

本邦特殊鋼製造技術の進歩

石原善雄*

PROGRESS OF SPECIAL-STEEL MAKING PROCESS IN JAPAN

Y. Ishihara

Synopsis:

1. Special-Steel Making in Japan

In Japan special steel making was started in 1882 by means of the crucible furnace melting, and since 1914 the electric arc furnace steel-making has been studied. The production of arc-furnace steel increased year by year, and subsequently in 1938 crucible-furnace steel was wholly replaced by electric furnace steel.

In 1931 steel making by means of induction furnace was started.

At first the capacity of the arc furnace was as small as not over 3t. However, towards 1932 it was developed to 5t~10t, and a few 15t and 30t furnaces were erected. About 1937 many furnaces rated 10t~15t were erected. Accordingly the promotion reached to the maximum amount of 2,258,000t, of which the electric furnace steel occupied 75%, in 1944.

After the war the production suddenly decreased to only 80,000t, but during the Korean war it increased to 300,000t.

In 1954, Japan had 142 arc furnaces, whose total capacity was 1,100,000t, and 75 induction furnaces, whose capacity 140,000t.

Owing to the investigation of the Research Institute for Iron, Steel and Other Metals and the 19th Sub-Committee of the Japan Society for the Production of Science, the practice of Special-Steel making of Japan was remarkably improved and steels of good quality are now made by overcoming the bad conditions of raw materials and refractory materials.

2. Development of Electric Furnaces

The range of the transformer capacity was 300~400 KVA/t, but the recent practice tends towards utilizing higher voltage and larger transformer capacity aiming at quick melting.

In order to control electric fluctuation, the "Amplidine" system is in use.

An electric induction stirrer is now studied for stirring the bath in order to obtain both the uniform chemical composition and good quality.

3. Basic Arc Furnace Process (referring constructional steel and case-hardening steel)

(a) Oxidizing Period:

In the early stage until about 1945, active boiling by adding the ore was not in practice. But between 1936 and 1940 some light boiling practice was introduced, and after 1940 the violent boiling was carried out adding ore 20~30kg/t. Since 1951 the oxygen lancing has been applied to the melting resulting in a success to produce low-hydrogen content, good steel and low-carbon stainless steel.

(b) Reducing Period:

In the early stage until about 1935, reducing was controlled only by the carbide slag process. From about 1936 the white slag process was adopted. Since about 1940, the practice has changed to the following:- After refining the oxidizing slags, a few deoxidizing materials such as ferro-silicon, calcium-silicide and aluminium are added in order to force the active deoxidizing reaction, then the slag was controlled to be white one of weak diffusion, thereby to refine the steel.

It is important to lower the content of hydrogen in steel to obtain sound ingots. It should be noted that the quick method of hydrogen analysis was invented by Japan Special Steel Co., Ltd. By this method they control the furnace practice in order to lower the hydrogen content

* 日本特殊鋼株式会社常務取締役製鋼部長 工

under 7cc/100g for medium-and low-carbon or alloy steel and 11cc/100g for 13%Cr stainless steel. They are now obtaining good, sound ingots by the method.

4. Ingot Making

Exothermic hot-topping mixtures are used for the purpose of obtaining larger yield, and recently the electric arc hot-topping process is applied.

The continuous casting process, comprising William's process and Rossi-yunghan's process, is now planned in some works in Japan.

It is important to eliminate the hair cracks or sand marks from steel. As it was found that the process of casting the ingots was partly responsible for this failure, the method of teaming practice is now studied.

5. Heat-Treatment

The isothermal transformation diagrams ("S-Curve") are in use successfully for heat treatment, such as annealing, austemper, martemper, marquench, and isothermal annealing.

For the surface hardening, gas carburization and the high frequency electric induction heat-treatment are now widely used. These methods make it possible for us to produce good uniform products of low cost.

The "sub-zero" cooling is applied for the heat-treatment of bearing lathes; tools, etc. It can obtain the higher hardness, low strain, and durability of the products.

は し が き

本邦の特殊鋼製造法の進歩を述べるに当り、まず特殊鋼製造の変遷および発達を述べ、然る後電気炉製鋼法、造塊法および熱処理法等の進歩について述べる。

I. 本邦特殊鋼製造の変遷及発達

本邦で特殊鋼が創めて製造せられてから、大正の末までを初期、漸次進歩しやや多量生産に移つた時代の昭和初年から昭和12頃迄を第二期、支那事変から多量生産時代の昭和13年から第二次世界大戦終り迄を第三期、戦後を第四期と大別した。

I-1. 初 期

特殊鋼の製造はその起源を1740年英国 Sheffield の近くに住んだ Benjamin Huntsmann が時計のゼンマイ用の鋼を坩堝炉で製造に成功した時からとされている。本邦では明治15年(1882) 東京築地の海軍兵器局にドイツ式坩堝炉が設備せられ、坩堝鋼の製造が創まった。出雲岩見地方産の庵原鉄および玉鋼を原料とし、坩堝は英国の Morgan 坩堝会社製を輸入していた。当時はコークスを用うる地下式炉で後、発生炉ガスを使用する炉に改良された。明治16年には鋸鋼、工具鋼の製造に成功し続いて小口径弾、砲身等が製造せられた。この頃、尾張の木節粘土と飛弾の黒鉛とを配合して、坩堝の製造に成功し、一方炉材の改良、製鋼技術の進歩と相俟つて、漸次高級特殊鋼や大型鋼塊が作られる様になつた。明治22年(1889) 大阪砲兵工廠に坩堝炉、翌年酸性平炉が設けられ、26年に保式速射砲や小口径弾、27年に中口径用徹甲弾が作られ、28年に東京砲兵工廠に

小型酸性平炉が設置せられ、兵器用特殊鋼の製造が漸く進んだ。時恰も日清戦争に当つている。翻つて欧米を見るに、既に特殊鋼の電気炉による製鋼研究が盛んに行われた。明治23年(1890) 仏国の Henry Moison が電気炉を用い合金鉄の製造に成功してから、合金鋼の製造が一層活発になり、種々の鋼種が發明、新製せられた。また1898年仏国の Paul Heroult 博士が現在の Heroult 式電気炉を發明し、明治33年(1900)には工業的電気炉を創作し、電気炉製鋼の工業的の一步を踏み出したのである。明治39年(1906)には米国 Crucible Steel Company of America, Syracus では率先して同博士を招き、単相角型エルー式炉を建設し特殊鋼製造を開始し、爾來日進月歩異常な進歩を示した。明治37年(1904) 日露の風雲急なるに際し軍工廠の生産の補充のため、八幡製鉄所は坩堝炉の建設に着手し、38年に60番坩堝8個装入コークス炉8基、および12個装入ガス炉1基を設けた。その後これ等をシーメンス式ガス炉、坩堝24個装入1基、42個装入炉1基に改造し、月産150tの能力に達し高速度鋼、工具鋼、銃身鋼等の製造を行つた。明治41年に更に1基増設せられた。さて民間においては明治38年米子製鋼所が坩堝炉を設備し、特殊鋼の製造を創めたものを嚆矢とする。明治38年神戸製鋼所、明治40年室蘭の日本製鋼所に酸性炉が設備され、兵器用特殊鋼の製造が始められた。明治41年(1908) 土橋長兵衛氏が松本市在に、初めて電気炉を設け工具鋼、刃物鋼の製造を創めた。明治44年(1911) 安来製鋼所に200kg エルー式電気炉が創設、大正元年海軍工廠で野田博士の指導で各種電気炉について試験が開始せられ、大正3年(1914)、米子製鋼所に、大正4年日本特殊鋼K.

K. に、大正5年熱田電気製鋼所に夫々小型電気炉が設けられ特殊鋼製造研究が始められた。当時日本特殊鋼 K.K. は60番坩堝30個装入シーメンス式坩堝炉2基、つづいて、40個装入の炉1基を増設し、民間特殊鋼製造の主流として活躍した。大正3年第一次世界大戦とともに、本邦の特殊鋼の生産量が增大した。Table 1 に示す如くである。然るに大正9年(1920)大戦後の経済界の大恐慌が来るや、群小鉄鋼会社の休業相つき、また主要製鋼会社も整理的減資等にて、未曾有の不況がきたが、特殊鋼業者に当る風は比較的穏やかであつた。従つて同表に示す如く10年、11年は多少の減少はあるが、坩堝鋼と電気炉鋼とを合すれば、さしたる減少ではない。これは大正9年頃より生産に入つた航空機製造の影響である。大正6年サルムソン発動機の製造が開始せられ、またイスパノシーザー、ローレン等の発動機の製造が逐年発展したのに加え、自動車工業の開始、進展が特殊鋼の増産に拍車をかけたのである。

この頃の特殊鋼製造技術は未だ幼稚であつたが大正6年サルムソン発動機用鋼材が日本特殊鋼 K.K. で製造せられてから、その製造法は著しく進歩した。大正8年本多光太郎博士によつて東北帝国大学に金属材料研究所が創立せられ、金属の基礎的研究が行われ、輝しき幾多の成果をあげて特殊鋼製造方面にも絶大な貢献をした。

大正8、9年頃には既に高速度鋼、工具鋼、構造用鋼等の生産数量は増しかつ品質も大分良くなつた。然し肌焼鋼の如き低炭素鋼の製造は極めて困難であつた。黒鉛坩堝を使用しては加炭の為Cの調節が極めて困難であつたので坩堝の内面に粘土を塗る等の苦心をしてさえ困難した。夫故この種の鋼の製造に適する電気炉の必要を痛感し前述の如く各所で電気炉製鋼の研究が開始せられたのである。大正13年には八幡製鉄所にて電気炉にて珪素鋼の製造が開始せられたが、これが本邦において、珪素鋼板の自給の基礎をなした。

I-2. 第2期

坩堝製鋼が次第に減じ、電気炉製鋼に移行し、多量生産に進む時代で、Table 1 に示す如く大正14年頃から特殊鋼の生産は年2万tに近ずき、引つづき増勢を継続した。国内の重工業即ち自動車、航空機、機械、軸承、電気、造船等の工業が逐年発展し、此の需用に伴い、各社は電気炉の増設によりこれに応えた。昭和2年大同製鋼 K.K. に10t エル-式(当時としては最大)八幡製鉄所6t、昭和3年神戸製鋼6t、八幡製鉄所は更に6t1基増設、昭和7年呉工廠30t(本邦にて最大)、尼崎製鋼所10t、昭和8年住友金属工業 K.K. 15t、日本特殊鋼 K.

K. 15t の如く数と容量の増大が著しい。昭和6年の不況の影響を受けたが7、8年より再び増加の線に乗り、昭和6年までは特殊鋼の製造業者は10社のみであつたが、昭和6年満洲事変に際し、日本火工 K.K. を初め約20社の増加となつて特殊鋼の製造は益々盛んになつた。

I-3. 第3期

昭和12年、中日戦が勃発し、軍需品の製造に拍車がかけられたため、特殊鋼の需用が頗る増加し、Table 1 の如く急激な増産となつた。良品の多量生産の必要に迫られ、學術技術の研究は極めて活発となつた。昭和9年學術振興会第19小委員会が設けられ、俄国一博士の委員長の下に、特殊鋼製造の研究が開始せられた。この研究の成果は直ちに實際作業に應用せられ、特殊鋼製造法の改善に投じた功績は絶大である。この時代に設置された電気炉は前期間中のものよりやや大型の8t~20tで、10t~15tが最も多い。第二次世界大戦中、昭和19年が特殊鋼生産の最高を示しているが、当時の生産は酸性平炉鋼と電気炉鋼とを合せて、2,258,000tで、その内弧光電気炉鋼1,538,000t、誘導電気炉鋼155,000tで電気炉鋼は75%を占めている。如何に電気炉が我が国特殊鋼の生産に重要な役割を持つてゐるかを示している。

この期間の初期には、地上兵器、自動車(昭和14年は30,089台の生産が昭和16年には43,878台の生産に増加した)戦車用鋼材が重点的に生産されたが、中期以後は航空機用鋼材に主力が注がれた。特に鋼種として著しく多量生産に入つたのは、軸承鋼、窒化鋼、珪素鋼、耐熱鋼、高速度鋼等である(Table 2 参照)。また支那事変頃から W, Ni, Co, 等の特殊元素の入手が困難となつてきたので、代用鋼、特に Ni 節約代用鋼の研究に力を注いだ。即ち Si-Mn-Cr, Cr, Cr-Mo, 低 Ni-W 鋼等に次第に転換し、第二次世界大戦に入るや急速に転換した。勿論使用中に種々の困難に遭遇したが、これを克服して大部分の構造用鋼を代替した事は学者、技術者の努力の結果である。Cr, Cr-Mo, 等は J I S 規格に採り入れられ、現在多量に使用されている事は、戦時中の苦心研究の賜である。なおこの戦時中には、Mn 節約熔解法、one slag process, 衣造塊法等が研究せられているが、紹介のみに止める。

I-4. 第4期(終戦より現在に到る)

終戦と共に特殊鋼の需要は激減したのみならず、戦時中の軍の貯蔵材料が所謂特殊物件として、一般市場に流出したため、終戦後の約4年間は新生産は極めて僅少であつた(Table 3 参照)。然るに、昭和25年6月朝鮮事変の勃発に際し、自動車、車輛の龐大な特需の外、機械、

Table 1. Production of special steel in Japan.¹⁾

Year	Crucible Steel		Electric steel ingot (t)	Rolled steel (t)	Import (t)	Export (t)	Remarks Capacity of electric furnace in U.S.A. (t)		
	No of furnace	Ingot (t)							
Meiji	38	1905	...	280					
	40	7	...	91					
	42	9	...	138					
	44	11	1	284					
Taisho	1	1912	...	662					
	2	3	...	538			30,000		
	3	4	...	550					
	4	1915	...	1,746					
	5	6	...	4,946	221	3,137			
	6	7	...	11,476	3,439	7,296	510,000		
	7	8	31	8,830	4,329	8,520			
	8	9	29	6,608	3,670	9,655			
	9	1920	...	1,751	4,233	2,810			
	10	1	51	2,427	5,195	12,567			
	11	2	51	2,902	4,531	5,965			
	12	3	...	1,517	6,292	7,415			
	13	4	20	797	11,985	8,877			
	14	1925	20	1,204	15,496	18,905			
Showa	1	1926	26	2,747	18,159	10,942	...	Max. 25t (excluding 80t of Timken)	
	2	7	26	1,175	26,517	15,929	2,578		—
	3	8	26	1,503	37,746	18,529	2,790		—
	4	9	26	1,778	52,816	18,429	2,457		—
	5	1930	26	1,771	62,140	13,931	2,419		—
	6	1	...	1,536	52,765	13,931	1,965		
	7	2	...	2,296	6,940	27,929	2,396		
	8	3	...	2,191	139,561	49,524	7,053		
	9	4	...	1,120	208,790	57,912	7,074		
	10	1935	...	1,200	241,649	68,832	10,079		
	11	6	...	1,238	316,475	85,339	9,673		
	12	7	...	...	435,444	155,211	21,813		
	13	8	...	...	755,887	257,147	24,662	1,029,000	
	14	9	...	...	888,588	389,035	45,740	209	
	15	1940	...	...	1,083,509	212,377	23,270	184	
	16	1	...	...	1,220,709	219,550	5,553	747	
	17	2	...	...	1,419,616	284,440	202	160	
	18	3	...	...	1,686,512 (719,494)	463,206	515	—	4,629,000
	19	4	...	...	1,852,420 (781,078)	636,867	179	523	
	20	1945	...	...	691,074 (292,843)	255,965	101	142	
	21	6	...	...	390,325 (73,538)	66,859	—	3	
	22	7	...	...	466,906 (63,388)	66,845	—	1	
	23	8	...	...	554,687 (98,341)	85,406	—	—	5,329,000
	24	9	...	...	(608,288) (132,486)	78,686	2	59	
	25	1950	...	...	752,493 (139,384)	80,110	90	1,564	
	26	1	...	...	931,455 (260,163)	158,613	15,888	1,148	
	27	2	...	...	...	225,715	3,576	2,527	
	28	3	...	...	...	305,151	3,570	3,147	

(1) Excludes arsenals. (3) ... Unknown. (4) Electric furnace steel includes common steel
(2) Ingot includes cast steel. — zero. () shows special steel ingots.

Table 2. The production of special steel.²⁾ (t)

Kinds	Year	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938
	Alloy tool steel		487	497	505	732	1,120	1,180	1,439	7,824
High speed steel		233	296	346	562	706	1,315	1,865	2,062
Ball bearing steel		214	257	358	501	758	820	972	1,514
Heat resisting steel		67	80	94	164	169	219	362	681
Nitriding steel		15	30	48	602	622	765	2,197	4,081
Stainless steel		324	661	748	838	984	1,860	3,882	4,512
Other alloy steels		12,762	19,733	26,696	37,203	8,737	47,178	62,107	114,059
Alloy steels, total		14,102	21,554	28,795	40,602	13,156	53,337	72,824	134,737
Carbon steel		8,800	25,676	42,681	47,895	42,673	46,638	43,378	60,743
Total		22,902	47,220	71,476	88,498	85,829	99,975	116,202	185,480

Kinds	Year	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945
	Alloy tool steel		12,574	19,965	12,315	19,076	24,871	21,737	4,491
High speed steel		2,930	2,723	1,715	1,737	1,693	1,046	153
Ball bearing steel		3,036	6,486	14,498	21,644	29,254	29,021	6,018
Heat resisting steel		939	631	1,315	2,070	3,107	4,033	899
Nitriding steel		7,247	8,675	11,154	14,829	30,144	37,419	7,124
Stainless steel		5,556	6,845	8,453	9,898	13,293	15,781	2,874
Other alloy steels		127,040	166,572	212,473	282,910	370,702	399,823	80,297
Alloy steels, total		159,322	211,897	261,923	352,164	473,064	508,870	101,856
Carbon steel		96,313	108,149	102,051	140,209	255,842	339,509	79,308
Total		255,635	320,046	363,974	492,373	728,906	848,379	188,164

Table 3. The rolled special steels after the 2nd World War.³⁾ (t)

Kinds	Year	1949	1950	1951	1952	1953
	Tool steel		16,305	15,655	25,869	28,351	35,678
Construction steel		23,628	25,348	74,113	114,116	173,932
Steel for special use		38,753	39,107	58,601	83,248	95,541
Total		78,686	80,110	158,613	225,715	305,151

Table 4. Recent status of the electric furnaces. (1954)⁴⁾

Kinds	Rated capacity t/Year					Number of furnaces				
	On work	Stopped	On repair	On erection	Total	On work	Stopped	On repair	On erection	Total
	Arc furnace	1,106,380	102,480	172,900	13,300	1,395,060	142	20	25	3	190
Induction furnace	143,610	10,690	8,950	—	171,250	75	9	6	—	90

化学、造船等の各種工業の活発化と、前記の特殊物件の減少と高度の優良品が要求せられたため、新製品の需要が増大して、昭和26年より生産が急増した (Table 3 参照)。自動車用肌焼鋼、強靱鋼の生産が主である。ボロン鋼の研究が進められまた超耐熱鋼の研究試作には戦後特に力を注がれている。今や独、仏、英、米、瑞等から優秀な特殊鋼特に高速度鋼、工具鋼の輸入が活発になってきているからこれ等と輸贏を争わねばならない。本邦特

殊鋼製造者は学術、技術の向上および合理化による価格の低減、品質の改善に凡ゆる努力を傾けねばならぬ時代である。なお昭和29年の本邦の主として特殊鋼製造用に使用せらるる電気炉の状況は Table 4 に示される。

II. 電気炉の進歩

前章にて電気炉の容量の増加と生産の推移を述べたが茲には電気炉々体関係について述べる。昭和15年には

Table 5. Electric furnace capacity and transformer in Japan.⁵⁾

Furnace Capacity (t)	Transformer capacity		2ry voltage	
	(KVA/t)	(KVA)	(max. V)	(min. V)
3	400	1,200	160	69
6	400	2,400	170	75
8	350	2,800	180	81
10	350	3,500	180	81
15	300	4,500	180	81
20	300	6,000	200	92
25	300	7,500	200	92
30	300	9,000	220	104
40	300	12,000	240	104

Table 6. Standard furnace capacity and transformer capacity of Lectromelt furnace.

Capacity (t)	Transformer (KVA)	Max 2ry Voltage (V)
1	1,000	210
2	1,500	215
3	2,000	220
5	3,125	230
8	3,750	230
10	5,000	240
15	6,250	260
20	7,500	270
30	9,375	285
50	15,000	330
75	20,000	385
100	30,000	460

Table 7. Furnace capacity and transformer capacity in U. S. A.

Capacity (t)	Transformer (KVA)	Capacity (t)	Transformer (KVA)
6	2,700	60	12,500~20,000
15	4,500~10,000	70	15,000~20,000
35	10,000~20,000		

Table 5 の如きを標準型として、一般に使用せられた。即ち t 当り KVA は 300~400 であり電圧も最高240である。

大容量の変圧器を用い、高電圧を以て、大電力を投入する事は溶解時間の短縮、ひいては電力消費原単位の低下等有利である。仏国、英国では夙に採用している。即ち 1915 年 (大正 3 年) 頃は 3t~10t に 750KVA 程度の変圧器を用いていたが 1929 年 (昭和 4 年) には 3t 炉でさえ 3125KVA を有するものが現われ、10t 炉には 5000~7500KVA を使用している。大電力投入により原単位の低下或いは生産量の増加は Fig. 1 で示される。

近年本邦で製造せられるレクトロメルト式の電気炉の

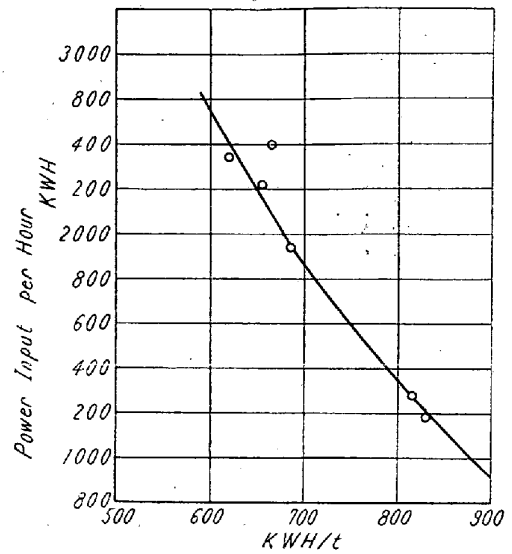


Fig. 1-a. Relation of power input to power consumption per ton.

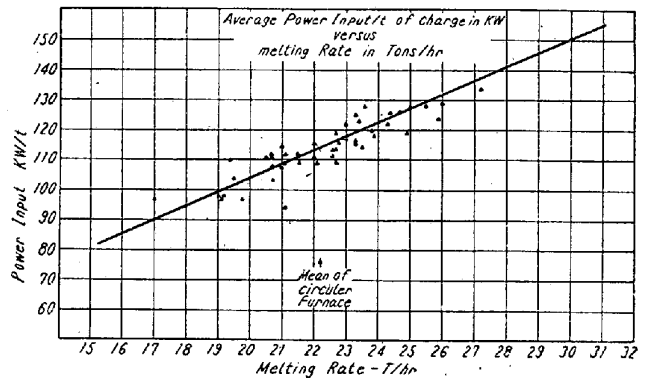


Fig. 1-b. Relation of power input to melting rate (James K. Preston)

標準炉容量と電気設備は Table 6 の通りである。参考のため米国の例を Table 7 に掲げる。本邦では昭和 27 年から数社で 5t~8t 炉を新設し目下生産に入っている。その成績の一例は Table 8 の様に発表せられている。

然し本邦の如き原料および耐火物等の低品質の条件下にあつて、特殊鋼の製造に対し、10t 炉以下の小炉に、余り高い電圧を以て迅速溶解をする事には、脱磷が果してよく行われるか、炉の寿命は如何等、相等検討の余地がある。むしろ電圧はエレクトロメルトより低くとも、従来より高圧とし、入力をできるだけ増大して、迅速溶解の目的を達する事を考慮する方が、脱磷、炉の浸蝕等に難が無く、採るべき方法ではないか。

II-2. 炉頂装入式炉

昭和 10 年頃から論議され昭和 12 年頃より、採用されてきたが、本邦の屑鉄の形状、品質に影響せられ期待された程の進展を見なかつた。Table 9 で示される如く全電気炉中、トップチャージは約 12% を占め特殊鋼用

Table 8. Comparison of Lectromelt furnaces to common type furnaces.

Item	Kind of furnace	Old type	New type
Transformer (KVA)		2,500~3,000	3,750
2ry Voltage (V max)		180	230
No of taps		6	12
Amplidine		non	use
Charging (h—mn)		45	5
Oxydizing period (h—mn)		2~0	1~10
Slag off & refining (h—mn)		2~10	1~50
Repair (h—mn)		10	10
Total time (h—mn)		5~5	3~15
KWH/t		750	600
Electrode kg/t		9	6
Labour (man)		8	3

Table 9. The number of top-charge & side-charge furnaces in Japan (1954).⁶⁾

Type of furnace	For common steel	For special steel	Total
Top-charge	35	22	57
Side-charge	257	168	425
Total	292	190	482

は僅かに4.6%である。然し最近は再び此の型式を採用しようとする傾向が強くなつてきている。

II—3 電極自動調整装置

終戦後は自動電流調製装置として、アンプリダイン方式を採用する所が多くなつた。平衡継電器では、電弧の変動に対して、応動する時間は、どうしても0.5秒以上を要するのに対し、アンプリダイン発電機を用いれば、5サイクル以内で済み、操業を容易ならしめるので、効果を挙げている。

II—4 誘導攪拌装置 (Induction Stirrer)

将来電気炉の改良の一つとして、あげられているものに誘導攪拌装置がある。これは ASEA 社の Ludwig Dreyfus 教授の10年間に亘る苦心研究の結果、誘導電動機の原理を応用した攪拌装置である。これを1948年 Sweden の Hagfors 社の Uddeholm 工場の15t電気炉に取り付けて、鋼浴を炉床に並行な方向に動かそうと試みたのである。1952年に米国の Timken 社で20呎の電気炉(100t容量)に取り付け相当の好成績を得ていると発表されたため注目の的となつている。本邦には未だ取り付けた会社工場はないが、数社は検討中であるから、近く実現される事と思う。

II—5 高周波誘導電気炉

1916年(大正5年) E. F. Northrup がこの炉を創めて製造し本邦では昭和6年初めて日本特殊鋼が500kg

炉を輸入した。その後年々増加し支那事変頃より急速に増加し、その数においては世界でも一、二を争う程である。工具鋼、高速度鋼或いは高合金鋼、耐熱鋼の溶解に用いられている。昭和29年度には発電機157kWより1225kW 各種合計67基、炉数164基あり、その年間製鋼能力は77,520tである。高周波誘導電気炉としては着しい進歩は現われていない、ただ Sweden には既に10tの炉が操業されている事を紹介しておく。

III. 塩基性電気炉による製鋼法

III—1 溶解法(構造用鋼と肌焼鋼について)

塩基性電気炉による溶解法の進歩を大体4期に分けて観察ができる。昭和10年頃まで第1期、昭和13年頃迄を第2期、昭和14~5年頃から25年迄第3期、昭和26年頃以後第4期とした。第1期は電気炉製鋼の初期時代で、電気炉自体も発達途上にあり、溶解法としては、酸化期は弱酸化であつて、酸化沸騰は殆んど行わず、炉況の如何によつて鉄鉱石またはスケールを若干加えて、脱炭、および脱磷を助け、酸化末期の炭素量は構造用鋼でさえ0.05~0.10%程度の低炭素に低下した。従つて、酸化期は相当長時間を要した。還元期は強拡散脱酸法を行つた。主として炭粉を用いて、スラグの調製、脱酸を行つた。所謂カーバイド法が専ら採用された。この方法では、吸熱反応が行われるため、還元期の時間が延長され、温度も低下し勝で、その結果ガスの吸収の増加や、非金属介在物の除去が不充分で、清浄な鎮静鋼を得るに困難があつた。

昭和10年から13年頃までの第2期時代は追々酸化沸騰方式が採用せられた時代である。即ち熔落後、鉄鉱石を適当に使用し(10kg~20kg/t)脱炭速度は0.002~0.004%/mn 程度であつた。酸化期の過酸化を注意し Mn の量が0.2%以下にならぬ様調整し、最低炭素量を0.1~0.15%に止め、スラグの塩基度は2~3とし、除滓を2~3回行い、脱磷を確実にする様になつた。還元期の初期は、炭素粉を用いカーバイド法により、次第に白滓法に移行し還元期を仕上げる法を採用した。然し一部には此の頃から、除滓後直ちに少量の脱酸剤(Al, Ferro-silicon または Calcium-silicide)を使用し強制脱酸法を採用し初めた所もあつた。この時代から白点或いは非金属介在物の研究が盛んになり、これに伴い溶解法の研究も発展した。

昭和14~15年からは品質の改善に特に努力が払われた。酸化期は強酸化を採用し、鉄石を20~30kg/t程度使用して、脱酸速度は0.004~0.005%/mn の如く激し

い沸騰を行わしめ、スラグの塩基度を2.5~3に調整し酸化精煉の効果を挙げる様になった。還元期は一般にその初期に Al, Ferro Silicon または Calcium Silicide を単独或いは併用して強制脱酸を行い、スラグの塩基度は2.5~3.0, FeO を1%以下を目標とし、白滓を以て仕上げる方法を採用した。

昭和26年以後の第4期は酸素製鋼法が用いられてきた。昭和21年頃から平炉に試用されて24年頃から本格的に用いられたが電気炉操業には昭和26年からである。酸素の吹き込みの量にもよるが0.4m³/mn/t前後の吹き込みで、吹き込み中の脱炭速度は0.025%C/mnであり吹き込み終了10分迄は減少し最高0.007%C/mn程度になり10分過ぎると0.001%C/mnに低下し概ね安定する事は、(酸化期の平均脱炭速度は0.008%C/mn) 鉍石法に優る所以である。標準作業は流量4m³ 吹き込み時間は5分前後、吹き込み量は2~5.0m³/tで5m³/tを超えぬ様にする。スラグの塩基度は鉍石法よりやや高く調整する。斯様に脱炭速度が速かであるから、酸化期の時間を短縮する事ができ、また、精煉効果を向上し、脱水素も効果的に行われ、特に不銹鋼の溶製には、Crの歩留が良好で、不銹鋼の還元スラックアップの利用率を高め、かつ低炭素不銹鋼の製造を容易ならしめる等の効果が著しい。還元期については特別に変化はない。

溶解法の進歩に最も密接な関係のある化学分析、ガス分析、高温度測定、分光分析等について一言述べる。

昭和9年⁷⁾学振第19小委員会が発足し、特殊鋼の欠点の原因探求および防止法の研究が初められ、特に白点および非金属介在物について、その成因および防止法或いは除去法が研究された。白点の生ずる原因については、鋼の偏析、加熱冷却する際の熱歪、変態時の歪力、水素の害等が認められ、実際作業において冷却法の考案がなされたが、根本的には溶解法の改善研究が必要である。そこで、第19小委員会を中心として、所謂砂疵の主因である非金属介在物、酸素、水素等の溶鋼中の挙動、変化、生成過程の探究が行われた。これに併行して、非金属介在物の分析法、ガス分析法、高温度測定法、検査法(マクロ、砂疵、結晶粒度等)の研究と規準化が行われた。その結果我国の水素分析技術は諸外国に優るといつても過言ではないであろう。従つて我国では溶鋼中の水素の挙動の研究は夙くから深く研究せられつつあつて、その成果を挙げている。即ち、数年前より溶鋼中の水素量が低合金鋼の場合7cc/100g以上、13%Cr不銹鋼で11cc/100g以上では鎮静し難い事が認識せられた。最近において英国の Dr. Barraclough が Table 10

Table 10. Approximate hydrogen content in liquid steel expected to produce porosity and wilderness in fully killed basic electric steel. (Barraclough)

Type of steel	Hydrogen content cc/100g		
	Sound ingot	Porous ingot	Wild ingot
C-steel	< 6.66	6.66~8.33	> 8.33
Low-alloy steel	< 7.22	7.22~8.9	> 8.9
Cr-stainless-steel	<10.0	10.0~13.2	>13.2
Austenite-stainless-steel	<13.2	13.2~13.88	>13.88

Calculated 1PPM = 1.11cc/100g

の様に表示したが、よく一致している。水素は還元期に入つてから、空气中、石灰中、或いは差物の包含する水素から吸収して上昇する事が明らかになつたから、できる限り水分の少ない石灰を使用しできる限り水分の浸入を防ぐ様操作し、なお日本特殊鋼式⁸⁾迅速水素分析法により溶鋼中の水素を分析し適切な処置をなし、水素含有量を前記の量を越えない様調節する事により、従来より良鋼塊の生産が遙かに高率になつた事が認められる。

溶鋼温度の測定は、終戦後は殆んど肉眼鑑定と、光高温計に頼つていたので不正確な事は免れ得なかつた。最近 Immersion Pyrometer により直接に測定ができ、かつ遙かに正確な温度を知る事ができ、溶鋼の温度の調節、従つて精煉の調節が相当適切に行われる様になつた。これにより鋼の品質の管理のみならず、更に製鋼法の研究がより正しく、より容易にできる様になつた事は幸である。

一方価格の低下に迫られ、迅速溶解操業が必要になると、高合金鋼や不銹鋼の需用が次第に増加するに従い、速かに炉中の分析を行い、速かに成分の調制を行わねばならない。これには現在の迅速化学分析では満足し難いので、分光分析(例えば Quantometer または Direct Reading Spectrometer)が実用されてきた。我が国には4台輸入せられ、目下研究時代であるが、近く国産品も登場し実用化が実現される機運になつている。

III-2 造塊法

I-2-1 押湯保温: 押湯に保温を施し、押湯の効果をあげ成品の歩留を向上させる策として昭和10年頃から種々の保温剤が研究され使用された。Table 11 のものは30種程の中の代表的のものである。テルミット反応系のもので必ずしも良くなく Ca-Si 系保温剤のものが比較的効果良好であるので、最近では Calcium-silicide, スケール 50:50 位のもので一般に使用せられている。

Table 11. Hot-topping exothermic mixture⁹⁾

	CaSi	MnO ₂	Scale	KNO ₃	Carbon powder	Mn-ore	Fluor-spar	Fe-Si	Al	NaNO ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO
1.	41	20	30	9									
2	41	20	30							9			
3	55		35							10			
4	30~40		50~70	8									
5	35	20	27	6	10								
6	25		50		10		5	5	5				
7	30		50		5	10	5						
8	45		45			10							
9	47.5		47.5			5							
10	50		40	10									
11	40		50	10									
12	55		40	5									
13	50		50										
14	13		68			1.5			17.5				
15	10.5		54.5			1			14		10	5	5

表中 14 と 15 は良好であるとの報告がある。

Ⅱ-2-2 電弧押湯加熱法: 昭和 10 年頃大同製鋼で試験せられた以後は余り普及しなかつたが, Kellog の法が米国其他で採用せられ, 好成績をあげているのに刺激せられ, 本邦でも昭和 26 年頃から数社で各自考案の自動式或いは手動式電弧加熱法を行つて成績をあげている。住友金属工業 K. K. は Kellog 法を設備した。これにより鋼塊歩留は 5~10% 増大していると報ぜられている。

Ⅱ-2-3 連続铸造法: Williams 法と Yunghan's 法とがあるが, 1948 年 4 月米国の Allegheny Ludlum 製鋼会社では Rossi-Yunghan's 法を, 1950 年には西独の Huckingen にある Mannesmann 製鋼会社では Yunghan's 法を, 1948 年米国の Babcocks & Willcox Tube Co で Williams 法の連続铸造設備を設置して, 工業的試験が開始せられ, 夫々成果を得つつある。1954 年英国 Scheffield の U. S. Steel Co では Rossi-Yunghan's の機械を据え付けて, 特殊鋼の製造に着手していると伝えられ, また Canada の Atlas 製鋼会社では Rossi-Yunghan's 式の機械が近く完成し, 本格的に工具鋼, 高速度鋼, 不銹鋼等の合金鋼の生産をする計画である。本邦でも住友金属工業 K. K. が Continuous-Metal Co. と技術提携し, Rossi-Yunghan's 機械の設備中で本年 4 月頃完成の予定との事である。本法により高級合金鋼の良鋼塊が容易にかつ連続的に製造し得るならば, 巨額の資本を投ぜねばならない分塊ロール機の設備を必要とせず, また表面の処理も殆んど必要が無くなり, 高い歩留等, 極めて多大の利益をもたらす事になる画期的の製造法である。本邦では有力な製鋼会社 2~3 が此の設備に大いなる関心を有し, 研究中である。

Ⅱ-2-4 砂疵防止対策: 鋼材を機械加工中現われてくる砂疵は致命的であつて, これが防止は数年来, 学者,

技術者の最も苦心研究的となつている。昭和 24 年 7 月から日本鉄鋼協会の特殊鋼研究部会で, 肌焼鋼の砂疵防止を主眼としその製造の研究を行い, 溶解法の作業標準を決定し, これによつて熔製した熔鋼中には殆んど砂疵の原因となるものが発見せられないにも不拘製造せられた鋼材に砂疵を発見する事往々ある点より, 出鋼後の諸因子が砂疵の発生に, 密接な関係がある事が認められた。そして, 従来取鍋中の脱酸生成物説, 取鍋煉瓦溶損説, 鋼塊脱酸生成物説等があり, 勿論これ等も原因であるが, 注型中接触する空気による酸化等更に探究すべき重要な因子が存在する事を認め, 今後この方面の研究がなされるべきであるとの結論を得た。爾来この研究が引続き各所で行われている現状で近い将来に解決の途が開かれるであろう。

IV. 特殊鋼の熱処理法の進歩

近年における熱処理法の進歩の主なるものとして S-曲線の応用による処理法, 表面処理法としてのガス滲炭法と高周波焼入法および Sub-Zero 処理等があげられる。

IV-1 S-曲線とその応用

1930 年 E. S. Davenport および E. C. Bain により, 初めて鋼の恒温変態の研究が発表されてから, 我が国においても各種特殊鋼の恒温変態の経過の研究が行われ, これを線図に表わし, 等温変態図, 所謂 S-曲線が沢山提出された。

従来の熱処理は高温から常温まで冷却してしまう連続冷却方法であつて, その冷却速度により, 焼鈍ともなり, 焼入ともなつたのである。即ち連続冷却によつて, 変態を起させる処理であつた。然るに等温変態が研究せられてからは, これを応用する下記の如き処理が夫々の

目的に応じて行われている。

- (1) 恒温変態焼鈍 (Isothermal annealing)
- (2) 恒温変態焼入 (Isothermal hardening)
 - (イ) オーステンパー (Austemper)
 - (ロ) マルテンパー (Martemper)
 - (ハ) マルクエンチ (Marquench)
- (3) 恒温変態焼戻 (Isothermal tempering)

この恒温変態処理によつて、連続変態処理によつては得られない様な熱処理時間の短縮、生成物の強靱性、焼割防止、炉の利用回転率の向上、等の利益が得られるので近年応用範囲が拡大している。

IV-2 ガス滲炭法

小型部品の多量生産に適し、滲炭より焼入まで一連の流れ作業が可能である。即ち (1) 連続作業可能、(2) 自動焼入可能、(3) 滲炭層のC%を瓦斯の組成により自由に調整ができる、(4) 均一滲炭が出来る、(5) 滲炭層の厚さの調整が容易である、(6) 滲炭時間の短縮ができる、(7) 作業環境が甚しく改善され人件費が節約される、(8) 運転費が安くなる、(9) 良質の製品が得られる等の利点あげられる。小さい歯車、軸承等の滲炭には特に適当するので、この方面の用途が拡大された。原料ガスには天然ガス、水性ガス、プロパン (C₃H₈)、またはブタン (C₄H₁₀) 等が用いられ、稀釈ガスまたはキャリアーガスと称するガスには空気と原料ガスの混合を木炭またはNi その他の触媒上で反応させて、高炭素鋼に対して略々中性または弱滲炭性になる如く調整したガスを用いる。次の如き所謂“20~40”型のガスが標準とされている。

CO	H ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	H ₂ O
% 10/20	35/55	14/45	0.5/1.5	以下	以下

最新式の連続ガス滲炭炉も本邦で製作せられる様になったので安価に入手できるので益々利用が広まっている。

IV-3 高周波誘導焼入法

本邦では、昭和13年頃、川崎航空機 K.K. 明石工場、B. M. W. 発動機の曲軸のピン部の表面焼入に、Tocco 法を使用し初めたのが嚆矢である。数年前からピストンロッド、クラクピン、軸の表面、歯車の歯、軌条等の表面焼入に使用せられ、急速に進歩している。本法の特徴は (1) 焼入費が低廉、(2) 短時間加熱であるから脱炭がなく、硬化表面の酸化が極めて少く、従つて機械加工—熱処理—最終仕上—焼入の工程で硬化後の研磨作業が省ける、(3) ずぶ焼でないから歪が少ない、(4) 直接加熱故、熱効率がよい、(5) 流れ作業が極めて有効、

(6) 滲炭防止不要、(7) 表面硬化が高い、(5) 材質は0.45% C、または低合金鋼でよい等である。本法は表面硬化層の深さに応じて電流の周波数を3,000~10,000間で適当に選択できる。近年は本邦でも水銀弧光発振式、空気火花発振式、真空管発振式等種々の型式の優秀な高周波発生装置が外国品に匹敵し廉価に入手できるようになったので、その利用範囲が急速に増大しつつある。電源と周波数と大体の価格を参考のためTable 12に掲げる。

Table 12. High frequency electric source, cycle, capacity & approximate price.

Electric source	Cycle	Capacity kW	Price \$/kW
Motor generator	500~10,000	100~1,000	230~100
Spark gap type converter	10~200kC	20~50	270~180
Vacuum tube oscillators type	200~500kC	2~200	600~350
	1 M.C up	0.2~10	1,000~500

* 20~40M.C.

IV-4 Sub-zero-cooling (深冷処理)

焼入鋼を更に0°C以下の低温に冷却して残留オーステナイトの減少をはかる処理で、その特徴は、(1) 焼入後Sub-zero 処理を行い硬度の上昇、硬度分布の均一化が得られる、(2) 焼入後の鋼の内部応力の減少、靱性の増大等である。応用範囲は高速度鋼 (ドリル・ハックソー、タップ、ホブ、ブローチ等) 高炭素Cr鋼製軸承、滲炭歯車、磁石鋼、冷し嵌め等で、近年その利用が盛んである。高速度鋼の例としてS. M. Depoy¹¹⁾は各種の高速度鋼のバイトに本処理を施したためその寿命が41%も増したと発表している。

文 献

- 1) 鉄鋼統制会及鉄鋼連盟統計表
- 2) 鉄鋼統制会統計表
- 3) 日本の鉄鋼統計 昭29 (1954) p. 52
- 4) 6) 鉄鋼生産設備能力調、鉄鋼連盟、昭29年度 (1954)
- 5) 日本鉄鋼協会電気製鋼研究会報告Ⅱ昭15 (1940) 10
- 7) 日本学術振興会第19小委員会報告I—Ⅷ
- 8) 鉄と鋼, 38 (1952) 12, p. 42.
Proceeding of the 1st World Metallurgical Congress, 1951, A.S.M. 1952 p. 247
- 9) 鉄と鋼, 40 (1954) 4 p. 20
- 10) 同上, 38 (1952) 12 p. 71
- 11) Trans. ASME 66 (1944) p. 45