

技術報告

UDC 669.184 : 669.046.554 : 669.187.26 : 669.14.018.8

転炉-RH 酸素吹精法によるステンレス鋼溶製技術の開発*

神居 詮正**・大久保静夫**・恵藤 文二***

Development of a New Stainless Steel Melting and Refining Process (LD-RH Oxygen Blowing Process)

Norimasa KAMIH, Shizuo OKUBO, and Bunji ETŌ

Synopsis:

Muroran Works, Nippon Steel Corporation, started the researches to produce stainless steel by LD converter in 1965.

After various difficulties were encountered and overcome in the course of these researches a new process to melt and refine stainless steel (LD-RHOB process) was successfully developed.

Since 1972 all the stainless steels have been produced favorably by the LD-RHOB process, and the products were more than 90 000 t in 1976.

The LD-RHOB process consists of the following five steps.

- (1) Desulphurization treatment
: Desulphurization of hot metal by KR treatment.
- (2) Base metal refining period
: Dephosphorization in LD converter.
- (3) Separation of slag from metal
: Tapping and slagging off and then charging into the LD converter again.
- (4) Chromium melting period
: High carbon ferro-chromium melting into base metal.
- (5) RHOB treatment
: Decarburization under reduced pressure.

The special features of LD-RHOB process include the following:

- (1) Chromium yield and productivity are better than of the same as other processes (AOD, VOD process).
- (2) Chemical composition can be freely controlled and tramp elements are lower than those in electric furnace steels. It is remarkable that high pure stainless steels such as ultra low carbon nitrogen stainless steels can be easily produced.
- (3) The products are very soft and ensure good workability.

1. 緒 言

従来ステンレス鋼は主に電気炉法により溶製されてきた。ところが 1960 年代にはいつて、ステンレス鋼生産量の著しい増大に伴い、より生産性が高く、また製造コストの低い製造プロセスの開発が進められてきた。

電気炉と Ar-O₂ の底吹精錬炉とを組み合わせた AOD 法¹⁾、電気炉または転炉と真空処理精錬炉とを組み合わせた VOD 法²⁾、AVR 法³⁾などがこの例である。

一方、新日本製鉄室蘭製鉄所では、昭和 40 年から 50 t 転炉によるステンレス鋼溶製の研究を開始した。

研究過程において数多くの技術的な問題を克服し、転炉と RH 脱ガス槽への酸素吹込みによる脱炭精錬法(以

後 RHOB 法-RH・Oxygen Blowing-と称す)とを組み合わせた独自のステンレス鋼製造プロセスすなわち転炉-RHOB 法を開発した。

昭和 47 年以降全面的に本法を採用して順調に操業が行われており、クロム歩留、製鋼時間などの諸操業成績も AOD 法、VOD 法に比較して優るとも劣らぬ実績をあげている。

ここでは、転炉-RHOB 法の開発経過の概要および特徴について報告する。

2. 開発の経過

室蘭製鉄所におけるステンレス鋼溶製法発展の経過を図示すれば Fig. 1 のとおりであり、次に示す段階を経

* 昭和 52 年 3 月 2 日受付 (Received Mar. 2, 1977)

** 新日本製鉄(株)室蘭製鉄所 (Muroran Works, Nippon Steel Corp., 12 Nakamachi Muroran 050)

*** 新日本製鉄(株)室蘭製鉄所 工博 (Muroran Works, Nippon Steel Corp.)

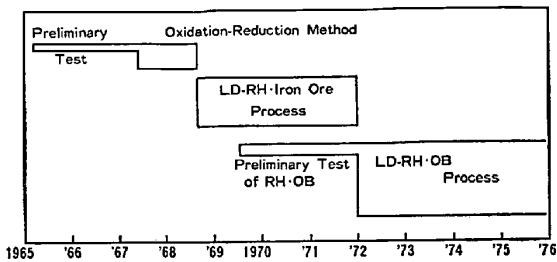


Fig. 1. Process to develop a new stainless steel refining process.

て転炉-RHOB 法を確立した。

- (1) 転炉法 (還元期法)
- (2) 転炉-RH 鉱石法
- (3) 転炉-RHOB 法

2.1 転炉法 (還元期法)

基本的には従来の電気炉法と類似した操業を転炉で行なわしめる方法で、第Ⅰ酸化期、第Ⅱ酸化期、還元期から成っている。第Ⅰ酸化期は、低P、低Sのベースメタル (Base Metal) を溶製する。第Ⅱ酸化期は、ベースメタルに高炭素フェロクロムを溶解し脱炭を行なう。還元期では、酸化期で酸化されたCr、Mnなどの合金成分をSi、Alなどで還元回収する。この方法では

- (1) クロム歩留は、90%以上を確保できるが
- (2) 製鋼時間が長く、しかも高温精錬であることから耐火物溶損が大きい。
- (3) 低炭素ステンレス鋼を得ることが困難であるなどの問題があった。

2.2 転炉-RH 鉱石法

還元期法の問題点を解決するために採用したのが、転炉とRH脱ガス装置の組み合わせによるステンレス鋼の製造法である。転炉でCrがあまり酸化損失しない程度の[C]0.30~0.40%まで脱炭し、還元期を持たずにRH真空処理を行ない、減圧下でCrよりもCを優先酸化させる方法である。この方法によればFig. 2に示すように、還元期法に比較して転炉での製鋼時間は短くなり、転炉耐火物への負担は軽くなる。また鉄鉱石あるいは酸化鉄ペレットなどをRH脱ガス槽に添加して脱炭を行なうために、容易に低C域までの脱炭が可能である。しかしこの鉄鉱石の分解反応は、吸熱反応であるため、温度降下が大きく、鉄鉱石使用量にもおのずから限界があり、実操業での許容温度降下量は110~160°Cで、それに見合う脱炭量は約0.30%[C]である。したがって転炉出鋼[C]をあまり高くすることができず、転炉でのクロム歩留は約87%と低い。またRH脱ガス槽内で一部未反応の鉄鉱石は下降管より取鋼中へ吐き出さ

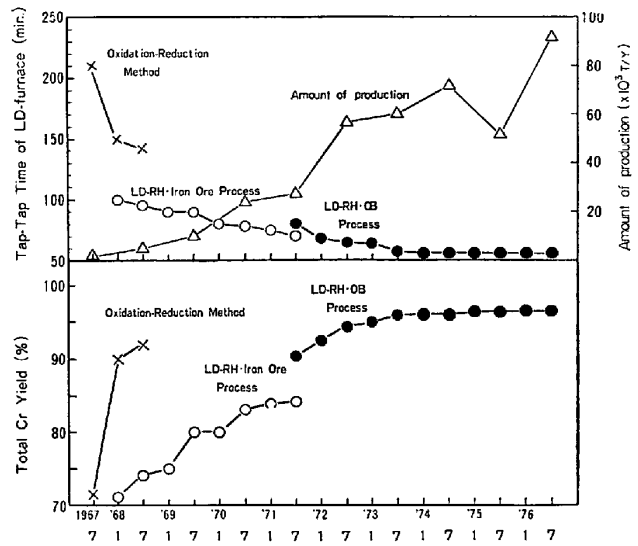


Fig. 2. Progress of LD steelmaking time, Cr yield and amount of production.

れて、大気下にある溶鋼中のCrを酸化する、などの難点がある。

2.3 転炉-RHOB 法

RHOB法は、前述のRH鉱石法の難点を改良するために開発されたもので、RH脱ガス槽へ気体酸素を吹込んで脱炭を行なう方法である。気体酸素による脱炭は発熱を伴うことから温度面での制約が全くなく、原理的には任意の[C]量で脱炭が可能である。したがって転炉出鋼時の[C]を十分に高くすることができ、またRH処理中でのCrの酸化はきわめて少なく、総合クロム歩留は96%以上に達している。

以上のような経過で転炉-RHOB法が開発され、本法はFig. 2に示すように高生産性と高クロム歩留を有する製造プロセスであると評価することができる。また生産量も逐次増加し年間9万t以上に達している。

3. 転炉-RHOB 法による操業

3.1 設備および操業概要

転炉、RH脱ガス装置の設備仕様をTable 1に、また転炉-RHOB法によるステンレス鋼溶製方法の概要図をFig. 3に示す。溶製工程は次の5段階からなっている。

(1) 溶銑脱硫処理

KR脱硫装置を用いて、溶銑初期[S]0.25~0.035%を処理後[S]0.004~0.006%まで下げる。

(2) ベースメタル溶製期

脱硫後の溶銑とスクラップを転炉に装入し、低P、低Sのベースメタルを溶製する。ベースメタル出鋼前[P]0.010%以下であり、スラグは排滓時に炉壁への付着を

Table 1. Specifications for equipment of LD-RHOB process.

LD Furnace		
Items	No. 1 LD	No. 2 LD
Nominal capacity	50 t	60 t
Shell volume	85m ³	94m ³
Volume after lining	38.5%	41.0%
Oxygen flow rate	10 000Nm ³ /h	10 000Nm ³ /h
RH Degassing Unit		
Shell dimension	2 150 mmφ × 9 550 mm	
Volume	28.2 m ³	
Gas exhausting system	4-Stage Ejector	
Exhaust gas rate	2 300 kg/h at 10 Torr	
Degree of vacuum	{ 2 Torr (attainable) 10 Torr (after 2 min)	

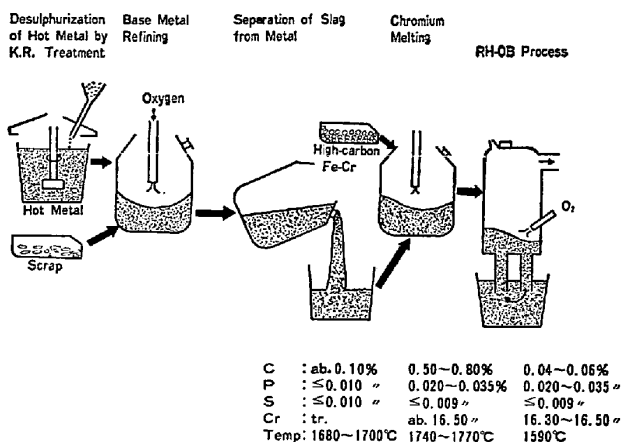


Fig. 3. Production steps of stainless steel by the LD-RHOB process.

防止するために、流動性を良好にしておく必要がある。

(3) 出鋼排滓

ベースメタルとスラグを完全に分離する目的で、ベースメタルをスラグ分離専用鍋に出鋼し、炉中のスラグはスラグパンに排滓される。

(4) クロム溶解期

専用鍋内のベースメタルは、再び転炉に装入される。このベースメタルに高炭素フェロクロムを添加し、転炉吹錬によつて 0.50~0.80%[C], 1740~1770°C の粗ステンレス鋼を溶製する。

(5) RHOB 処理

出鋼された溶鋼は、RH 脱ガス装置によつて気体酸素

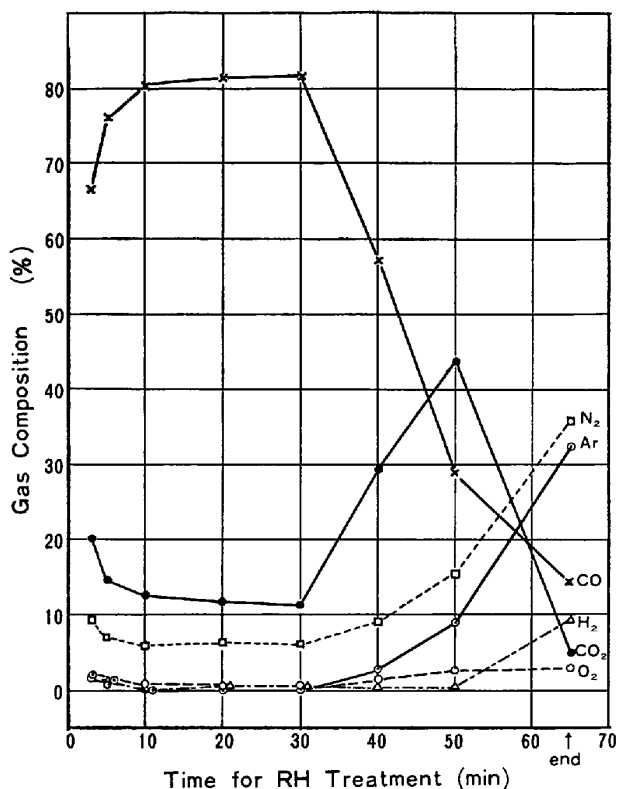


Fig. 4. Composition of exhaust gas subsequent to the final stage condenser during RHOB treatment.

を吹込み、減圧下で Cr を酸化させずに優先的に脱炭を行なう。脱炭は任意の [C] 量まで行なうことができ、0.01%[C]以下の極低炭素ステンレス鋼を容易に製造することができる。脱炭後、Si, Mn, Al などにより成分調整および脱酸を行ない脱ガス、精錬を完了する。

3.2 RH 脱ガス槽への気体酸素の吹込技術

3.2.1 排ガス成分および温度

脱ガス槽内は真空状態にあること、脱ガス槽内で速やかにガスが燃焼していることから排気系での異常燃焼は生じ難いと考えられる。しかし脱ガス槽内のガス流速はかなり大きいため、未反応酸素がそのまま排気系へ流出し異常燃焼の可能性がないかを調査した。そこで、(1) ダストセパレーター後ブースター前の排ガス温度測定、(2) 最終段コンデンサー後の未反応酸素および排ガス成分の連続分析を行なった。ブースター前排ガス温度は、酸素吹込中にも上昇することなく、500°C以下である。また Fig. 4 に最終段コンデンサー後の排ガス成分の分析結果を示す。未反応酸素は4%以下であり、各ガス成分分析値から、この混合ガス異常燃焼範囲から外れていることが判明した。したがって排気系内での異常燃焼および爆発の危険性はなく、気体酸素を吹込むことの安全性の確認がなされた。

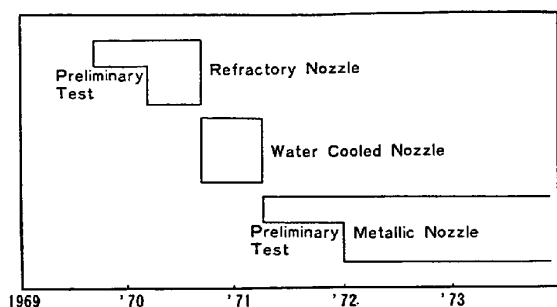


Fig. 5. Process to develop oxygen blowing method in RHOB.

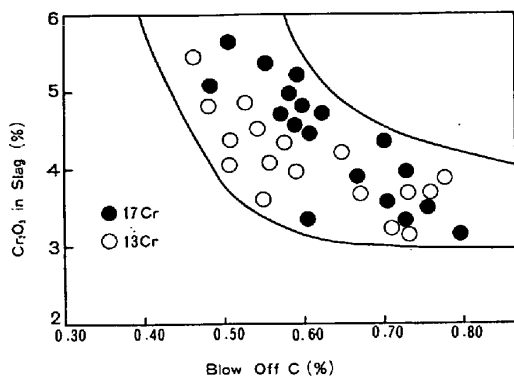


Fig. 6. Relation between blow off C and Cr_2O_3 content in slag of LD furnace on the refining of stainless steel by LD-RHOB process.

3.2.2 吹込方法 (吹込ノズル)

気体酸素吹込方法の開発は、RHOB法を確立する上で重要な開発技術の1つである。Fig. 5に示すような開発経過で進んできた。すなわち

(1) レンガノズル方式

最高級のジルコニアレンガを使用しても、溶損度が大きく、多数回の連続吹込には耐え得ないために断念した。

(2) 水冷ランスノズル方式

ノズル自体の損傷は全くなく、また酸素効率も80~85%と高く、工業的に使用可能である。しかし冷却水漏洩による爆発の危険性という問題があり、各種対策後も最終的に安全であると確信を持つことができず、水冷ランスノズル方式も断念した。

(3) メタルパイプ方式

水冷ランスノズル試験結果から、ノズルが溶鋼に浸漬しなくても効率よく脱炭が可能であることが判明した。そこで気体酸素吹込用内管と不活性気体吹込用外管とからなるステンレス製2重管を耐火物により被覆した吹込ランスノズル⁹⁾の開発を進め、ついに耐久性、安全性ともに満足し得るノズルの開発に成功した。昭和47年以降本方式を全面的に採用している。

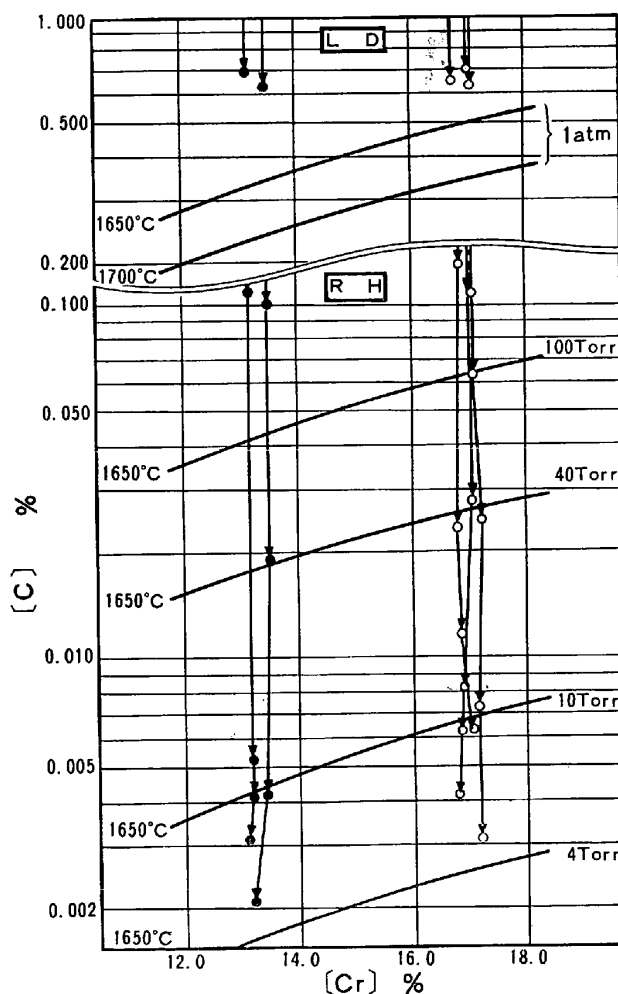


Fig. 7. Relation between C and Cr content during refining of stainless steel LD-RHOB process.

3.3 クロム歩留の向上

転炉-RHOB法において、クロム歩留の向上を図るには、転炉クロム溶解期およびRHOB処理中のCrの酸化損失をいかに少なくするかにかかっている。

Fig. 6に転炉クロム溶解期での吹止[C]とスラグ中の Cr_2O_3 との関係を示す。吹止[C]が高くなる程スラグ中の Cr_2O_3 は減少しており、吹止[C]0.60%以上になれば、スラグ中の Cr_2O_3 を低値に抑えることができる。Fig. 7は、一般によく知られているC-Cr-温度-CO分圧の平衡関係^{4)~7)}を図示したものであり、その中に実操作の結果の一例を付記した。すなわち減圧下では、温度を低目にしても、Crの酸化を極力抑えて脱炭が可能である。

Fig. 8はRHOB処理中のC, Cr, 温度の変化を示したものである。処理中Crの酸化損失はほとんどなく脱炭が行なわれていることがわかる。温度は処理開始時には約30°C降下しているが、これは脱ガス槽に熱を奪

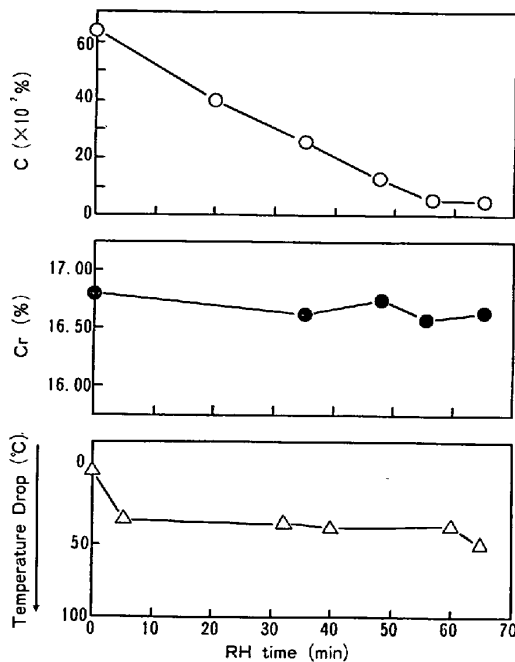


Fig. 8. Changes C, Cr content and temperature drop during RHOB treatment of 17 Cr stainless steel.

われるためであり、RHOB 処理中はほとんど温度降下をしない。したがって RHOB 法の特徴の1つとして温度降下の心配なく RH 脱ガス槽内で自由に脱炭できるため、転炉クロム溶解期における吹止[C]を自由に選択できる。転炉-RHOB 法は、転炉吹錬および RHOB 処理ともに Cr の酸化損失が少ないために、クロム歩留は安定して 96% 以上を確保することができる。Table 2 はクロムバランスの一実験例を示す。

3.4 他製造法との比較

Table 3 は歩留、生産性について、転炉-RHOB 法と他の製造プロセスとを比較^{*)}して示したものである。

Table 3. Comparison of productivity and yield in each process.

Process \ Items	Metal yield (%)	Cr yield (%)	Steelmaking Time (min)	Grade, Notice
E. F	99	95	200	SUS 304 & 430 (Kawasaki Steel Japan)
VOD	99	98	90	
Total	98	93	290	
E. F	93	94	360	SUS 304 (Allegheny U. S. A)
ASEA-SKF	98	98	150	
Total	91	93	510	
L. D	*	97	50	SUS 430 & 304 (N. S. C. Japan)
RH · OB		99	70	
Total		96	120	
E. F	98	97	150	SUS 304 & 430 (Joslyn U. S. A)
AOD			90	
Total			240	

* difficult to compare because the main raw material of LD is Hot Metal of B. F.

Table 2. The Ratio of output to input of chromium in RHOB process.

Items	Cr%
Good Ingot and Teeming scrap	96.67
Slag in LD furnace	1.96
Slag in ladle	0.30
Metallic iron in slag	0.24
LD dust	0.30
Not Specified	0.53
Total	100

AOD 法、VOD 法などに比較して、クロム歩留は優るとも劣らぬレベルにあり更に生産性において格段に優れている。

3.5 今後の検討課題

前述のごとく、転炉-RHOB 法はすでに技術的に確立し、安定操業を続けているが、今後更に改善すべき検討課題として次の諸点をあげることができる。

(1) 転炉吹錬時間の短縮

同種の他ステンレス鋼製造法に比較して、溶解炉の吹錬時間は短い、転炉での普通鋼吹錬時間に比較して約 30~40 min 長い。転炉の利点である高能率、高生産性を更に生かして普通鋼並みの吹錬時間に短縮したい。

(2) RHOB 処理時間の短縮

RHOB 処理時間も他の真空脱炭法に比較して遜色はないが、酸素吹込方法、操業方法などの改善により、いつその時間短縮が期待できる。

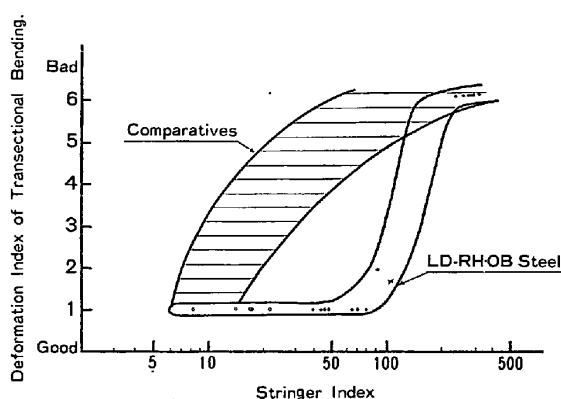


Fig. 9. Relation between stringer index and deformation index of T-sectional bending.

(3) 耐火物寿命の延長

転炉-RHOB法では、転炉、RH下部槽、浸漬管の寿命延長が処理能力向上、処理費低減にとって重要である。転炉炉体については、煉瓦材質、操業方法の両面から改善が進められており、RH下部槽は熱間補修、浸漬管は煉瓦化などにより寿命延長が図られている。

(4) 自動制御

省力化および作業精度向上のため、排ガス分析による[C]の自動連続定量、真空度制御、合金鉄切出し、通酸量制御などを連動し、作業を自動化することが検討されている。

4. 転炉-RHOB法により製造したステンレス鋼の品質

転炉-RHOB法で製造されたステンレス鋼の化学成分の特徴をあげれば、

(1) [C]量のコントロールが自由にでき、特に[C]0.01%以下の極低炭素ステンレス鋼が容易に製造できる。

(2) [Si]量を自由に低くできる。

(3) RH脱ガス槽内で仕上脱酸を行なうため、[O]量は30~60ppmと低く、清浄度も0.01~0.04%と良好である。

(4) [N]量および[H]量は、それぞれ150ppm以下、1~3ppmと低く、特別な配慮をすれば、[N]100ppm以下にすることができる。

(5) 高炉溶銑を主原料とするので、Cu、Sn、As、Pbなどの微量不純元素の含有量が低い。

などがある。したがって一般的な機械的性質は、伸びが大きく、硬度が低く、軟質で加工性が優れていると言える。

転炉-RHOB鋼の優れた特質をあらわす一例としてFig. 9にStringer Index (S. I.)と曲げ加工性との関係

を示す。S. I.は、顕微鏡観察用試片を通常の方法で検鏡面を腐食処理を行ない、その後ごく軽微な研磨を施し、Stringer状の非金属介在物を顕在化させて測定したものである。図からうかがえるように、S. I.と横方向曲げ加工評点の間には明瞭な相関関係があり、転炉-RHOB鋼は、同じS. I.値でも比較材に比べ非常に曲げ加工性が良好である。これは前述のように、転炉-RHOB鋼が、[C]、[S]その他の不純物元素含有量、および[O]、[N]などのガス成分含有量が低い上に、清浄性が高いことによるものである。

5. 結 言

新日本製鉄室蘭製鉄所では、昭和40年に転炉によるステンレス鋼溶製の研究を開始して以来、独自の技術開発によつて、昭和47年に転炉-RHOB法を完成させた。その後安定した操業を続けており、この方法は次のような特徴を有している。

(1) クロム歩留、生産性などの操業成績はAOD、VOD法などに比べて優るとも劣らない。

(2) 成分元素の調節が容易であり、不純物元素の含有量は低い。特に極低炭素、窒素ステンレス鋼のような高純度ステンレス鋼の製造に適している。

(3) 機械的性質は軟質で加工性に優れている。

しかし従来のステンレス鋼製造法である電気炉法も最近では、ほとんどAOD、VOD法などと結合した新プロセスに移行しており、両者の差は少なくなつてきている。転炉-RHOB法も今後いつそう(1)生産性の向上、(2)処理コストの低減、(3)自動制御方法の確立などについて努力する必要があると考える。

終わりに、本研究開発の遂行にあたっては、永年にわたつて室蘭製鉄所関係各位の協力を得た。ここに深く感謝の意を表す。

文 献

- 1) J. M. SACCOMANO, R. J. CHOLET, and J. D. ELLIS: J. Metals, 21(1969), p. 59~64
- 2) H. BAUER, H. J. FLEISHER, and J. OTTO: Journal of Vacuum Science and Technology, 7(1971)6, p. 137~142
- 3) R. F. CARLSON, and R. B. SHAW: Iron Steel Eng, 49(1972)8, p. 53~65
- 4) D. C. HILTY, H. P. RASSBACH, and W. CRAFTS: JISJ, 180(1955), p. 116~128
- 5) J. CHIPMAN: JISI, 180(1955), p. 97
- 6) 日本学術振興会第19委員会編製鋼, 反応の推奨平衡値, (1968), 日刊工業新聞社
- 7) J. CHIPMAN and J. F. ELLIOTT: Electric furnace Steel making Vol. II, (1963), p. 128
- 8) 恵藤文二: 第28回西山記念講座, (1974), p. 40
- 9) 実公昭 52-5926