

黒心可鍛鑄鉄製管継手の焼鈍管理

The Annealing Control of Malleable Cast Iron Pipe Fittings

小山代三郎*
Daizaburo Koyama

内容梗概

印鉄管継手の材質は黒心可鍛鑄鉄である。この黒心可鍛鑄鉄の焼鈍にトンネル式焼鈍炉を使用して焼鈍管理を行うために重要な点を検討し、またトンネル式焼鈍炉の特長を最大限に活用するための管理方式について永年の経験および研究結果を取纏めた。

その結果は成分管理特に Si の管理が最重要であること、小物品の処理にはトンネル式焼鈍炉がきわめて合理的であることなどを結論した。

〔I〕 緒 言

黒心可鍛鑄鉄は、まず白鉄鑄物を鑄造し、これを焼鈍して、セメントタイトを全部粒状黒鉛に分解させて作るものである。すなわち通常950°C前後の第一段焼鈍と700°C前後の第二段焼鈍の処理を必要とする。これに使用される炉としてはバッチ炉、トンネル炉、串形炉（エレベータ型）などがある。バッチ炉は同一炉で第一段、第二段両焼鈍を行うものであり、トンネル炉は製品を炉内で移動して第一段、第二段それぞれの焼鈍区間別の位置において行うものであり、また串形炉は第一段、第二段焼鈍を別の炉において行うものである。

日立金属工業株式会社桑名工場は可鍛鑄鉄製管継手の専門工場で、大量の製品を一定の高度の品質を保持させるため、創設当初よりトンネル炉を採用した。その後昭和19年杉正道、塩谷勝喜両氏⁽¹⁾は黒心可鍛鑄鉄の焼鈍時における組織変化について研究し、実際焼鈍炉の操業法の決定に関してきわめて有益なる示唆を与えた。この結論をトンネル式焼鈍炉に適用して、最大の効果ある焼鈍管理法を確立した。

現在トンネル炉は4基を有しているもので、主として肉厚により大物、中物、小物品の3区分として焼鈍操作を行っている。ここには小物品を取扱うトンネル炉による焼鈍管理の例をあげて、可鍛鑄鉄焼鈍の合理性を検討してみたいと思う。

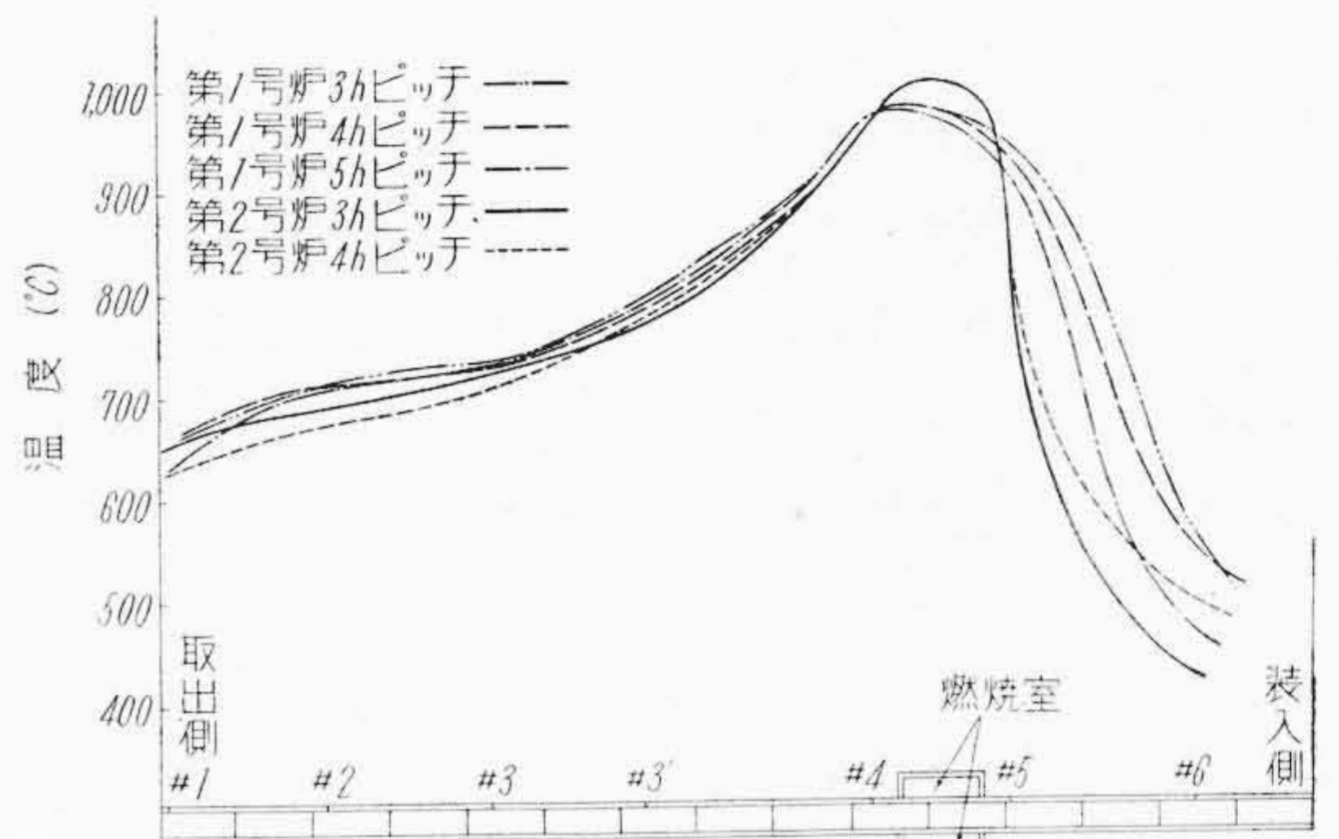
〔II〕 トンネル式焼鈍炉

筆者の工場においては2½インチ縁付エルボ継手（単重1.6 kg、最大肉厚10 mm）程度までを小物品として取扱う。後述の検討に先立つて小物品の焼鈍用トンネル炉の概要を説明する。

（1） 炉の構造および操業法の概要

第1図に示すように炉内には15台の台車が入り、ある時間間隔をもつて図の右側より1台装入と同時に左側より1台取出して連続的に操業を行う方式である。第1号

* 日立金属工業株式会社桑名工場



第1図 トンネル式焼鈍炉の概念図

炉は石炭焚、第2号炉は重油焚で、燃烧室は炉体の両側にあり、煙突は装入側にある。この燃烧室は第一段焼鈍用であるが、第二段焼鈍用としての補助燃烧室はない。第二段焼鈍は製品およびポットの保有熱によつて進行するように設計されたものである。1台車には12本のポットを2段重ねとし、1ポットには製品約170 kgが入る。したがつて1台車の積載製品重量は2 tである。炉体の主要寸法を第1表に示す。

（2） 炉の特性

第1表 炉体の主要寸法

炉の容量(t)(製品)	30	第1号炉	
炉内の台車数(台)	15	燃烧室の大きさ(m ³)	2.85
炉の長さ(m)	33	燃 烧 装 置	アンダーストー カ粉炭焚
炉内の幅(mm)	1,500	第2号炉	
炉内高さ(mm)	1,500	燃烧室の大きさ(m ³)	1.42
側壁の厚さ(mm)	465	燃 烧 装 置	低圧空気噴霧式 重油バーナ
加熱室の大きさ(m ³)	72.1		

第2表 トンネル焼鈍炉の特性値

	ピッチ (h)	サイクル (h)	第一 段温 度 (°C)	第一 段区 間 (h)	第二段区 間 冷却速度 (°C/h)
第1号炉	3	45	950	12	6.5
	4	60	950	16	5
	5	75	950	20	4
第2号炉	3	45	980	10	6.5
	4	60	980	14	5

製品が炉内にある時間、すなわち1回の焼鈍処理を受ける時間（以下ヒートサイクル略してサイクルと呼ぶ）を変化した場合、第一段および第二段焼鈍区間の特性値を示せば第2表の通りである。

〔III〕 焼鈍効果におよぼす因子

(1) 炉内の温度分布

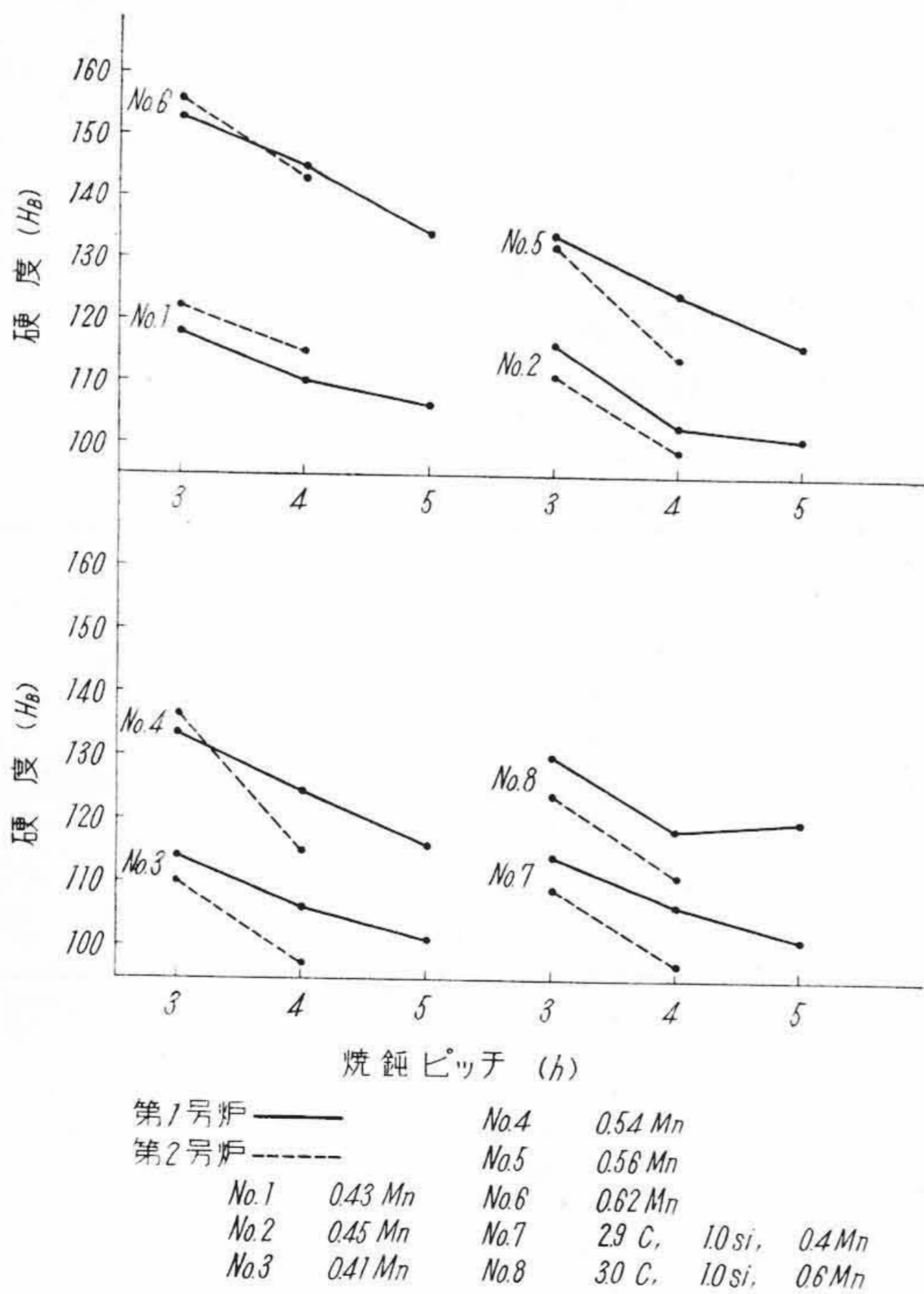
第1号炉（粉炭焚）と第2号炉（重油焚）では第一段焼鈍区間が異り第1号炉の方が区間が広い。よつて第2号炉の第一段焼鈍温度は30°C高く保つ操業を行う。第二段焼鈍区間の炉内温度分布には、両者間に大きい相違はない。また炉内温度分布に及ぼすピッチの差による影響は割合少い。したがつて普通操業のピッチにおいてはピッチを長くする程、第一段焼鈍区間は延長するとともに、第二段焼鈍区間の冷却速度も緩かとなる。

さて製品はポットに詰めて、台車の移動とともに熱処理を受けるのであるから、炉内の最高温度区間をかならず通過するため前後の温度差はほとんどない。標準成分の試料について行つた試験結果はこれを実証している。ポットの上部と下部とでは、燃焼室の構造を注意して設計してあるにもかかわらず、ポットの底部に黒鉛化不良のものが発生しやすい傾向にある。

(2) 化学成分

(a) Mn の影響

第3表のような化学組成の試料を使用して、焼鈍後の



第2図 Mn の影響： 焼鈍ピッチと硬度の関係

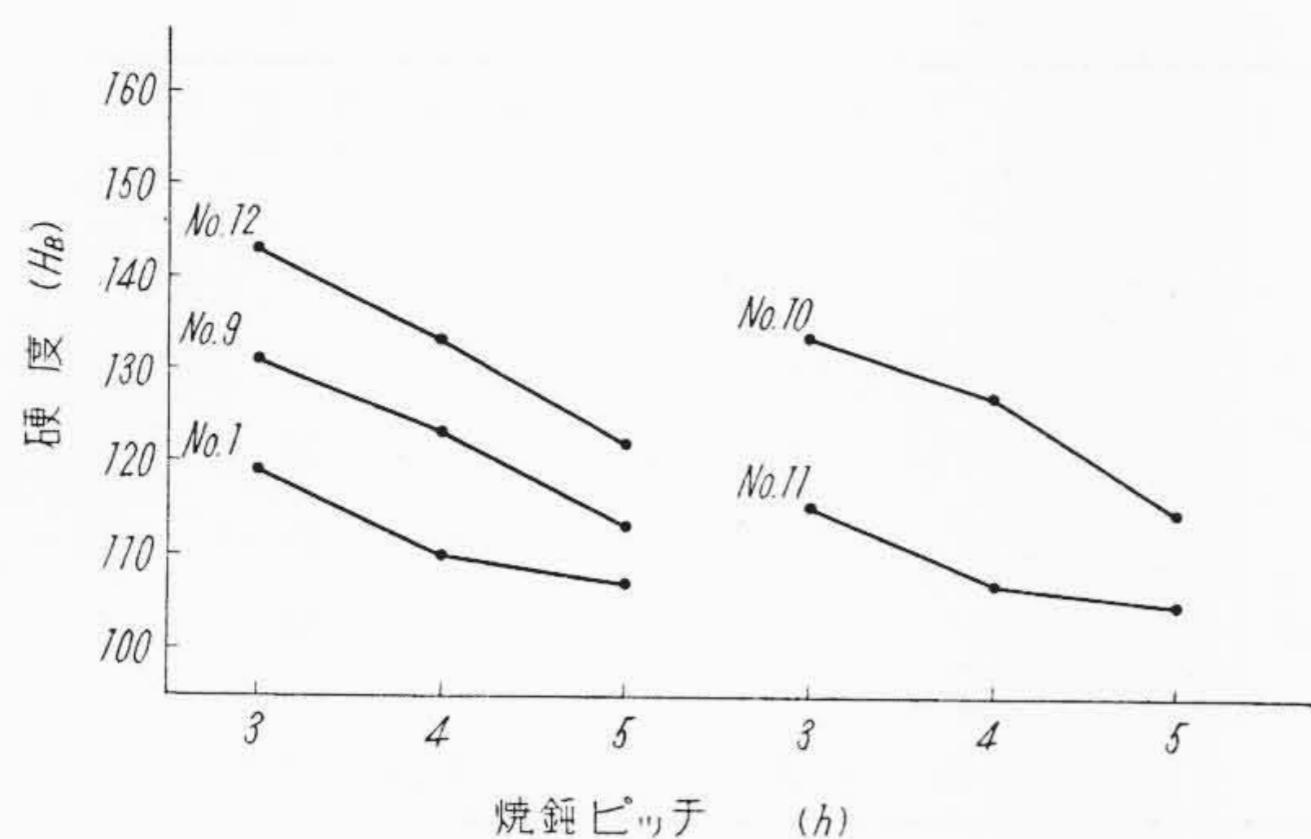
第3表 試料の化学組成 (Mn の影響)

No.	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	T.S (%)	P (%)	Cr (%)	備 考
1	2.70	1.24	0.43	0.109	0.139	0.064	0.030	熱風式キューボラ
2	2.83	1.25	0.45	0.104	0.136	0.090	0.025	二重式熔解
3	2.70	1.20	0.41	0.110	0.138	0.086	0.014	同 上
4	2.78	1.17	0.54	0.117	0.146	0.084	0.017	同 上
5	2.87	1.08	0.56	0.113	0.145	0.068	0.020	同 上
6	2.85	1.25	0.62	0.107	0.139	0.073	0.020	熱風式キューボラ
7	2.94	1.04	0.37	0.110	0.139	0.070	0.022	二重式熔解
8	2.98	1.06	0.58	0.113	0.142	0.073	0.012	二重式熔解

注： S(%) は発生法による分析値
T.S(%) は燃焼法による分析値

第4表 Mn の影響： 焼鈍後のブリネル硬度比較

	台 車	ポ ッ ト	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4 No. 5 No. 6 No. 7 No. 8									
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8		
第1号炉3時間ピッチ	後	上	124	127	119	133	158	139	114	120		
		中	126	114	115	141	133	155	107	122		
		前	116	116	109	128	119	162	112	139		
		\bar{X}	122	119	114	134	133	152	111	127		
	後	下	116	113	118	139	138	150	118	121		
		中	116	111	116	131	132	156	117	140		
		前	116	115	107	131	139	155	115	139		
		\bar{X}	116	113	114	134	136	154	117	133		
	後	下	119	116	114	134	135	153	114	130		
		第1号炉4時間ピッチ	後	上	106	98	112	126	126	143	114	119
				中	109	108	104	127	127	150	107	117
				前	117	113	105	119	124	149	100	119
\bar{X}	111			106	107	124	126	147	107	118		
後	下		109	100	—	133	128	145	110	115		
	中		109	98	104	120	121	143	104	123		
	前		107	103	106	122	123	136	103	122		
	\bar{X}		108	100	105	125	124	141	106	120		
後	下		110	103	106	125	125	144	107	119		
	第1号炉5時間ピッチ		後	上	110	106	106	120	120	139	—	119
				中	108	100	99	114	117	131	101	120
				前	107	98	103	115	116	137	99	116
\bar{X}		108		101	103	116	118	136	100	118		
後		下	105	99	99	115	112	132	96	114		
		中	102	104	99	115	116	133	109	130		
		前	107	—	—	117	119	132	—	123		
		\bar{X}	105	102	99	116	116	132	103	122		
後		下	107	102	101	116	117	134	102	120		
		第2号炉3時間ピッチ	後	上	126	115	110	138	135	149	114	113
				中	118	110	106	138	130	156	106	126
				前	127	115	113	136	131	161	113	130
\bar{X}	124			113	110	137	132	155	111	123		
後	下		119	111	111	130	128	155	109	110		
	中		116	105	113	139	139	152	106	135		
	前		121	107	107	136	129	162	103	139		
	\bar{X}		119	108	110	135	132	156	106	125		
後	下		122	111	110	136	132	156	109	124		
	第2号炉4時間ピッチ		後	上	119	98	95	116	112	148	95	107
				中	120	95	95	109	110	142	96	98
				前	111	97	—	114	114	149	95	113
\bar{X}		117		97	95	113	112	146	96	106		
後		下	120	98	99	123	120	137	98	109		
		中	104	96	95	114	115	—	95	123		
		前	111	107	97	115	109	143	98	112		
		\bar{X}	112	100	99	117	115	140	97	115		
後		下	115	99	97	115	114	143	97	111		



No.9 2.79C, 0.87Si No.10 3.04C, 1.17Si
 No.1 2.70C, 1.24Si No.11 3.04C, 1.39Si
 No.12 2.70C, 1.32Si 0.073Cr

第3図 Si の影響： 焼鈍ピッチと硬度の関係

硬度比較を行つた結果は第4表の通りで、また第2図は硬度の平均値とピッチとの関係を図示したものである。すなわち Mn が多くなるにしたがい試料 No. 4, 5, 6 のように Mn の適当な試料 No. 1, 2, 3 に比較して硬度を増し黒鉛化が不完全すなわち焼鈍が困難となることを示している。また No. 6 のように Mn が 0.6% 以上にもなると 5 時間ピッチでも硬度はブリネル 130 以上で黒鉛化は著しく困難である。C% の多い場合でも同様に試料 No. 7, 8 はその比較を示す。なお第2号炉の方が第1号炉に比較して、4 時間ピッチでは、むしろ黒鉛化が良好である。

(b) Si の影響

Si が黒鉛化を促進する元素であることは多くの文献⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾が立証しているので、ここには多くの試料をとらなかつた。使用した試料は第5表の通りで、それぞれの炉においてヒートサイクルを変更し、台車上の位置とポット内の位置を種々状況の異なる箇所に試験片を挿入し、焼鈍取出後の硬度をブリネル硬度計によつて測定して黒鉛化度を判定した。第6表はその結果を示し、第3図は硬度の平均値とピッチの関係を示すもので、C% のいかににかかわらず、Si% の高いものがあきらかに黒鉛化は容易なことを示している。また Cr% が高くなると Si% をかなり高くしても黒鉛化は困難である。

[IV] 熱 曲 線

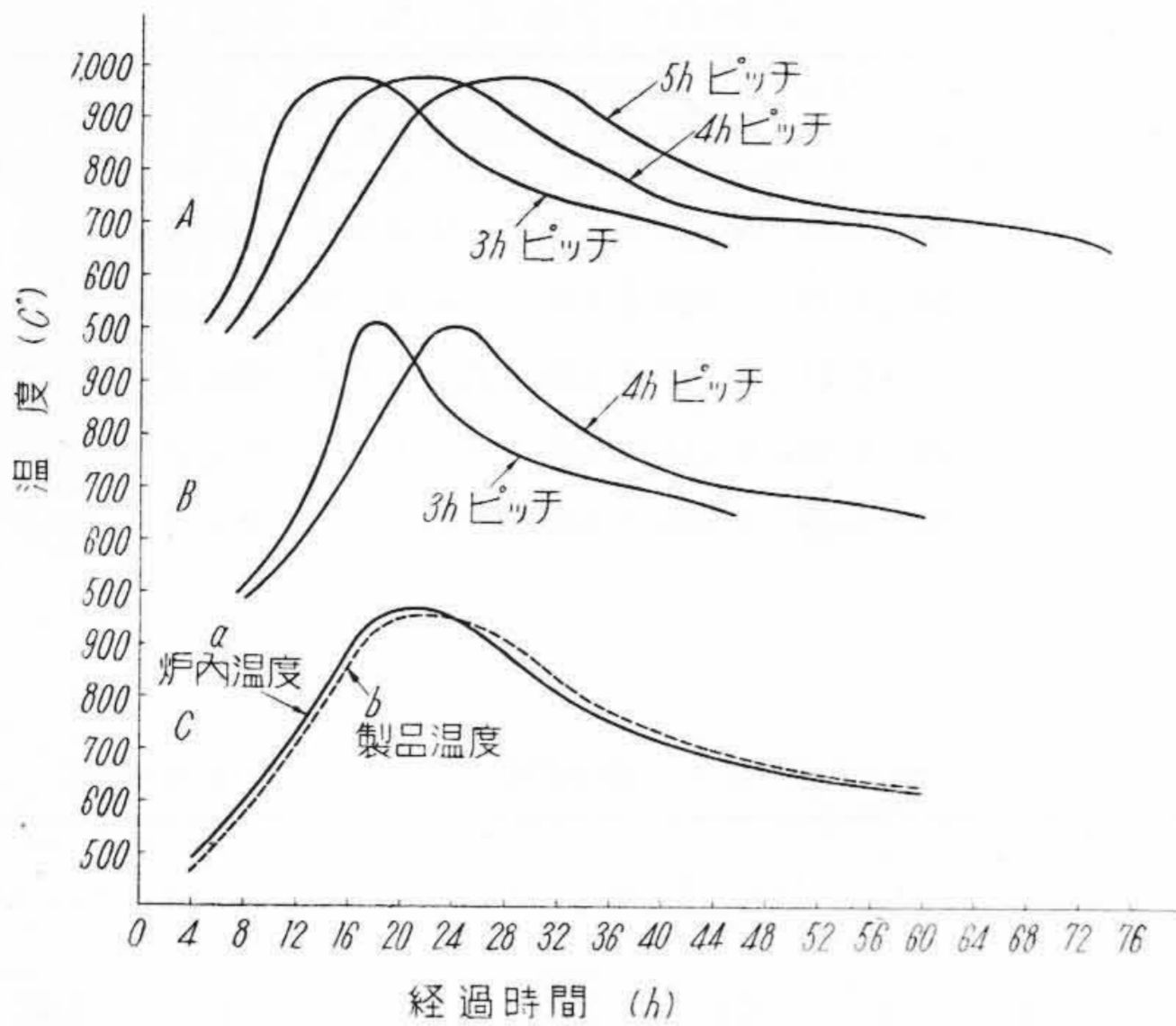
炉内温度とポット内製品の温度とは、取出口付近で 10°C の差がある。そのほかの部分では測定困難であるため実測はしていないが、最高温度保持部分では 5°C 以内と予想せられる。第4図Cにおいてa曲線を炉内温度曲線とすると、ポット内製品の温度は加熱および冷却に際していずれも時間的ずれがあるため、同図b曲線のようになるであろう。ここには炉内温度よりそれぞれの熱曲線を想像して図示した。第4図Aは第1号炉、Bは第

第5表 試料の化学組成 (Si の影響)

No.	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	T.S (%)	P (%)	Cr (%)	備 考
9	2.79	0.87	0.38	0.111	0.143	0.074	0.027	熱風式キューボラ
1	2.70	1.24	0.43	0.109	0.139	0.064	0.030	熱風式キューボラ
10	3.04	1.17	0.51	0.107	0.138	0.071	0.029	熱風式キューボラ
11	3.04	1.39	0.48	0.114	0.145	0.075	0.028	熱風式キューボラ
12	2.70	1.32	0.49	0.107	0.139	0.070	0.073	熱風式キューボラ

第6表 Si の影響： 焼鈍後のブリネル硬度比較

	台 車	ポ ッ ト	No. 9 No. 1 No. 10 No. 11 No. 12					
			No. 9	No. 1	No. 10	No. 11	No. 12	
第1号炉3時間ピッチ	後中前	上	131	124	128	111	145	
		上	126	126	132	116	141	
		上	128	116	136	117	148	
		\bar{X}	128	122	132	115	145	
	後中前	下	138	116	131	115	136	
		下	141	116	142	117	142	
		下	134	116	135	114	141	
		\bar{X}	134	116	136	115	140	
			\bar{X}	131	119	134	115	143
	第1号炉4時間ピッチ	後中前	上	112	106	125	108	132
			上	122	109	127	107	134
			上	119	117	127	106	142
\bar{X}			118	111	126	107	136	
後中前		下	126	109	129	107	131	
		下	125	109	125	106	126	
		下	133	107	122	107	131	
		\bar{X}	128	108	125	107	129	
		\bar{X}	123	110	126	107	133	
第1号炉5時間ピッチ		後中前	上	106	110	123	107	126
			上	116	108	116	105	120
			上	116	107	113	108	123
	\bar{X}		113	108	117	107	123	
	後中前	下	107	105	107	98	117	
		下	116	102	111	105	127	
		下	116	107	118	104	120	
		\bar{X}	113	105	112	102	121	
			\bar{X}	113	107	115	105	122
	第2号炉3時間ピッチ	後中前	上	125	126	137	117	138
			上	141	118	137	116	155
			上	130	127	133	116	150
\bar{X}			132	124	136	116	148	
後中前		下	160	119	139	116	140	
		下	154	116	137	113	142	
		下	154	121	142	117	144	
		\bar{X}	156	119	139	115	142	
		\bar{X}	144	122	138	116	145	
第2号炉4時間ピッチ		後中前	上	119	119	127	110	133
			上	121	120	131	110	135
			上	115	111	136	112	132
	\bar{X}		118	117	131	111	133	
	後中前	下	138	120	126	106	146	
		下	135	104	122	104	138	
		下	131	111	121	107	136	
		\bar{X}	135	112	123	106	140	
			\bar{X}	127	115	127	109	137



第4図 ヒートサイクル

2号炉の熱曲線である。またこれを分析すると第7表のとおりである。両炉を比較すると、加熱時間は第2号炉の方が長く、第一段保持時間は第2号炉が短い。しかし加熱時間と保持時間の和はほとんど同様である。冷却区間は第2号炉の方が短く、第二段区間は両炉同様である。一般にサイクルを延長すれば焼鈍要素（第一段保持時間、第二段冷却速度）は直線的に増加する。ただしはなはだしく延長すれば取出温度は降下するため、第二段冷却速度に関しては飽和曲線となる。焼鈍効果をしらべた結果は、第2図および第3図のように、サイクルの延長（ピッチの長い程）にしたがって硬度は減少し、黒鉛化が多く進行したことを示している。いずれの成分のものも、3時間ピッチでは両炉とも焼鈍不完全であり、5

第7表 区間別ヒートサイクル

	ピッチ (h)	サイクル (h)	昇温 (h)	第一段保持 (h)	冷却 (h)	第二段区間 (h)	昇温+保持 (%)
一号炉	3	45	11	12	6	15	52
	4	60	14	16	8	20	52
	5	75	19	20	10	25	52
二号炉	3	45	14	10	5	15	55
	4	60	18	14	7	20	54

第8表 焼鈍ピッチと生産量の変動

ピッチ (h)	3	4	5	6
サイクル (h)	45	60	75	90
毎月焼鈍量 (t)	480	360	288	240

第9表 焼鈍ピッチと化学成分の限度基準

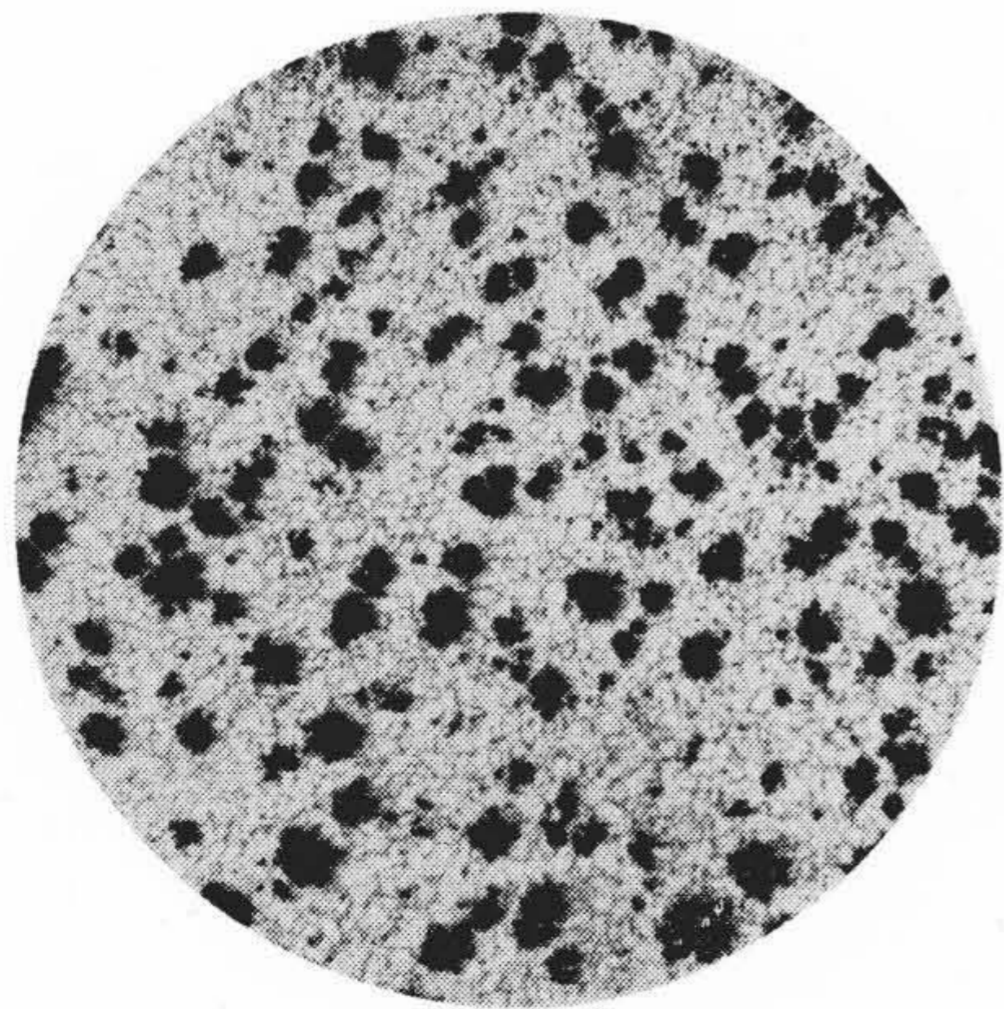
ピッチ (h)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)
3	1.3<	0.5>	0.04>
4	1.1<	0.5>	0.05>
5	1.0<	0.5>	0.06>

時間ピッチでは化学組成適当ならば、ほぼ完全であることがわかる。第5図は標準組成の製品の顕微鏡組織を示す。

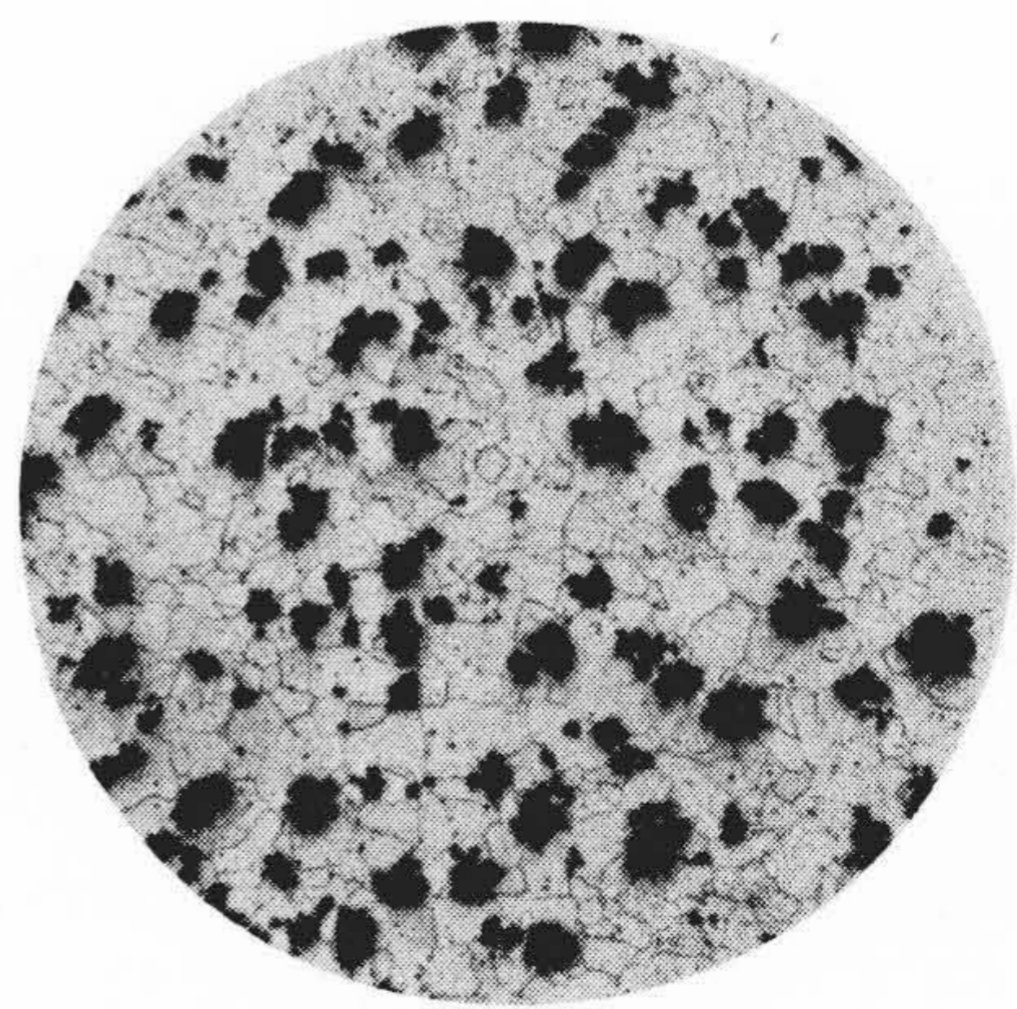
〔V〕 焼 鈍 管 理

(1) 生産量

トンネル炉においては、生産量の増減に伴う稼働の伸縮がきわめて狭いように考えられているが、上記のようにサイクルを変更することによつて、焼鈍効果に悪影響を及ぼさずに生産量を増減することができる。すなわち



A ×40



B ×40

	C	Si	Mn	S	Cr	P	硬 度 ブリネル	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	曲 げ
A	2.72	1.36	0.37	0.095	0.016	0.07	114	34.6	11.9	140<
B	2.65	1.16	0.36	0.093	0.013	0.07	118	35.7	11.1	140<

第5図 標準組成の製品の顕微鏡組織

生産量が増大すればピッチを短くして第一段焼鈍温度を上昇させ、生産量が減少すれば反対にピッチを長くして第一段焼鈍温度を低下させればよい。第8表に生産量のはばを示す。

(2) 化学成分

前章記述のように化学成分の不適當なものは、たとえ焼鈍サイクルを延長して黒鉛化を進行させても、このようなものでは完全に黒鉛化を終了させるためにはきわめて長時間を要し、実際上は困難⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾とみなされる。したがって化学成分の管理はもつとも重要な要素となる。筆者の工場においては、2½インチ以下の継手を小物品として化学組成を管理した白銑を本焼鈍炉に流し、2½インチ以上の継手は中物品として取扱う。さらに肉厚の大なるものは大物品の成分に管理して別に焼鈍処理を行う。すなわち熔解、焼鈍一貫して製品を合理的に処理する方法をとっている。さらに小物品のみについても、ピッチと化学成分の関係を第9表のように定めている。表記以外の成分についても重要であることはもちろんであるが、それらについては多くの発表⁽⁴⁾⁽⁹⁾があるので省略した。化学成分以外にも熔解条件、鑄造時の状態の影響、ガスの問題など、焼鈍効果に及ぼす影響は当然であるが、筆者の工場における一定の条件下の状況の一例を示した。

(3) 熱経済

燃料使用量を示すと第10表の通りであり、代表的な熱精算図を示すと第6図、および第7図の通りである。

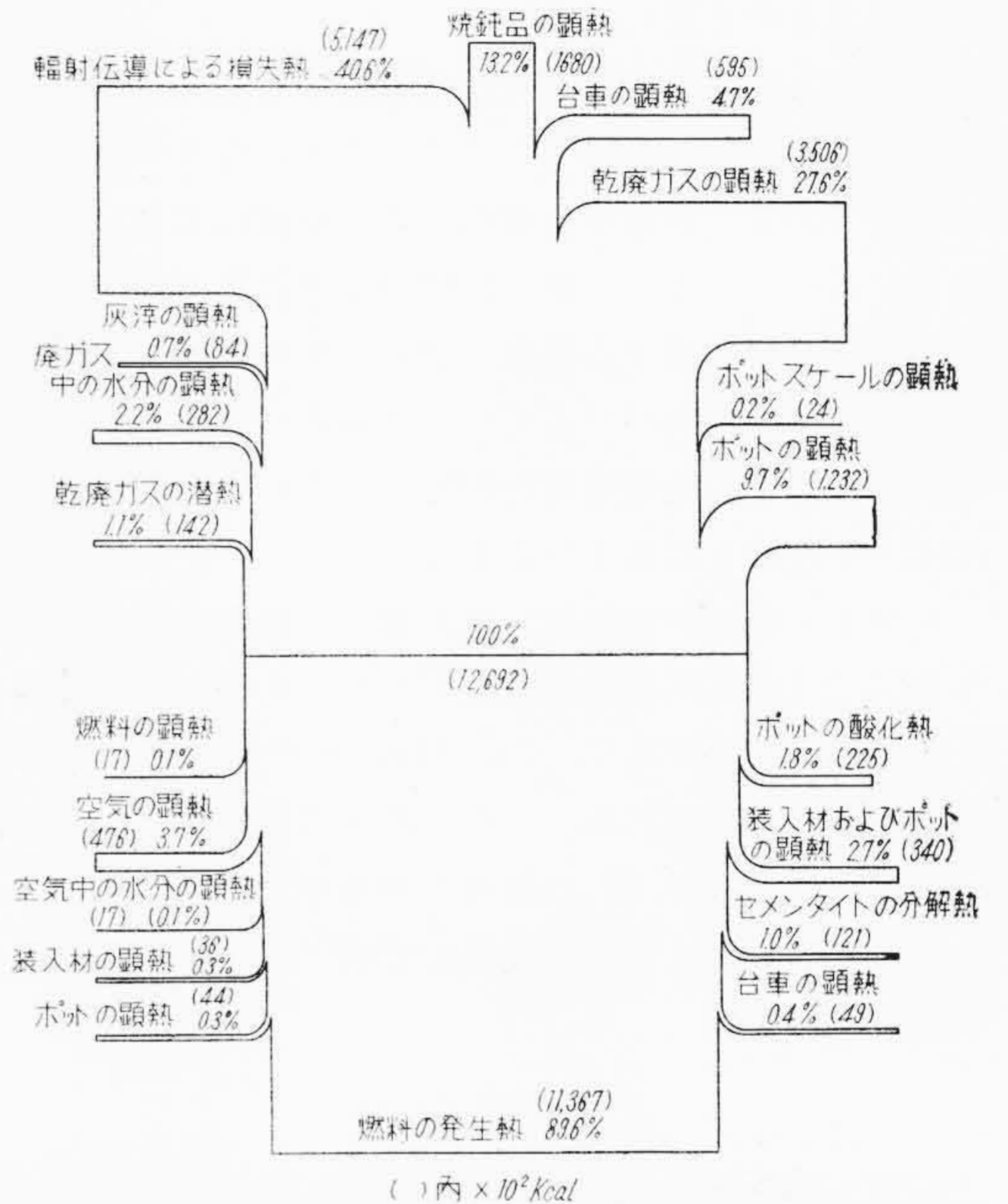
サイクルが延長すれば、1時間当りの燃料使用量は減少するが総使用量は増加し、結局トン当りの燃料使用量も増加する。したがってピッチを短くした方が燃料の経済になることは当然である。また重油焚の方がトン当り燃料使用量の増加の割合はサイクルの延長に対して比較的小さく、多少効率がよい。しかし材質が熱効率に優先することは当然であるから、熱経済のみで優劣を結論づけることはできない。

〔VI〕 結 言

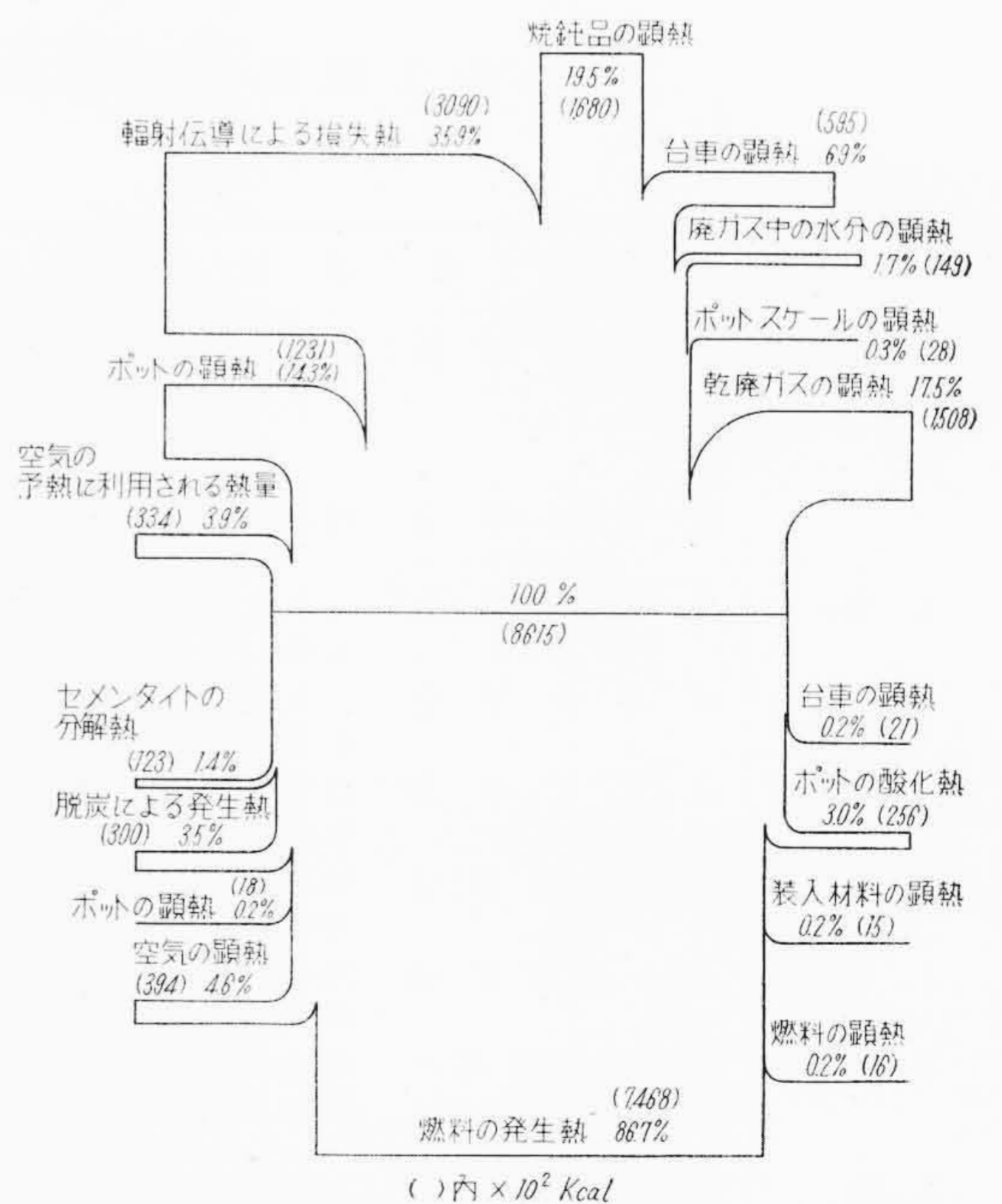
実際焼鈍炉の操業法としては杉、塩谷⁽¹⁾両氏の理論はほとんど完ぺきに近いもので、筆者工場のトンネル焼鈍炉の成功は、いかにこの理論を適用したかというに過ぎない。すなわち第二段焼鈍区間の徐冷速度の維持を合理的に行うには、トンネル焼鈍炉がきわめて好都合であると考えたのである。串形焼鈍炉では第一段焼鈍温度より第二段焼鈍温度に移す場合、ひとたび空冷されるため第二段焼鈍区間での温度分布が均等でなくなる欠点がある。760°C以下 Ar₁点までの冷却速度はきわめてデリケートに影響⁽⁵⁾するもので、その点トンネル焼鈍炉においては、第一段、第二段間の冷却速度が適度に緩徐なため、

第10表 燃料使用量

	ピッチ (h)	1 h 当り消費量 (kg または l)	1 t 当り消費量 (kg または l)	1 t 当り熱量換算 (kcal)
一号炉	3	107	160	1,008,000
	4	91	180	1,134,000
	5	76	190	1,197,000
二号炉	3	55	82	747,000
	4	43	85	773,000



第6図 熱精算図：第1号炉4時間ピッチの場合



第7図 熱精算図：第2号炉3時間ピッチの場合

第二段焼鈍区間の冷却速度はきわめて厳格に調整することができる。創設当初は第一段、第二段間の冷却速度はきわめて緩徐であつたが、この区間を空冷して必要限度に短縮すると同時に燃焼空気の予熱に利用して熱経済を図ることができた。昇温に要する時間が多少長いように見えるが、緩徐加熱した方が以後の黒鉛化⁽¹⁰⁾ および機械的性質⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ に好影響を与えること、および熱効率から考えて有効と思われる。

操業法としても、ひとたび作業標準をきめれば、第一段焼鈍温度のみを管理すればよいことになり非常に操作は容易である。ポットの費用は焼鈍原価に対しかかなりの比重を占めているが、第二段焼鈍温度は主として製品およびポットの保有する熱量が供給しているため、燃料費の面である程度カバーしているとみるべきである。さらに前述のように冷却速度を均等にしている効果を考慮すれば、十分償うてあまりある。

トンネル焼鈍炉を使用するの黒心可鍛鑄鉄焼鈍管理のうち二、三の重要な点を検討したが、もつともみやすいものは化学成分であり、Cr, Mn, S⁽¹³⁾ は十分注意せねばならない元素である。しかし最大の影響をもつものはSiであつて、まずSiの管理が実施されねばならない。その意味においても溶解条件の管理⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾ は一層徹底する必要がある。

終りに工場においてトンネル焼鈍炉をいち早く採用された日立製作所桑名工場浜田前工場長、日立製作所中央研究所南波主任研究員の英断に敬意を表し、また焼鈍の実際的理論を世界の可鍛鑄鉄界に先駆けて確立された日立金属工業株式会社桑名工場杉工場長の功績に改めて敬意を表す。最後に御指導を賜つた杉工場長、南波主任研究員、金田次長に謝意を表するとともに、御協力をいただいた久保、稲垣、安永諸氏を始め関係者に謝意を表す。

参考文献

- (1) 杉, 塩谷: 日立評論 27, 5, (1944)
- (2) J.E. Rehder: Tr. A. F. S. 59, 244 (1951)
- (3) R. Schneidewind: Tr. A. F. S. 58, (1950)
- (4) 菊田: 鑄物本質論
- (5) F. Brown: Foundry 81, (1953) 108
- (6) H.A. Schwartz, J.D. Hedberg: Tr. A.F.S. 62, (1954) 282
- (7) 佐藤: 日本金属学会誌 19, 7, (1955)
- (8) 北川: 日立, 中研報 740号 (Aug. 1951)
- (9) 堤: 鉄と鋼 39, 6, (1953)
- (10) S. Palmer: F. tra. J. 87, (1949) 139
- (11) 南波: 日立評論 31, 39 (1949)
- (12) 南波: 日立評論 34, 603 (Apr. 1952)
- (13) 金田, 稲垣, 鈴木: Hitachi Review (Jan. 1952) 123
- (14) L.E. Emery: Tr. A. F. S. 63, 330 (1955)
- (15) H. A. Schwartz: A. F. S. (1953) 228

日立電線株式会社社員の社外講演一覽

(第70頁よりつづく)

(昭和31年10月~32年5月受付分)

講演月日	主催者	講演会名	題目	講演者
4. 3~5	電気四学会	同左連合講演会	ケーブル絶縁油の適正精製度と蛍光強度	山岸良三 下山田富保 佐藤春枝 益子文男
4. 4~8	電気四学会	同左連合講演会	電力ケーブルの乾燥条件と絶縁紙の繊維素平均重合度	下山田富保 常松甲子郎
	日本化学会	日本化学会第10年会	塩化ビニル樹脂混和物中の可塑剤の拡散速度	吉川充雄
	日本化学会	日本化学会第10年会	ブチルゴム混和物の浸水中における吸水	渡辺茂隆
	日本化学会	日本化学会第10年会	ネオプレン用充填剤の補強効果	吉川充雄 牛尾久
4. 3~6	日本金属学会	同左昭和32年講演会	アルミニウムの鋲接に関する研究	山路賢吉 藤田恒義
	日本金属学会	同左昭和32年講演会	テルル—銅合金の研究 (3報)	山路賢吉
3. 8	日刊工業新聞社	最近の熱間、冷間加工技術講習会	最近の引抜加工技術について	岩田寿郎
3. 30	高温顕微鏡研究会	高温顕微鏡研究会第3回発表会	Cu—Te系合金におけるβ相の挙動	山路賢吉