粉末状脱硫剤をガスとともに溶銑中に吹き込んで脱硫する方法であり、西独の Fried. Krupp Hüttenwerke 社 Bochum 工場では 1963 年から本格的にこの方法を採用あげて操業している。その他数ヶ所で試みられたが、脱硫効果はじゅうぶんではなく、したがってこの方法はあまり採用されていない。

最近、新日鉄および ATH 社では別個に溶銑の多量処理を目的とする混銑車内脱硫方式を開発した。両社の考え方は非常によく似ており、脱硫剤の開発によつて混銑車のような横長の容器での処理を可能にしたものである。すなわちインジェクション法ではキャリアー・ガス

表 2・4・3 混鉄車インジェクション法による脱硫条件

脱 硫 剤	種 類	CaC ₂ +反応促進剤
	粒 度	<150 mesh
	添 加 量	60~100kg/min
キャリヤー・ガス		N ₂ 400 Nm ³ /hr
ランス・ノズル	内 径	25mm ϕ × 2 孔
	浸漬深さ	1,000~1,500mm
吹き込み時間		⑤~10 min
1 回当たりの処理量		150~300 t

の気泡中に脱硫剤がとじこめられ反応しないで溶鉄中に浮上するという問題がある。この問題に対して新日鉄および ATH 社は CaC₂ を主体として処理時に分解ガスを発生して CaC₂ の界面の溶鉄を乱流化させて脱硫反応を促進させる反応促進剤を混合した新しい脱硫剤を使用している。新日鉄・名古屋製鉄所における脱硫条件を表 2・4・3 に示す。ランスは新日鉄・堺製鉄所では黒鉛製ランス 3 本を用いて分散吹き込み法を採用しているが、名古屋製鉄所の場合は耐火物製ランスを採用しており、昭和 48 年には月間 100,000~140,000 t の溶鉄を処理している。一方 ATH 社ではランスは内径 1 in の鋼管の表面にうすくセラミック・コーティングしたものをを用い、脱硫剤として西独 SKW 社で開発された CaCO₃ を含む CaC₂ 複合脱硫剤を 108 kg/min の速度で吹き込み、約 8 min 間溶鉄を処理している。ATH 社ではこの方法により月間約 285,000 t の溶鉄を処理している。

このように新日鉄および ATH 方式はいずれも新しい脱硫剤の開発により大量の溶鉄を混鉄車内で脱硫処理することを可能にしたものであり、その意義は大きい。今後の課題としてはランスの耐用回数の向上ならびに安定した脱硫剤吹き込み技術の確立を図る必要がある。

(d) 気体吹き込み攪拌法

気体吹き込み攪拌法は前記インジェクション法と異なり、あらかじめ脱硫剤を溶鉄表面に添加しておき、溶鉄中に気体を吹き込み、気泡の上昇にともなう溶鉄の攪拌運動を利用する方法である。この方法には 2 とおりあり、ランスを使用する上吹法と多孔質の耐火物を用いて取鍋底部から吹き込む取鍋底吹法とがある。一般には前者よりも後者のほうがひろく採用されている。いずれも比較的歴史は古く、設備費は安価で操業は容易であるが、脱硫効果は他の方法にくらべて劣るといわれている。わが国では 2, 3 の製鉄所で採用されており、いずれも脱硫効率の向上を計り、いろいろの工夫がおこなわれている。たとえば新日鉄・広畑製鉄所ではスライディング・ノズルの併用により、排滓の自動化と大量の溶鉄の連続処理を可能にしており、川鉄・千葉製鉄所ではパッチ式であるが、取鍋の形状とガス吹き込み位置を改造して脱硫効率を向上させている。一般に取鍋底吹法は他の方法にくらべて操業が容易であり、設備的にもつとも安価である

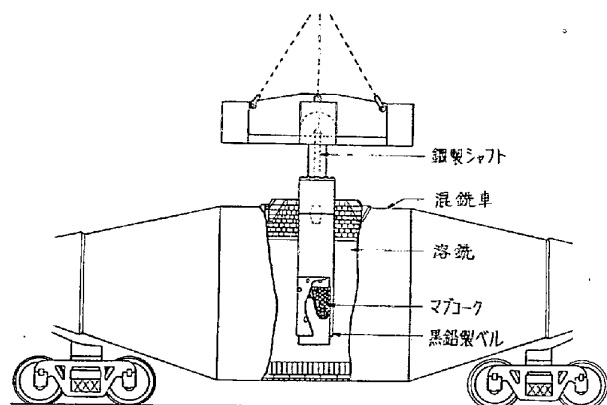


図 2・4・3 Mag-coke を用いた Plunging bell 方式の混鉄車内脱硫

(W.H. DOQUETTE, N.R. GRIFFING and T.M. MILLER : AIME Open Hearth and Basic Oxygen Steel Conf., April 9-11 (1973) Cleveland, Ohio)

が、脱硫効率が若干劣ること、ガス吹き込みプラグの寿命や脱硫鍋と溶鉄鍋が別の場合には溶鉄の移し替え作業などが問題であり、今後このような諸点に検討を加え、作業性の改善、ノズルの改良ならびに脱硫効率の向上を図る必要があろう。

(e) マグネシウムによる脱硫法

近年 Mg を溶鉄の脱硫剤として使用する検討がソ連を中心におこなわれており、米国、欧州においても注目されはじめ、Mg による溶鉄の脱硫がいろんな角度から検討されるようになってきた。Mg は S に対する親和力がひじょうに強いが、溶鉄の温度下では気化するため、溶鉄と Mg とをいかに効率的に反応させるかがこの方法のもつとも重要な点である。

現在工業化されている方法はコークスあるいは鋼板屑をプレスしたものに Mg を浸透させたマグ・コーク (Mag-Coke) あるいはマグ・スチール (Mag-Steel) を用い、図 2・4・3 に示したような黒鉛あるいは耐火物製のプランギング・ベルによつて溶鉄中に浸漬させる方式 (Plunging Bell Method) と、もう 1 つは塩類で表面を被覆した Mg 粒子をランスによりキャリヤー・ガスで吹き込む方式 (Injection Method) である。いずれも脱硫剤が溶鉄と接触した場合、Mg が急激に気化して溶鉄中から一気に外気中へ逃散するのをなるべく防止するように工夫されている。Bethlehem Steel 社ではプランギング・ベル方式を採用し、マグ・コークを用いて溶鉄を処理し、低硫鋼 ($\leq 0.005\%$ S) を生産している。

この種の方法は比較的最近工業化された方法であり、低硫鋼製造の予備処理として採用されつつあるが、Mg 処理にともなう激しい溶鉄の飛散、処理時間がながびくと復硫するという問題もあり、今後さらに操業法について検討をおこなう必要があろう。

(f) 気泡ポンプ式環流攪拌法

本法は気泡ポンプの揚水原理を応用したものであり、図 2・4・4 に示したように容器中の溶鉄を気体吹き込みにより気泡ポンプを介して溶鉄表面より上方にもち上げて吐出させ、溶鉄表面にあらかじめ添加した脱硫剤の上に溶鉄流を落下させて効果的に脱硫する方法であり、最新

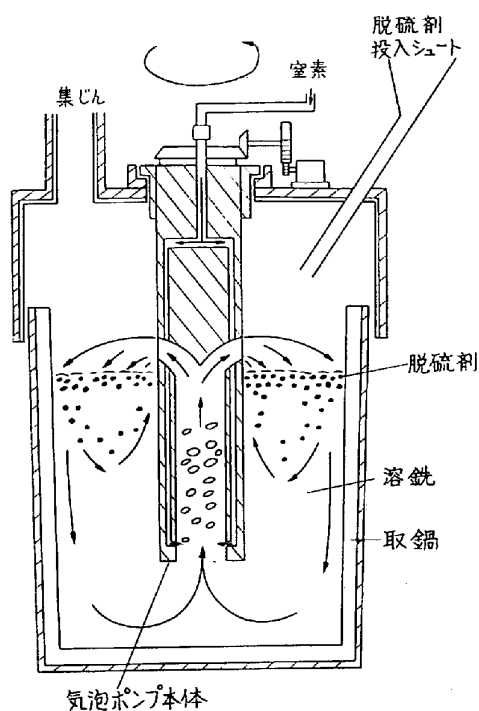


図 2.4.4 気泡ポンプ式脱硫法の概念図
(成田ら：鉄と鋼 59 (1973), s. 287)

の設備では気泡ポンプ自体を回転させて脱硫効率の向上と処理時間の短縮が図られている。この方法は昭和48年に神戸製鋼において開発された方法であり、同社・加古川製鉄所において採用され、昭和49年から200 t 装置が稼働している。200 t 設備の場合、溶銑上昇管は内径：約60cm、長さ：250 cm であり、駆動ガスとして窒素を約 400~600 Nm³/hr 吹き込み、CaC₂ 5 kg/t-HM を用いて 15 min 間処理することにより、溶銑中の S 量は容易に 0.005% またはそれ以下に低下する。なお溶銑の環流速度は約 100 t/min である。この方式は脱硫剤の上部から取鍋底部の溶銑を落下させ、脱硫剤を溶銑中に連続的に巻き込ませることができるので、取鍋内の溶銑をじん速にしかも効果的に脱硫することができるという特長がある。

(2) その他の溶銑の予備処理法

製鋼過程における脱りん能力にはおのずから限界があり、したがって低りん鋼の溶製や LD 転炉による高炭素鋼の製造などに際しては、溶銑中の P はできるだけ低いことが望ましい。とくに欧州においては、鉍石事情から製鋼過程における脱りんとともに溶銑の炉外脱りんが重要視され、かなり古くから検討がつけられてきた。一方わが国では製鉄原料事情から溶銑の炉外脱りんをおこなっているところは少なく、一般には低りん鋼の製造に際しては、もっぱら製鋼過程において対処しているのが現状である。しかしこの種の方策は低りん鋼の製造に際し、製鋼工程の生産性を大幅に低下させるものであり、したがって溶銑の炉外脱りんについては再検討を要する時期にきていると考えられる。

そのほか、溶銑の予備処理として脱けい素、脱炭、脱クロム、脱バナジウム、脱チタン、脱ひ素およびけい素添

加などがある。けい素添加を除けば、わが国の場合には高炉操業の安定化により、溶銑の成分組成は製鋼過程においてほとんど問題にならず、したがって上記のような溶銑の予備処理はおこなわれていない。しかしながら原料事情により、たとえばラテライト、砂鉄などを多量に使用する場合とか、使用しなければならない場合には、これらの事前処理が必要であり、今後におけるわが国の原料事情を考慮すれば、溶銑の予備処理に関する系統的な検討をおこなう必要がある。

2.4.2 取鍋精錬法

現在工業的規模で普及しているおもな取鍋精錬法を示すと次のようである。

- | | |
|----------------------|---|
| (i) 真空鑄造法— | 真空鑄造法
(狭義)
取鍋流滴脱ガス法
出鋼脱ガス法 |
| (ii) 真空吸上げまたは循環脱ガス法— | DH 法
RH 法 |
| (iii) 取鍋精錬法—
(狭義) | 取鍋攪拌脱ガス法—
ガス攪拌法
電磁誘導攪拌法
アーク加熱取鍋精錬法—
ASEA-SKF 法
VAD 法
真空脱炭法—
VOD 法
RH-OB 法 |

さらに、これらの方法を溶鋼の処理態様ならびに装置の特徴を考慮して分類し表2.4.4 に示す。

本誌50周年記念号が発刊された昭和39年は(i)および(ii)に示した脱ガス法が普及しつつあつた頃で、同記念号においても、真空鑄造法、DH 法、RH 法および取鍋攪拌脱ガス法の概要が紹介されるにとどまっている。したがって、本項目においては、これらの脱ガス法のその後の進歩についても記述することが望ましいがすでに、特殊鋼部会報告「鋼の真空溶解および真空脱ガス法の進歩」(昭和44年)で、詳細に報告されているし、読者の興味に対するタイミングや紙面の制限などから割愛し、ここでは最近おもに高級鋼の製鋼法の分野で目ざましく発展している ASEA-SKF 法、VAD 法、VOD 法ならびに RH-OB 法と取鍋精錬法には属しないが、ステンレス鋼の精錬法の1つとして関係の深い AOD 法について紹介する。

(1) アーク加熱取鍋精錬法

取鍋中溶鋼をより積極的に精錬できるように、従来の非加熱式真空脱ガス法共通の欠点であつた脱ガス処理中の溶鋼温度の低下およびこれに伴う操業上の制約の問題を解決する目的で開発された方法で、ASEA-SKF 法ならびに VAD 法がこれに属する。原理上ではアーク加熱法と取鍋攪拌脱ガス法を組合せた方法であり、そのおもな利点を列挙すると次のとおりである。

(イ) 脱ガス効果をうるために必要な時間制約なしに処理できるとともに注入温度を自由にかつ精度よく調節できる。

(ロ) フラックスならびに希土類あるいはアルカリ土類合金を用いて ppm オーダーまで脱酸、脱硫できる。

(ハ) 合金剤添加量に制限がなく広範囲の鋼種を生産

表 2・4・4 取鍋精錬法の特徴別分類

		溶鋼処理容器種類および溶鋼の運動状態					溶鋼の加熱精錬有無
		取 鍋 内	取鍋(炉)→取鍋	取鍋→鋳型	取鍋←→真空槽		
		攪 拌	流 滴	移 注	往復あるいは環流		
取鍋を収容する真空タンクの使用有無	有	ガス攪拌法 誘導攪拌法	取鍋流滴法			無	
	無	(Ar 吹込法)	出鋼脱ガス法	真空鋳造法	D H 法 R H 法		
		ASEA-SKF 法				有	
	有	V A D 法					
		V O D 法				無	

することができる。

(ニ) 電弧炉と組合せて用いる場合には還元期を省略できるので炉の能率が大幅に向上する。

(ホ) 脱ガス処理中の溶鋼温度の降下を補償するために精錬炉，例えば転炉，電弧炉，平炉の出鋼温度を上昇する必要がなくなり，精錬炉の耐火物寿命の短縮を避けることができる。

しかし，一方においては DH 法や RH 法に比べ設備費が高い上に処理時間が長く，大電力の使用や取鍋耐火物の損耗など操業費もかかるので，本法の適用はおもに極厚鋼板，耐ラメラティア鋼および合金鋼など高級鋼に限定され，比較的産鋼に適用できる DH 法や RH 法などと競合するというよりは併存し鋼種や用途により使い分けられる性格を持つものである。

(a) ASEA-SKF 法

1965 年スウェーデンの ASEA 社と SKF 社の Höllefors 製鋼所が共同開発した。1974 年 8 月までの設置状況は表 2・4・5 に示すとおりで，公称能力 20～150 t の設備が 21 基，日本では川崎製鉄：水島，西宮，太平洋金属：八戸に，設置されている。

設備の概略を図 2・4・5 に示す。おもに，アーク加熱装

置，真空脱ガス装置，電磁誘導攪拌装置ならびに胴部鋼板に 18 Cr 8 Ni 鋼を用いた専用取鍋よりなり取鍋移動装置，ストッパー予熱，挿入装置，副原料投入装置，集塵装置などが付帯されている。表 2・4・6 に川崎製鉄(株)水島および西宮の設備主要部の仕様を示す。

図 2・4・6 に 100 t 設備 (川鉄・水島) の標準操業例を示す。転炉あるいは電弧炉より出鋼した溶鋼はストッパーノズル方式により専用取鍋に移注し，(A)加熱蓋に連結してアーク加熱する。必要に応じこの期間に造滓材や合金を添加し脱硫や合金材の溶解と均一化を行なう。昇温速度は平均 $1\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で溶鋼温度が所定温度まで到達した後台車を移動し，(B)排気蓋に連結し真空脱ガス処理を行なう。ひきつづいて (C) Al 脱酸を行なうがさらに低酸素，低硫黄含有量とする場合には希土類合金あるいはアルカリ土類合金を添加する。最後に成分調整を行ない溶鋼温度が所定の注入温度より低い時には (D) 再び加熱蓋に連結してアーク加熱した後，ストッパーを装てんし，鋳型へ注入する。(A)～(D) の過程はすべ

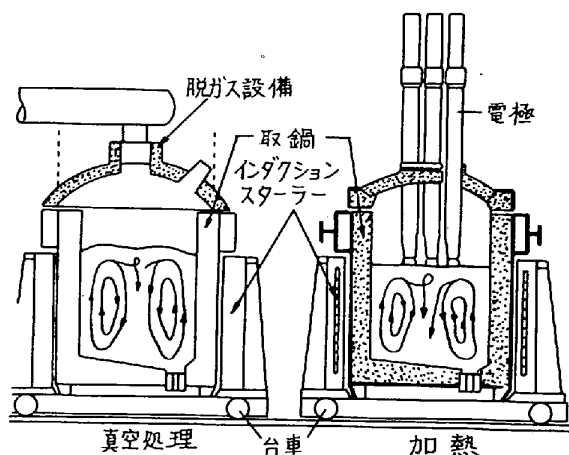


図 2・4・5 ASEA SKF 設備の概略

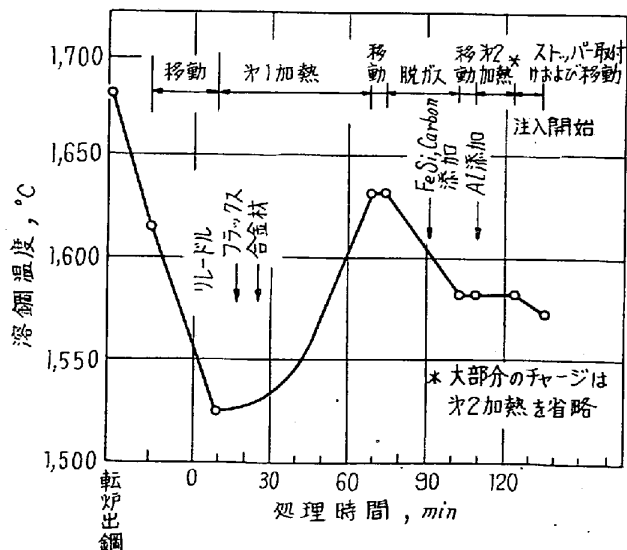


図 2・4・6 川鉄・水島 ASEA SKF 100 t 設備の操業例

表 2-4-5 ASEA-SKF 設置状況

建設 年度	所 会 社 (事業所)	在 国	公称能力 t	溶 解 炉
1965	SKF STÅL (Hälsfors)	Sweden	30	Arc
1967	Bofors (Kilsta)	"	50	"
"	Fagersta Bruks (Fagersta)	"	40	LD+Arc
1968	SKF STÅL (Hälsfors)	"	60	OH(Arc)
"	Stora Kopparberg (Domnarfvet)	"	30	Arc (Kaldo)
1969	Acos Villares (Sao Paulo)	Brazil	20	Arc
"	Granges Stål (Nybybruk)	Sweden	30	"
"	Uddeholms (Hagfors)	"	50	"
1970	川崎製鉄 (水島)	日 本	100	LD+Arc
"	Falconbridge Dominicana	Dominic	30	Smelting fce
"	Stora Kopparberg (Söderfors)	Sweden	30	Arc
"	Gränges Stål (Oxelösund)	"	140	Kaldo
"	Allegheny-Longdoz (Genk)	Belgium	50	Arc
"	Allegheny-Ludlum (Brackenridge)	USA	80	"
1971	川崎製鉄 (西宮)	日 本	60	"
"	Fabbrica Italian Tuke (Sestri Levante)	Italy	50	"
"	Acos Finos Piratini (Porto Alegre)	Brazil	40	"
"	Fagersta Bruks (Fagersta)	Sweden	50	"
"	Firth Brown (Sheffield)	UK	60	"
1973	Echavarria (Bilbao)	Spain	40	"
"	大平洋金展 (八戸)	日 本	20	Smelting fce
"	Falconbridge Dominicana	Dominic	30	"
1974	V/D Metallurgimport (Moscow)	USSR	150×2	OH
"	B.S.C., Clydeale Works (England)	UK	70	Arc
"	Italicider Cove	Italy	50	"

日本ガ德里ウス(株)提供資料による

て誘導攪拌下で行なわれる。

誘導攪拌の強さやフローパターンはインダクションスターラーの設計により変化できるが代表的なものは図2-4-7に示す2面直線型(逆転も可)である。100 t 取鍋(川鉄・水島)の鋼浴に RI (^{198}Au または ^{60}Co) を挿入し浴表面でその応答を測定した結果より、RI が浴中に均一に分散するに要する時間(溶鋼の混合時間)は挿

入位置や攪拌方向に依存せず 80~100 sec であるのに対し、誘導攪拌しない場合には鋼浴底部中心に挿入した RI は 4 min 後においても浴表面で検出されないことが明らかにされている。さらに、混合モデルに基づき計算された環流速度は完全混合槽列モデルによれば約 85 t/min, 拡散モデルによると約 70 t/min で、真接比較する上で問題はあがあるが RH 脱ガス装置 (60~100 t) にお

表 2・4・6 ASEA-SKF 設備のおもな仕様 (川鉄, 水島および西宮)

	水 島 (1970-5)	西 宮 (1971-4)
取 鍋 寸法 (mm) 容量 (t steel) 材質	O. D. 3,300 ϕ , 4,450 H 100 (max. 110, min. 60) SUS27	O. D. 2,800 ϕ , 4,175 H 60 SUS27
加熱装置 定格出力 (KVA) 電極寸法・本数 平均加熱速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	8,000 305 ϕ $\times$ 3 1~1.7	5,900 254 ϕ $\times$ 3
攪拌装置 電源 コイル寸法 (mm)	350KVA $\times$ 2, MG式, 1~1.2Hz 可変 O. D. 3,900 ϕ , 3,100 H	350KVA $\times$ 2, MG式, 1~1.6 Hz 可変
排気装置 構成 操業圧 (TORR)	スチームエゼクター 5 段 0.05	スチームエゼクター 6 段 0.5
溶 鋼 供 給 炉	180 t LD, 30 t EF	40 t EF

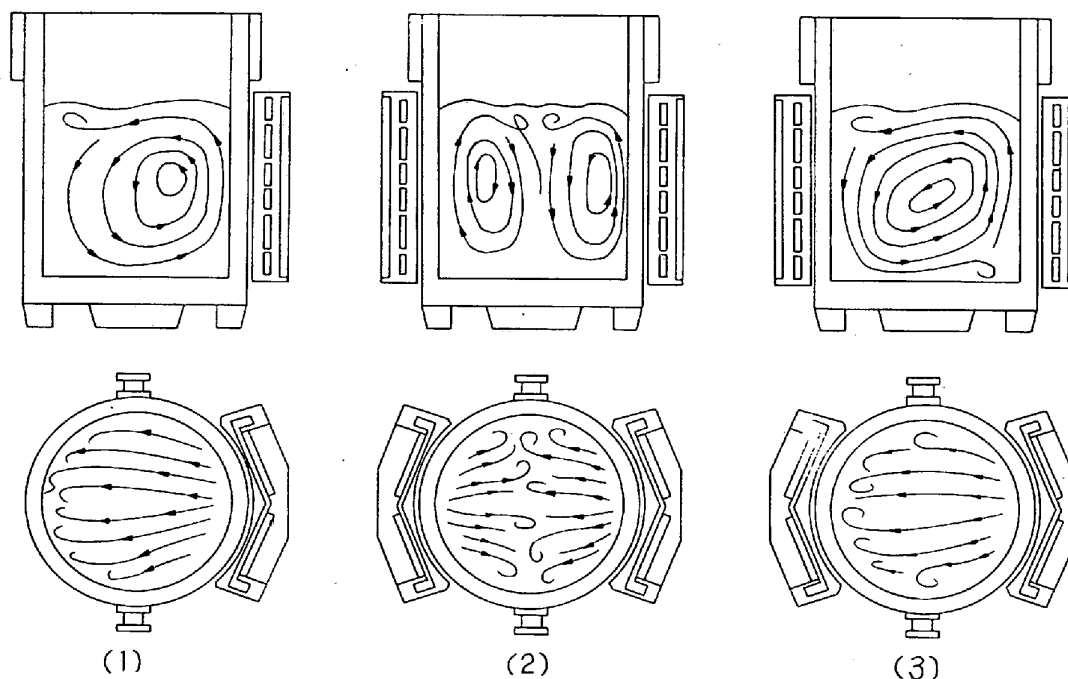


図 2・4・7 スターラーによるフローパターン

(注) 円筒型は (2) または (2) の逆 (平面パターンは全周から中心へ向う流れ)
一面直線型は (1) または (1) の逆
二面直線型は (2), (3) またはそれらの逆が可能

ける 20~40 t/min と比較すると 2~4 倍大きい。また、溶鋼の混合の強さを示す混合拡散係数として 100~500 がえられている。

なお、60 t 取鍋 (川鉄・西宮) では誘導攪拌に加えて、さらに気液界面を増加させ脱水素を促進する目的で鍋底に設けたポーラスプラグより Ar ガスを吹込み図 2・4・8 に示す結果をえている。

低酸素ならびに低硫黄含有量を要求する例えば耐ラメラテ^④ア^⑤鋼などの高級鋼の溶製法としてスエーデンで Bofors 法が開発された。この方法は ASEA-SKF 設

備により前述の (A)~(D) 処理を注意深く行なうもので、L. E. CARLSSON らの報告の一部を引用し表 2・4・7 に示す。特に、(C) 工程における脱ガス Al 脱酸、後のミッシュメタル添加により S は約 10 ppm, O は 10 ppm 以下と極めて低い値が得られ、同時に熱間変形能の大きい MnS が変形能の小さい Rare-earth Sulphide になるので製品の靱性ならびに延性、とりわけ圧延方向に直角および板厚方向の値は著しく改善され、たとえば、耐ラメラテ^④ア^⑤鋼として用いられる。

(b). VAD 法

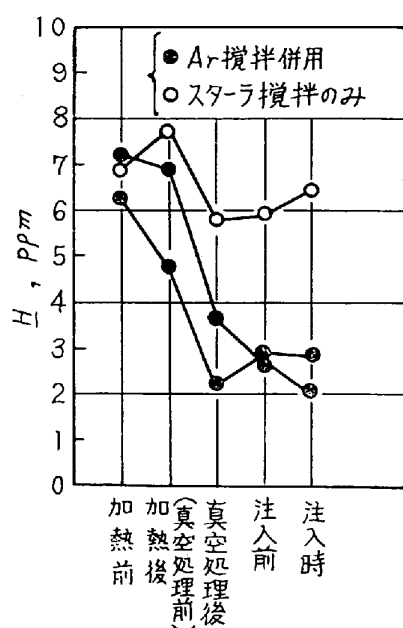


図 2.4.8 ステンレス溶鋼中水素量の推移
(川鉄・西宮60t取鍋)

A. Finkl and Sons Co. では1958年以来不活性ガス吹込みを伴う取鍋真空脱ガス法を実施してきたが1967年 J. Mohr and Sons Co. との共同研究により、さらにアーク加熱を付加した方法を開発した。ASEA-SKF 法では通常の電弧炉と同様に大気下でアーク加熱を行なうのに対して本法では減圧下でアーク加熱を行なう点に特徴があり、VAD (Vacuum Arc Degassing) 法と呼ばれている。世界における本法の設置状況は表 2.4.8 に示すとおりで、公称能力 20~92 t の設備が 8 基、日本では日新製鋼、呉と三菱重工：広島、に設置されている。

設備の概略を図 2.4.9 に示す。Finkl and Sons Co. の 70 t 設備では 3 相 7,500 KVA のトランスを用い最大電流 15 kA、最長処理時間 1.5 hr、最大温度上昇 80 °C を記録しているが Ar ガス吹込みによる溶鋼温度降下が予想外に大きく最大電流を 20 kA に改造している。表 2.4.9 に日新製鋼、呉、90 t 設備の主要部の仕様を示す。

転炉あるいは電弧炉より受鋼した取鍋を真空タンク内に装入し排気と同時にアーク加熱を行なう。100 Torr 以下におけるグロー放電の危険を避けるために図 2.4.10 に示すようにタンク内圧力が約 200 Torr まで下った時

表 2.4.7 Bofors 法による脱硫と脱酸

(L. E. CARLSSON et al; Jernkon. Ann. 154 (1970) p. 241)

鋼 種	STEP	添加物 (%)		[S] %			[O] ppm		
		石 灰	ミッシュメタル	処理前	処理後	注入中	処理前	処理後	注入中
0.45 C	A B D	0.8	—	0.023	0.019	0.014	30	7	9
0.45 C	A B C D	0.8	0.2	0.025	0.019	0.001	22	23	7
0.45 C	A C D	0.8	0.2	0.017 ^a		0.005	24 ^a		7
0.26 C 1.1 Cr 0.2 Mo	A B C D	0.8	0.1	0.016	0.014	0.011	26	11	19
0.35 C 1.4 Cr 3 Ni 0.5 Mo	A B C D	0.8	0.2	0.015	0.010	0.002	49	34	20
0.30 C 1.6 Cr 0.6 Ni 0.8 Mo	A B C D	0.8	0.1	0.015	0.010	0.003	33	34	18
0.40 C 5.3 Cr 1.4 Mo 1 V	A B C D	0.8	0.2	0.014	0.009	0.001	41	25	16
0.40 C 5 Cr 1.3 Mo 0.5 V	A B C D	0.8	0.2	0.010	0.010	0.003	—	36	15
0.40 C 5 Cr 1.3 Mo 0.5 V	A C D	0.8	0.25	—	—	0.004	33 ^a		24
0.20 C 12 Cr 0.4 Ni	A B C D	0.8	0.2	0.018	0.013	—	203	51	18

STEP: 本文中操作 ABCD と同じ、a 脱ガス処理なし、ミッシュメタル添加前の値を示す。

表 2.4.8 VAD 設 置 状 況

建 設 年 度	所 在		公称能力 t	備 考
	会 社 (事 業 所)	国		
1967	A. Finkl & Sons	USA	70	真空脱炭共用
1972	Schoeller-Bleckmann	Austria	20~50	
"	B S C (Brimbo)	UK	70	
1973	日 新 製 鋼 (呉)	日本	40~92	
1974	Gußstahlwerk (Gelsenkirchen)	W. Germany	16~33	
1974	S A F E	France	60	
1974	Valourec	"	60	
1974	三 菱 重 工 業	日本	20	

松坂貿易(株)提供資料

表 2・4・9 90t VAD 設備仕様概要 (日新製鋼, 呉)

諸 元		仕 様
名 称		フィン ケ ル方式真空アーク脱ガス装置
製 作 所		スタンダード・メッソ社 (西独)
稼 働 年 月 日		昭和48年12月12日
製 鋼 炉		90 t × 3/3 LD
処 理 能 力		90 t /ch
処 理 鋼 種		炭素鋼, 工具鋼, 軸受鋼, 強靱鋼
真 空 容 器	内寸法	5,150mm ϕ × 6,830mm
	板 厚	30mm
	重 量	49 t
真 空 容 器 蓋	内寸法	4200mm ϕ ~ 5150mm ϕ × 1750mm
	重 量	25 t
真 空 装 置	エゼクター数	6 段 9 基
	コンデンサー数	5 段 5 基
	蒸気流量	max 1200 kg/hr
	冷却水流量	max 850m ³ /hr
	到達真空度	0.5 Torr
加 熱 装 置	トランス容量 (定格)	9,000 KVA
	昇降方式	油圧, 気密シリンダー方式
	電極寸法	12" ϕ 1,500mm × 5 本
	P. C. D	900mm
取 鍋	鉄皮内寸法	3296mm ϕ × 3690mm
	レンガ張内寸法	2700mm ϕ × 2899mm
	フリボード (80 t 初期)	775mm
	内張レンガ材質	塩基性
	ポーラス プラグ材質	ムライト質
	ストッパー方式	スライディング・ゲート方式

(製鋼部会資料 58-5 (1974))

にアーク加熱を中止する。排気は続け 1 Torr 以下で Ar 吹込みを行ないながら 6~10 min 脱水素を行なった後圧力を 100~200 Torr に上げてアーク加熱, Ar ガス攪拌による脱酸処理を 30~45 min 行なう。再加熱時に合金剤を添加するがアーク加熱のため特に高融点の脱硫フラックスの使用も可能である。

Finkl and Sons Co. の 70 t 設備の実績として, 0.20

%炭素鋼の VAD 処理で記録された最低ガス含有量は 10 ppm, N 8 ppm, H 0.95 ppm と非常に優れた結果が報告されている。

(2) 真空脱炭法

13 Cr, 18 Cr, 18 Cr-8 Ni, などのステンレス鋼の生産量の大部分を占めるものは C 0.07% 以下の薄板材である。これらの材料の製鋼において, Cr 源として用いら

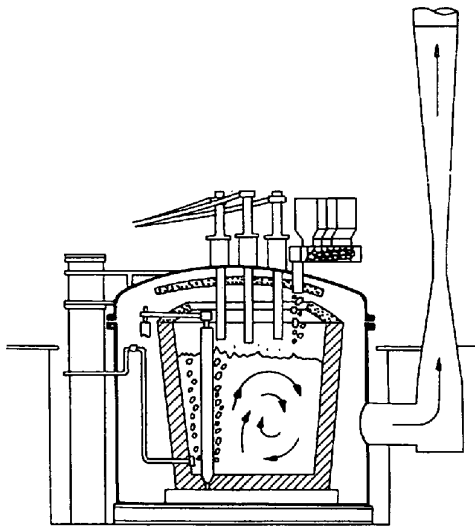
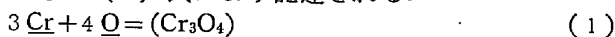


図 2.4.9 VAD 装置概略図

れる Fe-Cr 合金は低炭素品は価格が高いため酸化精錬の初期に高炭素 Fe-Cr を添加する方法が一般に採用されている。この場合、鋼浴を低炭素域まで脱炭した時のスラグ中の酸化クロム含有量は電弧炉の場合 30~40%にも及ぶ。

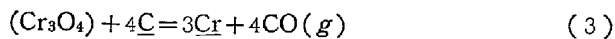
溶鋼中の Cr 濃度が 8%より高い場合の Cr 酸化反応はおもに (1) 式により記述される。



一方、脱炭反応は (2) 式で示される。



したがって、Cr, C の酸化還元反応は (3) 式で示され平衡定数 K は M. SCHMIDT らにより (4) 式で与えられている。



$$\log K = \log (a_{\text{Cr}}^3 \cdot p_{\text{CO}}^4 / a_{\text{Cr}_3\text{O}_4} \cdot a_{\text{C}}^4) = -\frac{48,800}{T} + 32.2 \quad (4)$$

Cr% と O% の平衡関係を示すと図 2.4.11 のようになる。鋼浴温度が高いほど同一 Cr% と平衡する C% は低く、従来、電弧炉によるステンレス鋼溶製の際に酸化期の浴温を 1,900~2,000°C 近くまで上げるゆえんである。しかしながら、このために電弧炉耐火物の損傷は著しく、また、酸化期に続き、Si 添加によりスラグ中の Cr の回収をはかっても Cr 歩留りは高々 90% に過ぎない。一方、図右に明らかなように p_{CO} を低くしても同じ効果がえられる。溶鋼と接する気相中の CO 分圧を十分小さくするには真空装置により雰囲気圧を減圧すればよい。この原理に基づくものに、VOD 法と RHOB 法がある。このほかに、Ar ガス希釈により p_{CO} を低くする方法がある。AOD 法がこれに相当する。この方法は原理上真空脱炭法の範囲外ではあるが、その効果には VOD 法と比肩すべきものがあり、あわせて紹介する。

(a) VOD (Vacuum Oxygen Decarburization) 法

1967 年西独 Edelstahlwerk Witten が Standard Messo の協力の下に開発したステンレス鋼の真空脱炭法である。1973 年までの世界の設置状況は表 2.4.10 に示す

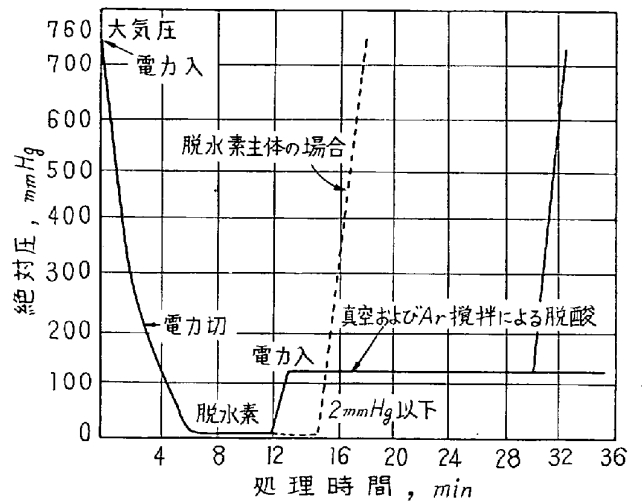
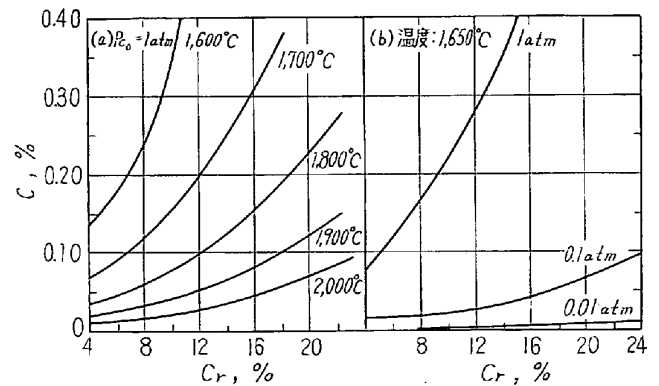


図 2.4.10 VAD 法脱ガス工程

図 2.4.11 各温度、圧力下での C-Cr の平衡
(恵藤, 特殊鋼 23 (1974), 6, p. 46)

とおりで、公称能力 40~80 t の設備が 14 基、日本ではおもなステンレス鋼メーカーに計 6 基が設置されている。前工程(おもに C% > 0.5 の高炭素領域での脱炭)を受持つ炉が転炉の場合 LD-VAC 法、電弧炉の場合 ELO-VAC 法とも呼ばれる。日新製鋼(株)周南の 45 t 設備のおもな仕様を表 2.4.11 に示す。

標準的な精錬工程の概略は次のとおりである。まず、転炉あるいは電弧炉で C% 0.4~0.5 まで酸化精錬を行ない、他の成分および溶鋼温度を目標値に調整した後、塩基性ライニングを施した取鍋にスラグの混入を極力避けながら出鋼する。この場合、酸素吹止め時の C% が低すぎると Cr 歩留りが低下し、高すぎると後工程の真空脱炭時間が長くなるので、キャッチカーボンには特に重要である。受鋼した取鍋は図 2.4.12 に示すように真空槽内に収め Ar ガス攪拌を行ないながら約 20 Torr まで減圧する。減圧に伴ない C-O 反応が進行するので激しいボイリングが起こるが、これがおさまった後酸素吹精を開始する。真空槽内の圧力は C 濃度の減少とともに低下し、10 Torr 以下になり、処理中の溶鋼温度の酸化熱によりやや上昇する。吹精中の脱炭反応の推移は真空度や排ガス連続分析値により判定する。脱炭終了後も引続き Ar ガス攪拌を行ないながら脱酸剤を添加して必要な

表 2-4-10 VOD 設 置 状 況

建 設 年 度	所 会 社 (事 業 所)	在 国	公称能力 t	
1966	Witten AG <i>Eisenwerk</i>	W. Germany	40	
1968	日 新 製 鋼 (周 南)	日 本	40	
1971	川 崎 製 鉄 (西 宮)	"	50	
"	日 本 冶 金 (川 崎)	"	60	
"	新 日 本 製 鉄 (八 幡)	"	60	
"	Stahlwerke Südwestfalen	W. Germany	80	
"	Fagersta Bruks (Fagersta)	Sweden	50	
"	Firth Brown (Sheffield)	UK	40	
"	Schoeller-Bleckmann	Austria	50	VAD と 共 用
1972	日 新 製 鋼 (周 南)	日 本	(40)	炉 体, 蓋 の み 増 設
"	住 友 金 属 工 業 (鋼 管)	"	50	
"	VBM	W. Germany	40	
"	Brown Bayley	UK	20	
1973	Chatillon Commentry	France	80	
(1975)	日本ステンレス (直江津)	日 本	40	

松阪貿易 (株) 提供資料

表 2-4-11 VOD脱ガス装置のおもな仕様
(日新製鋼, 周南)

(1) 型	式 (LD-Vac) 取鍋脱ガス方式
(2) 能	力 処 理 量 45 t
	処 理 鋼 種 ステンレス鋼全品種及 特殊鋼全般
	排 気 能 力 480kg/hr (真空度 3Torr での空気換算量) 160kg/hr (真空度 0.5 Torr での空気換算量)
	到達真空度 0.2Torr
	背 圧 760Torr
(3) 設備概略寸法	
	真 空 容 器 内 径 4,750mm 高 さ 5,200mm 重 量 約 42 t
	上 蓋 外 径 3,640mm (上部) 5,170mm (下部) 高 さ 2,430mm

(中野ら, 日新製鋼技報, 28 (1973) 5月, 1)

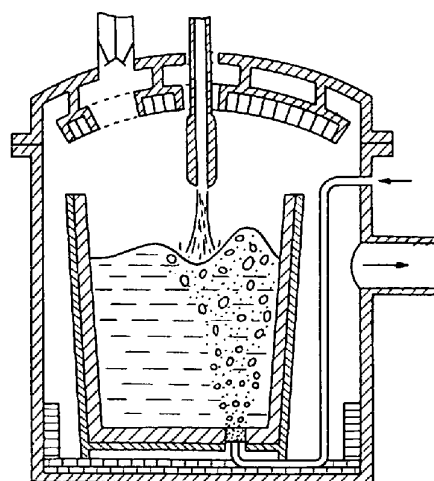


図 2-4-12 VOD 法装置略図

時間保持し, 化学成分および溶鋼温度の調整を真空あるいは大気下で行ない, スライディングノズルを介して鋳型に注入する。

Ar ガス攪拌によりもたらされる鋼浴の流動の強さは脱酸に重要な影響をおよぼす。RI 添加により求めた循環流量とガス流量ならびに脱酸速度定数との関係を図 2-4-13 に示す。脱酸速度定数は循環流量の増加とともに

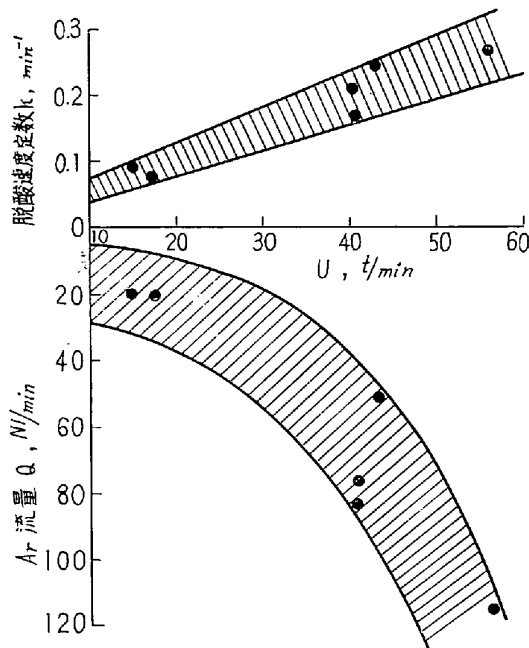


図 2-4-13 VOD 式精錬炉における Ar 流量 Q 、循環流量 U および脱炭速度定数 k の関係
(中西ら：学振製鋼第19委資料，19委-9559 第3-232)

直線的に増大するが、循環流量はガス流量の増加に伴ない増大するものの、その増加の割合はガス流量の増加とともに鈍化することが認められる。到達酸素濃度は脱炭剤の種類と添加量によつて変わるが $Al_{sol.} \% \approx 0.02$ で 20~40 ppm となり、ステンレス鋼としては非常に低い水準に達することが報告されている。

(b) RHOB 法

昭和44年新日鉄室蘭で開発された。LD 転炉精錬と本法との組合せによるステンレス鋼の溶製法を図2-4-14に

示す。溶銑の炉外脱硫、酸素吹精による脱磷および出鋼による酸化性スラグの分離までは普通炭素鋼の転炉精錬と特に変わらない。本法の特徴はひきつづいて行なう高炭素 Fe-Cr の装入ならびに溶解と脱炭、出鋼後の RH 処理と同真空槽内で溶鋼の流れに対向して酸素を吹付け Cr の酸化を抑えつつ脱炭するところにある。前述の VOD 法の場合と同様に Cr の歩留りにとつては第2吹錬期の鋼浴温度ならびに吹止め C 濃度が高いことが望ましく、RH-OB 法における真空槽と溶鋼の循環は VOD 法における真空タンクと Ar ガス攪拌にそれぞれ対応する。脱炭終了後は循環を続けながら脱炭を行ない所定温度で鋳型へ注入する。この方法は開発結果が公表されたばかりであり今後の発展が注目される。

(c) AOD (Argon Oxygen Decarburization) 法

1968 年米国の Union Carbide Co. の Linde Div. において開発されたステンレス鋼の精錬法である。1974 年 8 月までの世界の設置状況を表 2-4-12 に示す。公称能力 4~90 t の設備基数は 38 におよび、現在さらに 7 基が建設中あるいは計画中と報告されている。日本では日本金属工業；相模原，衣浦，新日鉄；光，明道金属；燕，大同製鋼；星崎に設置されている。

前述のように、本法は Ar ガスで希釈した酸素ガスを炉側壁下部に設けられた羽口より鋼浴中に吹込み Cr の酸化を押えながら低炭素領域まで脱炭するものである。SUS 302 L に例をとり、吹錬に伴う C と Cr の平衡濃度の変化を電弧炉法、VOD 法の場合と対比させて図 2-4-15 に示す。

AOD 炉の炉体形状は LD 転炉に似ており、図 2-4-16 に示すように非対称形から煉瓦積み of 容易な対称形へと変遷している。炉体の支持はトラニオンリング方式で任意の傾転角度がとれるようになっている。精錬ガス吹込み設備は流量制御を行なうバルブスタンドと炉体側配管およびガス冷却方式の消耗羽口よりなる。精錬ガスの

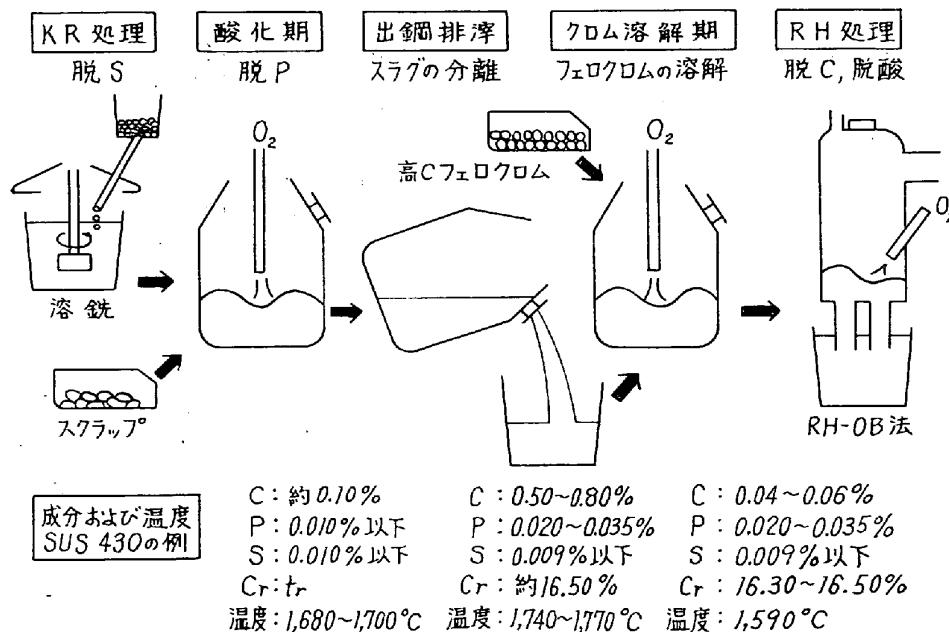


図 2-4-14 LD-RHOB 法によるステンレス鋼溶製方法

(恵藤：特殊鋼 23 (1974), 6, 46)

表 2・4・12 AOD設置状況

建設 年度	所 会 社 (事業所)	在 国	公 称 能 力 t
1968	Joslyn Stainless (Ft. Wayne)	U S A	15
1970	Cabot (Kokomo)	"	4
"	Ilssa-Viola (Pont St. Martin)	Italy	20
"	Electralloy (Oil City)	U S A	15
"	Eastern Stainless (Baltimore)	"	45
1971	Armco Steel (Baltimore)	"	35
"	IMI Alloy Steel (Derby)	U K	8
"	Standard Steel (Burnham)	U S A	15
"	Spartan Steel (Birmingham)	U K	10
"	International Nickel (Huntington)	U S A	30
"	日本金属工業 (相模原)	日本	55
"	Jessop Steel (Washington)	U S A	18
"	U.S. Steel (Chicago)	"	90
"	BSC (Pontypool)	U K	60
"	Jones & Laughlin (Warren)	U S A	60
1972	Carpenter Steel (Reading)	"	13
"	日本金属工業 (衣浦)	日本	80
"	Crucible Steel (Midland)	U S A	90
"	Rotherham Stainless (Rotherham)	U K	7
"	Fried Krupp (Bochum)	W. Germany	80
"	Southern Cross Steel (Middelburg)	S. Africa	25
"	Olarra (Bilbao)	Spain	14
"	BSC (Stocksbridge)	U K	16
1973	Terni (Terni)	Italy	55
"	Cabot (Kokomo)	U S A	14
"	Avesta Jernwerks (Avesta)	Sweden	55
"	Babcock & Wilcox (Beaver Falls)	U S A	24
"	Olarra (Bilbao)	Spain	10
"	Boschgotthardshütte (Siegen)	W. Germany	18
"	Carpenter Steel (Bridgeport)	U S A	45

表 2・4・12 (続き)

建設 年度	所 会 社 (事業所)	在 国	公 称 能 力 t
1973	新日本製鉄 (光)	日本	60
"	明道金属 (燕)	日本	10
"	Allegheny-Ludlum (Watervliet)	U S A	23
1974	大同製鋼 (星崎)	日本	20
"	Detroit Steel (Mansfield)	U S A	90
"	Nyby Bruk (Nybybruk)	Sweden	55
"	Acc. Valbruna (Vicenza)	Italy	10
(")	Electralloy (Oil City)	U S A	25
(")	Broken Hill (Pt. Kembla)	Australia	50
(")	大平洋金属 (八戸)	日本	25
(1975)	Fiat (Torino)	Italy	70
(未評)	Cogne (Aosta)	"	35
(")	Ugine Aciers (Ugine)	France	42
(")	日本冶金工業 (川崎)	日本	66

(大同製鋼(株)提供資料) 建設年度の()は建設中および計画中のものを示す。

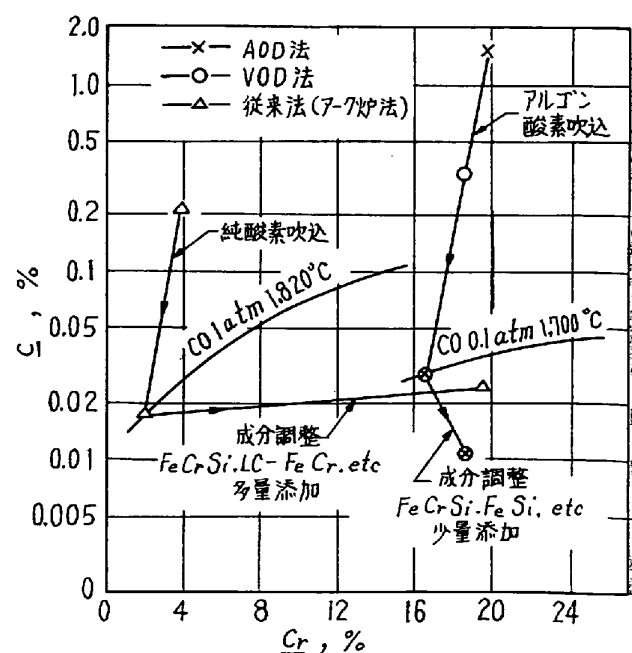


図 2・4・15 AOD 法における C-Cr 平衡 (304 L)
(山下: 特殊鋼 22 (1973), 3, 38)

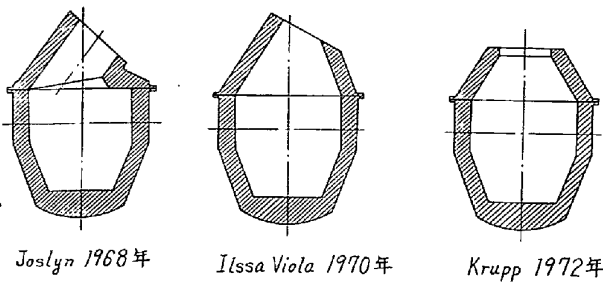


図 2-4-16 AOD 炉形状の変遷
(山下：特殊鋼 22 (1973), 3, 38)

表 2-4-13 10 t AOD 炉の操業法 *U.K. Spartan Steel*
(*U.S.A. Spartan Co.*) *Alloy Ltd*

電 炉	溶解	C, Si を除いて目標成分で M. D. (1,500°C)
	昇温	Fe-Si 添加 O ₂ →1,650°C
	還元	CaO, Fe Si 添加→slag off→加炭
	調整	0.6% C, 0.5% Si, Arc 加熱→出鋼
移動取鍋		
A O D	1 期	取鍋計量→A O D 装入→取鍋計量→測温, サンプル O ₂ /N ₂ =3/1=255(Nm ³ /hr)/85(Nm ³ /hr) 脱炭酸素効率40%, Cr, Ni, Mo など調整
	吹止め	0.2% C, 1,680°C
	2 期	O ₂ /Ar=2/1=226(Nm ³ /hr)/113(Nm ³ /hr)
	吹止め	0.1% C, 1,740°C
	3 期	O ₂ /Ar=1/2=113/226 (Nm ³ /hr)
	4 期	CaO, Fe Si, Fe Mn 添加, Ar 攪拌
	脱 S	slag off→CaO, CaF ₂ , Fe-Si 添加, Ar 攪拌→S<0.01%
	調整	調整合金添加→温度調整→出鋼

O₂/Ar 比は自由に調整できる。羽口は出鋼側と反対の炉底近くの側壁数個所に取付けてあり、出鋼や除滓に際し浴面より上に出る時は圧縮空気に切換えられる。そのほかに、合金鉄や冷却材の投入設備、集塵装置、測温サンプリング装置、炉体煉瓦の乾燥、予熱装置などが付帯されている。

操業例として米国 Spartan Co. の 10 t AOD 炉の操業法を表 2-4-13 に、日本金属工業より報告されている AOD 炉精錬期における C および Cr 濃度、溶鋼温度の推移を図 2-4-17 に、それぞれ示す。O₂/Ar 比は 3 に始まり脱炭の進行とともに下げ低炭素領域では 0.5 にする。脱炭終了後 Fe Si などを添加、Ar ガス攪拌を行なつてスラグ中の Cr を回収し、必要に応じて脱硫を行ない、溶鋼成分ならびに温度を調整した後に、出鋼する。

炉体形状から溶鋼単位重量、単位時間当たりのガス吹込量が大きく、したがって、脱炭速度が大きく処理時間が短いことが本法の特徴の一つであり、設備費が比較的低廉であることとともに、VOD 法より高い普及度をもたらしている理由になっている。

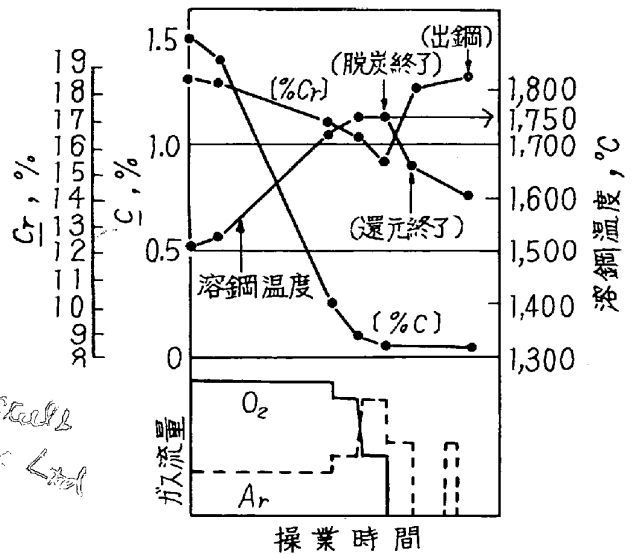


図 2-4-17 AOD 精錬期における C%, Cr%, 溶鋼温度の推移
(松木ら：鉄と鋼 59 (1973), s. 457)

精錬用ガスとしては、当初は純酸素と純アルゴンが使用されたが、最近純アルゴンのかわりに粗アルゴン (98% Ar 2% N₂) や窒素が部分的に使用されるようになってきた。現状における本法の最も重要な問題点は炉体内張耐火物寿命の延長である。報告されている寿命の最高値は超高温焼成マグクロ煉瓦で 70 ヒート、平均 50~55 ヒートであり、煉瓦原単位は 1,800~2,000 円/t になっている。耐火物寿命の延長については、採用各社で努力が払われており今後の進歩が期待される。

本節の最後に、VOD 法、RH-OB 法、AOD 法によるステンレス鋼製鋼の共通の問題点として、Cr 歩留り、製品の品質につき触れておく。

Cr 歩留り；各法により AISI type 304 ならびに 430 を溶製する際の Cr 歩留りについて新日鉄の報告を引用し表 2-4-14 に示す。報告においても断わつてあるが、引用された Cr 歩留りが得られた製鋼条件を詳しく吟味した上でないと定量的な評価を下すことはできない。しかし一応の目安として見ることはできよう。最終 C%≒0.04 程度までの脱炭を行なうにもかかわらず AOD, VOD, RH-OB 工程での Cr 歩留りは 97~99% と極めて高い値を示している。一方、その前工程として電弧炉を用いる場合その工程での Cr 歩留りが 94~95% であるために全工程 Cr 歩留りは高くても 93% にとどまる。これに対して、RH-OB 法の前工程として示された転炉吹錬工程における Cr 歩留りが 98% と高い水準にあることは注目に値する。しかし、これらの比較的高い範囲における Cr 歩留りの向上は、前工程における吹止め C 濃度や溶鋼温度の上昇、スラグ中 Cr の還元の強化などに払われるコストならびに前工程と後工程との能力のバランスなどを考慮して総合的見地から行なわれるべきである。

品質；減圧ならびに不活性ガス攪拌処理を行なうので鋼中ガス含有量は電弧炉製鋼の場合より低い。報告されている処理後の H, N, O 濃度をまとめて表 2-4-15 に示す。なお、ステンレス鋼においては耐蝕性の関係から

表 2・4・14 各種精錬法の歩留と生産性

会 社 名	プロセス	メタル歩留 (%)	クロム歩留 (%)	製鋼時間 (分)	鋼種備考
川 鉄	電 炉	99	95	200	304&430
	V O D	99	98	90	
	全	98	93	290	
日新製鋼	電 炉	>99		180	304&430
	電 炉	•		45	
	V O D	>99		55	
	全	98	94	280	
Allegheny	電 炉	93	94	360	304
	ASEA-SKF	98	98	150	
	全	91	93	510	
新日鉄空蘭	転 炉	•	97	50**	430&304
	R H		99	70	
	全		96	120	
Joslyn	電 炉			150	304&430
	A O D	98	97	90	
	全			240	
Spartan	電 炉				304&430
	A O D	96	>98		
	全	88			
UCC 報告	電 炉			160	304
	A O D			107	
	全	95	95.8	280	

• 印: 転炉法では, Cおよび Si 含有量の高い高炉溶銑を主原料とするので, 電炉法とのメタル歩留の比較は困難である。

**印: RHOB 法は, 昭和49年1月のデータを使用。

(恵藤, 特殊鋼, 23, (1974), 6, p. 46)

表 2・4・15 VOD, RH-OB, AOD 法処理後の鋼中ガス成分

process	V O D	R H-O B	A O D
ppm			
H	≤ 4	1~ 3	1~ 4
N	80~120	30~120	≈ 186
O	30~ 60	20~ 60	≈ 85

Al 脱酸が制限される場合が多いので表 2・4・15 中の O 濃度をもつて各法を直接比較することはできない。

一方, S 濃度は VOD, AOD 法においては電弧炉工程に加えてこれらの工程で, RH-OB 法では溶銑工程で, 積極的に脱硫を行なうことにより 0.003~0.005%の低水準が安定してえられる。また, 電弧炉法に比べて Sn, Sb, Pb, などの含有量が少ないことも報告されている。これらの不純物含有量の低減は製品において成形性, 切削性, 表面品質などの向上をもたらす。

2.5 製鋼技術上のトピックス

2.5.1 電気炉における還元鉄の利用

電気炉における還元鉄の利用については, 1967年に開催された第25回 AIME Electric Furnace Conference において, SIBAKIN により Stelco で行なわれた SL/RN 法による還元ペレットの電気炉への連続装入の実績が公表されて以来, 一躍注目を浴びるようになった。わが国でもこれに刺激されて電気炉での還元鉄の使用が試みられ昭和46年3月には, 大同製鋼知多工場においてその公開試験が行なわれた。現在, 海外で行なわれている工業的規模での還元鉄製造プロセスに直結した電気炉での還元鉄の利用状況をまとめて表 2・5・1 に示す。

とくに最近では全世界的な屑鉄の不足と価格の高騰という事態に直面し, 還元鉄への関心はますます高まりつつ

表 2・5・1 電気炉における実操業例

製 鋼 会 社		還 元 鉄		電 気 炉		使 用 方 法	
社 名	所 在 地	製造法	設備能力	炉 容 量	変圧器容量	装 入 方 法	還元鉄装入率
H S W	Hamburger (W. G)	Midrex	40 万 t/年	85t × 2基	45MVA	炉頂連装	75%
Georgetown	Georgetown (U. S. A)	"	"	65 × 3	35	"	50
Sidbec	Contrecoeur (Canada)	"	"	120 × 2	50	"	70
Oregon	Portland (U. S. A)	"	"	65 × 1他	30	"	不明
Armco	Houston (")	Armco	30	160 × 4他	50	炉頂連装およびバッチ装入	25
HyLSA	Monterrey (Mexico)	HyL	60	100 × 3他	40	炉頂連装およびバッチ装入	75
"	Puebla (")	"	20	70 × 3	30	バッチ装入	60
TAMSA	Veracruz (")	"	17	50 × 3	不明	炉側連装	80
USIBA	Salvador (Brazil)	"	20	100 × 1	42	バッチ装入	70
Newzealand	Glenbrook (N. Z)	SL/RN	15	40 × 2	22.5	不明	不明
Acos Finos	Piratini (Brazil)	"	6	40 × 1他	15	炉頂連装	40