

2) 精錬：VOD・AOD (VCR)

日本冶金工業(株) 佐藤正昭
ソリューション営業部 次長

精錬とは、紀元前からある古い技術であり、鉄を例にして説明すると木炭等を燃焼することで生じるCOガスで鉄鉱石中の酸化鉄を還元し、鍛冶作業によって不純物を除去していた。精錬とは、不純物の多い金属から純度の高い金属を取り出す不純物を除去する技術です。

日本では当初は電気炉で溶鋼精錬をして生産を行っているのが主流でしたが、1950年～1960年台に広幅ゼンジミアミルの導入が始まったことを機に、下工程側の生産能力が大幅に高まりました。そのため上工程側である製鋼能力の不足が目立つようになってしまいました。製鋼能力の増強手段として、溶鋼の凝固プロセスとして連続 casting 機を採用したことや、電気炉自体の大型化や効率化を進めていく上で、どうしても電気炉での溶解～脱炭～精錬を一貫して行っていると送電から出鋼までに要する時間が非常に長くかかるために大量生産の観点から、電気炉での脱炭～精錬を炉外に分離することにより能力増強を図っていく流れとなりました。

そのステンレス鋼の脱炭～精錬の手法として、現在でも幅広く活用されているのが、VOD法とAOD法となります。

では、各々の方法について詳しく説明をします。

(1) VOD法

VOD法とは Vacuum Oxygen Decarburization (真空・酸素脱炭法) の頭文字を取り略した用語となります。このVOD法は、西独のEdelstahlwerke Witten社が、高Cr鋼の溶鋼において、C+Oの反応で生じるCOガスの分圧を下げることにより、Cr酸化を抑制し、脱炭の反応効率を促進させる優先脱炭技術の一つとして開発した方式です。

VOD法の具体的な脱炭方式について、図1に『VOD炉の概略図』を示すが、取鍋を真空容器へ格納してから、スチームエゼクターにより真空容器内を減圧することによりCO分圧を低くして、Cr

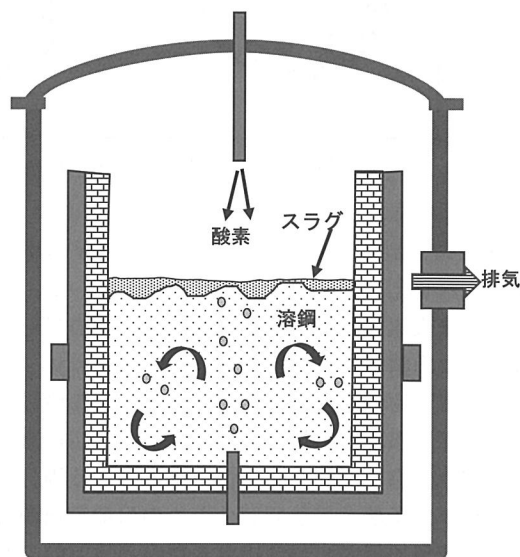


図 1 VOD炉の概略図

の酸化ロスを抑えながら、取鍋底部のポーラスプラグよりアルゴンガスを溶鋼に吹き込むことにより、溶鋼を攪拌しながら上吹ランスより酸素ガスを吹き付けて脱炭精錬を行う方法となります。

VOD法の操業に関しては多少の制約があり、予備脱炭した溶鋼が必要となる。電炉を経由するものをELO-VAC法、転炉を経由するものをLD-VAC法と区別されており、通常炭素量は0.4～0.6%にした溶鋼を取鍋に出鋼し、除滓後に真空容器へ取鍋を格納し、真空容器内を減圧するとともに溶鋼へのアルゴンガス吹き込みや酸素ガスの吹き付けによる真空酸素脱炭期、酸素ガス吹き付けを停止して、脱炭と脱ガスを行う真空脱炭期、Cr等の還元や脱酸・脱硫及び成分調整等を行う還元・仕上期といった流れで操業されます。

VOD炉は高Cr鋼の製造に適した手法であることから、AOD炉と同様に特殊鋼であるステンレス鋼には幅広く用いられる事となりました。その背景は冒頭で記載した通りですが、導入時期はAOD炉よりも早く実用化されたことと極低炭素精錬が行

えることもあり、日本ではVOD炉の方が先に採用されている。またVOD炉は高純度フェライト鋼や極低炭素のステンレス鋼の製造に適しています。

VOD法のメリット：

- ①溶鋼酸化脱炭反応時のCO分圧を真空中で減圧することにより効果的に脱炭が可能であり、到達炭素濃度がAOD法と比較して低い領域まで可能です。
- ②炭素濃度に合わせた真空度の制御を行う事で、Crの酸化を抑制した脱炭が可能であり、脱炭後の還元材の使用量が少ないです。
- ③減圧下で精錬を行うため、炭素や窒素などの吸収が少ない特徴をもっています。

VOD法のデメリット：

- ①AOD法と比較して低いレベルの炭素領域から精錬を行わなければならないため、炭素の低い原料を使用するか、予備脱炭処理を行う必要が生じます。
- ②AOD法と比較して脱炭速度が遅く、生産性は低いです。

(2) AOD法

AOD法とは Argon Oxygen Decarburization (アルゴン・酸素脱炭法) の頭文字を取り略した用語となります。このAOD法は、米国のUnion Carbide社が、高Cr鋼の溶鋼において、C+Oの反応で生じるCOガスの分圧を下げることにより、Cr酸化を抑制し、脱炭の反応効率を促進させる優先脱炭技術の一つとして開発した方式です。

AOD法の具体的な脱炭方式について、図2に『AOD炉の概略図』を示すが、精錬容器としては転炉に類似した構造となり、アルゴンガスと酸素ガスの混合ガスを精錬容器の側壁下部に設置している複数の二重管羽口から、大気中で溶鋼に多量の混合ガスを吹き込むことで、この混合ガスによって溶鋼の希釈を行うことによりCO分圧を低くして、Crの酸化ロスを抑えながら、溶鋼を攪拌させるとともに脱炭精錬を行う方式となります。

AOD法の操業としては、電炉にて溶解した溶鋼を取り鍋に出鋼して、除滓後にAOD炉に溶鋼を投入して、炭素の目標値まで脱炭する酸化期、有価金属であるCrやMn等を還元する還元期、必要に応じた除滓を行い、溶鋼の目標成分への調整や溶

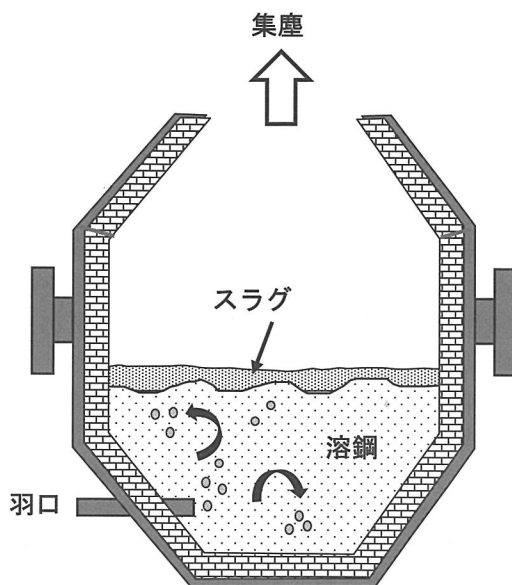


図 2 AOD炉の概略図

鋼の目標温度への調整を行う仕上期といった流れで操業されます。

AOD炉は高Cr鋼の製造に適した手法であり、多量の混合ガスを溶鋼に送る能力と強い攪拌力により脱炭速度と脱炭効率が非常に良いことから安価原料の使用可能範囲が広げられたことでのコストダウンや生産性向上が図れたため、特殊鋼であるステンレス鋼の製造には非常に適しており、1970年台で急速に増加した背景があります。

AOD法のメリットとしては、

- ①多量の混合ガスの吹込みが可能であるため、高炭素域からの脱炭が可能となることで、安価な高炭素原料やスクラップを容易に使用することが可能であり、生産性が非常に高い特徴があります。
- ②強力なガス攪拌でスラグとも接触されやすいことから、脱硫なども容易に行うことができます。

AOD法のデメリットとしては、

- ①VOD法のような極低炭素領域の脱炭には不向きです。
- ②脱炭等のクロム酸化はVOD法よりも多く、還元材の使用量が多くなります。

以上、VOD法とAOD法について説明したが、ステンレス鋼の炉外精錬として幅広く採用されて

いく中で、両方の炉を保有する企業では、両炉の特長を生かした複合操作を行う事で、安価な原料から極低炭素材の精錬を可能としました。主な流れとしては、AOD炉で高炭素原料やスクラップを使用して粗脱炭を行い、炭素量を0.4~0.6%にした溶鋼をVOD炉で精錬するというものです。

近年では、AOD法とVOD法の両方の利点を生かした複合操作を一つの炉で行えるようにAOD炉に真空機能を付加したV-AOD法（VCR）の採用が進んでいる。

簡単ではあるが、図3に『AOD炉に真空機能付加の概略図』を示します。

操作としては、まずAOD炉で高炭素原料やスクラップを使用した脱炭操作を行い、その後AOD炉体上部に真空蓋をかぶせて容器内を減圧する構造であるが、この設備はVOD法のような高真空度や酸素ガスの吹き付け精錬を必要とせずに、短時間でVOD法と遜色ない脱炭をすることが可能です。

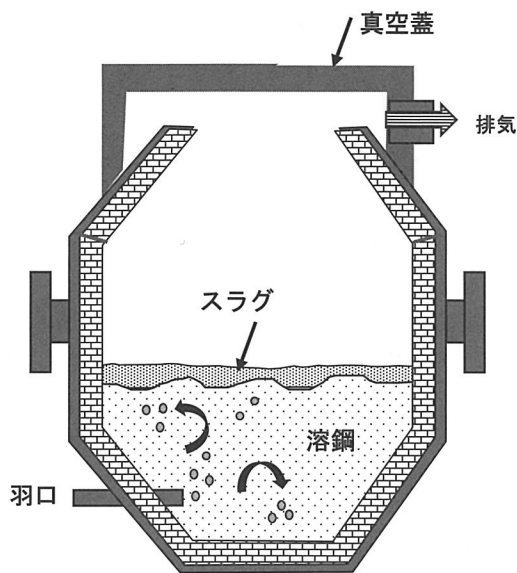


図 3 AOD炉に真空機能付加の概略図