
技 術 資 料

最近の電気炉製鋼

藤岡 尚 精*

Recent Electric Furnace Steelmaking

Naoyoshi Fujioka

I. 結 言

戦後わが国の鉄鋼の生産の伸びはいちじるしく、これに伴って第一次、第二次の設備の合理化が行なわれ、その後さらに拡張、新設が続いている。しかし特殊鋼を基盤とした電気炉業界は需要の立遅れのため、本格的な合理化が開始されたのは、昭和 31, 32 年頃からである。

然るに米国では、変動はあつたが、逐年電気炉の稼働率は向上し、設備能力も増大した。そしてこれは電気炉の大型化と、設備の新鋭化によつて賄われた。

このため、わが国と米国の技術上の差が開き、昭和27年以降、米国の技術導入による Lectromelt 型電気炉が相ついで建設され、優秀な性能を発揮した時は、斯界の注目の的となつた。その後、電気炉の合理化計画がすすむにつれて、電気炉の新鋭化とともに、大型化がくわだてられ、三菱鋼材株式会社、ほか2社では、さらに優秀な電気炉の輸入を目途として、Hérault 型 American Bridge 製を設置し、それぞれ期待の操業成績を得た。これらを契機として、目下、電気炉の新鋭化、大型化が盛に進行中で、特殊鋼、普通鋼メーカーを問わず、電気炉鋼の生産実績と計画の伸びはいちじるしい。

これらの理由を考えると、鉄鋼需要の趨勢、電力事情、屑鉄事情、さらには電気炉工場の配置や付属設備の進展が基本であり、また電気炉との組合せで新しい発展が約束されていると見られる、連続鑄造、真空鑄造の技術、また電気炉界に革命的な変貌を与えるとみられる、hot metal や、直接還元鉄の使用、あるいは、真空熔解炉について述べねばならず、また造塊法の進歩についても触れるべきであろう。

しかし、本論では、このような電気炉の発展の最大の理由の一つとして、従来軍需を主とした、特殊用途の製鋼炉として考えられていた電気炉がそのうち、電気炉相

互間、あるいはほかの製鋼炉との競争の必要上、従来の観念を一擲して、経済的競争力のある製鋼炉となるために行なわれ、また行なわれつつある設備および操業上の技術的發展を概観することとする。

すなわち、炉体および電気設備、電極と耐火物の発展、また操業法の進歩として、迅速熔解法、含有水素量の少ない清浄な鋼の製造法、鋼浴温度測定、鋼浴攪拌、迅速分析について述べ、これらの総括として、電気炉の経済性の進歩の確証である、最近の大型炉の操業実績例を挙げることにする。ただこれらを論じるに当つて、電気炉による製鋼作業に従事している筆者の立場に観点が偏つていることは、むしろ、本稿の特色と考えていただきたい。

II. 電気炉による製鋼量

日本、米国、英国、欧州石炭鉄鋼共同体、およびソ連の最近の粗鋼生産高と、製鋼炉別の全生産高に対する比率と増加率を第1表～第5表^{1)~5)}に示す。これによつてわが国の転炉の異状な躍進を例外として、いずれも電気炉鋼の生産量の増加率がほかの炉をしのいでおり、わが国の電気炉鋼は、増加率でも、全製鋼量に対する比率でも、これらの国々より多く重要な位置を占めていることがわかる。

III. 電気炉の設備と設計

1. 設計上のねらい

現在電気炉が冷材装入の製鋼炉として、経済的でしかも、高品質鋼を製造し得るという特長が着目されて存在し、また建設されている以上、電気炉設計上のねらいも当然つぎの4項に要約される。

a. 容量の大型化

* 三菱鋼材株式会社 深川製鋼所

第1表 我国の炉別粗鋼生産高¹⁾

(単位 1,000 t)

年	平 炉			転 炉			電 気 炉			合 計	
	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	増加率
1950	3,891	80.8	100	195	4.0	100	752.5	15.2	100	4,839	100
51	5,375	82.6	138	195	3.0	100	932	14.4	124	6,502	134
52	5,839	83.5	150	200	2.9	103	949	13.6	126	6,988	144
53	6,283	82.0	162	344	4.5	177	1,035	13.5	137	7,662	159
54	6,366	82.3	164	364	4.7	184	1,021	13.0	136	7,750	160
55	7,814	83.0	201	407	4.3	209	1,187	12.7	157	9,408	194
56	8,967	80.7	231	449	4.0	230	1,691	15.3	224	11,106	230
57	9,930	79.0	256	454	3.6	233	2,187	17.4	290	12,570	260
58	9,211	76.0	237	826	6.8	425	2,081	17.2	276	12,118	251
59	12,312	74.1	317	1,205	7.2	619	3,112	18.7	413	16,629	344

- 註) 1. 上吹転炉の生産量は転炉生産量に含まれる。
 2. 比率は全粗鋼量に対する生産%である。
 3. 増加率は 1950 年を 100 とした生産量変化状況である。

第2表 米国の炉別粗鋼生産高²⁾

(単位 1,000 t)

年	平 炉			転 炉			電 気 炉			合 計	
	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	増加率
1950	86,263	89.1	100	4,537	4.7	100	6,039	6.2	100	96,836	100
51	93,167	88.6	108	4,891	4.6	108	7,142	6.8	118	105,200	109
52	82,846	88.9	96	3,524	3.8	78	6,798	7.3	112	93,168	96
53	100,474	90.0	121	3,856	3.5	85	7,280	6.5	120	116,610	115
54	80,328	90.1	93	2,548	2.9	56	5,436	6.1	90	88,312	91
55	105,359	90.0	122	3,320	2.8	73	8,357	7.2	138	117,036	121
56	102,841	89.2	119	3,228	2.8	71	9,148	8.0	151	115,216	119
57	101,658	90.2	118	2,475	2.2	55	8,582	7.6	142	112,715	116
58	75,879	89.1	88	1,396	1.6	31	7,979	9.3	132	85,255	88
59	92,000	89.1	107	1,400	1.6	31	8,600	9.3	142	82,000	85

- 註) 1. 上吹転炉の生産量 (1956 以降) は電気炉生産量に含む。
 2. 1959 年生産量は推定速報である。

第3表 英国の炉別粗鋼生産高³⁾

(単位 1,000 t)

年	平 炉			転 炉			電 気 炉			合 計	
	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	増加率
1950	14,292	87.7	100	1,094	6.7	100	736	4.5	100	16,293	100
51	13,537	86.6	95	1,104	7.0	101	819	5.2	111	15,639	96
52	14,161	86.1	99	1,113	6.3	104	930	5.7	126	16,417	101
53	15,430	87.7	108	1,061	6.0	97	930	5.3	126	17,609	108
54	16,244	87.7	114	1,174	6.3	107	929	5.0	126	18,520	104
55	17,252	87.1	121	1,284	6.4	117	1,098	5.5	149	19,791	122
56	18,003	87.0	126	1,308	6.3	119	1,198	5.8	162	20,659	127
57	19,036	87.6	130	1,309	6.0	119	1,211	5.6	165	21,699	133
58	17,147	87.8	120	1,174	6.0	104	1,126	5.8	153	19,566	120
59											

b. 操業能率

c. 稼働率

d. 精錬性

これらの内容には相反した要求もあるが、現在までのところ、経済上の要求が優先した傾向にある。

一般的に言つて、現在の電気炉は特別に複雑な機能を

持っている機械ではない。しかし使用に当つて電氣的熱的の變化が激しく、保守のための時間が短いという条件のため、電気炉は単に高能率である許りでなく、簡単で頑丈な構造でなければならない。このため、電気炉には電気設備、制御機構、駆動機構、炉体の構造などのそれぞれの進歩のみではなく、使用上の豊富な経験によ

第4表 欧州石炭鉄鋼共同体 (OEEC) の炉別粗鋼生産高⁴⁾

(単位 1,000 t)

年	平 炉			転 炉			電 気 炉			合 計	
	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	増加率
1953	15,387	38.8	100	21,120	53.1	100	3,106	8.1	100	39,661	100
54	17,387	39.4	113	22,849	52.4	108	3,601	8.2	116	43,842	110.5
55	20,477	39.0	133	27,766	52.7	131	4,370	8.3	141	52,625	133
56	22,003	38.9	144	29,640	52.2	141	5,035	8.9	162	56,796	143
57	23,597	39.4	153	30,405	50.9	144	5,731	9.7	185	59,804	151
58											
59											

第5表 ソ連の炉別粗鋼生産高⁵⁾

(単位 1,000 t)

年	平 炉			転 炉			電 気 炉			合 計	
	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	比 率	増加率	生産量	増加率
1936	14,600			1,100			600			16,339	
54	36,543	83.1	100	1,851	4.5	100	3,040	7.3	100	41,434	100
55	39,850	88.0	109	2,009	4.4	109	3,412	7.6	112	45,271	109
56	42,910	88.0	118	2,031	4.2	110	3,757	7.7	124	48,698	118
57	44,915	87.9	123	2,057	4.0	111	4,071	8.1	134	51,043	123
58	47,563	86.8	130	2,747	5.0	148	4,558	8.3	150	54,868	132
59											

第6表 米国の鋼塊製造電気弧光炉 (1910~1957) ⁶⁾

年	炉 の 容 量 t													炉の 基数	年 間 能 力 (1000 t)
	不 明	0~ 1.0	1.1~ 5.0	5.1~ 10.0	10.1~ 15.0	15.1~ 20.0	20.1~ 30.0	30.1~ 40.0	40.1~ 50.0	50.1~ 70.0	70~ 110	150	200		
1910	2		3	1	3									9	52
1920	1	74	130	104	7	1	4	2						322	570
1930		14	45	55	7	1	7	2			1			132	930
1940	5	20	54	63	24	4	5	5	3	13	1			207	2,600
1950	4	6	29	42	26	16	16	16	12	44	2			213	7,500
1957		26	47	34	18	22	9	15	38	27		2		247	11,500

第7表 我国の電気弧光炉の基数と能力⁷⁾

る。全体の機能の調和が必要である。

ア. 容量の大型化

米国における電気炉容量の推移は、第6表⁶⁾にみられるが、これをわが国の状況を示す第7表⁷⁾、第8表⁸⁾と比較すると、わが国では、電気炉容量の大型化はその緒についた許りと言える。新式炉の最大容量の記録の更新も、昭和33年11月炉殻径15 ft、変圧器容量12,500 kVA、昭和34年4月、16 ft、12,500 kVA、同年11月、17 ft、18,750 kVA、と目覚しいが、これは、

年	炉 の 容 量 t								炉の 基数	年 間 能 力 (1,000t)
	0~ 1.0	1.1~ 5.0	5.1~ 10.0	10.1~ 15.0	15.1~ 20.0	20.1~ 30.0	30.1~ 40.0	40.1 ~		
昭和26年	22	223	128	22	5	5	1		406	2,390
28	22	197	119	28	11	6	1		384	2,427
30	16	182	125	30	12	7	1		373	2,446
32	27	201	163	45	21	6	1		464	3,573

昭和26年、28年は翌年3月末、30年、32年は年末現在、炉の容量は標準出鋼量による。休止炉は含まず。

第8表 我国の製鋼用弧光式電気炉設置ならびに計画一覧表⁸⁾

年	炉 の 容 量 t									炉の基数
	0～ 1.0	1.1～ 5.0	5.1～ 10.0	10.1～ 15.0	15.1～ 20.0	20.1～ 30.0	30.1～ 40.0	40.1～ 50.0	50.1～ 70.0	
昭和33年	1		6	1	1	2				11
34	1	10	11	8	7	10		1		48
35	1	3	4	4	3	7	1	1	2	26

現型式の炉としては、変圧器容量 35,000 kVA が耐火物の制限からくる最高であるとして、250 t 炉に 30,000 kVA 変圧器 2 台による 6 本電極の炉が設計されている米国にはまだ程遠い⁹⁾。したがって、わが国ではもちろん、大型電気炉設置には、いろいろの条件があるが、設計上では米国の例よりみて、打破り難いほどの障害はないものと思われる。重量部材による全熔接構造の進歩が電気炉の大型化に貢献していることも見逃し難い⁶⁾。

b. 操業能率

操業時間を短かくして時間当り出鋼量を上げるとともに電力、電極などの消費を減らすことに眼目がおかれる。このためには炉用変圧器容量を大きくして入力を増し、二次電力を高くして力率を上げる。

電極昇降機構の昇降速度を増し、慣性、摩擦などを減らして、電流電圧の変化に敏感に応じ得るようにする。

同一炉径に対し、炉内容積を増して、装入の時間と回数を減らし、しかも装入 t 数を増して熱効率をあげる。また装入時間減少のため炉頂装入とする。

c. 稼働率

結局は正常な製鋼時間以外の遅滞の時間が問題となるため、耐火物の問題と設備の保守の難易ということになる。設備は故障が少なくなければならないが同時に点検が容易で部品の交換も短時間に行なえることが必要である。これらの点を等閑に付して、電気炉の優劣を論ずることはできない。

d. 精錬性

炉の気密の良いことは精錬上にも熱効率上にも好ましいことであるが、同一炉径に対し装入量を増すことは、結局炉床が深くなることであり、攪拌が困難となつて製鋼反応が遅くなるため、鋼の品質上不利であるとされている。

これは、大型炉ほどいじめるしい傾向を示す筈であるが、操業上の進歩と経験によつて克服されてゆき、米国ではすでに 20 ft 炉 (90 t) で不銹鋼、軸受鋼、航空機用鋼、そのほか高級規格鋼が製造されており、22 ft 炉 (100~120 t) でも 15 t/h の能率でこれらの鋼種の製造に成功している⁶⁾。

2. 装入方式

冷材装入の電気炉として、炉頂装入方式はすでに決定的であり、装入時間短縮による利益は、装入時に炉頂を開放するための熱損失を充分補う。また、炉蓋の交換、炉壁耐火物に要する時間も短縮される。

炉頂装入の方法としては、炉体移行、炉蓋移行、炉蓋旋回の三方法があるが、炉体移行は新設炉には採用され

ていない。現在、とくに大型炉では炉蓋旋回方法が、ほとんど圧倒的である⁹⁾。これは、据付面積が少なくてすむ。製作総重量が軽くてすむ。動作が円滑で耐火物の損傷が少ない、というような理由による。しかし、炉容量が小さく、据付面積の制限も少ない場合には、炉蓋移行の方式も、設計が簡単で無理がないという理由により、現在でも国内国外を通じて相当採用されている。

炉蓋旋回方式は大別して king pin 型と ram 別置型となる。小型炉では、ram を炉殻に固定して、別置させない場合もある。これらの方式に対しては独自の主張がされており、また 200 t 炉も含めて、それぞれ製作の経験も豊富であり、簡単に優劣は決し難い。

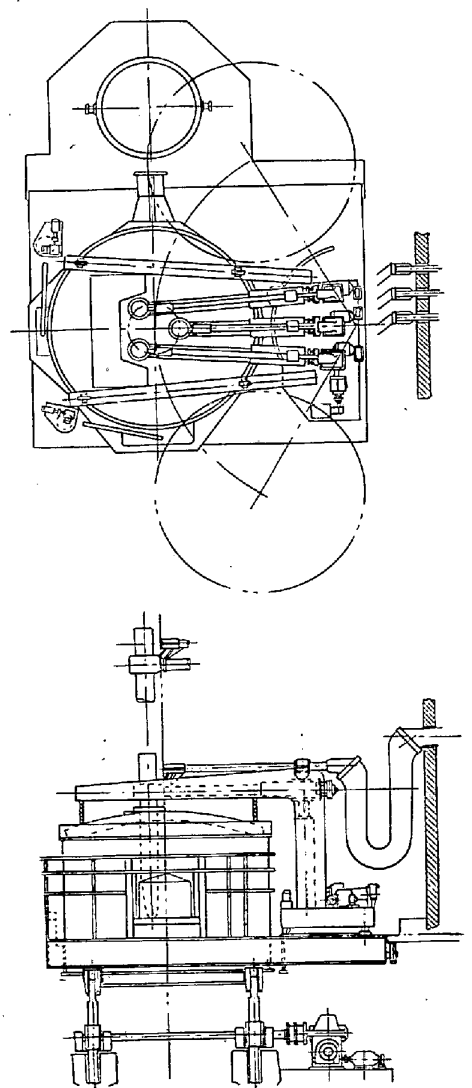
king pin 型

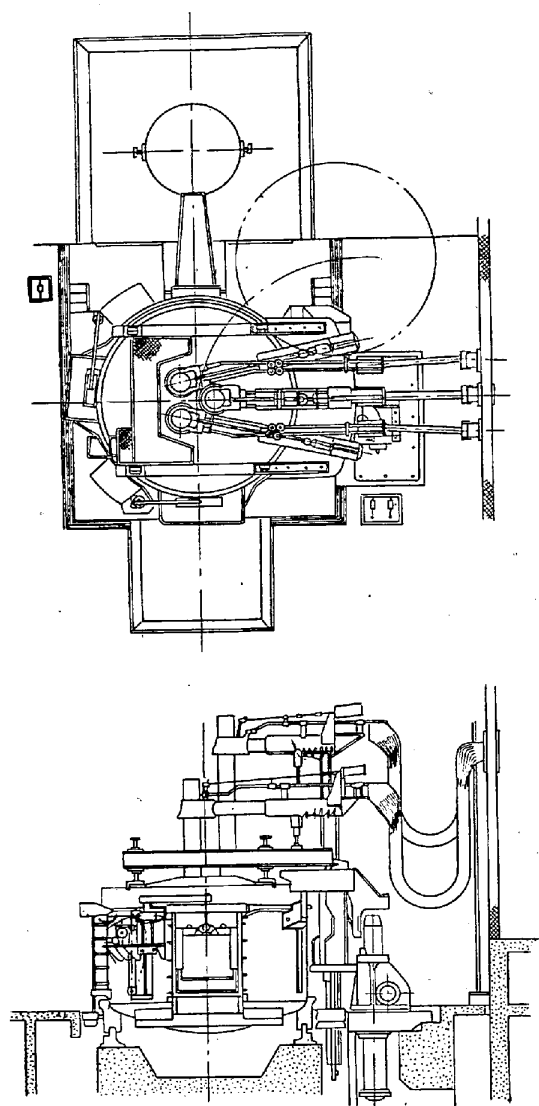
とは、rocker 上の頑丈な platform 上に、炉殻と旋回機構が独立しておかれ、この旋回機構は、king pin を中心として、半円形の軌道上を車輪が回転する方式である。

(例 American Bridge Division U. S. Steel. Co. 米)

この特長は、基礎が簡単であり、また炉殻がほかの操作機構と独立していることである。したがって炉殻は炉蓋の重量を支えるだけで、炉殻に生じた変形歪等のために、

第 1 図 炉蓋旋回の二方式 (その 1) 操作機構に影響 (American Bridge カタログより) をおよぼすことがない。炉殻は激しい熱変化を受け、耐火物の裏張りは、消耗品であるから、変形しやすく、精度を要求される操作機構は、これと独立させるべきであるという考え方である。





第1図 炉蓋旋回の二方式(その2)
(Lectromelt カタログより)

ram 別置型は、炉殻を支える rocker と別の基礎にある、ram の押上旋回運動による方式である。(例 Lectromelt Furnace Div. Mc Graw-Edison Co. 米) この特長は、炉頂装入による大きな機械的衝撃が、炉蓋に伝わりにくいということである。この装入時の衝撃は炉蓋高さが増し、炉が大型化するとともに、機械装置、耐火物に苛酷な条件を強いることになっている。

king pin 型では platform から炉蓋を吊る支持腕にいたる構造の弾力性で、この衝撃を吸収することになる。この点に関し、旋回機構を支持する platform と炉殻の rocker をそれぞれ別にする考えもある。(例 Metaelectric Furnace Ltd 英)

しかし、いずれにせよ、炉頂装入、とくに最初の装入

の時は、drop bottom 型よりは、clam shell 型の装入 bucket を使用し、底部には、軽量屑を入れて、少しでも衝撃を緩和する工夫が望ましい。

また ram 別置式の場合、操業中は操作機構が炉殻に支持されて、炉殻変形の影響を受けやすいので、炉殻に支持させず、傾動 platform に支持させる機構の炉もある。(例 Swindell-Dressler Co. 米)

3. 炉殻

炉殻径に対する炉殻高さは年々増して、16 ft 電気炉で 1937 年に、hearth line 上 4'-3" であったのが 1948 年には 6'-4" となり¹⁰⁾¹¹⁾、最近の American Bridge 製では 6'-9" となつている。

これは、同一炉径に対し、装入 t 数を増し、また鋼屑の嵩比重の増加に対応するためであるが、電気炉では、精錬期でも、炉蓋からの輻射熱を考える必要のないこともわかり、炉蓋寿命の延長にも役立つている。

炉殻構造上の最近の発展の一つは、籠形構造である。

これは、炉殻鋼板と支持棒の結合が、hearth line 上は、clip 止めになつていて、炉殻鋼板の熱膨脹、収縮に自由で、鋼板の交換も容易な構造である。

炉殻は、とくに側壁煉瓦張替の時間を短縮するための急冷急熱の歪が大きい、これは炉の稼働率向上のためには、やむを得ないことで、籠形構造は望ましく、最近ではこの構造を採用する炉が多くなつた。(Lectromelt の一部、American Bridge, Swindell など)

炉殻の形状も、円筒形と底部が半球形となつているものと、その中間の形のものがあるが、これにはそれぞれの主張がある。煉瓦積の簡易、bank 部の耐火物の厚みが増す点では円筒状が有利である。鋼浴温度分布の一樣性については、それぞれ優位性が主張されていて明らかなでない。しかし誘導攪拌装置を設置する場合には、球状の炉底が望ましい。

king pin 型の場合はまた、炉殻の交換が可能である。これは電気炉の使用目的を多様にし、耐火物修理の時間損失を減らすための、秀れた考案であるが、耐火物とともに、炉殻を吊上げる起重機が必要のため採用が難しい。

なお、炉蓋 ring も、変形すると、煉瓦積が不正確になつて、炉蓋寿命に非常に影響するので、適当に水冷した丈夫なものでなければならない。水冷部を三角断面としたものが、迫受煉瓦が不要で、ring の補修の必要もないので、普及しつつある。また炉蓋 ring の直径が炉殻径より大きいものが、ring の保守と、炉蓋寿命の経験からふえている。

4. 電極 Holder

電極把持の機械化は、電気炉の最近の進歩の一つとして数えられてよい¹²⁾。これにより一定圧力で、電極を、holder に押付けることと、遠隔操作が可能となつた。

把持の仕方は、円筒形 holder の一端から、制動片を巻バネで電極に押付け、空気 cylinder により緩める方式が普及している。このときの把持力は、20 in 電極で 25,000 lb, 24 in 電極で 34,000 lb が適当であるとされている¹³⁾。holder 内面と、電極の接触部には、大電流が流れるため、最近では、純銅鑄物で水冷管を鑄込んだものが推奨されており、最近、わが国でも優秀な holder が生産されるようになった。

接触部の仕上面は、平滑または、溝付であり、また交換可能な接触片を差込む方法も、行なわれている。

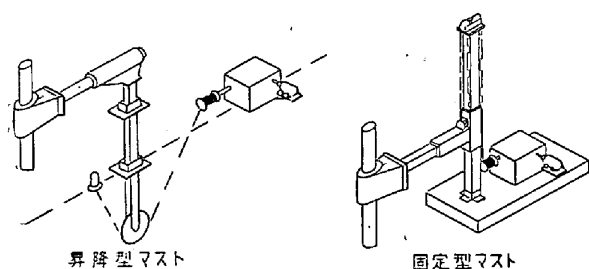
5. 操作用動力

電動方式と油圧方式に分かれる。

最近の電動機、減速器、軸受などの発達と、油圧系統の進歩のためにいずれの方式でも、動作は正確で円滑である。したがって理論的に優劣をつけることは不可能で、工作精度、使用材料、取扱法が重要であり、二者選択の基準は、保守に要する費用と、簡易さである。

6. 電極昇降機構

電極の昇降は、電極 holder を支持する水平腕の運動によつて行なわれるが、この水平腕が固定 mast に沿つて上下する固定型 mast と、水平腕が mast と固定されていて、ともに上下する昇降型 mast とがある¹²⁾。前



第2図 電極昇降機構¹²⁾

者は、counter weight を付けることにより、昇降用電動機の馬力を小さくすることができ、また、winch cable を延ばして昇降用電動機を、電気室などの条件の良い場所に格納することもできるので、長年にわたつて、小型炉で愛用されてきた。しかし

a. 二次導体が、固定 mast を横切ることになるので固定 mast が非磁性体でないと、電力損失を生じる。

b. winch cable の長さが、長くなつて、昇降運動のさい、cable の伸びのため、時間的な遅れを生じる。

c. sheave の数が増して、摩擦損失が増す。

d. counter weight の慣性のため、即応性が悪くなる。

などの理由で、可動部分の重量は増加するが、後者の形が普及してきた¹²⁾。

すなわち、昇降速度を速くするとともに、できるだけ機械的原因による即応性への障害を少なくしようとする考え方である。したがって減速器の摩擦損失も、少ないものを選ばなくてはならない。しかし、慣性による即応度妨害の最大のものは、昇降用電動機の armature であると言われている¹⁴⁾。このために、回転速度の遅い、直径の小さい、armature をもつ昇降用電動機の発達が、最近の電気炉の発達に大きな役割を占めているといつてもよい。

電気炉が不定の形状の屑鉄を電弧によつて熔解する以上、常に完全に安定した電弧で最大電力を保つて、能率良く熔解することは困難である。もちろん、現在まで、このために必要な昇降速度と即応性は得られてないが、この問題解決こそ、電気炉の性能を画期的に向上させるものであると言つても過言ではない。これによつて、力率は向上し、熔解は促進され、電力、電極の消費は節減される。しかし、当初はいわゆる、Flicker 現象の防止から研究されたことである。

現在、電極昇降の最高速度は 3m/mn で¹⁵⁾ 4m/mn とも言われている¹⁶⁾。

電弧の電圧、電流の変化に対応して、電極を昇降させるのは、自動昇降制御装置の役割である。この代表的なものは、Rototrol、とか Amplidyne の商品名で呼ばれる回転型の差動増巾器で、最近これに磁気増巾を付したのものもあり、性能も向上し、保守も簡易となつた。

現在 60 cycle 系統で、signal を受けてから 5 cycle 以内に、最大速度になり、また最大速度の上昇から下降の最大速度まで、9~15 cycle で完了すると言われている¹⁷⁾。

しかし、実際の熔解に当つては、未だ電極の昇降は、電弧の増減に忠実にしたがうことは不可能であるため、実用的にいかに制御装置を調整するかは、困難な問題として残されている。

以上は、昇降用直流電動機を電氣的に制御する場合であるが、このほかに、検出した電流、電圧の差動により油圧または水圧で電極を昇降させる機構がある。この方式によれば、cable, sheave 減速器、電動機は不要で、理論的にみて非常にすぐれている。米国では、液体の漏洩とか、使用材料による保守の困難と、前記の電気方式の技術的発展のために影をひそめつつあり¹⁸⁾、日本でも、

この種の炉はほとんどないが、欧州では、相当に採用されており (Lectromelt-Demag 西独, A.S.E.A. 瑞典) 電気炉の将来に非常に興味をなげかけている。

7. 二次導体

変圧器より電極までの二次導体の電力損失を最小にすることが、電気炉の能率の向上に重要なことは当然である。この損失は電流の二乗に比例するため、電流が不安定でフレが大きいと、損失を増すことになり、電極の制御装置の性能にも関連してくる。数値の正確な測定は、電極が熱変化を受けるため困難であるが、第 10 表にのせた RAMSEYER の推定値では平均 6.5% となっており、PAKULLA の論文¹⁵⁾ の 70 t 炉の特性曲線からは、さらに大きな数値が推定される。

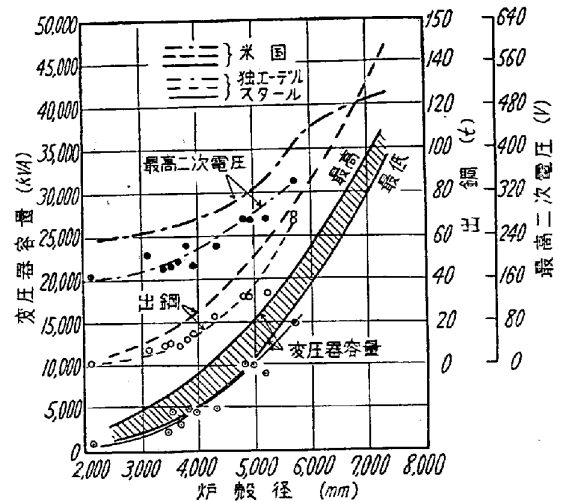
二次導体による電力損失を減ずるためには、電弧の安定を計るほかに、設計上二次導体の長さを短縮し、銅の断面積を増し接触部、とくに電極と holder の接触を確実にし、渦流、hysteresis の生じないようにすることとなる。

したがって、傾動、旋回の動作を考えて、変圧器と炉体の相互の空間の位置が重要であり、電極の水冷も、保守の面倒のため許りでなく電力損失を増す。しかし、炉体側の bus は保守上と、可動部分の軽量化のため、水冷管が普通である。また、二次導体周辺の鉄を使用した構造物は一切、検討してみる必要がある。

8. 変圧器

最初に一言したいのは、変圧器室についてである。安全上の見地から、変圧器、遮断器、制御関係はそれぞれ別室としたい。また、これらの室は、保守上の見地から、清潔な空気を吹込んで、正圧を保たせ、変圧器二次側の bus bar から排気させることによって、bus の冷却を兼ねあわせることができる¹⁸⁾。とくに、変圧器が、空冷の場合は、室内の換気は重要である。

変圧器の容量、二次電圧と、炉の容量の関係については、いろいろ述べられているが、ここでは PAKULLA の論文に引用された第 4 図をのせておく¹⁵⁾。すなわち、この図で見られるように、t 当り kVA が、小型炉で大き



第 4 図 変圧器容量、最高二次電圧、出鋼量と炉殻径

く、大型炉で小さい。このことは、大型炉の t 当り変圧器容量が、将来なお増加する余地のあることを示すと考える。

変圧器の冷却方式は、変圧器容量の増大とともに、空冷式では、変電室の冷却と、変圧器体積の問題を生じ、一方、送油水冷方式が、熱交換器の発達により¹⁶⁾、普及しつつある。

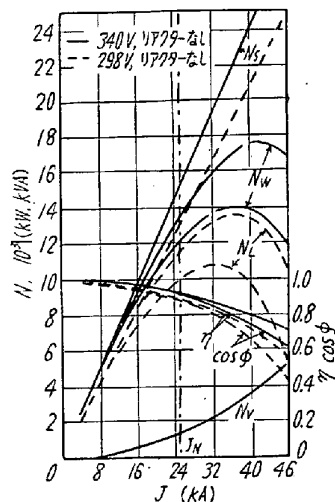
変圧器の最近の大きな進歩の一つは On load tap-changer の採用である。最近、国内でも製作されて、良い成績を収めている模様である。この方式が実際に、製鋼作業にどれだけの利益を生じるかは、明らかでないが、将来、熔解作業が常に適当な電圧、電流で完全に自動化されるための大きな進歩であろう。

変圧器固有の reactance 不足の場合には、reactor を設けなければならないが、適当な reactance の量を決定するには、電極昇降の自動制御装置の性能、熔解する屑鉄の状況そのほかの問題があつて一様に論じ難い。一般には、7・500 kVA 以上の変圧器では reactor を設けないことが多い。また、価格および space の点から、reactor は変圧器に内蔵するのが普通である。同様に、変流器も内蔵すると好都合である。

9. 遮断器、力率調整装置

わが国でも、保守上の問題から、油入遮断器に代つて米国の技術導入による空気吹付式気中遮断器が採用されるようになって、すでに久しい。その間に、電気炉用としてとくに激しい遮断回数に耐えるために、使用材料および設計に幾多の改良をみている。

力率調整は、普通、電気炉工場を含む全工場の受電設備に行なわれることが多い。進相用 condencer あるいは、condencer と同期調相機の組合せが用いられる。



第 3 図 70 t 炉の特性曲線¹⁵⁾ (短絡測定による)

後述する Fabrique De Fer (ベルギー) の 165 t 電気炉の力率は 0.82 であるのにもかかわらず、全工場の力率は 30000 kVA の同期調相機により 0.999 であると報告されている¹⁷⁾。

10. 安全装置

電気炉は、長時間にわたる稼働率が問題であるという意味で、故障をできるだけ避けるための fool proof の装置は重要であり、各機械、電気機器間相互の inter-lock は災害防止の意味をもっている。これらのほかに

イ. winch cable 切断の場合に、mast が落下しないこと。

ロ. 炉内に絶縁物が装入されて電流が通じない場合には、電極が降下しないで停止すること。

ハ. 直流電源が切れた場合も mast が降下しないこと。

ニ. 炉内の屑鉄の山が崩れて、過大電流が流れる場合の電極の上昇速度が充分早いこと。

ホ. 炉床、炉側の温度を連続的に測定して、耐火物の侵食を予知すること¹⁸⁾。

ヘ. 冷却水の循環は容易に監視できること。

ト. 傾動装置は、出鋼出滓の作業を良く監視するためいずれの側からも操作できるようにすること。

など一見簡単な事柄が、実際の操業に当つては、年間の成績に重大な影響を与えるものであつて、最近では各電気炉メーカーによつて、いろいろ優秀な考案が実施されている。

11. 除塵装置¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾

酸素製鋼法の進展に伴ない、電気炉から排出される塵煙は非常に激しくなつてきた。しかもこれが炉体から自由に放散されるので、単に工場近隣のみでなく、工場内の安全衛生および設備の保守に悪影響があり、焦眉の問題となつているが、未だ決定的な方法が確立されておらず、解決が待望されている。

電気炉の場合、集煙と除塵とに問題がわかれる。集煙は建屋からの排気の方法もあるが、ここでは電気炉自体からの集煙を取り上げると、一つは電極孔、作業口、出鋼口などに hood を冠して集煙する方法であり、ほかには炉蓋に直接孔をあけて duct より排気する方法である。前者は炉内の雰囲気に影響を与えないので冶金学的に好ましいが hood の焼損の惧れがあり、二次空気による冷却をすると全処理風量が増す。後者の場合は炉内圧の自動調整も行なわれている。両者の方法とも、国内にも実施例があるが、その優劣を決める資料は現在明らかでない。

除塵の問題が未だに一般化されない理由は、設備費、運転費ならびに、集塵した堆積物の利用価値がほとんどないという経済的な問題のほかに、つぎのようなことがある²²⁾。

イ. 煙粒子の直径のほとんどが 1μ 以下で、平均 $0.3 \sim 0.5\mu$ 程度で cyclone などの簡単な集塵器が使用できない。

集塵後の dust 量も少なくとも 0.5 g/NM^3 程度以下にしなければやはり赤褐色が目立つ。また集積した dust の処理も困難である。

ロ. 水を使用する場合は、水が腐食性を帯びてくる。

ハ. ガス状態の変動がはなはだしい。

ニ. ガス温度が高い。ガス状態の変動が激しいため、廢熱ボイラーの設置が困難であり、bag filter 電気集塵装置などは、ガスの入口温度に制限があるため、これを越す場合はなんらかの方法で冷却する必要がある。

除塵装置としては、ほかの製鋼炉の場合と同様に三方式に大別される。これらを概観すると、

a. venturi scrubber

設備が簡単で、据付面積が小さく、採用例が多い。欠点は風圧損失が大きく、fan の所要馬力が増す。循環水の腐食性と、沈降槽が必要という問題がある。

b. bag filter

シリコン製理を施した glass fibre の bag を使用することにより、ガス温度が 290°C 程度まで使用可能で、bag の清掃と寿命の点でも、従来の wool や合成繊維よりも改善された。風圧損失も少なく、運転費も比較的やすいので、わが国では未だ採用例をきかないが将来発展の可能性がある。

c. 電気集塵²²⁾²³⁾

設備費が高むという理由であまり顧みられなかつたが、保守が簡単で運転費がやすく、立地条件によつては水の問題その他で、設備費も venturi scrubber の場合と大差がない場合があり、注目をあびている。

電気集塵装置として、製鋼炉独特の問題もあるが技術的にも最近発展しつつある。

IV. 電 極

電極は電気炉としての機能を生ぜしめる電弧に入力を与える二次回路の最終の一環として重要であるが、しかも消耗品であつてその原単位が電気炉の操業費の大きな要因を占めているため、電気炉作業に従事する者にとつては最大関心事の一つである。

現在天然黒鉛電極に対する人造黒鉛電極の優位性は論

をまたない。

国産の電極は昭和 24 年以来、原料の GL コークスへの切替えと、その後行なわれた tapered nipple の採用を含む製造技術の進展により、電極原単位も目覚しく低下し、また電極製造設備の拡張合理化が行なわれ、電極の輸出も非常に伸長した。

しかし電極の使用条件は国内でも多種多様で、大別して、従来の電気炉と大電力を使用する新しい電気炉が混っているために、電極に要求される性能も一様ではない。

すなわち、電極径に対し、比較的電圧電流の低い使用条件の炉に対しては、機械的強度の強い耐酸化消耗性の電極が今迄良好な成績を収めていたがこのような電極はいわば、緻密で嵩比重の大きいもので耐 spalling 性の点からは好ましくない。したがって、高電圧、高電流を使用する新型炉に使用すると、縦割、spalling 等の欠陥を露呈することとなる。

最近新型炉では、炉殻径に対し、変圧器容量は増大の一途を辿り、同一の変圧器容量に対して使用電極の径はできるだけ細くしようとする傾向にある。これは電極の径が細い方が t 当り消費量が少なくて済み、holder mast 関係の軽量化ができ、しかも先端の径が細い方が電弧の安定に役立つとされているからである²⁴⁾。もちろん新型の電気炉には、高性能の電極自動調整装置があり炉の密閉や holder の性能もよく、機械的な衝撃、振動も極力少なくなるように製作されているが、それ以上に、苛酷な電流密度に耐えるような要求が生じたため電極製造技術にも、新しい発展が必要となつた訳である。第 9 表はこうした考え方に対応した我国の某電極メーカーのカタログより引用した。

昭和 34 年、炭素工業委員会で米国 NCC 社の 14 in, 18 in の電極を輸入し耐 spalling 性の研究の目的で電

極メーカー各社に分割分配して、その特性を調査研究するとともにその残を実用に供して、使用状況が観測された。この結果は、まだ公表されていないが、原単位の面ではさして差はなかつた模様である。しかし原料コークスにも、製造方法にも、異なるところがあり、国産の電極の品質向上には、米国よりもさらに厳しい努力が必要なのである。耐 spalling 性は原則的には比較的 porous な嵩比重の低いものが適している。しかしこの場合、機械的強度と耐酸化消耗はある程度犠牲にされる。

なお電極は定尺ものを接続して使用される関係上、接続部の問題は重要である。これは tapered nipple の採用によりいちじるしい改善をみたのであるが電極本体と nipple の材質の相互関係、雌雄ネジ部の最大有効径の差、また加工精度などにより嵌合の具合が変化するのでさらに研究の必要がある。もちろん電極使用者側として、接続時に規定 torque でしめつける必要があるが、わが国ではまだ torque wrench そのほかの機械じめによる方法が普及していないのでこの発達が望ましい。この点作業員の負担を減じまたしめつけを確実にするために、電気炉上での接続を避け、起重機で電極をつり接続済の電極と交換し、接続は作業床上で行なうとより好ましい¹³⁾。

電極使用上の条件としては、屑鉄の状況、作業時間の長短などの外に熔解期の電流密度が過大にならないような優れた電極昇降機構も問題である。

電極製造上の将来の問題の一つに、現在工業的に使用されている電極の最大径 24 in 以上の太物が製造されるか否かということがあがる。これは耐火物、高電圧、高電流に対する安全性、傾動装置また建屋の高さなどの問題とともに考慮されたことがあるが、6 電極炉採用により製造の困難な太物の電極を避けようとする傾向にある⁶⁾¹³⁾。

つぎに電極に関する研究のうち興味あるものに中空電極がある²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾。現在電弧発生機構に関する研究はあまり進んでいないようであるが、中空電極は電弧の安定に効果があるという面から研究されたものである。もし成功すれば、問題は電極自体にとどまらず、電弧の安定による熔解能率の向上、電力原単位の低下、電弧による耐火物の損傷の減少が期待されている。

なお、電極製造の主原料は、上述のようにすべて米国に依存している状態であるが、この面でも新生面を拓く研究が望ましいと考える。

V. 耐火物

1. 炉蓋

第 9 表 電 極 径 と 電 流 密 度

電極径	昭和32年		昭和34年	
	A	A/cm ²	A	A/cm ²
in mm				
8 205	5,900~6,500	18~20	5,200~8,800	16~27
9 230	7,000~7,800	17~19	6,600~10,700	16~26
10 255	8,200~9,100	16~18	8,100~12,600	16~25
12 305	10,800~12,000	15~16	11,700~17,500	16~24
14 355	13,000~14,000	13~14	15,900~21,800	16~22
16 405	15,900~17,500	12~13	19,500~26,000	15~20
17 430			22,000~28,000	15~19
18 455	19,000~20,900	12~13	24,600~31,200	15~19
20 510	22,000~25,000	11~12	28,300~35,000	14~17
24 610			38,000~41,000	14~15

わが国では異形の硅石煉瓦の使用が圧倒的である。硅石煉瓦の耐 **spalling** 性の向上、炉蓋 **ring** の水冷、炉殻高さの増大その他により酸素製鋼法の普及と高電圧の使用にかかわらず炉蓋寿命は一般に延長している。しかし本稿では将来への展望という面から論じたい。

煉瓦の性能の向上のためには機械成型は必至であり、このために標準型の煉瓦の組合せが望ましい。迫受煉瓦は炉蓋 **ring** の水冷管を三角形としてこれに代らせる。電極孔まわりに必要な異形煉瓦は後述の一体耐火物による。炉蓋の形状もドーム形が機械的、熱的な応力の面からばかりでなく、異形煉瓦を避けられる利点がある。

煉瓦の厚みは平炉の天井煉瓦の場合と同じで、あまり厚くても有効でなく、12 ft 炉で 230 mm、16 ft 炉で 300 mm、20 ft 炉以上でも 350 mm までが適当と思われる。

炉頂装入の電気炉は炉蓋の熱変化が激しく、間歇操業の場合とはくにこの傾向がいちじるしいので **spalling** に強いアルミナ系煉瓦が推奨され、寿命の延長が報告されている。国内ではアルミナ系煉瓦が硅石煉瓦に比し割高のため普及しにくい状態にある。

炉蓋の最外周部は炉壁の塩基性煉瓦を熔損させないため、塩基性煉瓦を使用している例もある。

一体耐火物については、炉蓋全体ではなく、電極まわり、最外周部などに利用されることが多い。**castable** 材はまだ小型炉での実験の程度で、**ramming** 材が発達し、煉瓦積の工数の節約と、炉蓋寿命の延長が報告されている²⁷⁾²⁸⁾。

炉蓋煉瓦の形状として、独特の発明に蜂の巣式炉蓋がある。これは六角柱状煉瓦を使用して六面に応力を分散させて、**spalling** を減少せることを目的としたもので、実績も良いといわれる²⁹⁾。もつとも炉蓋寿命は適当な膨脹代による煉瓦積の正確さに相当影響されるので、六角煉瓦を使用すると、煉瓦の形状の正確さと、入念な煉瓦積が強制される関係で、寿命も自然延長されているとも考えられる。

硅石煉瓦を使用する場合は、硅石煉瓦の特性にあつた乾燥予熱で、炉蓋の寿命の延長が得られるが、電気炉の稼働率向上のためには、予熱は炉蓋交換前に行ないたい。

2. 炉壁

戦後、平炉では塩基性煉瓦の使用によりめざましい成績の向上がみられたが、電気炉では炉頂装入、あるいは間歇操業のための急激な温度変化、また炉壁煉瓦の積み替えが炉蓋と別箇に簡単に行なえることなどの理由で遅

れていた。しかし、二次電圧の上昇、酸素製鋼法、高温精錬の実施により、耐火物の受ける条件が苛酷になつたことと、電気炉の稼働率向上のため、休止時間短縮が必要となり、マグネシアなどを鋼管に充填して塩基性炉壁を築造するとか、ドロマイトのブロックを用いるとかの自家製の方法も用いられていたが、最近市販の塩基性煉瓦の性能が向上し、本格的に使用されるようになった。

MgO を主成分とし、Cr₂O₃、Al₂O₃ を加えて化学的に結合させ高圧で成形し、薄鋼板で囲つたもの、あるいは内部に鋼板を入れたもので、MAC、DCM、RITEX などの商品名で製造されている煉瓦と、KDT などのドロマイト系の煉瓦があり後者は、鋼浴の Cr がとくに厳しいときに有利であり、また原料の関係で欧州で発達している。

クローム、マグネサイト系煉瓦で、熔融し鑄造された煉瓦は耐 **spalling** 性に問題が残っているが、ほかの性能ではすぐれており、価格が高いが、とくに損傷の激しい箇所に使用される⁶⁾。**sill level** 上の炉壁の築造法として塩基性煉瓦と炉殻鋼板を密着させる方法と、この間にシャモットの煉瓦や粒をつめる方法がある。後者は保温と炉壁鋼板の保護の点で有利であるが、前者は熱伝導のため煉瓦の寿命をのばさせる。両者の優劣は熱放散の損失、煉瓦の寿命、シャモット煉瓦分の炉内容積の損失などを個々の場合について検討し決定すべきであろう。

作業口などの煉瓦積に迫煉瓦を使用すると煉瓦積の工数が増し、補修を要することも多いので、上面が水平の水套を張出してこれに代える方法が普及しつつある。

3. 炉床

迅速溶解、高温精錬に耐えて正常な形状を保つ堅固な炉床は操業成績の一切を左右する。

最近の傾向は鋼浴深さの増大とともに、炉床耐火物の厚みが減少している。これはあまり厚くしても下部は **sintering** に必要な温度に達しない点からも合理的で **ramming** の厚みは大型炉でも 300 mm 程度が限度であろう。また焼成マグネサイト煉瓦などが優秀な性能をもっているので、煉瓦層を厚くして **ramming** 層を薄くし結局、全体の炉床厚みを減少できる。このことは炉殻底部に誘導攪拌装置を設置する場合とくに重要である。

ramming 材もドロマイト系統とマグネサイト系統があるが、むしろ粒度配合、結合材、築造の方法と乾燥予熱の方法によりでき上りの炉床の強度は大いに異なる。

最近国内でも製造され始めたマグネサイトに適当な処理を施し粒度配合を行なつたものは、一様性と、施行の

簡単さが特長である。

VI. 操業法の進歩

1. 迅速熔解

設備的には入力増大、電極昇降機構の進歩、炉頂装入、炉殻高さの増加などについてすでに述べたが、実際には鋼屑は形状、成分ともに不定であり、電弧の完全な安定化も行なわれていないので、操業法は個々の要因について研究を要する。

鋼屑の軽量化に伴ない装入回数の増加は避けられず、これによる熔解時間延長の影響は大きい。昭和30年、31年の国内特殊鋼各社の調査では、2回装入の量は10～20%で、これによる通電時間の延長は10～20分であり3回装入になるところでは30分を越える場合があると報告されている³⁰⁾。

このような鋼屑の形状による価格と、製鋼能率の関係は経済上の問題であり、鋼屑の事前処理もこの点から考慮され、炉の大型化の有利性の一つもここにある。操業上からはなるべく長期間変動の少ない鋼屑の配合状況とすることが、同一の作業標準で熔解を管理することができて有利である。これにより負荷曲線も管理が可能となる。また、鋼屑の状況と熔解の時期に応じて電圧電流だけでなく、電極自動制御の感度を調整することも普及しつつある。

炉床の形状の適否は、熔解初期の湯溜りのでき方、末期に周辺の鋼屑の落下の難易に関連し、能率に大きな影響をおよぼす。

酸素ランスによるいわゆる山崩しはほとんど行なわれない。

2. 精錬作業

電気炉本体の特長である炉内温度と雰囲気調整の容易さのため、ほかの製鋼炉で製造不可能な高合金鋼が製造し得るだけでなく、ほかの鋼種でも容易に高品質の鋼が得られるのは当然で、とくに、脱磷、脱硫、脱酸の作業は簡単であり、問題はむしろ熔鋼中の水素量の低減であり、さらには高度に清浄な鋼を製造することである。

熔鋼中の水素量の低減は普通 Bessemerizing と主副原料の予熱乾燥によつて行なわれ³¹⁾³²⁾、清浄な鋼を得るにはさらに主副原料の品質、炉床の状況、再沸騰、鋼浴温度と鋼浴鋼滓成分の管理を基礎とする標準作業の実施が必要である³¹⁾。

a. 鉄源

最近では装入に直結する原料ヤードに屋根をかける製鋼工場が増加してきた。これは貯蔵場所というより、むしろ

る作業場であるという点でも好ましいが、これにより鋼屑に付着した雨雪が装入されることを避けられる。

高級鋼製造の場合には有害元素の混入を避けるためと合金元素の有効利用を計るため、嚴重な鋼屑の選別が必要である。

わが国では鋼屑の循環による有害元素の累積を避けるため、砂鉄銑その他の銑鉄を一部用いることも、特殊鋼界では普通に行なわれている³³⁾。

なお、選別に関連して爆発の恐れある危険物の除去は重要であつて、火薬を内蔵するもの許りでなく密閉物に対する注意が必要である。

合金鉄は800°C×2hで、その水素量を4ppm以下に管理し得た報告がある³²⁾。Bessemerizing 以後に装入される返り屑、銑鉄は同様に予熱するべきである。

合金鉄は精錬の初期あるいはそれ以前に装入されるものは、加工度の低い廉価なものを、精錬の後期あるいは出鋼時に用いられるものは、不純分の少ないもの、適当な合金元素を組合せたものを使用の容易な容器入、あるいは形状で使用するといった方向に進歩がいちじるしい。また従来使用されなかつた新しい元素の開発も盛んである。

b. 副原料

生石灰は自家焙焼しない場合は、紙袋、あるいは鋼製の気密な密器による輸送と保管が行なわれ、多湿期には使用工場で760～870°Cに再加熱する例もある³¹⁾。

生石灰の吸湿性を嫌つて、わが国では石灰石を利用する工場が多いが、石灰石も乾燥とホッパー貯蔵により付着水分を0.05%以下に管理している例がある³²⁾。

螢石その他の副原料についても乾燥の必要は同様である。

しかし Bessemerizing 以後の副原料の使用を必要最小限とする作業方法の研究も重要である³¹⁾。

c. 炉床

炉床の形状が正しくなければ均一な精錬が行なわれないうのは当然であるが、侵食されやすい炉床も鋼滓の流動性を害し、また非金属介存物の原因となる恐れがある。

これらは精錬上基本のことがらであるが、このほかに合金鋼製造の場合には炉中に鋼滓、熔鋼が残留するとつぎの熔解のとき浮上して有害である³¹⁾。

炉床の形状についていろいろ論議があるが、同一炉殻径に対して熔鋼量が定まれば自然に決定されることである。

d. 酸素製鋼

すでに一般化されていて多言を要しないが製鋼過程中

で積極的に脱水素を行なう唯一の方法である。またこれによつて従来製造の困難であつた低炭素の各鋼種、高Cr鋼のCrの回収などが可能になつた。

酸素製鋼法を有効に行なうには、吹精開始の鋼浴温度と過酸化を生じないように吹精中の[Mn]を管理することが重要である。

e. 再沸騰

Bessemerizing 後、脱酸と脱酸生成物の浮揚を目的として電極の浸漬とか Fe-Mn の投入により再沸騰を生ぜしめることがある。清浄な鋼を得る重要な手段である³¹⁾。

f. 精錬作業

普通鋼製造の場合の single slag 法とそのほかの場合の two slag 法に分れる。いずれの場合も炉床の浸食と水素量の増加の防止に関する限りは Bessemerizing 後出鋼までの時間は短かいほどよい。熔鋼中の水素量と精錬時間の間には、直線関係があると言われ、時間を管理する必要がある³²⁾。

このような不必要な精錬時間の延長は、鋼質上も有害であるという考え方は、電気炉の経済性の向上にも非常に役立つ。また還元期の鋼浴の温度、鋼滓の塩基度、流動性、酸化の度合は当然水素の吸収に関連する。炉中で完全に脱酸を行なえることは電気炉の特長の一つであるが、還元期初期より強度の脱酸を行なつて還元性の強い鋼滓で短時間に出鋼する方法と、ある程度時間の延長がやむを得ない場合には、若干酸化性を帯びた鋼滓で水素の侵入を防ぐ方法に分れる。いずれの場合にも鋼滓の流動性は清浄度に影響をもつ。

溶鋼中の水素に関しては以上のように管理を行なつてもなお、大気湿度の影響は避け難いが、これらの努力によつて管理実施以前の低湿季の水素水準よりも、多湿季の水素水準を下げる事が可能であり、水素管理の重要性を示している³²⁾。

3. 鋼浴の温度

わが国では、イマージョン・パイロメーターの使用は電気炉では平炉の場合のように普及していない。

これはもちろん、電気炉の多数が中小企業にあり、また容量が小さいため、当然測定費用が割高になる関係もあるが、電気炉ではとくに還元期に鋼浴中の温度差が大きいという事情によることが多い。

しかし、製鋼作業にとつてできるだけ巾の狭い温度管理をすることは、経済的にも鋼質の向上のためにも必須であつて、現在急速に普及しつつある。

測定の時期も出鋼温度許りでなく、還元期中、酸化期

末、酸素吹精の前後、あるいは溶落時など、作業管理の進歩に伴つて適当な時期に測定が行なわれている。

電気炉でイマージョン・パイロメーターが発達したのは、普通使用される PR 13 の測定範囲を越えた1650~2000°C 程度の高温の分野であつて、学振 19 委、第2分科会に多くの報告が提出されている。

将来の問題として、理想は炉中の鋼浴連続測定である。これはまだ実験的段階であるが大いに発展が期待される。

4. 鋼浴の攪拌

鋼浴の化学成分および温度の均一化を計り、化学反応を促進するために鋼浴を攪拌することの必要性は、今さら論をまたないことで、有害成分やガスが除去され、清浄な鋼が得られることになる。このためのもつとも簡単な方法は、デレッキで人力により攪拌することで、広く行なわれているが、炉の大型化とともに困難となつてくるこのほかにつぎのような方法がある。

a. 機械的攪拌

装入起重機、または同様な機能をもつ装入用自動車の ram に、適宜の攪拌棒を付して攪拌を行なう方法で、わが国でも最近行なわれ始め、その効果も一部発表されている³⁴⁾通電中に攪拌が行なえない欠点があるが簡便で实际的である。

b. Reladle法³⁵⁾

ステンレス鋼製造などの場合に、酸素吹精による過熱を冷却する効果を兼ねて、一度取鍋に受鋼し、ふたたび炉中に装入することにより、攪拌の効果と、熔鋼量の正確な判定により追加合金鉄の量を正確に決められる利点により、実施されている方法であるが、作業時間の損失そのほかの不利は免れ難いと思われる。

c. ガス吹込法

熔鋼中の水素量減少を目的として、空気、酸素、窒素あるいはアルゴンなどを吹込む方法がある³⁶⁾³⁷⁾。價格的に引合う鋼種ならばアルゴン吹精がもつとも望ましい。

d. 誘導攪拌装置

通電中の連続長時間にわたつて攪拌が可能である。1958 年 12 月までに ASEA(瑞典)が製作または受注した基数は 38 基で、うち 4 基が日本向きであると言われている。

このほか、将来この装置を設置し得るように、炉底鋼板に不銹鋼を使用し、その下部に空間をとつてある基数はかなりあるものと思われる。

本装置使用の効果および問題点についてはすでに相当の報告があり、今後の電気炉操業法に大きな進歩が期待

される³⁸⁾。

5. 迅速分析装置

精錬作業を科学的に管理しようとする場合、もつとも基本的な要因は、鋼浴の温度と化学成分であろう。

化学成分中、金属元素については分光分析装置³⁹⁾⁴⁰⁾、X線分析装置⁴¹⁾の発達により、多数の元素の迅速分析が工業的に可能となり、わが国でも輸入あるいは国産の装置により急速に設置基数が増加しつつある。

この種装置の応用による利益は数多いが、鋼滓の塩基度、成分の迅速分析ができることも精錬作業の管理上重要である。

炭素、燐、硫黄の分析についても成功の例が報告されている⁴²⁾。

鋼浴中の含有ガスの迅速分析装置は、まだ工業的段階に達していないと言えよう。

以上、電気炉の設備、酸素製鋼、攪拌、測温、分析の技術、耐火物の発達などが裏付けとなつて、戦後急速に発達した品質管理の考え方に基づいて、製鋼作業の標準化への努力が行なわれ、長年解明の困難であつた製鋼作業が科学的管理の対照となりつつある。

なお、造塊作業、とくに真空鑄造、連続鑄造の技術の発達が電気炉の精錬作業そのものにも影響を与えているが、これらは今後明らかにされる問題であろう。

VII. 電気炉の経済性

製鋼炉が新しく建設される場合、電気炉には炉内の温度および雰囲気調整が容易で、高級鋼の製造に適し、また操業の開始、停止が簡単で間歇操業も行なえる利点があるが、転炉、平炉でも差支なない場合には経済性の比較検討を行なわなければならない。

平炉と電気炉の経済性の比較で今なお引用されるのは、Battelle Memorial Institute の報告⁴³⁾、RAMSEYER の論文⁴⁴⁾であるが、個々の場合の条件と、その後の技術の進歩を勘案して検討する必要がある。

上記の報告によると、建設費は同一年産量の電気炉工場は平炉工場に比し 60% 以下と推定されているが、この原因は平炉一基の生産量に匹敵する電気炉一基の容量が大体半分ですみ、したがって建屋、起重機が軽量となり原料や鋼塊の処理も設備が小さくてすむためである。

電気炉を設置する場合、まず計画 t 数を何基の炉で生産するかであるが、市況の変化に対する弾力性、lot の大きさそのほかの問題を度外視しても単純に大型炉ほど経済的であるとは言えない。

この最大の理由は電力問題である。電気炉の操業費の

うち電力費の占める割合が大きいので、この単価は重要であるし、また給電能力が乏しいときは季節的あるいは不時の給電能力の不足のため、操業の低下または停止を余儀なくされるためである。

電気炉の消費する電力はほかの需要に比し、消費量も変動も大きいため、電力単価上有利な契約を得るためには、1 時間または 15 分間の最大電力、1 日の時間別負荷曲線、力率などが問題となり、これに応じ得るには多数の電気炉を製鋼時間を短かく運転し、負荷率をあげねばならない。この電力問題は立地条件によつてはなはだしく異なる。電気炉の操業成績は鉄源および補助材料の種類、製造鋼種、造塊条件、工場の付帯設備、操業の連続性、労働力そのほかの諸元で非常に異なってくる。

第10表 冷材装入電気炉の理論上最大生産能率の仮定⁴⁴⁾

内 容	炉 径	
	16~20 ft	21~25 ft
1. 製鋼時間 mn		
a. 装入 平均 3 回	15	20
3 回 + 若干の扉装入		
b. 熔解 (計算値の範囲)	1:59~2:13	2:08~2:22
c. 精錬	30	35
d. 補修	25	25
e. 遅滞	25	25
計	3:34~3:48	3:53~4:07
2. 熔解期の変圧器の仮定平均負荷率 %	85	80
3. 熔解期の仮定平均輻射伝導損失 kWh/h	1000~1500	1650~2300
4. 熔解期の仮定平均電気損失 %	6.5	6.5
5. 熔解期の仮定平均力率 %	80	80
6. 1650°C に於ける発熱反応を含まない 1 net t の鋼と 5% の鋼滓の熱容量 (33°C 上), kWh	355	355
7. 良鋼塊と炉内の熔鋼の比 %	97.5	97.5

* 熔解期とは鋼屑と媒溶材 (5%) が熔解して 1650°C まで上昇するに要する時間。

第11表 冷材装入電気炉の変圧器容量の仮定⁴⁴⁾

炉 径 ft	容量 (鋼塊) net t	仮定変圧器容量 kVA	
		1 炉 当 り	鋼塊 t 当 り
16	50	16,000	320
17	60	18,000	300
18	70	20,000	286
19	85	25,000	294
20	100	30,000	300
21	115	35,000	304
22	130	40,000	308
23	150	45,000	300
24	160	45,000	281
25	180	50,000	278

第12表 165 t 炉の操業実績¹⁴⁾

工場名	Fabrique de Fer (ベルギー)
炉殻径	24ft Lectromelt 型, 誘導攪拌装置付
変圧器	35,000 kVA 電極型 24 in
製造鋼種	薄鋼板
操業時間	
装入 (181 t 4 回)	30mn
熔解	2 h 40mn
精錬	2 h 00mn
出鋼補修	50mn
計	6 h 00mn
炉壁炉蓋修理時間	7 %
稼動時間	93%
平均力率	0.82
各種原単位 (鋼塊 t 当り)	
電力	477~482 kWh
電極	4.5 kg
耐火物 炉蓋	2.9 kg
炉壁	3.6 kg
酸素 (熔解末期に使用)	1.8 m ³

前掲の RAMSEYER の論文によれば単一鋼滓の普通炭素鋼の製造に対し第 10 表の成績を予想している。この場合の変圧器容量は第 11 表である。変圧器容量は現在この表の数字まで大きくなっていないが、以下に述べる操業実績例を、彼の提出している公式

$$\{355\text{kWh/t} \times \text{炉容量}/(100\% - \%(\text{製鋼屑}))$$

$$+ \text{炉の熱損失 kWh/h} \times \text{熔解時間}\} \div \{\text{熔解中の平均力率} \times \text{電気能率}\} = \text{変圧器容量} \times \text{負荷率} \times \text{熔解時間}$$

に適用してみると、熔解時間、電力使用量とともに、彼の仮定による計算より大巾に好成績が得られていることがわかる。これは電気損失、熱損失の減少、力率の向上を意味していると

みてよいと思われる。

第 12 表~第 14 表に 165 t 炉 (ベルギー)¹⁴⁾、70 t 炉 (西独)¹⁵⁾、30 t 炉 (日本) を、米国の大型炉による操業実績例⁶⁾を第 15 表に列举しておく。

これらの成績の数字を単純に比較してなんらかの結

第13表 70 t 炉の操業実績¹⁵⁾

工場名	Deutsche Edelstahlwerke, Krefeld (西独)
炉殻径	5,700 mm Demag-Electrometallurgie 製
変圧器	15,000 kVA 電極径 500 mm
製造鋼種	合金鋼, 炭素鋼, 以下の例は C35
操業時間	
熔解	4 h 02mn, 酸化 1 h 32mn, 還元 1 h 03mn,
その他	35mn, 計 7 h 12mn
装入量	73.6 t
出鋼量	69.7 t
各種原単位	
電力	熔解 458 kWh/装入 t 精錬 130 kWh/装入 t
計	614 kWh/出鋼 t
電極	6.5~7.6 kg/出鋼 t

第14表 30 t 炉の操業実績

工場名	三菱鋼材株式会社深川製鋼所
炉殻径	16ft Heroult 型 American Bridge 製
変圧器	12,500 kVA 電極径 18 in
製造鋼種	機械構造用炭素鋼, 構造用合金鋼, ばね鋼
操業時間	
装入 (37 t 2 回) 6mn (1 回), 熔解	1 h 38mn,
酸化	48mn, 還元 1 h 05mn, 出鋼補修 12mn,
遅滞 (炉壁修理その他)	11mn,
計	4 h 00mn
各種原単位 (出鋼 t 当り)	
電力	熔解 410 kWh 計 555 kWh
電極	5.0 kg
耐火物 炉蓋	2.3 kg
炉壁	2.5 kg
酸素	10 m ³

論を得ようとすることは、操業条件の違いを無視することになってまったく無意味である。しかしこれらの成績

第15表 米国の普通鋼製造大型電気炉の操業成績⁶⁾

	1952*		1957**				
	100% 冷材装入		100% 冷材装入			熔銑装入	
炉殻径 ft	18	20	20	22	24	22	24
変圧器容量 kVA	20,000	25,000	25,000	30,000	35,000	33,000	35,000
電極径 in	20	20	20	24	24	24	24
平均炉容量メートル t	59	82	95	136	180	140	185
出鋼から出鋼の時間 h	4.4	4.8	4.2	4.4	6.0	5.6	6.2
鋼塊時間当り生産量 t/h	12.2	16.6	22.6	30.9	27.2	27.5	27.2
電力消費量 kWh/t	579	579	569	611	518	535	551
電極消費量 kg/t	6.0	6.0	4.4	6.1	5.4	5.4	5.5
鋼歩留	91	91	92.1	91.5	92.0	89.1	88.9
鉍石消費量 kg/t	25	25	110	120	100	145	170
石灰及び石灰石消費量 kg/t	55	55	90	125	90	145	170
熔銑配合率 %						20—25	25—30

* 1952年の記録は BATTELLE 報告による。100%冷材装入電気炉における普通鋼製造の代表的平均操業成績である。

** 1957年の記録は大型炉による普通鋼塊製造会社によつて著者に提示された実際の操業記録による。記録は炉容別の平均である。

が7, 8年前に常識とされていた数字より遙かに好成績であることは、一見して明らかである。

以上述べてきた電気炉は生産する鋼の種類はともかく100% 冷材装入を対照としてきた。したがって主体は銅屑である。これによつて電気炉は発展してきた。しかし銅屑に依存すること自体が電気炉製鋼に大きな枠をはめているとも言える。この枠を突き破る努力として、最近電気炉に熔銑⁴⁵⁾あるいは直接還元鉄を使用する方法が工業的に研究されて注目を集めており、わが国でもこれらの計画が真剣に検討されている。

熔銑使用の例は、前掲第15表にもあり、また Durrer は高磷熔銑の50% 装入を経済的に実施した例を発表しているが⁴⁶⁾、これらの方法の発展は、操業法のみでなく、電気炉設備そのものにも影響をおよぼすと考えられ⁴⁷⁾ 将来の問題である。

直接還元鉄の使用は、たとえばヘガネスの海綿鉄などのすぐれた冶金的性質により、古くから高級鋼の製造に使用されている^{47)~50)}。然し、銅屑に代置し得るか否かは直接還元鉄製法の今後の発展による。

VIII. 結 言

現在のわが国の電気炉の新鋭化、大型化の機運は誠に目をみはらしめるものがある。これは本稿で述べたような、電気炉による製鋼の技術的発展によつて、経済的競争力が高まった結果であるといえる。電気炉は設備的にも、操業法にも今後のいちじるしい進歩が予想されるので、そのすぐれた製鋼炉としての特長が、ますます発揮されて、鉄鋼需要の増大に伴ない、非常な発展は必至と思われる。

しかし、さらに基本的に電気炉の将来を決定するものは、鉄源の問題と電力事情であろうし、これらも単に経済上の問題ではなく、技術の発展とともに論じられるべき事柄で矢張電気炉の将来、とくにわが国の電気炉の将来に、光明を与えるものであると見られる。

終にのぞみ、本稿の執筆と発表を許可され、御指導を賜った三菱鋼材株式会社の上司に深甚な感謝を捧げる。

(昭和 35 年 3 月)

文 献

- 1) 日本鉄鋼連盟: 日本の鉄鋼統計, 昭和 35 年版
- 2) A.I.S.I. Annual Statistical Report, Iron Age 105th Annual Issue
- 3) Iron and Steel Annual Statistics for the United Kingdom 1958
- 4) 共同体の活動に関する第7年次一般報告(下): 日本鉄鋼連盟海外調査資料第36号
- 5) Statistisches Jahrbuch für die Eisen u.

Stahlindustrie 1958~1959

- 6) A. C. OGAN and D. J. CARNEY: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 178 (1958)
- 7) 通産省重工業局: 鉄鋼生産設備の現況 (昭和32年12月末現在調)
- 8) 特殊鋼 9 (1960) No. 3,
- 9) W. B. WALLIS: 鉄と鋼, 44 (1958) No. 7
- 10) Iron Age, (1949) Dec.
- 11) MYFORD: Proc. Electr. Furn., 7 (1949)
- 12) F. NICHOLSON: Proc. Electr. Furn., 14 (1957) p. 213
- 13) G. D. LAWRENCE: Proc. Electr. Furn., 11 (1953) p. 187
- 14) J. R. LEE: Proc. Electr. Furn., 14 (1957)
- 15) E. PAKULLA: Stahl u. Eisen 77 (1957) Heft 4
- 16) ROBERT BRY: Proc. Electr. Furn., 14 (1956) p. 31
- 17) GASTON STASSIN: Blast Furn. & Steel Plant, 47 (1959) No. 8
- 18) T. J. WAYNE, D.R. JOHNSON, E.R. ROSENOW, E. J. WHITTENBERGER: Proc. Electr. Furn., 15 (1957)
- 19) O. E. ERICKSON: Proc. Electr. Furn., 11 (1953) p. 157
- 20) H. W. PETERSON: Proc. Electr. Furn., 14 (1956) p. 262
- 21) C. W. FINKL: Proc. Electr. Furn., 14 (1956) p. 272
- 22) 古川徹也, 古明地成光: 富士時報, 第32巻, 第3号
- 23) J. L. VENTURINI: Blast Furn. & Steel Plant, 47 (1959) No. 4
- 24) W. E. SCHWABE: IV International Congress On Electro-Heat, Sect. II-g (1959)
- 25) W. E. SCHWABE: Iron & Steel Eng., 84 (1957) June
- 26) U. S. Patent 2,744,945
- 27) H. G. HART & F. H. FANNING: Proc. Electr. Furn., 13 (1955) p. 110
- 28) J. D. McCULLOUGH: Proc. Electr. Furn., 15 (1957) p. 45
- 29) 中司正夫, 田代晃一, 芳賀三千億, 中村菊三郎: 鉄鋼協会第59回講演 (1960)
- 30) 鉄鋼技術共同研究会, 特殊鋼部会, 第1回, 第2回資料
- 31) H. G. BIGGE: Proc. Electr. Furn. 13 (1955) p. 85
- 32) 川本良正, 西岸正夫: 鉄と鋼, 44 (1958) No. 9
- 33) 鉄鋼技術共同研究会, 特殊鋼部会, 第7回資料
- 34) 八幡製鉄: 鉄鋼技術共同研究会, 特殊鋼部会, 第12回資料
- 35) G. G. ZIPF, et al.: Proc. Electr. Furn., 13 (1955) p. 203
- 36) ADAM J. TEXTER: Proc. Electr. Furn., 13 (1955) p. 55
- 37) L. F. BARNHARDT: Proc. Electr. Furn., 13 (1955) p. 58

- 38) BERTIL HANOS: 鉄と鋼, 45, (1959) No. 12
 39) 石原善雄, 安藤公平, 森脇和男, 渋谷正吾:
 鉄と鋼, 44 (1958) No. 3
 40) C. L. RICHARDS and HENRY LEVESQUE:
 Proc. Electr. Furn., 15 (1957) p. 175
 41) EARL M. ANGER and JOHN P. MARTIN, JR.
 Proc. Electr. Furn., 15 (1957) p. 165
 42) H. W. CALKINS and M. F. HASLER: Proc.
 Electr. Furn., 15(1957) p. 181
 43) S. L. CASE, D. D. MOORE, C. E. SIMS, R. J.
 LUND: Battelle Memorial Institute (1953)
 July
 44) C. F. RAMSEYER: Proc. Electr. Furn., 11

- (1953) p. 202
 45) W. A. HOFF: Proc. Electr. Furn., 14 (1956)
 p. 293
 46) R. DURRER and G. HEINTZE: J. Iron & Steel
 Inst. (U.K.) 187 (1959) May
 47) P. E. CAVANAGH: Proc. Electr. Furn., 14
 (1956) p. 281
 48) JOHN L. STALHED: Proc. Electr. Furn., 14
 (1956) p. 286
 49) ULF GUNIMERSON: Proc. Electr. Furn., 16
 (1958) p. 244
 50) R. W. FARLEY: Proc. Electr. Furn., 16(1958)
 p. 249

特許記事 1520 ページよりつづく

～1.0%, クロム 24～28%, ニッケル 23～35% (23%を除く), モリブデン 2～6%, 銅 0.8～1.5%, チタン 0.5% 以下及び燐, 硫黄その他微量の不純物を含有する鉄よりなる。

平炉用蓄熱室に関する改良

特公・昭 35—3202 (公告・昭 35—4—7) 出願: 29—2—2, 出願発明: ラッセル・ピヤアス・ヒュウエル

磁気硬化方法

特公・昭 35—3204 (公告・昭 35—4—7) 出願: 33—9—27, 発明者: 図師安雄, 出願: 神戸工業株式会社

被処理鉄鋼部材に直流磁場或は交流磁場を与え, 焼入に伴う歪を除去すると共に硬度を高める。

クロムの電解製錬法

特公・昭 35—3210 (公告・昭 35—4—7) 出願: 33—6—19, 出願発明: 堀居太郎, 前島敬一

第1工程としてクロム酸ソーダ溶液を製造する工程と第2工程として該クロム酸ソーダ溶液を亜硫酸ガスで還元し必要に応じて酸又はアルカリを添加して pH 6～7 に調整して亜硫酸ガスを多量に含む水酸化クロムを製造する工程と, 第3工程として前記水酸化クロムを次工程の陽極廃液と必要に応じて硫酸を添加して中和と還元を同時に行い, 更に陰極廃液を追加して除銅と残留亜硫酸ガスを分解した後, pH 緩衝剤として硫酸, 硼酸等を添加してクロム電解液を製造する工程と, 第4工程として前記電解液を用いて鉛その他の不溶性陽極を陽室内に納め, 陰極室を用い又は用いずして電解して電解クロムを製造する工程の結合よりなる。

フェロクロムを電極として

含ニッケルステンレス鋼を製造する方法

特公・昭 35—3211 (公告・昭 35—4—7) 出願: 33—6—2, 出願発明: 堀居太郎

シリコンクロム或はフェロシリコンとニッケル鉱石に適宜溶剤を加えて電気炉に装入し, フェロクロムの金属電極を用い熔融する事を持徴とするフェロクロムを電極として含ニッケルステンレス鋼を製造する方法

複式製鋼法

特公・昭 35—3212 (公告・昭 35—4—7) 出願: 33—4—17, 発明: 相原満寿美, 出願: 八幡製鉄株式会社

複式製鋼炉において一方の炉では加熱された冷材に溶銑を装入して溶解精練作業を行い, 他方の炉では精練作

業の廃瓦斯を主熱源として装入冷材の加熱作業を平行して行うと共に該両作業を交換して繰返し行うことを特徴とする高温廃瓦斯を利用する複式製鋼法。

球状黒鉛鉄製造用添加剤又は脱酸, 脱硫剤

特公・昭 35—3213 (公告・昭 35—4—7) 出願: 33—5—1, 発明: 松本 弘, 葛西豊治, 出願: 東京化金工業株式会社

重量比にて炭化カルシウム粉末 0.5～5% に, 無水塩化セリウム族又は無水塩化マグネシウム或は両者の混合物 0.1～3% を緊密に混合するか, 又は, 炭化カルシウム粉末 0.2～3%, 無水塩化セリウム族若くは無水塩化マグネシウム, 或は両者の混合物 0.05～3% 及びカルシウムシリコン若くはフェロシリコン又は両者の混合物 0.5～5% を緊密に混合した事の特徴とする。

ニッケルチタン合金

特公・昭 35—3214 (公告・昭 35—4—7) 出願: 33—7—1, 発明: 土井俊雄, 出願: 株式会社日立製作所

ニッケルを主成分とし, これにチタン 2～8% を含有し, なおアルミニウムおよびコバルトの混入はおのの6% 以下, その他微量の不純物の含有を許容する。(高温に於てタンゲステン, モリブデン等より抗張力が優れているため, 例えば電子管, 白熱電灯, 蛍光灯, 水銀灯等の各種線材又は点火栓電極, 化学繊維用ダイス等に好適であると共に又常温に於ては特殊鋼より抗張力が強大であるため, 一例としてマニピュレーターのワイヤー, テープ等に用いて極めて有効である。)

真空鑄造装置

特公・昭 35—3216 (公告・昭 35—4—7) 出願: 33—5—24, 発明: 相楽秀雄, 出願: 三菱造船株式会社

鑄型を収蔵する真空室上に, 外周部を伝熱的に装置本体に連結され且熔湯注入時内周部が熔湯に接するような金属製の熔湯注入口を設けて, 該熔湯注入口を可熔片により気密に閉塞すると共に該熔湯注入口の上位に下端が開いた漏斗状湯溜を連結してなることを特徴とする。

密着性被覆の製法

特公・昭 35—3215 (公告・昭 35—4—7) 出願: 33—4—15, 優先権: 1957—4—16 (米) 発明: グレゴアル・グツワアイト, ジョセフ・アル・スプロール, 出願: 日本カニゼン株式会社