

- 5) Lewis & Lacey: J. Amer. Chem. Soc. 37  
(1915) 1976  
6) 的場, 鶴野: 鐵と鋼, 6 (1942) 651

- 7) Koref: Z. Anorg. Allg. Chem. 66 (1910) 91  
8) Schenck: Physik. Chemie. Eisenh. I, 140

## 特殊鑄鋼の研究 (VII)

(特殊鑄鋼の結晶粒度に就て)

(昭和 25 年 4 月本會講演大會に講演)

三ヶ島 秀 雄\*

### RESEARCHES ON THE SPECIAL CAST STEEL (VII)

(ON THE GRAIN SIZE OF SPECIAL CAST STEEL)

Hideo Mikashima Dr. Eng.

Synopsis:— By addition of Si, Mn Ni etc. to Cr-Mo cast steels and W, V, Ti, Al etc. to Cr-Mn-Si cast steels, their effect on the grain size was investigated by means of carburization test at 925°C for 6 hours. Further the same examination was carried out on the effect of grain growth on the austenitic or martensitic structure by a superheated carburizing method at 900°~1150°C for 6 hours and by oil quenching at the same temperature (held for 20 minutes.)

As result of study on the grain growth of these steels, it was found that Cr-Mo cast steel added with Mn started to coarsen at 950°C~1000°C, while Mn-Si cast steel added with Cr did at 1000°C.

In Si, Ti, Al added cast steels, however, coarsening was not recognized at temperatures below 1100°C

Tests on these cast steels indicate that the addition of Si, W, V, Ti or Al has a marked effect on grain refining and inhibition of grain growth, but the addition of Ni or Mn has no such essential effect.

Examination of many special cast steels shows that the coarsening temperature for low or medium carbon steels varies between  $A_{c_3}$  points and 1100°C, but the growth of grains is especially remarkable at temperature between 950°~1100°C., and the steels that begin to coarsen at temperatures above 1000°C are rare. Mechanism of inhibition for austenitic grain growth was also inquired.

### I. 緒 言

著者は第1報<sup>1)</sup>、第3報<sup>2)</sup>及び第4報<sup>3)</sup>で各種特殊鑄鋼の鑄造組織及びその生成機構に就て述べたが、之等の鑄造組織は結晶粒と密接な関係を有する。故に本報告では特殊成分を添加した鑄鋼に就て結晶粒度の大小とマクロ組織との関係、過熱に依る結晶粒成長及び成長抑制機構等に就て研究した結果を述べる。

元來鋼の結晶粒度は熱處理、機械加工の程度に應じて變化するが、所定温度に所定時間以上加熱すればそれ以前の熱處理、加工の如何に拘らずその温度固有の結晶粒

を示す。故に一定温度に一定時間加熱して結晶粒の大小を比較すれば鋼の優劣性を判定する事が出来る。この結晶粒粗密度の判定法としては滲炭法が一般に採用せられているが、 $A_{c_3}$ 以上に加熱した均一オーステナイト鋼は温度上昇と共に結晶粒が成長し材質の低下を來すので $A_{c_3}$ 直上で行うことが推奨される。併し鑄鋼の様に樹晶を擴散して均一組織となす必要のあるものは已むを得ず高温焼鈍を施すが、この場合最も懸念せられる事は過熱に依る結晶粒の成長である。之を判定する方法としては

\* 九州工業大學金屬工學教室, 工學博士

(1) 過熱焼準, (2) 過熱滲炭, (3) 過熱焼入等の方法が興えられるが, 本報告は之等の方法に依る結晶粒の成長状態並びに成長抑制作用に就て研究した結果を述べる。

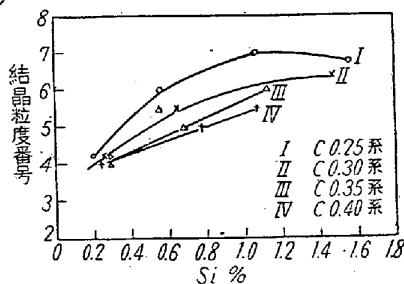
## II. 実験方法

結晶粒度の現示法としては滲炭函中に木炭 60 部, 炭酸バリウム 40 部の混合物と共に試験片を充填密閉し, 925°C で 6 時間加熱滲炭する學振法を採用した。滲炭試料は豫め 1/5 程度の切込を付けて滲炭後破断研磨し, 5% 硝酸で腐蝕して 100 倍の擴大率で結晶粒度を測定した。又結晶粒成長の判定法としては 950°C~1200°C に 2 時間加熱空冷 (過熱焼準法), 900°C~1150°C に 6 時間加熱滲炭 (過熱焼準法) 及び 900°C~1100°C に 20 分間加熱油焼入 (過熱焼入法) 等の方法を試みた。以下之等の実験結果に就て述べる。

## III. 実験結果

### A. 諸元素の結晶粒度に及ぼす影響 (學振法滲炭)

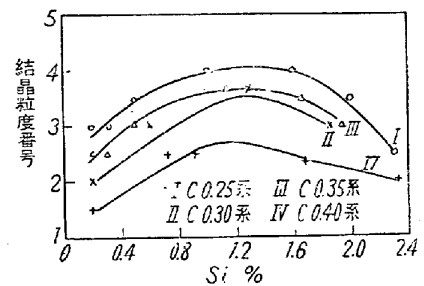
Cr 1%, Mo 0.25%, Mn 0.6% を含む Cr-Mo 鑄鋼に Si 0.2~2.5% を添加した Cr-Mo-Si 鑄鋼の 925°C, 6 時間滲炭後の結晶粒度は第 1 圖の様に Si 添加と



第 1 圖 Cr-Mo 鑄鋼の結晶粒度に及ぼす Si の影響 (925°C, 6 時間滲炭)

共に微細化するが, 或量以上になれば結晶粒界が現れ難い。その限界点は C 0.25% では Si 1.5%, C 0.3% では Si 1.3%, C 0.37% では Si 1.1%, C 0.4% では Si 1% である。この理由は Si 添加と共に  $A_1$  變態點が上昇し 925°C 滲炭では均一なオーステナイトとなり難いためであると考えられる。故に改めて全試料を 1100°C で 4 時間滲炭した結果を第 2 圖に示す。之に依れば何れも Si の増加と共に結晶粒が微細となるが, 大體 1.2% を超れば却て粗大化する。之を 625°C 滲炭の場合と比較すれば結晶粒が成長するが, Si の影響を比較する目的には差支えないものと考えられる。

第 1 表は Cr-Mo 鑄鋼に Ni を添加した試料の 925°C 滲炭の結晶粒度の影響を示す。之に依れば Ni は



第 2 圖 Cr-Mo 鑄鋼の結晶粒度に及ぼす Si の影響 (1100°C, 4 時間滲炭)

Si の様な結晶粒度の變化は殆ど認められない。又第 2 表は Cr-Mo 鑄鋼及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼に Mn を添加した試料の滲炭結果で, Mn 1.2% 附近迄は結晶粒に殆ど影響ないがそれ以上では幾分粗大化の傾向を示す。第 3 表は Cr 1%, Mn 1%, Si 0.6% を含む Mn-Si 鑄鋼及び Cr-Mn-Si 鑄鋼に W を添加した場合の結晶粒度を示す。Mn-Si 鑄鋼に W の添加は W 0.4% (402) では結晶粒が稍粗であるが, Cr-Mn-Si 鑄鋼に W の添加は 0.4% で既に結晶粒が微細化せられる。

第 4 表は Cr-Mn-Si 鑄鋼に V 及び Ti を添加したもので V の添加は (I) の Cr 1.0~1.2% のものも (II) の Cr 1.5~1.8% のものも V 0.15% 迄は結晶粒は幾分粗であるが, V 0.2% を添加すれば相當結晶粒は微細化せられる。然るに Cr-Mn-Si 鑄鋼に Ti の添加は結晶粒を著しく微細化する。即ち (III) の Ti 添加前に Al で脱酸処理を施さないものも, (IV) の Al で脱酸したのも結晶粒は何れも微細である。この V 添加と Ti 添加との結晶粒度を比較すれば, V は 0.2% を添加して始めて微細となるが, Ti は極めて少量で微細となり, 而かも微細化の程度は後者が大である。即ち Ti はマクロ組織の點からも亦結晶粒微細化の點からも V より効果的である。

### B. 過熱に依る結晶粒の成長

(1). 過熱焼準に依る結晶粒の成長:—鑄鋼は高温で焼準すればマクロ組織が擴散し機械的性質も良好となるが或温度範囲を超れば急激に性質を低下し同時に結晶粒も粗大化する。例えば Cr 1%, Mo 0.35%, Si 1% を含む Cr-Mo-Si 鑄鋼を 950°C~1200°C に 2 時間焼準すれば第 3 圖の様に 1100°C 迄は結晶粒度の成長が比較的少いがそれ以上では著しく成長する。但し結晶粒度はフェライト粒界に依て決定したが, 試料に依ては之を示さず判定に困難を感ずる場合も多い。この點は次に述べる過熱滲炭法が一般に有利である。

第1表 Cr-Mo 鑄鋼の結晶粒度に及ぼす Ni の影響

番 號	化 學 成 分 %								結晶粒度 番 號
	C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	P	S	
153	0.17	0.69	1.05	0.25	0.60	0.66	0.007	0.021	5
175	0.17	1.16	0.95	"	0.51	0.62	0.012	0.015	6
176	0.17	1.53	1.00	"	0.51	0.62	0.007	0.009	6
177	0.17	2.04	0.88	"	0.63	0.57	0.014	0.019	5
178	0.17	2.59	0.95	"	0.51	0.59	0.005	0.008	5
157	0.19	3.08	0.95	"	0.61	0.56	0.009	0.011	5
172	0.24	0.56	1.06	0.25	0.59	0.59	0.005	0.008	5.5
171	0.21	1.17	1.25	"	0.62	0.62	0.004	0.013	5.5
169	0.24	1.61	1.24	"	0.56	0.56	0.010	0.019	4
163	0.25	2.01	1.06	"	0.61	0.61	0.004	0.014	5
170	0.22	2.26	1.28	"	0.60	0.61	0.010	0.010	4.5
168	0.22	3.11	1.12	"	0.66	0.67	0.005	0.012	5

第2表 Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼の結晶粒度に及ぼす Mn の影響

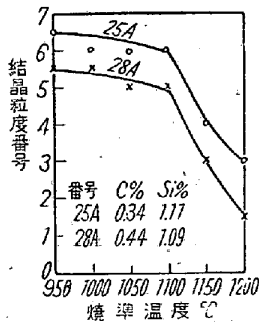
鋼種 番 號	化 學 成 分 %								結晶粒 度番 號	
	C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	P	S		
Cr	322	0.27	—	1.23	0.25	0.48	0.25	0.008	0.017	5
Mo	323	0.30	—	1.20	"	0.77	0.25			5
Mn	319	0.28	—	1.16	"	1.00	0.24	0.003	0.015	5
鑄	320	0.27	—	1.20	"	1.34	0.24	0.010	0.020	5
鋼	314	0.29	—	1.23	"	1.62	0.25	0.010	0.013	4
	315	0.29	—	1.24	"	1.81	0.24	0.010	0.015	3.5
	316	0.33	—	1.27	"	2.03	0.26	0.010	0.016	4
Ni	151	0.24	2.11	1.40	0.40	0.70	0.25	0.003	0.013	5
Cr	152	0.23	2.08	1.39	"	0.97	0.35	0.003	0.020	4.5
Mo	147	0.25	2.31	1.59	"	1.27	0.34	0.004	0.020	5
Mn	115	0.26	2.00	1.61	"	1.81	0.25	0.007	0.018	5
鑄	160	0.27	2.21	1.73	0.40	0.75	0.27	0.009	0.015	6
鋼	161	0.28	2.23	1.75	"	1.01	0.25	0.012	0.019	5
	150	0.28	2.15	1.51	"	1.21	0.37	0.005		6
	107	0.33	1.94	1.77	"	1.53	0.31	0.008		5.5
	149	0.29	2.18	1.39	"	1.72	0.28	0.006	0.011	5
	148	0.33	2.12	1.47	"	1.86	0.37	0.004		4.5

第3表 Mn-Si 及び Cr-Mn-Si 鑄鋼の結晶粒度に及ぼす W の影響

鋼 種	番 號	化 學 成 分 %							結晶粒 度番 號
		C	Cr	Mn	Si	W	P	S	
Mn-Si-W 鑄 鋼	402	0.19	—	0.92	0.57	0.43	0.005	0.017	5
	403	0.17	—	0.91	0.51	1.05	0.008	0.030	6.6
	401	0.22	—	0.94	0.61	1.53			6.1
	404	0.18	—	0.87	0.53	2.09	0.005	0.023	6.5
Cr-Mn-Si-W 鑄 鋼	456	0.18	1.00	0.99	0.53	0.41			6.7
	452	0.20	0.91	1.00	0.57	0.77	0.007	0.007	6.5
	453	0.25	0.96	0.98	0.57	1.09	0.004	0.012	6.5
	455	0.25	1.00	1.01	0.93	1.35	0.005	0.015	6.5
	454	0.19	0.97	0.98	0.55	2.06	0.003	0.010	6.5

第4表 Cr-Mn-Si 鑄鋼の結晶粒度に及ぼす V 及び Ti の影響

鋼種	類別	番 號	化 學 成 分 %								結晶粒度 番 號
			C	Cr	Mn	Si	V	Ti	P	S	
Cr — Mn — Si — V 鑄 鋼	I Cr 1.0~ 1.2%	525	0.22	1.12	1.01	0.72	0	—	0.003	0.019	5
		526	0.20	1.09	0.96	0.86	0.05	—	0.006	0.017	5.6
		527	0.20	1.14	0.93	0.81	0.10	—	0.009	0.012	5
		528	0.22	1.08	0.91	0.76	0.15	—	0.005	0.015	5.5
		539	0.23	1.00	0.94	0.73	0.20	—	0.004	0.013	6.5
		530	0.23	1.15	0.91	0.77	0.25	—	0.007	0.011	6.5
	II Cr 1.5~ 1.8%	519	0.23	1.80	1.01	0.79	0	—	0.006	0.007	5
		533	0.23	1.77	0.90	0.69	0.05	—	—	—	5
		521	0.23	1.74	0.99	0.76	0.11	—	0.007	0.011	5.5
		522	0.19	1.74	0.93	0.78	0.15	—	—	—	5.5
		534	0.25	1.68	0.89	0.88	0.20	—	0.007	0.010	6.3
		524	0.19	1.46	0.99	0.73	0.25	—	—	—	6.2
Cr — Mn — Si — Ti 鑄 鋼	III Al を添 加せず	613	0.19	1.00	0.91	0.84	—	0.05	—	—	6.5
		603	0.19	1.16	0.98	0.98	—	0.10	—	—	7
		604	0.21	1.16	0.98	0.87	—	0.15	—	—	7
		606	0.19	1.12	1.07	0.98	—	0.25	—	—	8
	IV Al 0.1% 添加す	607	0.21	1.12	1.03	0.85	—	0.025	—	—	7.5
		615	0.18	1.01	0.92	0.96	—	0.05	—	—	7
		616	0.25	1.01	0.91	0.94	—	0.10	—	—	7
		610	0.20	1.16	0.96	0.94	—	0.15	—	—	7.5
		611	0.25	1.11	1.00	0.93	—	0.20	—	—	8
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



第3圖 焼準温度と結晶粒度との關係

(2) 過熱滲炭に依る結晶粒の成長:一過熱滲炭法は總ての試料に適用出来るので焼準法より有利であるが、結晶粒は滲炭面にのみに限られ内部の粒度を知る事が出来ない。その上滲炭面は淺く而かも相當時間を要するため結晶粒の成長が他の方法より著しい等の不利がある。併し結晶粒の成長状態を比較する方法としては粒界が明瞭である。

第5表は C 0.3% を含む Cr-Mo-Si 鑄鋼の 925°~1150°C, 6時間過熱滲炭に依る結晶粒の成長状態を示す。之に依れば 1050°~1100°C 迄は比較的成長が緩慢であるが、それ以上では急激に成長する。

第6表は Cr-Mo 鑄鋼の 900°~1100°C, 6時間滲炭の結晶粒成長に及ぼす Mn 及び Ni の影響を示したもので、Mn 添加の I では 950°C 迄は結晶粒は殆ど變化しないが 1000°C で急激に成長を示す。又 Ni 添加の II では 1000°C 迄は殆ど變化がないが 1050°C となれば急激に結晶粒は成長する。

第7表は Ni-Cr-Mo 鑄鋼の結晶粒成長に及ぼす Mn の影響を示す。之も第6表 II と殆ど同様の傾向を示している。之等の結果を比較すれば含 Ni 鑄鋼は無 Ni 鑄鋼より結晶粒成長開始温度が高く而かも結晶粒粗大化が幾分小である。

又第8表は Ni 及び Mo を含有しない Mn-Si 鑄鋼 (Mn 1%, Si 0.8%) に Cr を 0.07~3.04% 添加した

第5表 Cr-Mo 鑄鋼の過熱滲炭に依る結晶粒度成長に及ぼす Si の影響

番 號	化 學 成 分 %							結 晶 粒 度 番 號					
	C	Cr	Mo	Mn	Si	P	S	925°	950°	1000°	1050°	1100°	1150°
85B	0.31	1.08	0.35	0.64	0.28	0.008	0.013	4.5	4.5	4	3.5	2.5	1.5
12	0.31	1.15	〃	0.69	0.63	0.006	0.017	5.5	5	4.5	4	3.5	1.5
17	0.31	1.10	〃	0.63	1.32	0.004	0.023	6.5	6	5.5	4.5	3.5	2.5
18	0.31	0.99	〃	0.62	1.85	0.004	0.017	—	—	5	4.5	3.5	2
19	0.31	1.01	〃	0.65	2.57	0.004	0.014	—	—	3.5	3	3	1.5

第6表 Cr-Mo 鑄鋼の過熱滲炭に依る結晶粒成長に及ぼす Mn 及び Ni の影響

鋼 種 番 號	化 學 成 分 %								結 晶 粒 度 番 號					
	C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	P	S	900°	950°	1000°	1050°	1100°	
I Cr-Mo- Mn 鑄鋼	323	0.30		1.20	0.25	0.77	0.25			6	6	4.5	3.5	2.5
	319	0.28		1.16	〃	1.00	0.24	0.008	0.015	6	5	4	3	2
	314	0.29		1.23	〃	1.62	0.25	0.010	0.013	6	5	3.5	2.5	2
	316	0.33		1.27	〃	2.03	0.26	0.010	0.016	5	4	3	2	1.5
II Ni   Cr   Mo 鑄鋼	153	0.17	0.69	1.05	0.25	0.60	0.75	0.007	0.021	6	5.5	5	4	3
	175	0.17	1.16	0.95	〃	0.51	0.62	0.012	0.015	7	5	6	4	3
	155	0.18	1.60	0.94	〃	0.60	0.67	0.008	0.014	6	5	5	4	2.5
	177	0.17	2.04	0.88	〃	0.63	0.57	0.014	0.019	6	6	5	4	2
	157	0.19	3.10	0.95	〃	0.61	0.56	0.009	0.011	7	6	6	4	2
	164	0.25	0.51	1.06	0.25	0.67	0.60	0.007	0.015	5	5	6	4	3
	171	0.21	1.17	1.25	〃	0.62	0.62	0.004	0.013	—	5	6	4	3
	169	0.24	1.61	1.24	〃	0.56	0.56	0.010	0.019	—	6	6	4.5	3
	163	0.25	2.01	1.06	〃	0.61	0.61	0.004	0.014	6	6	5	4	3
	168	0.22	3.11	1.12	〃	0.66	0.67	0.005	0.012	5	6	6	3.5	2.5

第7表 Ni-Cr-Mo 鑄鋼の過熱滲炭に依る結晶粒成長に及ぼす Mn の影響

番 號	化 學 成 分 %								結 晶 粒 度 番 號			
	C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	P	S	950°	1000°	1050°	1100°
151	0.24	2.11	1.40	0.40	0.70	0.25	0.006	0.013	5	6	4	3
152	0.23	2.08	1.39	〃	0.97	0.35	0.006	0.020	5	5	4	3
147	0.25	2.31	1.59	〃	1.27	0.34	0.004	0.020	6	6	4	2.5
115	0.26	2.00	1.61	〃	1.81	0.25	0.007	0.018	6	5	4.5	3
160	0.27	2.21	1.73	0.40	0.75	0.27	0.009	0.015	5	5	4	3
161	0.28	2.23	1.75	〃	1.01	0.25	0.012	0.019	5.5	5	4.5	3
167	0.33	1.94	1.77	〃	1.53	0.31	0.008		5.5	5	5	4
148	0.33	2.12	1.47	〃	1.86	0.37	0.004		6	5	5	3.5

第8表 Mn-Si 鑄鋼の過熱滲炭に依る結晶粒成長に及ぼす Cr の影響

類 別	番 號	化 學 成 分 %						結 晶 粒 度 番 號				
		C	Cr	Mn	Si	P	S	900°	950°	1000°	1050°	1100°
第 I 類 C 0.20~ 0.23%	554	0.22	0.08	0.97	0.72	0.007	0.020	6	5.5	5	4	3.5
	569	0.22	0.47	0.97	0.71			6	5.5	4.5	4	3.5
	561	0.23	1.06	0.93	0.72	0.006		5	4.5	4	4	3.5
	562	0.20	1.21	0.92	0.84	0.003	0.015	6	6	5	5	4
	563	0.20	1.88	0.94	0.73	0.004		5.5	5.5	5	4.5	3
	564	0.23	2.34	0.94	0.82	0.004	0.013	6	6	5	4.5	4
第 II 類 C 0.31~ 0.38%	551	0.34	0.07	1.03	0.73	0.005	0.011	5.5	4	3	3	3
	555	0.38	0.48	1.06	0.78	0.006	0.007	6	4.5	3.5	3	3
	507	0.31	1.10	0.94	0.82	0.008	0.008	7	5.5	4	4	4
	556	0.37	1.53	1.11	0.76	0.009	0.011	6	5.5	3.5	3	3
	513	0.38	1.80	0.94	0.77	0.005	0.011	6	6	4.5	4.5	4
	557	0.34	2.03	1.04	0.72	0.006	0.009	6	5.5	4.5	4	4
558	0.36	3.04	1.04	0.74	0.009	0.015	6.5	6.5	5	5	4.5	

Cr-Mn-Si 鑄鋼の試験結果にして大體 1000°C で成長するがその傾向は低 Cr 鑄鋼では C の高いもの程大であるが高 Cr 鑄鋼では殆ど C の影響がない。

第9表は Cr-Mn-Si 鑄鋼に Ti を添加した場合の結

果を示す。第 I 類は Ti 處理前に Al を添加しないもの第 II 類は Ti 處理前に脱酸剤として 0.1% Al を添加したものである。之に依れば 1050°C 滲炭迄は結晶粒成長は左程認められず 1100°C で幾分粗大化するが、他の鑄

第9表 Cr-Mn-Si 鑄鋼の過熱滲炭に依る結晶粒成長に及ぼす Ti の影響

類 別	番 號	化 學 成 分 %						結 晶 粒 度 番 號				
		C	Cr	Mn	Si	Ti	Al	900°	950°	1000°	1050°	1100°
第 I 類	613	0.19	1.00	0.91	0.84	0.05	—	7.5	7	5.5	5.5	5
	603	0.19	1.16	0.98	0.98	0.10	—	6.5	6	6	5	3.5
	604	0.21	1.16	0.98	0.87	0.15	—	7	7	6	5.5	5
	614	0.25	0.87	0.93	0.94	0.20	—	7	7	6	5.5	5
	606	0.19	1.12	1.01	0.98	0.25	—	8	7	7	7	6.5
第 II 類	607	0.21	1.12	1.03	0.85	0.025	0.1	8	7	7	7	6.5
	615	0.18	1.01	0.92	0.96	0.05	〃	6.5	7	6.5	6	5
	609	0.17	1.17	1.02	0.98	0.10	〃	7	7	6.5	6	6
	616	0.25	1.01	0.91	0.94	0.10	〃	7	6	6	5	4.5
	610	0.20	1.16	0.96	0.94	0.15	〃	7.5	6.5	6.5	6	6
	611	0.25	1.11	1.00	0.93	0.20	〃	7	6.5	6.5	6	6
	612	0.26	1.12	0.99	0.96	0.25	〃	8	7.5	7	7	6.5

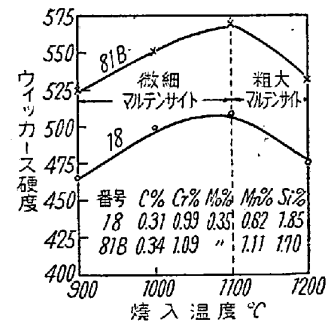
鋼に比較すれば著しく結晶粒は小で而かもⅡは結晶粒成長抑制作用が大である。

(3) 過熱焼入に依るマルテンサイト組織の粗大化:— 結晶粒の成長は鋼を焼入して得られる針状マルテンサイト組織の大小粗密の程度に依ても判定することが出来る。この焼入法に依れば加熱温度及び時間の如何に拘らず適用せられ、而かも試片の内外何れの部でも粗密の程度を判断し得るから前二者に比較して簡便である。

第10表は Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼の 800°~1000°C, 20 分間加熱油焼入に依るマルテンサイト組織の粗大化に及ぼす Ni の影響 (I) 及び Mn の影響 (II) を示す。之に依れば焼入温度の低いものは樹晶が擴散せられずフェライトも多く残留するが、925°~950°C 焼入では殆どフェライトが消失する。Ni-Cr-Mo 鑄鋼 (I) では 925°~950°C でマルテンサイトは粗大化するが、Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼 (II) では 950°C 以上で粗大化が起る。I はを變化しても組織は左程影響しないが、II は Mn 1.2% 附近迄は粗大化の傾向が少く、Mn がそれ以上となれば粗大化の傾向が著しくなる。

第11表は Mn 1%, Si 0.8% を含む Mn-Si 鑄鋼に Cr 0~3% 添加した Cr-Mn-Si 鑄鋼を 900°~1100°C に 20 分間加熱油焼入した試料のマルテンサイト組織の粗密度を示したもので、或範囲内の Cr の添加は格別影響を與えないが、Cr 2~3% を添加すれば幾分組織は小となる。又焼入温度を 1000°C 以上に過熱すればマルテンサイト組織は粗大化する傾向がある。

第12表は Cr, Mn, Si 各 1% を含む Cr-Mn-Si 鑄鋼に Ti を 0.025~0.25% 添加した試料の上記焼入温度に於けるマルテンサイト組織の大小粗密の程度を示す。Al 未脱酸鋼 (I) は Al 脱酸鋼 (II) より一般に粗



第4圖 焼入温度と硬度との関係

織が粗である。又 1050°C 焼入迄は焼入温度の上昇に依る組織の變化も左程著しくないが 1100°C 焼入のものは相當粗大化する。之は無 Ti 鑄鋼に比較して著しく組織が微細で結晶成長抑制作用が大である。

第4圖は Cr-Mo-Si 鑄鋼に就てマルテンサイト組織の粗密が硬度に及ぼす影響を示したもので焼入温度 1100°C 迄はマルテンサイト組織は微細にして硬度も増加を示すが、焼入温度が上昇して組織が粗大化すれば硬度は減少する傾向を示す。

#### IV. マクロ組織と結晶粒との関係 並びに結晶粒微細化の機構

樹晶の大きさは結晶粒の大きさを現すから特殊鑄鋼の結晶粒度はマクロ組織と密接な関係があり、細粒鋼は靱性が大であるので使用目的に應じて適當に粒度を調整する必要がある。従てこの結晶粒度の差異、生成条件及びその微細化機構を明かにする事が重要な問題である。鋼を加熱すれば A<sub>1</sub> 點で α→γ 變態が開始せられ A<sub>3</sub> 點で變態を完了して γ 相となり結晶粒は所謂初期粒度を示す。尙温度が上昇すれば結晶粒の合一により成長するが

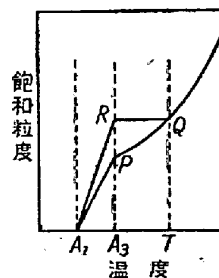
第 10 表 Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼の過熱焼入に依る

鋼 種	番 號	化 學 成 分 %							
		C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	P	S
(I) Ni   Cr   Mo 鑄 鋼	153	0.17	0.69	1.05	0.25	0.60	0.60	0.007	0.021
	175	0.17	1.16	0.95	〃	0.51	0.62	0.012	0.015
	176	0.17	1.58	1.00	〃	0.51	0.62	0.007	0.009
	177	0.17	2.04	0.88	〃	0.63	0.57	0.014	0.019
	178	0.17	2.59	0.95	〃	0.51	0.57	0.005	0.008
	157	0.19	3.10	0.95	〃	0.61	0.56	0.009	0.011
(II) Ni   Cr   Mo   Mn 鑄 鋼	160	0.27	2.21	1.73	0.40	0.75	0.27	0.009	0.015
	161	0.28	2.23	1.75	〃	1.01	0.25	0.012	0.019
	150	0.28	2.15	1.51	〃	1.21	0.37	0.005	
	107	0.33	1.94	1.77	〃	1.53	0.31	0.008	
	149	0.29	2.18	1.39	〃	1.72	0.28	0.006	0.011
	148	0.33	2.21	1.49	〃	1.86	0.37	0.004	

第 11 表 Mn-Si 鑄鋼の過熱焼入に依るマルテンサイト組織の粗化大に及ぼす Cr の影響

類 別	番 號	化 學 成 分 %						マルテンサイト組織の状態				
		C	Cr	Mn	Si	P	S	900°	950°	1000°	1050°	1100°
第 I 類 C 0.20~ 0.23%	554	0.22	0.08	0.97	0.72	0.007	0.020	微細	微細	大大	大大	大
	569	0.22	0.47	0.97	0.71			微細	小	大大	大大	大粗大
	561	0.23	1.06	0.93	0.72	0.006		微細	微細	大大	大大	大粗大
	562	0.20	1.21	0.92	0.84	0.003	0.015	微細	小	大大	大大	大粗大
	563	0.20	1.88	0.94	0.73	0.004		微細	小	大大	大大	大粗大
	564	0.23	2.34	0.94	0.82	0.004	0.013	微細	微細	稍大	粗大化す	大粗大
第 II 類 C 0.31~ 0.38%	551	0.34	0.07	1.03	0.73	0.005	0.011	微細	稍大	大	粗大	粗大
	555	0.38	0.48	1.06	0.78	0.006	0.009	微細	稍大	大	粗大	粗大
	507	0.31	1.10	0.94	0.82	0.008	0.008	微細	微細	大	粗大	粗大
	556	0.37	1.53	1.11	0.76	0.009	0.011	微細	小	大	粗大	粗大
	513	0.38	1.80	0.94	0.77	0.005	0.011	微細	小	大	粗大	粗大
	557	0.34	2.03	1.04	0.72	0.006	0.009	微細	極微細	大	粗大	粗大
558	0.36	3.04	1.04	0.74	0.009	0.015	微細	微細	大	粗大	粗大	

或一定温度に長時間保持すれば結晶の成長は飽和しその温度特有の飽和粒度を示す。第 5 圖は飽和粒度と温度との關係を示したもので、試料を A<sub>1</sub> 點以上加熱すれば結晶粒は A<sub>1</sub> PQ に従て成長するが、T°C に一定時間加熱して飽和粒度となして冷却すれば粒度は温度が降つても變化せず、結晶粒度の不可逆性を生じ履歴曲線を描く。故に或温度に一定時間保持すればそれ以前の熱處理加工の如何に拘らずその温度固有の結晶粒を示すから結晶粒の大小を比較することが出来る。



第 5 圖 飽和粒度と温度との關係

マルテンサイト組織の粗大化に及ぼす Ni 及び Mn の影響

焼 入 温 度 °C				
800	900	925	950	1000
F 細粒のもの網状に残存す。Mは細し F 細粒のもの網状をなす。Mは細し F 細粒網状。M細し F 最も細粒細きMもあり F 細粒にして全面にあり。M細し F 細粒のもの残存す M細し	F 細粒のもの網状に残存すM細し F 点々として残存す M細し F 点々と残存す M細し F 点々と残存す M細し F 点々と残存す M細し F 点々と残存す M細し F 殆どなく網目をなす。M全面細し	細きF残存す M割りに細し F点々として残存す M細し F少し残存す M細し F大きなもの残存す M稍大となる F殆どなし M稍大 Fなし M全面細し	Fなし。M稍大 F幾分点々としてある り。M相当大となる F幾分点々として残る 存。M相当大となる F尙点々としてあり M相当大となる Fなし。 M相当大となる Fなし。 M相当大となる	同 左 Fなし。M大 Fなし。M大 Fなし。M大 Fなし。M大 同 左
F 細きもの全面に残す。M細し F 細粒のもの全面に残存す。M細し F 全面に残存す M細し F 全面に残存す Mは細し 細きF全面に残存す M細し F 全面に残存す M細し	F 所々に残存す M細し F 細粒のもの相当残存す。M細し F 細きもの全面にあり 所々に網状もありM細し 細きF網状をなす M細し F 細きもの尙残存す M稍大きくなる F 細粒のもの残存す M細し	F 殆どなし M細し F 網状をなして残存す。M細し F 殆どなし。M細し F 尙残存す。M細し F 尙残存す。M細し F 殆どなし。M稍大	Fなし。 全面M相当大 Fなし。M大 Fなし。M大 Fなし。M極めて大 中心部M稍細し F殆どなし。 M極めて大 Fなし。M極めて大	同 左 尙 M 大 同 左 同 左 同 左 同 左

F=フェライト。 M=マルテンサイト

第12表 Cr-Mn-Si 鑄鋼の過熱焼入に依るマルテンサイト組織の粗大化に及ぼす Ti の影響

類 別	番 號	化 學 成 分 %					マルテンサイト組織の状態				
		C	Cr	Mn	Si	Ti	900°	950°	1000°	1050°	1100°
第 I 類	613	0.19	1.00	0.91	0.84	0.05	○	○	△	+	×
	603	0.19	1.16	0.98	0.98	0.10	○	○	○	□	×
	604	0.21	1.16	0.98	0.87	0.15	○	○	○	□	×(613より小)
	614	0.25	0.87	0.93	0.94	0.20	○	○	○	○	×
	606	0.19	1.12	1.01	0.98	0.25	○	○	○	□	×
第 II 類	607	0.21	1.12	1.03	0.85	0.025	○	○	△	△	×(急激に)
	615	0.18	1.01	0.92	0.96	0.05	○	○	△	△	×(同上)
	616	0.25	1.01	0.91	0.94	0.10	○	○	○	+	他のものより微細
	610	0.20	1.16	0.96	0.94	0.15	○	○	○	+	同上
	611	0.25	1.11	1.00	0.93	0.20	○	○	+	+	同上
	612	0.26	1.12	0.99	0.96	0.25	○	○	+	+	×

○ 微細, △ 微細なれど稍大となる気味あり, + 粗大化するも尙細かし, □ 幾分粗くなる, × 粗大

結晶粒の粗密度発生の原因としては (1). Al を添加すれば細粒鋼となる (但し或量以上の Al は効果がない). (2). Si, Mn 等で脱酸すると粗粒鋼となる. (3). V, Zr, Ti 等の添加は結晶粒を微細化する事等が考えられる. 之等結晶粒微細化の機構に就ては脱酸生成物たる SiO<sub>2</sub>, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等の核作用に歸因すると考えられている. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は微細粒として鋼中に擴がり之が變態に際して核作用をなすため微細化するが, Si 又は Mn では變態の核作用又は成長抑制作用が小であるため細粒鋼になり難

いと見られている. 然るに實驗溶果に依れば Si 脱酸鋼は必ずしも粗粒鋼になるとは限らず, 例えば Cr-Mo-Si 鑄鋼では脱酸剤程度の少量の Si 添加は結晶粒を粗大にするが, 適量の Si (0.8~1.2% 程度) を添加すれば著しく小となる. 之は Si 及び Mn が共存する場合には SiO<sub>2</sub> 系の酸化物を Mn が凝集するために結晶粒が大となるが, Si が Mn の作用を抑制する以上過剰になれば微細化が行はれるものと考えられる. この事實は既に Burns<sup>4)</sup> に依ても同様の傾向が認められている.



又一般に鋼と固溶體を作る元素 Ni, Co, Mn 等の添加は結晶粒微細化に影響しないが、オーステナイト中に不溶性の炭化物として存在する Cr, W, Mo, V, Ti 等の添加は結晶粒微細化又は成長抑制作用が大である。

### V. 結晶粒の成長及びその抑制機構

鋼を變態點以上に加熱すればオーステナイトは集合成長する。之は温度上昇及び時間と共に進行するが、直線的ではなく或温度範囲では成長が比較的少いが、その温度を超れば急激に成長する。前述の様に鋼と固溶體を作る元素の添加は結晶粒成長抑制の効果はないが、不溶性炭化物を生成する元素の添加は結晶粒成長を抑制する作用が著しい。之は炭化物がオーステナイト中に不溶解の場合には結晶粒度は成長しないが、炭化物が溶解吸収せらるれば成長を開始すると考えている。又添加元素が非金属介在物を生成する場合にも成長抑制作用がある。鋼に Mn, Si, Al 等の脱酸劑の添加は粒状の不溶性物質を生成し熔鋼から分離するが、一部は鋼中に残存し成長防止に有効に働く。Mn は最も成長防止作用が弱く寧ろ助長する傾向さえあるが、適量の Si は珪酸質介在物を生じ成長防止に効果的に働く。又少量の Al は成長防止に効果的であるが過量となれば効果がない。特に Al 中に酸素が存在すれば大部分は細粒非金属介在物として分散して成長を防止するが、酸素を含まない場合には成長抑制の効果がない。之等の現象は既に Brophy-Parker<sup>7)</sup>, Derge-Kommel-Mehl<sup>8)</sup> 等に依て認められている。

この結晶粒成長抑制の機構としては従来分散説<sup>7)</sup>(Dispersion theory), 結合説<sup>8)</sup>(coalescence theory), 吸着説<sup>9)</sup>(Adsorption theory) 及び薄膜説<sup>10)</sup>(Film theory) 等が提唱せられている。分散説は Al 鎮静鋼ではアルミナ微粒子の核を生じ初期結晶粒を形成するが、之は高温で加熱せられても比較的安定なため成長を抑制すると云う。結合説は Al 鎮静鋼に於けるセメントタイトの消失が結晶粒の成長をなすと考えている。又吸着説は粒界の安定性が粒子の移動を抑制するとし、粒界に吸着せられたものがオーステナイト中に溶解すれば結晶粒の成長防止作用が消失すると云う。尚薄膜説では結晶粒成長の防止作用を薄膜(主として  $Al_2O_3$ ) の溶解度に歸して、薄膜が新オーステナイト結晶粒界に析出して成長を阻止すると考えている。之に依れば溶液がオーステナイト中に飽和状態を保つて粒界に薄膜を析出し成長を阻止するが、粗大化温度では薄膜は最も薄い部分から溶解し初め、粗大化温度以上では之が完全に溶解するため不均一

粗大な結晶粒となる。

結晶粒成長の抑制機構には上述の諸説があり未解決であるが、恐らく次の様な機構に基くものと考えられる。即ち結晶粒成長に干渉作用をなす微粒子がオーステナイト結晶粒界に徐々に溶解するか、或は徐々に凝集して薄膜を形成するならば、恐らく結晶粒成長は緩慢に行われるであらう。即ち成長抑制に効果的なものは粒界に形成された薄膜にして、粒内に分散した微粒子は抑制作用に効果がないと考えられる。従て結晶粒成長の抑制作用は結晶粒内の状態には依らず粒界面の安定性の如何に支配せられ、粒界に析出した  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  の微粒子がオーステナイト中に溶解し、薄膜を形成して飽和状態を保てば結晶粒は成長しないが、オーステナイト中に溶解すれば急激に成長する。又之等微粒子の擴散能が小さい程熱處理に對する感受性も小にして薄膜の溶解にも長時間を要し、結晶粒成長を抑制する作用が大となるものと考えられる。

### VI. 結 言

第 13 表は特殊鋳鋼の結晶粒度に關する研究結果を一括表示したものであるが、鋼の結晶粒度はマクロ組織と接密な關係があり、マクロ組織の微細なものは結晶粒度も微細である。結晶粒度の微細化に効果的なものは Si, W, V, Ti 等を添加したもので、Ni, Mn の添加は結晶粒度には左程影響を與えず、特に過量の Mn の添加は寧ろ結晶粒を粗大化する傾向がある。又 Si, V, Ti, Al 等の添加は結晶粒成長抑制作用があり、特に Ti の添加はその傾向が大であるが、Ni, Mn の添加は結晶粒成長抑制の効果が少ない。

以上の結果から明かな様に Ni, Mn を含有するものは比較的粗粒鋼より成るので調質鋼として強度を要求するものに適合するが、W, V, Ti, Al 等を添加したものは細粒で結晶粒成長の傾向が少ないので耐熱的方面に利用の道が考えられる。又適量の Si を添加したものはマクロ組織、結晶粒何れも微細で而かも機械的性質も優秀である。(昭和 25 年 6 月寄稿)

#### 参 考 文 献

- 1) 谷村 熙, 三ヶ島秀雄: 鐵と鋼, 30 (1944), 166
- 2), 3) 日本鐵鋼協會第 38 回講演大會に發表(特殊鋳鋼の研究第 3 報, 第 4 報)
- 4) G. Burns: Jour. Iron Steel Inst., 125 (1932) I. 363.
- 5) G. R. Brophy, E. R. Parker: Trans. Amer. Soc. Met., 25 (1937), 315.

- 6) G. Derge, A. R. Kommel, R. F. Mehl: Trans. Amer. Soc. Met., 26 (1938), 153.
- 7) H. W. McQuaid, E. W. Ehn: Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng., 67 (1922), 34.
- 8) H. W. McQuaid: Trans. Amer. Soc. Met., 23 (1935), 797.
- 9) C. Benedicks, H. Löfquist: Jour, Iron Steel Inst., 134 (1936), II. 531.
- 10) J.E. Dorn, O. E. Harder: Trans. Amer. Soc. Met., 26 (1938), 106.
- 11) R. L. Wilson: Metal Progress, 26 (1934), 17 (Aug.)

第 13 表

研究成分	鋼種	925°C 滲炭に依る結晶粒度の變化	過熱に依る結晶粒成長の狀態		
			過熱燒準	過熱滲炭	過熱燒入
Si	Cr-Mo-Si 鑄鋼	マクロ組織の細微なものは結晶粒も微細 Si 1.2% 附近で結晶粒度は最小	1100°C 迄は結晶粒小なれどそれ以上では成長す。	1050~110°C 迄は成長少し、それ以上では成長大	1100°C 迄はマルテンサイト組織微細なれどそれ以上では微細化する。
Ni	Ni-Cr-Mo 鑄鋼	Niの添加は殆ど結晶粒に影響を及ぼさず		950°C 迄は殆ど變化しないが 1000°C で急激に成長す。	925~950°C でマルテンサイト組織粗大化するが、Mnを含有するものより粗大化の傾向小。
Mn	Cr-Mo-Mn 鑄鋼	Mn 1.2% 以上添加すれば結晶粒粗大化の傾向あり		1000°C 迄は殆ど變化しないが 1050°C で急激に成長す。	
Mn	Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼	同上		同上	950°C で粗大化する。Mn 1.2% 以上のものはマルテンサイト組織の粗大化極めて大。
Cr	Cr-Mn-Si 鑄鋼			大體 1000°C で成長するがその傾向は C の高いもの程大。	Cr 2% 以下は格別影響ないが Cr 2~3% となれば組織微細。1000°C 以上で粗大化する。
W	Mn-Si-W 鑄鋼	W 0.4% のものは結晶粒稍粗なるも W 1% となれば微細			
W	Cr-Mn-Si-W 鑄鋼	W 0.4% の添加に依り既に結晶粒は微細化せらる。			
V	Cr-Mn-Si-V 鑄鋼	V 0.15% 迄は幾分結晶粒粗なるも V 0.2% となれば微細化せらる。			
Ti	Cr-Mn-Si-Ti 鑄鋼	少量の Ti の添加に依り結晶粒は著しく微細化せらる。		1050°C 滲炭迄は結晶粒殆ど變化しないが、1100°C で幾分粗大化する。	1050°C 燒入迄は左程の變化なし、1100°C で燒入すれば相當マルテンサイト組織粗大化する。
Ti	Cr-Mn-Si-Ti-Al 鑄鋼	同上		同上なれど更に成長抑制効果が大	同上なれどマルテンサイト組織幾分か細かじ。