

となり α_1 と 0 との距離を x_1 とすれば

$$x_1 = 1.69 / \sin \theta_1 = 270.4$$

従つて α''_1 の場合のモーメントの半径 R (m) は

$$R = x_1 \sin \theta = 0.203$$

この場合のモーメント M kg·m は

$$M = WR = 18\,0734.4 \times 0.203 = 3\,6689.032$$

傾動速度を $45^\circ/\text{mn}$ とし、これを毎秒回轉數を N で示せば

$$N = (45^\circ/60) \div 360^\circ = 1/480$$

従つて所要理論馬力 P (HP) は

$$P = 2\pi MN = 2\pi \cdot 3\,6689.032 / (480 \cdot 75) = 6.41$$

傾動機構の機械効率 60% 安全率 4 とすれば、所要馬力は

$$6.41 \times 4 / 0.6 = 42.733 \text{HP} \approx 30 \text{kW}$$

即ち電動機の容量を 30kW と決定する。

IV 總 括

製鋼用弧光爐の設計に關し、筆者が今迄に理論と實地經驗兩方面から検討して得た標準數値を述べ、その間改良を加へた項目を紹介した。かくして現在迄の設計製作に係る製鋼用弧光爐は、第5表 1~10 に示す如くである。これ等實際的數値が斯界に幾分たりとも貢獻する處あらば、筆者の欣快これに過ぐるものは無い。

終りに臨み本論文發表の自由を許されたる大同製鋼株式會社々長下出義雄氏に謝意を表し、尙研究に際し終始御鞭撻、御助言、或は御助力賜りたる、副社長川崎舍恒三博士、技師錦織清治博士、清水定吉博士、野田浩氏、楠正雄氏、加藤正治氏他従業員に對し厚く御禮申上ぐる次第なり。

製鋼用弧光爐の電氣的特性に就て

林 達 夫*

ELECTRICAL FEATURES OF THE ARC FURNACE FOR STEEL MANUFACTURE

Tatuo Hayasi

SYNOPSIS:—Efficiency of the arc furnace for steel manufacture depends remarkably on the electrical features. The author designed and manufactured a furnace which is considered best in efficiency for respective capacities and announced the electrical features with numerical figures and diagrams.

I 緒 言

製鋼用弧光爐の諸特性中電氣的特性は最も基礎的な問題であるが、冶金的、機械的、熱的條件と密接に關聯し、爐の構成要素の物理的、化學的性質（例へば電極の酸化消耗度、耐火物の物理化學的性質等）に支配される事が多い。従つて電氣的特性のみを満足する如く爐を設計する事は出來ないが、電氣的特性を明かにし、他の條件と抵觸せぬ範圍内で最適條件に進める事が、實際設計上肝要である。電氣的特性の主なるものは、製鋼用弧光爐の心臓部とも謂ふべき電弧特性並にこれと製鋼との物理的、化學的關係である。この關係、條件を巧みに活用すると否とは、爐の性能上に大なる優劣を生ずる。従つて回路の電氣的特性は、高温度の大電流電弧を爐外より量的に調節乃至測定する上に於ても、鎔解に適當なる爐電壓その他の條件を選定する上

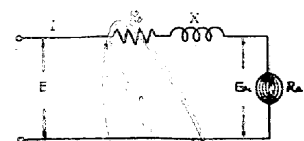
に於ても、亦大電流導體の經濟的設計の點からも、必要缺く可からざる問題である。筆者は製鋼用弧光爐を設計するに當り、電氣的特性の實際的數値を検討しつゝ、爐全般に就ての主要事項の一規準を作成した。その全般は既に報告した通りであるが、** ここには、その内の電氣的特性の標準に就て實際的數値を報告する。

II 製鋼用弧光爐の電氣的特性の諸關係

今電氣的特性を吟味する爲、製鋼用弧光爐回路を第1圖の如き等價回路に置換へて考へる。圖に於て

第 1 圖

製鋼用弧光爐の等價回路



E · 電源電壓（二次無負荷電壓）

* 朝鮮製鐵平南工場

** 林達夫；前掲論說

E_a · 電弧電壓

R_a · 電弧抵抗 (可變抵抗負荷)

R_b · 回路固有抵抗

X · 回路固有リアクタンス

とする。但し、三相爐の各相星形接続に換算した値をとる。 R_b, X には爐母線、電極等を含む事は勿論、變壓器、リアクトル等總ての回路要素を二次側に換算した値全部を包括せしめる。かくすれば、簡単な關係により次の如き諸公式が得られる、

I を二次電流即ち電弧電流とすれば、力率 $\cos\theta$ は、

$$\cos\theta = \sqrt{1 - (IX/E)^2}$$

従つて $\sin\theta = IX/E$ 或は

$$I = (E/X)\sin\theta$$

各相の電弧を完全に短絡した場合の短絡電流を I_s 、その場合の力率即ち完全短絡力率を $\cos\theta_s$ とすれば、

$$I_s = (E/X)\sin\theta_s$$

$$I = I_s \sin\theta / \sin\theta_s$$

リアクタンスによる電壓降下は、 $E\sin\theta$ で、抵抗による電壓降下 IR_b は次の如く表される。

$$IR_b = E\sin\theta \cdot \cot\theta_s$$

次に電弧電壓 E_a は

$$\begin{aligned} E_a &= IR_a = \sqrt{E^2 - (IX)^2} - IR_b \\ &= E(\cos\theta - \sin\theta \cdot \cot\theta_s) \\ &= E\sin(\theta_s - \theta) / \sin\theta_s \end{aligned}$$

又この平衡三相回路に供給される全電力、即ち所要電力を P とすれば、

$$P = 3EI\cos\theta = 3(E^2/X)\sin\theta \cdot \cos\theta$$

上式中 $\sin\theta \cdot \cos\theta$ は $\theta = 0, \theta = \pi/2$ のとき 0 となり、 $\theta = \pi/4$ のとき最大値を有する。即ち P は電流位相角 θ が $\pi/4$ 迄は θ と共に増加し、 $\theta = \pi/4$ にて最大値に達し、 θ が $\pi/4$ 以上増加すれば減少する。この最大所要電力に於ては $\cos\theta = \sin\theta = 1/\sqrt{2}$ で、これに相當する電流を I_{Pm} とすれば、

$$I_{Pm} = 1/\sqrt{2}(E/X)$$

最大所要電力 P_m は

$$P_m = 3/2 \cdot (E^2/X)$$

次に回路抵抗 R_b による損失電力を L とすれば

$$\begin{aligned} L &= 3I^2R_b = 3EI\sin\theta \cdot \cot\theta_s \\ &= 3(E^2/P)\sin^2\theta \cot\theta_s \end{aligned}$$

電弧にて熱に變換される電力即ち電弧電力を Q とすれば

$$\begin{aligned} Q &= P - L = 3EI(\cos\theta - \sin\theta \cdot \cot\theta_s) \\ &= 3(E^2/X)\{\sin\theta \cdot \sin(\theta_s - \theta) / \sin\theta_s\} \end{aligned}$$

$\theta_s < \pi/2$ で、 Q の値は $\theta = 0, \theta = \theta_s$ のとき 0 となり、 $\theta = \theta_s/2$ のとき最大値となる。今 $\theta = \theta_s/2$ に於ける最大電弧電力 Q_m とすれば

$$\begin{aligned} Q_m &= P_m(1 - \cos\theta_s) / \sin\theta_s \\ &= 3/2 \cdot (E^2/X)\tan(\theta_s/2) \end{aligned}$$

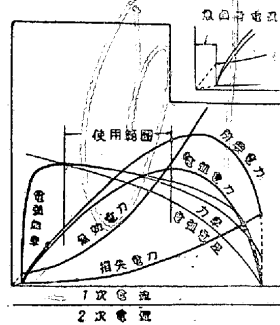
Q_m に相當する電流 I_{Qm} は

$$I_{Qm} = (E/X)\sin(\theta_s/2)$$

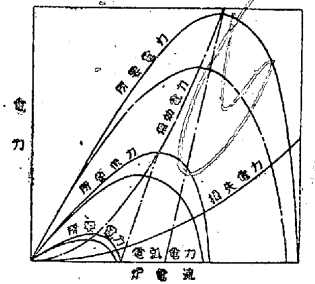
電弧熱への轉換に就ては、 P は入力、 Q は出力に相當するから Q/P は電弧能率と稱すべき値であつて、これを η とすれば、

$$\eta = 1 - \tan\theta \cdot \cot\theta_s$$

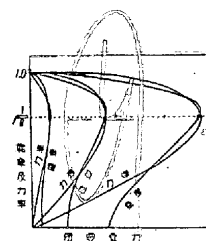
以上の諸關係より、製鋼用三相平衡弧光爐の電源電壓 E 回路固有の抵抗及びリアクタンス R_b, X がそれぞれ與へられるならば、操業に密接なる關係のある各種電氣的數値が得られる。これ等の一般的特性曲線を示せば、第2圖の



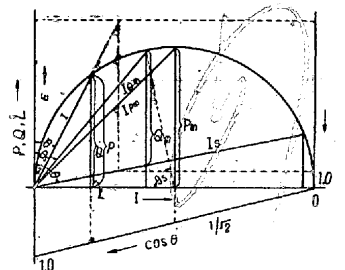
第2圖 製鋼用弧光爐の電氣的一般特性 (勵磁電流を考慮せる場合)



第3圖 電壓變更による電力の特性 (3種類の電壓に對する例)



第4圖 電壓變更による能率及力率の特性 (3種類の電壓に對する例)



第5圖 製鋼用弧光爐圓線圖

如くである。第3圖、第4圖は電壓を變更したる場合の電力能率、力率等の關係を示す。

R_b, X の計算は一般に精確なる算式を以てこれを表す事は至難であるため、近似式を使用する。又變壓器の勵磁電流の影響及び回路の電氣容量の影響も無視したが、弧光爐の短絡試験の結果と、近似式による計算値とを比較して、これ等の影響は、實用上無視して差支へない事を確めた。尙

不平衡の場合乃至特殊構造のものでは、主として短絡試験による實測値に據る事とした。

實際的計算に於ては上記諸關係式により、第5圖の爐き圓線圖により簡便に特性曲線を求める事が出来る。又諸關係式は、何れも三角函數より成る因數で表示されるので

$$\sin\theta = \text{電流係數}$$

$$\sin\theta/\sin\theta_s = \text{短絡比率}$$

$$\sin(\theta_s - \theta)/\sin\theta_s = \text{電壓係數}$$

$$\sin\theta \cdot \cos\theta = \text{所要電力係數}$$

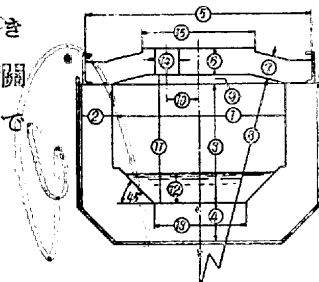
$$\sin^2\theta \cdot \cot\theta_s = \text{損失電力係數}$$

$$\sin\theta \cdot \sin(\theta_s - \theta)/\sin\theta_s = \text{電弧電力係數}$$

$$1 - \tan\theta \cdot \cot\theta_s = \text{能率}$$

とすれば、これ等の係數及比率は何れもデイメンジョンを持たぬ單なる數値であるから、短絡電流位相角 θ_s をパラメーターとし、電流位相角 θ とこれ等係數、比率との關係

第1表 製鋼用弧光爐主要數値

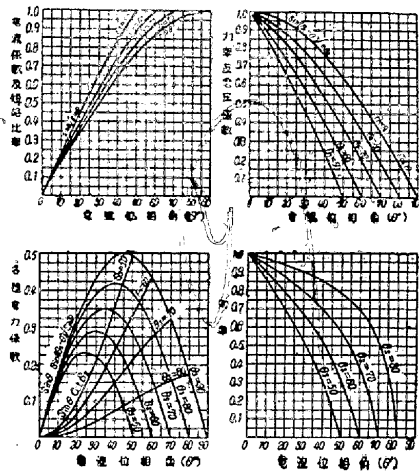


仕 容 量 t	電 氣 容 量 kVA	電 壓 mm	二次電壓V					
			一次△			一次入		
0.25	300	100	120	109	100	69	63	57
0.5	400	125	130	116	104	75	67	60
1	600	150	138	123	110	79	71	63
2	900	180	147	131	118	85	75	68
8	1200	205	156	139	125	90	80	72
6	2200	305	175	156	140	101	90	81
10	3500	355	194	172	155	112	99	89
15	5000	405	210	187	168	121	108	97
20	6000	405	225	200	180	130	115	104

爐容 量t	寸法符號mm													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0.25	790	289	727	280	1304	189	150	1070	32	170	759	210	270	134
0.5	1010	305	885	315	1652	238	185	1300	47	210	932	235	400	166
1	1280	316	1036	364	1842	260	245	1900	65	250	1101	276	558	190
2	1740	355	1102	458	2366	280	255	2525	100	300	1202	282	896	214
3	2086	355	1155	495	2698	285	230	2600	145	330	1300	275	1200	242
6	2650	356	1378	507	3242	300	250	4250	162	400	1540	323	1594	330
10	3000	506	1553	658	3850	400	350	4600	185	460	1738	395	1810	390
15	3360	506	1830	720	4190	400	350	5200	240	510	2070	450	2035	440
20	3700	525	2100	770	4510	400	350	6000	300	550	2400	480	2300	440

第2表 各容量に對する抵抗及リアクタンス

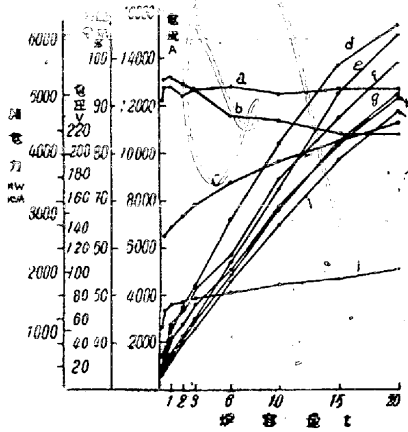
公稱 容量 t	電氣 容量 kVA	變壓器 二次 電壓 V	リア クト ル電 壓降 %	抵 抗							リアクタンス(周波數 50 CY)										
				爐 體							變壓器 及リア クトル 抵抗 $\mu\Omega$	全抵抗 $\mu\Omega$	自己誘導係數					爐 體 リアク タンス μH	變壓器 及リア クトル $\mu\Omega$	全リア クタン ス $\mu\Omega$	
				接觸 抵抗 $\mu\Omega$	變壓器 母線 $\mu\Omega$	可携 電纜 $\mu\Omega$	爐母線 $\mu\Omega$	電極 $\mu\Omega$	爐體 抵抗 $\mu\Omega$	變壓器 母線 μH			可携 電纜 μH	爐母線 μH	電極 μH	合計 μH					
0.25	300	120	50	18	39	41	43	1830	1970	1730	3700	0.55	1.45	0.98	0.62	3.6	1150	24650	25800		
0.5	400	130	20	12	27	44	39	1630	1750	730	2480	0.47	1.93	1.27	0.73	4.4	1400	10000	24000		
		104	20	"	"	"	"	"	"	680	2430	"	"	"	"	"	"	7700	9100		
		75	0	"	"	"	"	"	"	500	2250	"	"	"	"	"	"	1800	3200		
		60	0	"	"	"	"	"	"	480	2230	"	"	"	"	"	"	2000	3400		
1	600	138	20	7	11	31	35	1270	2350	500	1850	0.46	2.1	1.37	1.07	5.0	1550	7150	8700		
		138	5	"	"	"	"	"	"	500	1850	"	"	"	"	"	"	2250	3800		
		110	5	"	"	"	"	"	"	420	1770	"	"	"	"	"	"	2700	4250		
		79	0	"	"	"	"	"	"	370	1720	"	"	"	"	"	"	1350	2900		
		63	0	"	"	"	"	"	"	350	1700	"	"	"	"	"	"	1700	3250		
2	900	147	20	6	9	30	30	1220	1300	320	1620	0.57	2.21	1.92	1.35	6.05	1900	6000	7900		
		147	5	"	"	"	"	"	"	300	1600	"	"	"	"	"	"	3500	5400		
		118	5	"	"	"	"	"	"	250	1550	"	"	"	"	"	"	1800	3700		
		85	0	"	"	"	"	"	"	200	1500	"	"	"	"	"	"	850	2750		
		63	0	"	"	"	"	"	"	200	1500	"	"	"	"	"	"	900	2800		
3	1200	156	20	5	8	25	26	940	1000	230	1230	0.68	2.22	2.10	1.42	6.42	2000	5100	7100		
		156	5	"	"	"	"	"	"	210	1210	"	"	"	"	"	"	2000	4000		
		125	5	"	"	"	"	"	"	180	1180	"	"	"	"	"	"	1450	3450		
		90	0	"	"	"	"	"	"	170	1170	"	"	"	"	"	"	850	2850		
		72	0	"	"	"	"	"	"	180	1180	"	"	"	"	"	"	900	2900		
6	2200	175	20	2	7	15	18	520	560	190	750	0.96	2.44	2.50	1.40	7.3	2300	4300	6600		
		175	5	"	"	"	"	"	"	200	760	"	"	"	"	"	"	1700	4000		
		140	5	"	"	"	"	"	"	130	690	"	"	"	"	"	"	1400	3700		
		101	0	"	"	"	"	"	"	130	690	"	"	"	"	"	"	850	3150		
		81	0	"	"	"	"	"	"	130	690	"	"	"	"	"	"	850	3150		
10	3500	194	20	2	6	13	15	585	620	100	720	1.05	2.65	2.70	1.60	8.00	2500	5800	5300		
		194	5	"	"	"	"	"	"	90	710	"	"	"	"	"	"	1100	3600		
		155	5	"	"	"	"	"	"	70	690	"	"	"	"	"	"	900	3400		
		112	0	"	"	"	"	"	"	80	700	"	"	"	"	"	"	500	3000		
		89	0	"	"	"	"	"	"	70	690	"	"	"	"	"	"	600	3100		
15	5000	210	20	1	4	11	10	385	410	90	500	1.22	3.4	2.75	1.88	9.25	2900	1900	4800		
		210	5	"	"	"	"	"	"	80	490	"	"	"	"	"	"	700	3600		
		168	5	"	"	"	"	"	"	70	480	"	"	"	"	"	"	600	3500		
		121	0	"	"	"	"	"	"	70	480	"	"	"	"	"	"	350	3350		
		97	0	"	"	"	"	"	"	70	480	"	"	"	"	"	"	350	3250		
20	6000	225	16	1	4	11	10	385	410	62	472	1.22	3.4	2.75	1.88	9.25	2900	1700	4600		
		225	4	"	"	"	"	"	"	60	470	"	"	"	"	"	"	700	3600		
		180	4	"	"	"	"	"	"	50	460	"	"	"	"	"	"	550	3450		
		130	0	"	"	"	"	"	"	45	455	"	"	"	"	"	"	350	3250		
		104	0	"	"	"	"	"	"	40	450	"	"	"	"	"	"	350	3250		



a. 能率(定格電流に於ける) b. 力率(定格電流に於ける)
 c. 2次電壓 d. 2次電流(定格電流) e. 變壓器容量
 f. 所要電力(最大) g. 所要電力(定格電流に於ける) h. 電弧電力(最大)
 i. 電弧電力(定格電流に於ける) j. 電弧電壓(定格電流に於ける)

第6圖 各種係數及比率

を第6圖の如く作成して置けば、凡ての爐に共通に適用出来る。

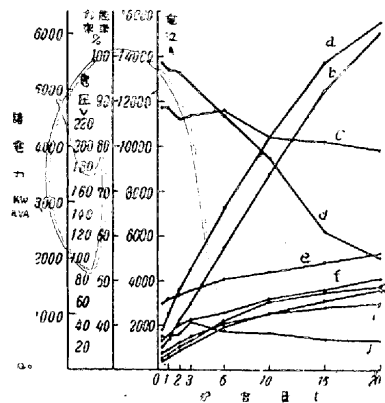


a. 2次電流(定格電流) b. 變壓器容量 c. 能率(定格電流に於ける)
 d. 力率(定格電流に於ける) e. 2次電壓
 f. 所要電力(最大) g. 所要電力(定格電流に於ける) h. 電弧電力(最大)
 i. 電弧電力(定格電流に於ける) j. 電弧電壓(定格電流に於ける)

第7圖 A 最高タップ電壓の場合

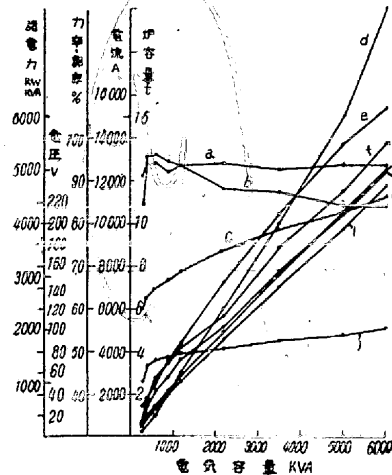
III 製鋼用弧光爐の電氣的特性數値

前項の諸關係を應用して、第1表に示す如き筆者の作成せる標準容量の各爐に就き、短絡試験と近似計算とにより各場合の抵抗、リアクタンスを求めた。その結果を第2表に示す。電弧の安定度と電源への影響の兩者を念頭に置き、リアクトルの容量を決定した。茲にリアクトルには數段のタップを設け、設置された爐に應じた數値を選定し得る構造とし、容量の標準としては、その最高を採つた。

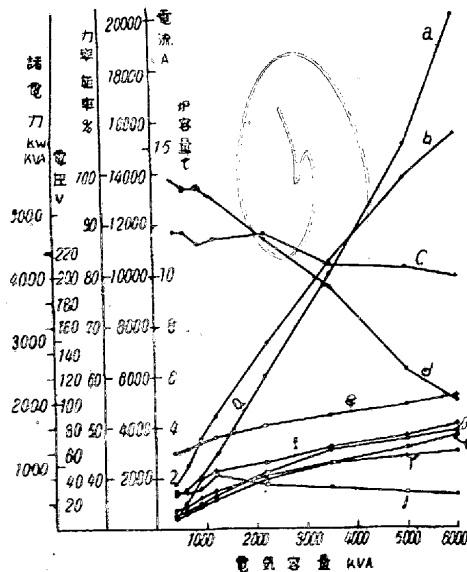


a. 能率(定格電流に於ける) b. 力率(定格電流に於ける)
 c. 2次電壓 d. 爐容量 e. 2次電流(定格電流) f. 所要電力(最大)
 g. 所要電力(定格電流に於ける) h. 電弧電力(最大) i. 電弧電力(定格電流に於ける) j. 電弧電壓(定格電流に於ける)

第7圖 B 最低タップ電壓の場合

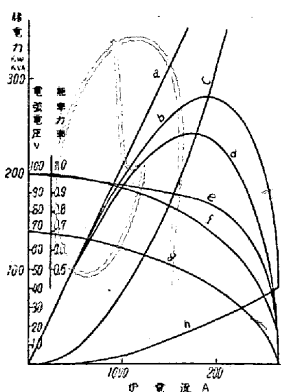


第8圖 電氣的制性と電氣容量との關係 (A 最高タップ電壓の場合)



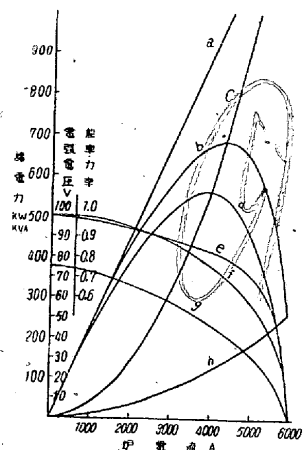
a. 爐容量 b. 2次電流(定格電流) c. 能率(定格電流に於ける)
 d. 力率(定格電流に於ける) e. 2次電壓 g. 所要電力(定格電流に於ける) f. 所要電力(最大) h. 電弧電力(最大)
 i. 電弧電力(定格電流に於ける) j. 電弧電壓(定格電流に於ける)

第8圖 最低タップ電壓の場合

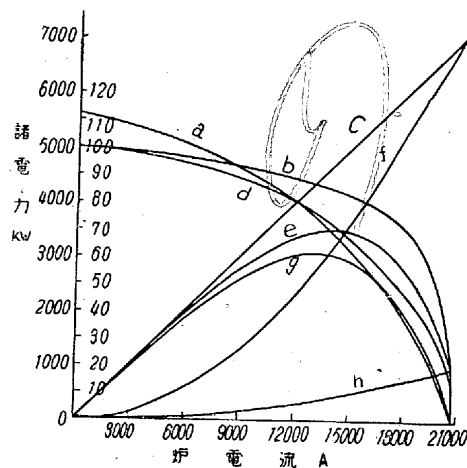


a. 見掛電力 b. 所要電力 c. 無効電力 d. 電弧電力 e. 能率 f. 力率 g. 電弧電壓 h. 損失電力
第9圖(1) 0.25t 爐

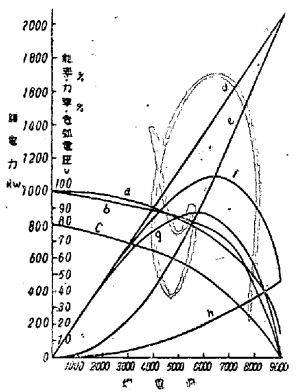
第9圖 製鋼用弧光爐の電氣的特性(最高2次電壓の場合)



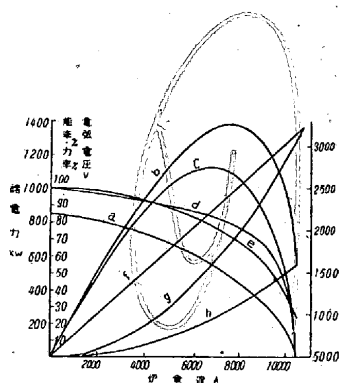
a. 見掛電力 b. 所要電力 c. 無効電力 d. 電弧電力 e. 能率 f. 力率 g. 電弧電壓 h. 損失電力
第9圖(2) 0.5t 爐



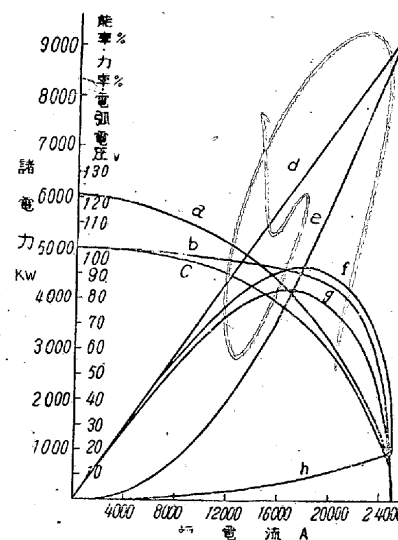
a. 電弧電壓 b. 能率 c. 見掛電力 d. 力率 e. 所要電力 f. 無効電力 g. 電弧電力 h. 損失電力
第9圖(7) 10t 爐



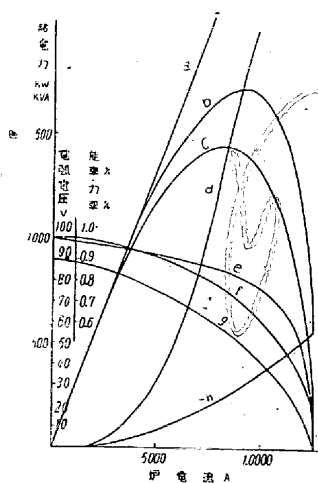
a. 力率 b. 能率 c. 電弧電壓 d. 見掛電力 e. 無効電力 f. 所要電力 g. 電弧電力 h. 損失電力
第9圖(3) 1t 爐



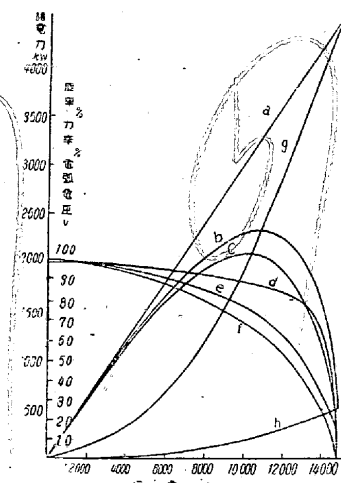
a. 電弧電壓 b. 所要電力 c. 電弧電力 d. 能率 e. 力率 f. 見掛電力 g. 無効電力 h. 損失電力
第9圖(4) 2t 爐



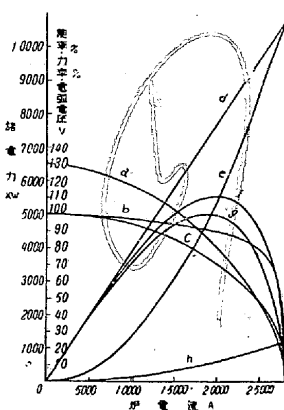
a. 電弧電壓 b. 能率 c. 力率 d. 見掛電力 e. 無効電力 f. 所要電力 g. 電弧電力 h. 損失電力
第9圖(8) 15t 爐



a. 見掛電力 b. 所要電力 c. 電弧電力 d. 無効電力 e. 能率 f. 力率 g. 電弧電壓 h. 損失電力
第9圖(5) 3t 爐



a. 見掛電力 b. 所要電力 c. 電弧電力 d. 能率 e. 力率 f. 電弧電壓 g. 無効電力 h. 損失電力
第9圖(6) 6t 爐



a. 電弧電壓 b. 能率 c. 力率 d. 見掛電力 e. 無効電力 f. 所要電力 g. 電弧電力 h. 損失電力
第9圖(9) 20t 爐

第3表は各標準型爐の特性の主要數値である。第7圖A B第8圖 A, B は電氣的特性と爐容量、電氣容量との關係に就て、總括したものである。最高タップ、最低タップの場合のみで他のタップの場合は省略したが、何れもこの兩者の範圍内になる。第9圖(1)乃至(9)は爐容量 0.25t よ

り 20t 迄の各爐に就て、實際使用の場合の特性曲線を例示したものである。何れも鎔解期に於ける最高二次電壓の場合に相當するもので、各タップ電壓の場合も同様に求め得るのである。

IV 結 論

製鋼用弧光爐の電氣的特性に就て、諸關係を述べて各容量に對する實際數値を示した。これ等の結果を検討すれば、電氣的諸事項の相互關係が明瞭となり、電壓、電流の選定の如き單獨に簡單に決定する事の不可なる所以も理解される。又リアクトル容量の如き、二次電壓、爐體、變

壓器等のリアクタンスと併せ考慮し、爐回路全部のリアクタンスの立場より検討すべきである。その他爐設計及び操業上の重要事項に關聯した種々の問題の實際的指針を包括してゐる。これ等の點に就て、本研究の結果が活用される事を斯界のために祈つて止まぬ次第である。

終りに臨み本論文發表の自由を許されたる大同製鋼株式會社々長下出義雄氏に謝意を表し、尙研究に對し終始御鞭撻、御助言、或は御助力を賜りたる副社長川崎舍恒三博士技師錦織清治博士、清水定吉博士、野田浩氏、田中鉦一氏他作業員に對し厚く御禮申上ぐる次第である。

廣幅鋼帶連續式壓延機の据付に就て

(日本鐵鋼協會第 29 回講演大會講演 昭 18. 4. 於東京)

嶺 次 男*

ON THE INSTALLATION OF THE CONTINUOUS MILL FOR WIDE STRIPS.

Tugio Mine.

SYNOPSIS:—Precision working of the mill is the first condition for installing the mill for rolling precision products strongly, accurately and rightly. The next important point in the installation is tightly and exactly to fix the bed plate. For that purpose, the load block with a suitable size is laid on the bed, on which the bed plate placed, and between the aforementioned two a liner with horizontal sides (finished to parallel planes) inserted, and finally the horizon of the bed plate determined. The number of the liner is accustomed to be one, but in some cases double liner may be used, while triple layers of liner are the allowable maximum. The use of a wedge liner is strictly prohibited. Basing on these principles, the author described the installation of the continuous mill for rolling wide strips.

目 次

- I. 緒 言
- II. 廣幅鋼帶連續壓延機に就て
- III. 基 礎
 - 1. 地質 2. 基礎杭 3. 基礎に對する注意
 - 4. 基礎ボルト及びボルト孔
- IV. 壓延機
 - 1. 壓延機スタンド寸法及び重量 2. 工作精度
- V. 据 付
 - 1. 基準中心線 2. 基本水準面 3. ベッド・プレートの据付 4. 据付精度
- VI. 結 言

I 緒 言

昭和〇〇年〇〇月〇〇日作業を開始し、その後引き続き順

調に作業成績を發揮しつつある 廣幅鋼帶連續壓延機に就き、その機械配置の概略を述べ、各壓延機がどの程度の工作精度を以て製作されたるかを製作圖に指示する寸法と、實物に就ての調査結果とを比較説明し、この種の壓延機を据付くるに當つて、その基礎に關し考慮すべき點と、これ等を精度高く、而も頑丈に据付くるために當時据付にて施したる方法を述べ。

II 廣幅鋼帶連續壓延機に就て

ここに説明する廣幅鋼帶連續壓延機は、いはゆる Semi-Continuous Strip Mill と稱するものにして、荒壓延機として 3 臺連續に設置する ストリップミルの標準型に對し 1 臺の可逆式荒壓延機(堅ロール附)を置ける形式のストリップミルなり。尙本設備は廣幅の中板以上を壓延するを

* 日本製鐵廣畑製鐵所