

マグネシア坩堝を使用して各種炭素鋼を  $10^{-5} \sim 10^{-4}$  mmHg の圧力下で真空溶解をおこなった本実験結果によれば, [%C] [%O] は  $2.2 \times 10^{-5} \sim 9.2 \times 10^{-4}$  である。この値は A. M. Aksoy<sup>3)</sup> が  $10^{-4} \sim 10^{-7}$  atm 程度の圧力下において真空溶解をおこなった実験結果, すなわち小型炉 (<50lb) の場合における値 [%C] [%O] =  $1 \times 10^{-6} \sim 2.5 \times 10^{-5}$  また大型炉 (<1 Ton) の場合における値 [%C] [%O] =  $1 \sim 6 \times 10^{-5}$  とほぼ一致している。

### 3) 脱窒素

溶鋼中の窒素量と圧力との間には Sieverts の法則が成立することは周知の事実であり, 窒素の分圧を小さくすればするほど溶解中における窒素の溶解度は減少する。一方窒素の溶解度におよぼす共存元素の影響もかなり大きく, 本実験結果によれば炭素量の多い場合ほど窒素の減少率は大きい。また脱窒速度は溶解初期から沸騰期末にかけてかなり大きく, 溶鋼中の窒素量の減少とともに, 漸次小さくなり, 鎮静期末ではほぼ一定の速度に達する。

### 4) 脱水素

溶鋼中の水素の溶解度と圧力との間にも Sieverts の法則が成立し, 真空溶解においては溶湯中の水素は窒素と同様に減少するが, その程度は水素原子の大きさから考えて, 窒素の場合よりもはるかに顕著である。本実験によれば, 真空溶解による脱水素率は 85% 以上に達しており, とくに溶解初期においては激しい CO 気泡の発生が脱水素に大きく寄与していることを認めた。

### 5) 合金元素の蒸発

溶鋼中において蒸発し易い元素は一般に Mn, Al, Sn, Si などであるといわれているが, 本実験において明瞭に減少の認められた元素は Mn のみである。Al は溶鋼中における濃度が高い場合には, 若干の減少が認められる。ところが蒸発による溶湯中の Mn 濃度の低下は現場的に計算で求めた値よりも少ない。このことは蒸発の律速段階が蒸発面への Mn の拡散にあることを示すものである。

一方 Mn 量の減少は各種鋼種の真空溶解材の溶製に際して非常に大きな問題となるが, これは溶解室に適当な圧力, 例へば 20mmHg 程度の圧力のアルゴンを導入すれば蒸発した Mn 原子の平均自由行路が短くなり, アルゴン原子との衝突係数がいちじるしく大きくなるので, 実際の Mn の蒸発減量をかなり少なくし, 結果的に蒸発を最小限度に喰止めることができる。この種の方法によれば真空溶解によつて実用鋼種の規格範囲内に Mn 量を調整添加することは非常に容易であり, Mn の添加歩留はほぼ 100% である。

## V. 総括および結言

100kg 真空誘導溶解炉を用いて化学量論的な立場より真空溶解過程における化学成分ならびに各種酸化物の挙動を検討した結果を総括すると, つぎのとおりである。

① 精錬の初期段階では, 溶湯の沸騰現象をとらなつて炭素による脱酸が迅速に進行し [%C] [%O] の限界値に達する。精錬の後期では, 鋼浴中の炭素と坩堝材すなわち MgO との反応が支配的になる。

② 精錬過程で溶湯を攪拌することにより, 溶湯の脱

酸速度は 15~25% 早くなる。

③ 本実験における [%C] [%O] の値すなわち到達限度は,  $2.2 \times 10^{-5} \sim 9.2 \times 10^{-4}$  の範囲内にあり, 過去の研究者たちの結果とはほぼ一致している。

④ 窒素および水素量は精錬過程の初期において速かに到達限度に達し, その後はほぼ一定の値を保つ。なお本研究において蒸気圧の高い Mn は溶解過程中にその一部が蒸発し, 坩堝の上部に蒸着し, 出鋼時溶鋼と接触してふたたび溶鋼中に溶けて入ることを認めた。また本研究においては, 真空誘導溶解炉に溶湯の連続测温装置を考察して設置し, さらに脱ガス効果ならびに清浄効果の促進を計るため, アルゴンによる溶湯攪拌技術を導入し, 安定な真空溶解操業法を確立するとともに, 高級材料開発上における基礎的な操業指針を把握することができた。

## 文 献

- 1) G. H. J. BENNETT & H. T. PROTHROS: J. Iron and steel inst. (U. K.), June (1960) 176.
- 2) 斎藤恒三・川合保治: 日本金属学会誌第 24 巻第 1 号 (1960) A11
- 3) A. M. AKSOY: "Vacuum Metallurgy". R. F. Bunshah ed. Reihold Publishing corp. New York (1958), 64.

## (62) 超低炭素ステンレス鋼の真空弧光溶解

住友金属工業, 鋼管製造所

江藤重任・井上 愷・〇市川 浩

### Vacuum Arc Melting of Extra Low Carbon Stainless Steel.

Sigetō ETŌ, Akira INOUE and Hiroshi ICHIKAWA

## I. 緒 言

真空弧光炉は難溶金属または活性金属の溶解に用いられるばかりでなくより高度の品質を目標とした鋼の再溶解にも適用せられる。通常の大気中溶解により製造された鋼が真空弧光炉によつてどの程度改善されるかという問題は興味ある問題である。最も大きい改善の一つは凝固組織において認められる。これに次ぐものはガス成分およびインクルージョンの減少である。これは耐火物や大気との接触がないことによるものであるが, 真空弧光溶解を繰り返した場合これらの不純物はどこまで除去されるかということもわれわれの興味を惹く問題である。

住友金属工業株式会社鋼管製造所ではさる昭和 35 年 900kg 真空弧光溶解炉を設置し Ti の溶解を始め各種特殊鋼の再溶解を行なつてきているが, この程, 超低炭素ステンレス (ASTM-TP316L, JIS-SUS33) について主として微量不純物の挙動を調査したのでその結果つ報告する。

## II. 供 試 材

まず 8 t 弧光式電気炉で溶解された TP316L の鋼塊を圧延しこれを電極として真空弧光炉で再溶解を行な

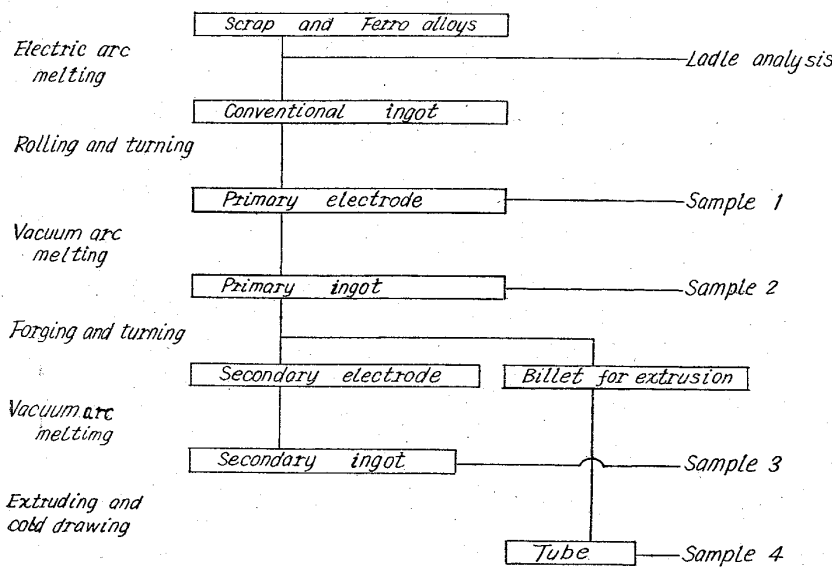


Fig. 1. Flow chart of sampling

た。得られた鑄塊は一部鍛造後ユージンセジュールネ式製管機で押出されさらに冷間抽伸を行なつた。また一部は鍛造により再度電極として真空弧光再溶解を行なつた。試験品の履歴を Fig. 1 に示す。

III. 試験結果

(1) 化学成分

各工程における化学成分を Table 1 に示す。Ni, Cr, Mo などの主要成分の偏析はほとんどなくこれは素材ピレットでの頭部と底部とで各成分共分析値の差がほとんど認められないことから当然のことであると考えられる。Mn は一部蒸発により失われるので素材より約 0.15% 低下しているが位置の差はない。これが二重溶解材となると Mn はさらに低下し素材より約 0.25% 低下する。C は若干上昇の傾向が見られるがその原因は不明である。他の成分は二重溶解によつて全く変化していない。

(2) ガス成分

真空溶解により大気溶解素材に比し、O<sub>2</sub> は 44% 減じ二重溶解によりさらに 31% 減じ大気溶解素材から通算すると実に 61% の減少になつている。また N<sub>2</sub> についても若干の減少が見られる。この状況を Fig. 2 に示す。二重溶解時のガス成分の減少は最初の真空溶解に比しその傾向が鈍つておりこのことはこれ以上真空溶解を

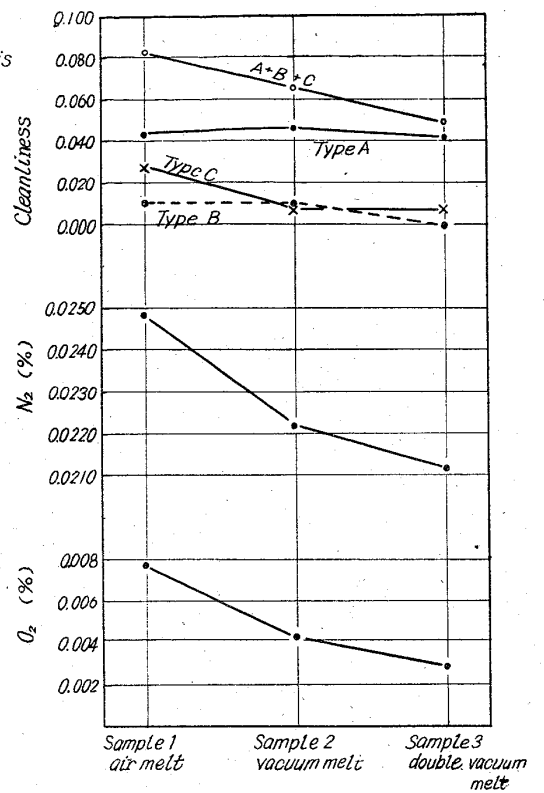


Fig. 2. Comparison of quality between air melt, vacuum melt and double vacuum melt.

繰返してもその効果はあまり期待できないことを示唆している。

(3) 清浄度

各工程における清浄度の比較は Fig. 2 に示したごとく、A 型介在物はほとんど変化していないが B 型および C 型では真空溶解による改善が認められる。なおこの値は学振第 3 法により得られたものである。

(4) 地きず

ガス成分および清浄度から予想されるごとく地きずも大巾に改善されている。二重溶解の効果もある程度認められる。Table 2 に示すごとく長い地きずが全く消滅しているのは興味深い事実である。なお各 sample の圧延または鍛造状況は sample 1, 465  $\phi$   $\rightarrow$  215  $\phi$  ; sample 2, 292  $\phi$   $\rightarrow$  60  $\phi$  ; sample 3, 152  $\phi$   $\rightarrow$  60  $\phi$  である。(単

Table 1. Chemical Composition. (%)

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
Ladle analysis		0.018	0.52	1.60	0.024	0.008	0.27	14.70	17.00	2.22
Sample 1	Top	0.019	0.52	1.55	0.023	0.007	0.25	14.68	16.75	2.25
	Bottom	0.019	0.52	1.53	0.023	0.008	0.25	14.78	16.94	2.25
Sample 2	Top	0.018	0.50	1.40	0.22	0.008	0.28	14.74	16.68	2.20
	Bottom	0.018	0.52	1.38	0.24	0.009	0.28	14.72	16.65	2.15
Sample 3	Top	0.021	0.51	1.29	0.022	0.009	0.27	14.77	16.74	2.32
	Bottom	0.021	0.50	1.33	0.022	0.009	0.27	14.71	16.70	2.29

Table 2. Sand mark tests.

	Inspection surface mm	Length of sand mark mm							
		>0.1 ~0.5	>0.5 ~1.0	>1.0 ~2.0	>2.0 ~3.2	>3.0 ~4.0	>4.0 ~5.0	>5.0 ~6.0	>6.0
Sample 1	204 φ 200 φ	2.2 1.8	1.7 0.5	1.0 0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	6mm 12mm 0.2 0.2
Sample 2	50 φ 40 φ 30 φ	6.0 12.5 10.0							
Sample 3	50 φ 40 φ 30 φ	2.0 3.8 23.3							

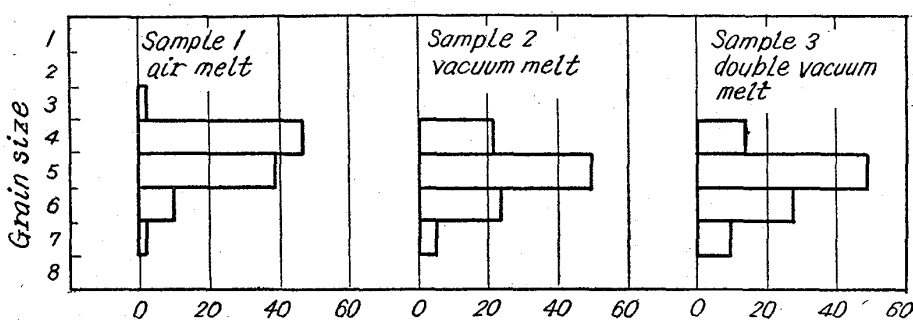


Fig. 3. Size distribution of grain (%)

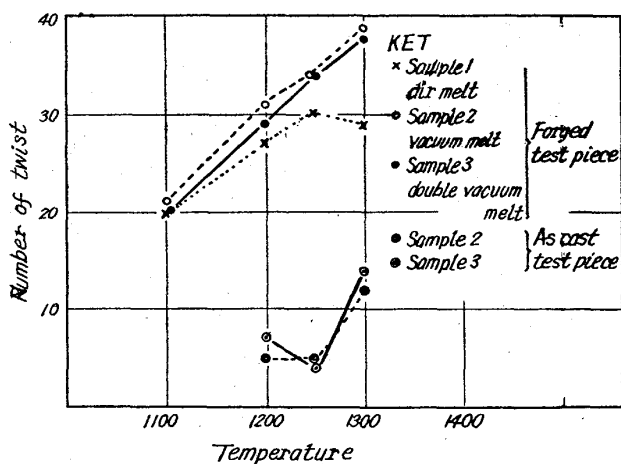


Fig. 4. Twist test at elevated temperature (mm)

(5) オーステナイト結晶粒度

平均粒度番号では素材 (sample 1) で 4.5 の整粒から一次および二次溶解によりそれぞれ 5.1 および 5.3 のいずれも整粒となっており、わずかに細粒化の傾向が見られるが本質的な差はないようである。(Fig. 3).

(6) 高温振り試験成績

Fig. 4 に各 sample の高温振り試験の成績を示す。鍛造材では大気溶解材に比し真空溶解による改善が見られる。ただし二重溶解を行なっても高温振り試験の成績は向上していない。

(7) 腐食試験成績

5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液ボイルによる腐食量はどの試料も

4.0~4.3 gr/m<sup>2</sup>/hr で差は認められなかった。

(8) 機械試験成績

真空溶解を行なった後製管された管の機械的性質は Table 3 の通りである。真空溶解によつて特に機械的性質の向上は認められない。なおこの値は冷間抽伸後溶態化処理を行なったものである。

IV. 考 察

超低炭素不銹鋼について大気溶解材とこれを真空溶解したものお

Table 3. Mechanical properties of sample 4.

Yield strength kg/mm <sup>2</sup>	min25.0~max29.3
Tensile strength kg/mm <sup>2</sup>	min53.7~max57.2
Elongation %	min64 ~max72
Rockwell hardness scale B	min65.2~max81.5

よび真空溶解を 2 回繰返したのものにつきその品質の比較を行なったが、含有 O<sub>2</sub> の減少が著しく他の要因での成績をも向上させているようである。すなわち C 型介在物の減少と高温振り試験の向上は O<sub>2</sub> 含量の減少が大きく作用していると思われる。しかし二重溶解を行なった場合は O<sub>2</sub> 含量はさらに減少するが他の要因ではほとんど向上を示していないので真空弧光炉による品質の改善は二重溶解ではほぼ限界に達しこれ以上溶解を繰返してもその効果は期待できない。ただ特に大径の鋳塊を得たい場合溶解を繰返しながら径を大きくする方法は推奨されるであろう。

V. 結 言

真空弧光炉による鋼の品質の改善は真空系へ含有 O<sub>2</sub> を除去することによつて得られる。真空弧光溶解を繰返した場合超低炭素不銹鋼についてはその品質の改善は二回でほぼ限界に達する。しかし溶解を繰返しながら漸次大径の鋳塊を得る方法は推奨されるであろう。