

# 粗粒鋼におけるオーステナイト結晶粒の 成長性に関する二、三の知見\*

益 子 美 明\*\*

## SOME ASPECTS OF GRAIN GROWTH CHARACTERISTICS OF AUSTENITE IN COARSE-GRAINED STEELS

*Yoshiaki Masuko*

### Synopsis:

Following the previous report, (Kawai and V. Masuko, Tetsu-to-Hagane, vol. 41, 1955 p. 435) similarly from the view point of grain-growth characteristics of austenite, the author observed experimentally some practical problems concerning the grain size control in coarse-grained steels for high-pressure and high-temperature piping service.

Results obtained are summarized as follows:

(1) A finished product has uniform coarse grains of No.3~No.4 in McQuaid-Ehn Grain Size Number which are by No.1~No.3 less than a ladle sample. And the difference of grain size between a finished product and a ladle sample increases by increasing forging ratio.

(2) The grain growth characteristics of austenite is of the so-called "gradual coarsening" type having no abrupt coarsening stage, and the coarsening temperature is lower in a finished product than in a ladle sample.

(3) In the melting of these steels, as the reducing proceeds, austenite grains become finer and the coarsening temperature rises. And by the addition of Al, austenite grains become still more finer and the coarsening temperature rises higher, but as the time passes on, the coarsening temperature falls. Moreover, the grain-refining effect of Cr additions is also observed.

(4) Austenite grain size and the coarsening temperature have a close connection with the acid-soluble Al in steel as in the case of fine-grained steels in the previous report.

As to  $Al_2O_3$  in steel, however, the clear relation is not observed.

(5) The reason for the difference of grain size between a finished product and a ladle sample is considered to be mainly the diminution of acid-soluble Al in steel, but, especially in the case of low-content level of it, the difference of forging ratio and the distribution state of carbides are also considerably concerned.

(6) The relative relation of grain growth characteristics of austenite among fine-grained steel, coarse-grained steel and duplex-grained steel was clarified.

### I. 緒 言

さきに粒度調整に関する現場的問題の2, 3について主としてオーステナイト結晶粒の成長性の観点から実験的に観察した結果を報告した<sup>1)</sup>。その際 Al の効果の充分な細粒鋼の場合には取鍋試料と製品本体の粒度はよく一致する, すなわち鑄造および後続の熱処理加工によって結晶粒粗大化温度はやや低下の傾向を示すが, 925°C × 6h の粒度はほとんど変化しないことおよびこれに対して Al の効果の不十分な2, 3の場合には有効 Al 分の減衰によつて結晶粒粗大化温度は著しく低下し粗大な混粒の形態を呈するとともに, 取鍋試料と製品本体の粒度の差が生ずることを述べた。

本研究は引続き粗粒鋼の場合につき同様にオーステナイト結晶粒の成長性の見地から, 取鍋試料と製品本体の粒度および成長性の関係ならびに溶解, 精錬および鑄込過程の粒度および成長性の変化を系統的に観察し, 更にこれらの実験結果に対し主として鋼中 Al の存在形態および炭化物の挙動の観点から若干の考察を加えたものである。

### II. 取鍋試料と製品本体の粒度及び成長性の関係

\* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて講演

\*\* 住友金属工業株式会社製鋼所, 技術部研究課

対象とした鋼種は ASTM, A335-52aT の P-11 および P-22 に該当する高温高圧継目無大径管用のもので、その化学成分 (%) は次の通りである。

	C	Mn	P
P-11 (Cr-Si-Mo)	<0.15	0.30/0.60	<0.030
	S	Si	Cr
	<0.030	0.50/1.00	1.00/1.50
	Mo		
	0.45/0.66		
	C	Mn	P
P-22 (Cr-Mo)	<0.15	0.30/0.60	<0.030
	S	Si	Cr
	<0.030	<0.50	1.90/2.60
	Mo		
	0.87/1.13		

なおこの鋼管の当所における製造経過の概要についてはすでに山本博士によつて報告されているところである<sup>2)</sup>。

これらの鋼を 8~15 t の塩基性電気炉で溶製し Al を添加 (P-11 は 0.02%, P-22 は 0.025%) した後、鋳込中期に取鍋より溶鋼を採取し、これを 7 kg の試験鋼塊に鋳込んで 15 mm 角に鍛伸 (鍛造比=10) して取鍋試料とした。製品本体の試料は溶鋼を 9~16 t 鋼塊に鋳込み、これを鍛圧、搾出および伸延等により内径 260~510 mm, 外径 480~650 mm, 長さ 5700~6700 mm (鍛造比=4~31) の継目無大径管を製作し、更にこれを焼準一焼戻したものの鋼塊の頂部に相当する部分より採取したものである。

粒度試験は P-11 は 15 溶解, P-22 は 25 溶解の上記の試料につき学振滲炭粒度を求めた。ただし粒度は各試料とも 5 視野の平均値を採用した。(以下同様)。

次にこれらの試料のうち P-11, P-22 各 2 溶解について学振滲炭法における滲炭温度を 850~1200°C に変化させてオーステナイト結晶粒の成長性を調べた。

なお取鍋試料と製品本体試料について普通化学成分の他に全 N, 可溶 N, 可溶 Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の分析も併せ行つた。ここに N の分析は学振水蒸気蒸溜法, 可溶 Al は Aluminon-Lake 比色法, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は Herty 法における Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の分析法により行つた。(以下同様)。

Table 1 および Table 2 には取鍋試料と製品本体の学振滲炭粒度および全 N, 可溶 N, 可溶 Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量の比較を示す。また Fig. 1 は P-11, P-22 各 1 溶解の取鍋試料と製品本体の成長性の比較を図示したものである。(他の 1 溶解についても全く同一の傾向を示す)。

以上の結果より次の事項がわかる。すなわち

(1) 製品本体の結晶粒は P-11, P-22 いづれの場合も取鍋試料に比して粒度番号で 1~3 粗く 3~4 の整粒を呈する。またこの傾向は鍛造比が増すにつれて増大する。

(2) 取鍋試料も製品本体も結晶粒は温度に対して緩慢な成長を示し細粒鋼の場合の如き急激な粗大化域を有

Table 1. Comparison of N, Al analysis and the austenite grain size of ladle samples with those of finished products. (P-11)

Sample mark	Heat No.	Grain size (925°C×6h)			Total N (%)		Sol N (%)		Sol Al (%)		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		Remarks	
		Ladle	Product	Difference	Ladle	Product	Ladle	Product	Ladle	Product	Ladle	Product	Ingot (t)	Forging ratio
5 A	E4409	4.9	3.8	1.1	0.0118	0.0123	0.0095	0.0036	0.005	0.004	0.015	0.005	10.510	27.5
5 B	E4427	5.4	3.1	2.3	0.0108	0.0112	0.0052	0.0034	0.007	0.006	0.017	0.009	//	//
5 C	E4418	5.6	3.1	2.5	0.0132	0.0146	0.0109	0.0022	0.006	0.004	0.021	0.021	//	//
5 D	E4436	4.9	2.8	2.1	0.0087	0.0132	0.0076	0.0011	0.005	0.003	0.010	0.015	//	//
5 E	E4421	5.4	4.0	1.4	0.0107	0.0126	0.0096	0.0014	0.007	0.005	0.019	0.015	//	//
6 A	E4314	4.4	3.8	0.6	0.0120	—	0.0100	—	0.007	—	0.012	—	9.100	26.5
6 B	//	4.4	3.8	0.6	0.0120	0.0137	0.0100	0.0034	0.007	0.002	0.012	0.015	//	//
6 C	E4304	4.2	3.3	0.9	0.0151	0.0165	0.0123	0.0025	0.007	0.004	0.014	0.013	//	//
6 D	E4302	4.4	3.7	0.7	0.0134	0.0151	0.0115	0.0022	0.007	0.005	0.013	0.013	//	//
6 E	E4295	4.4	2.8	1.6	0.0130	0.0157	0.0100	0.0025	0.008	0.004	0.014	0.014	//	//
6 F	E4291	5.7	4.0	1.7	0.0120	0.0143	0.0100	0.0025	0.008	0.005	0.016	0.016	//	//
6 G	E4323	4.3	2.6	1.7	0.0115	0.0146	0.0109	0.0025	0.007	0.003	0.005	0.004	//	//
6 H	//	4.3	2.8	1.5	0.0115	0.0143	0.0109	0.0025	0.007	0.003	0.005	0.011	//	//
6 I	E4318	4.5	3.4	1.1	0.0118	—	0.0112	—	0.008	—	0.018	—	//	//
6 J	E4284	5.3	4.0	1.3	0.0129	0.0140	0.0118	0.0034	0.010	0.005	0.013	0.006	//	//
7 A	E4430	5.4	3.4	2.0	0.0126	0.0134	0.0098	0.0020	0.007	0.005	0.010	0.018	8.700	30.5
7 B	E4441	5.5	3.2	2.3	0.0129	0.0139	0.0095	0.0008	0.005	0.002	0.012	0.022	//	//
8 A	E4436	4.9	2.5	2.4	0.0087	0.0123	0.0076	0.0020	0.005	0.002	0.010	0.013	7.600	//
8 B	E4418	5.6	3.5	2.1	0.0132	0.0142	0.0109	0.0020	0.006	0.004	0.021	0.007	//	//
8 C	E4430	5.4	3.0	2.4	0.0126	0.0136	0.0098	0.0022	0.007	0.004	0.010	0.005	//	//
8 D	E4409	4.9	2.3	2.6	0.0118	0.0122	0.0095	0.0020	0.005	0.002	0.015	0.016	//	//
8 E	E4421	5.4	2.5	2.9	0.0107	0.0137	0.0096	0.0014	0.007	0.006	0.019	0.023	//	//

Table 2. Comparison of N, Al analysis and the austenite grain size of ladle samples with those of finished products. (P-22)

Sample mark	Heat No.	Grain sizg (925°C×6h)			Total N (%)		Sol N (%)		Sol Al (%)		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		Remarks	
		Ladle	Pro-duct	Difference	Ladle	Pro-duct	Ladle	Pro-duct	Ladle	Pro-duct	Ladle	Pro-duct	Ingot (t)	Forging ratio
1 A	E4321	4.1	2.7	1.4	0.0120	—	0.0112	—	0.010	—	0.013	—	15.580	12.2
1 B	E4331	4.5	2.8	1.7	0.0129	—	0.0120	—	0.010	—	0.013	0.013	//	//
1 C	E4342	4.6	3.0	1.6	0.0115	0.0137	0.0109	0.0025	0.009	0.005	0.007	0.012	//	//
1 D	E4370	5.7	3.4	2.3	0.0143	0.0151	0.0129	0.0031	0.010	0.007	0.012	0.018	//	//
1 E	E4357	5.3	2.7	2.6	0.0126	0.0134	0.0115	0.0022	0.006	0.005	0.011	0.010	//	//
1 F	E4287	5.0	2.1	2.9	0.0150	0.0157	0.0093	0.0020	0.010	0.006	0.018	0.012	//	//
2 A	E4351	4.7	3.4	1.3	0.0134	—	0.0126	—	0.005	—	0.007	—	14.000	12.3
2 B	E4348	4.8	3.6	1.2	0.0134	—	0.0115	—	0.006	—	0.007	—	//	//
2 C	E4372	5.3	3.4	1.9	0.0101	0.0132	0.0098	0.0024	0.008	0.006	0.005	0.011	//	//
2 D	E4362	5.4	3.1	2.3	0.0126	0.0143	0.0120	0.0028	0.011	0.005	0.005	0.009	//	//
2 E	E4396	5.5	3.0	2.5	0.0129	0.0193	0.0118	0.0031	0.008	0.007	0.017	0.014	//	//
2 F	E4380	5.7	3.7	2.0	0.0129	0.0143	0.0119	0.0022	0.013	0.006	0.014	0.006	//	//
2 G	E4339	4.5	1.8	2.7	0.0123	0.0146	0.0120	0.0025	0.009	0.003	0.006	0.015	//	//
2 H	E4389	4.9	2.3	2.6	0.0118	0.0123	0.0112	0.0014	0.007	0.003	0.004	0.026	//	//
2 I	E4386	5.3	2.9	2.4	0.0101	0.0143	0.0091	0.0020	0.008	0.003	0.006	0.013	//	//
2 J	E4403	5.2	3.9	1.3	0.0092	0.0120	0.0079	0.0014	0.005	0.002	0.013	0.015	//	//
2 K	E4394	5.4	3.7	1.7	0.0126	0.0137	0.0120	0.0014	0.009	0.006	0.012	0.016	//	//
3 A	E4292	4.4	1.6	2.8	0.0109	0.0154	0.0104	0.0034	0.007	0.003	0.004	0.014	15.580	4.0
3 B	E4301	3.5	1.5	2.0	0.0129	0.0132	0.0115	0.0036	0.010	0.007	0.011	0.005	//	//
3 C	E4296	4.4	3.0	1.4	0.0134	0.0146	0.0118	0.0028	0.006	0.003	0.011	0.013	//	//
3 D	E4303	4.5	3.1	1.4	0.0129	0.0137	0.0115	0.0017	0.007	—	0.032	0.015	//	//
3 E	E4312	4.6	2.7	1.9	0.0129	0.0132	0.0118	0.0025	0.011	0.004	0.005	0.012	//	//
4 A	E4406	5.6	2.2	3.4	0.0118	0.0146	0.0112	0.0025	0.011	0.007	0.010	0.022	9.200	16.5
4 B	E4377	5.2	3.1	2.1	0.0132	0.0143	0.0120	0.0025	0.008	0.002	0.013	0.018	//	//
4 C	E4383	5.5	3.3	2.2	0.0137	0.0148	0.0126	0.0014	0.009	0.002	0.013	0.013	//	//

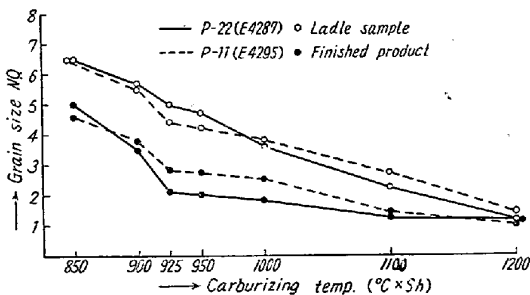


Fig. 1. Relation of grain growth characteristics between ladle samples and finished products.

しない。しかしその成長曲線の形状から見て取鋼試料の方がやや高い粗大化温度を有する。

なおここに、850°Cですでに両者間に相当の粒度差のあることおよび1200°Cにいたれば両者とも粒度番号1前後の粗粒となることが注目される。ただし850~1200°Cの全領域でいずれも整粒であり、混粒の形態は認められない。

(3) P-11, P-22のいずれの溶解においても全Nは取鋼試料に比して製品本体の方が多く、可溶Nおよび可溶Alは後者の方が少ない。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>については明瞭な

傾向が認められない。したがってオーステナイト結晶粒度および成長性に対してNおよび可溶Alは密接な関係を有することがわかる。

### III. 溶解、精錬及び鋳込過程の粒度及び成長性の変化

P-11 および P-22 の各2溶解につき溶解、酸化期末(酸化期に酸素吹込実施)、還元滓完成、Al添加前、鋳込初期および鋳込後期の各期に溶鋼を採取して7kg試験鋼塊に鋳込み15mm角に鍛伸(鍛造比=10)してこれを試料とし学振炭法における炭化温度を850~1200°Cに変化させてオーステナイト結晶粒の成長性を調べた。また各試料についてC, Si, Mn, P, S, Cu, CrおよびMoの他に全N, 可溶N, 可溶AlおよびAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の分析を行い各期の化学成分の変化も調べた。なお参考のために各期にHerty法による酸素分析も併せ行った。

Table 3には溶解、精錬および鋳込過程の粒度および成長性の変化、Table 4にはおなじく化学成分の変化を示す。

以上の結果より次の事項がわかる。すなわち

- (1) 溶解より酸化、還元精錬が進むにつれてオース

Table 3. Variation of grain size and grain growth characteristics during melting and teeming process.

P-11									
Heat No.	Sample No.	850°C	900°C	925°C	950°C	1000°C	1100°C	1200°C	Remarks
E4295 (6E)	1	4.6*	3.9*	3.4*	3.3*	2.6*	1.5*	1.2*	Melt down End of oxidation period Middle of reducing period Before Al addition Beginning of teeming End of teeming
	2	4.3*	3.6*	3.2*	3.0*	2.5*	1.6*	1.1*	
	3	5.4	4.8	3.3	3.1	3.0	1.3	1.0	
	4	5.3	5.0	4.6	3.8	3.3	1.7	1.1	
	5	6.0	5.5	5.2	5.2	4.1	3.0	1.3	
	6	6.3	5.5	4.4	4.3	3.3	2.3	1.0	
E4302 (6D)	1	4.4*	3.7*	3.2*	3.2*	2.5*	1.4*	1.1*	Melt down End of oxidation period Middle of reducing period Before Al addition Beginning of teeming End of teeming
	2	4.0*	3.7*	3.2*	3.0*	2.5*	1.5*	1.1*	
	3	5.5	4.9	3.2	3.1	3.0	1.5	1.0	
	4	5.5	5.3	4.5	3.8	3.0	1.5	1.0	
	5	6.0	5.5	5.1	5.0	4.1	3.1	1.1	
	6	6.0	5.5	4.4	4.0	3.0	2.0	1.0	
P-22									
Heat No.	Sample No.	850°C	900°C	925°C	950°C	1000°C	1100°C	1200°C	Remarks
E4287 (1F)	1	4.2*	3.9*	3.6*	3.3*	2.9*	1.7*	1.2*	Melt down End of oxidation period Middle of reducing period Before Al Addition Beginning of teeming End of teeming
	2	3.7*	3.5*	3.4*	3.0*	2.8*	1.9*	1.3*	
	3	5.0	4.3	3.9	3.5	3.0	1.3	1.0	
	4	6.0	5.4	5.0	4.0	3.2	1.6	1.0	
	5	6.5	5.5	5.4	5.2	4.1	3.1	1.3	
	6	6.3	5.5	5.0	4.6	3.6	2.5	1.4	
E4296 (3C)	1	4.0*	3.6*	3.4*	3.2*	2.7*	1.6*	1.1*	Melt down End of oxidation period Middle of reducing period Before Al addition Beginning of teeming End of teeming
	2	3.9*	3.5*	3.4*	3.4*	2.9*	1.6*	1.1*	
	3	5.6	4.5	3.8	3.3	3.0	1.2	1.1	
	4	6.5	5.9	4.7	4.1	2.7	1.5	1.0	
	5	6.7	6.0	5.1	4.8	4.0	3.0	1.0	
	6	6.7	5.3	4.5	4.3	3.5	2.6	1.1	

\* Abnormal (carburized) structure

テナイト結晶粒は漸次微細となり、Alの添加により更に微細となるが、鋳込開始後時間の経過とともに漸次粗大となる傾向が認められる。粗大化温度についてもほぼ同様な傾向が認められ、Al添加後の鋳込初期が最も高い。

しかし細粒鋼の場合<sup>1)</sup>とは異なり上記の諸変化量は比較的僅少である。

(2) 以上の諸変化は Table 4 よりわかる如く可溶 Al 量の変化と同一の推移を示し、その間に密接な関係が認められるが、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> とは明瞭な関係が認められない。

また同表よりわかる如く Al 添加前の Cr の添加によって結晶粒はやや微細となり粗大化温度もやや上昇しているのが観察され、Cr 添加による細粒効果が認められる。

(3) 上記試料中試料番号 1 および 2, すなわち溶落および酸化期末の試料は、いずれも異常滲炭組織を呈する

がこれは Table 4 よりわかる如く酸素量が高いためと考えられる。<sup>3)4)5)</sup>

#### IV. 加熱前の組織と結晶粒度及び成長性の関係

本研究における供試鋼の如く Cr, Mo 等の親炭性の強い合金元素を比較的多量に含むものでは加熱前の組織中における炭化物の分布状態もまたオーステナイト結晶粒度および成長性に影響するものと考えられるので以下の如き調査を行った。

P-11, P-22 各 1 熔解につき鋳込中期に取鍋中より熔鋼を採取して 7 kg の試験鋼塊に鋳込み 30 mm φ に鍛伸して A.S.T.M. 標準法によりジョミニー一端焼入性試験を実施 (900°C×1/2h 炉冷後所定の寸法に仕上げてから 930°C×1/2h より 25°C の噴水で焼入) し、各部の硬度および組織を調べた後、水冷端、空冷端および

Table 4. Variation of chemical composition and grain size during melting and teeming process.

Test steel	Heat No.	Sample No.	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Cr %	Mo %	Total N %	Sol N %	Sol Al %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	O <sub>2</sub> %	Grain size (925°C × 6 h)
P-11	E 4295 (6E)	1	0.60	0.03	0.24	0.007	0.023	0.13	0.05	tr	0.0073	0.0062	0.003	0.011	0.033	3.4
		2	0.03	0.04	0.18	0.002	0.016	0.14	0.05	0.53	0.0087	0.0076	0.005	0.011	0.032	3.2
		3	0.10	0.46	0.43	0.004	0.013	0.14	0.06	0.53	0.0101	0.0081	0.005	0.012	0.021	3.3
		4	0.10	0.68	0.48	0.006	0.011	0.15	1.17	0.53	0.0104	0.0084	0.006	0.012	0.016	4.6
		5	0.10	0.68	0.52	0.006	0.010	0.15	1.23	0.52	0.0123	0.0104	0.010	0.013	0.006	5.2
		6	0.10	0.66	0.52	0.006	0.011	0.15	1.22	0.52	0.0130	0.0105	0.008	0.014	0.005	4.4
	E 4302 (6D)	1	0.61	0.03	0.25	0.007	0.022	0.13	0.05	tr	0.0084	0.0073	0.003	0.010	0.033	3.2
		2	0.08	0.04	0.17	0.003	0.015	0.14	0.03	0.58	0.0098	0.0076	0.005	0.011	0.031	3.2
		3	0.10	0.46	0.50	0.005	0.010	0.14	0.05	0.58	0.0102	0.0080	0.004	0.010	0.025	3.2
		4	0.10	0.45	0.54	0.007	0.008	0.15	1.17	0.57	0.0123	0.0095	0.004	0.010	0.013	4.5
		5	0.13	0.61	0.50	0.007	0.007	0.15	1.18	0.58	0.0123	0.0104	0.011	0.012	0.004	5.1
		6	0.12	0.60	0.52	0.007	0.006	0.15	1.16	0.58	0.0134	0.0115	0.007	0.013	0.005	4.4
P-22	E 4287 (1F)	1	0.42	0.01	0.14	0.003	0.014	0.15	0.06	0.09	0.0074	0.0059	0.005	0.013	0.043	3.6
		2	0.15	0.01	0.28	0.002	0.013	0.16	0.07	0.93	0.0108	0.0059	0.006	0.015	0.031	3.4
		3	0.14	0.20	0.44	0.005	0.009	0.15	0.09	0.95	0.0124	0.0074	0.005	0.015	0.022	3.9
		4	0.15	0.35	0.48	0.006	0.010	0.15	2.19	0.95	0.0133	0.0076	0.006	0.015	0.019	5.0
		5	0.16	0.33	0.48	0.006	0.009	0.16	2.18	0.95	0.0135	0.0088	0.012	0.017	0.004	5.4
		6	0.13	0.32	0.49	0.006	0.010	0.16	2.17	0.96	0.0150	0.0093	0.010	0.018	0.005	5.0
	E 4296 (3C)	1	0.36	0.01	0.11	0.002	0.022	0.13	0.11	0.02	0.0095	0.0084	0.004	0.009	0.037	3.4
		2	0.06	0.01	0.17	0.002	0.018	0.15	0.11	1.05	0.0101	0.0084	0.004	0.010	0.027	3.4
		3	0.06	0.19	0.47	0.004	0.013	0.15	0.13	1.05	0.0104	0.0092	0.005	0.011	0.021	3.8
		4	0.08	0.28	0.49	0.005	0.011	0.14	2.39	1.04	0.0120	0.0104	0.005	0.010	0.012	4.7
		5	0.09	0.28	0.49	0.005	0.010	0.14	2.28	1.05	0.0120	0.0106	0.013	0.012	0.003	5.1
		6	0.09	0.28	0.50	0.006	0.010	0.14	2.25	1.03	0.0134	0.0118	0.006	0.013	0.003	4.5

1: Melt down, 2: End of oxidation period, 3: Middle of reducing period, 4: Before Al addition, 5: Beginning of teeming, 6: End of teeming.

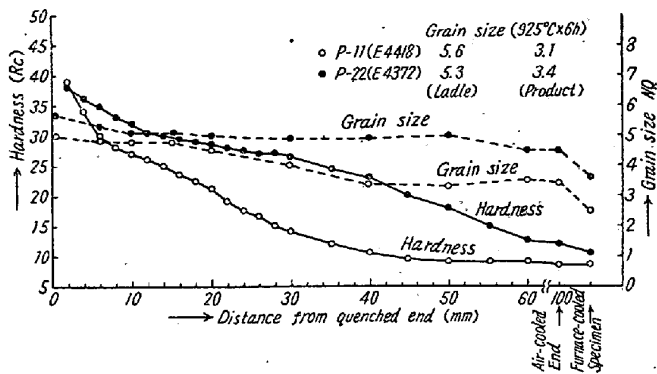


Fig. 2. Relation between Jominy hardenability curve and grain size.

水冷端より 6, 10, 15, 20, 30, 40, 50 および 60mm の各部および同一の加熱条件より炉冷した試料から試験片を採取してこれについて学振滲炭粒度を求めるとともに、水冷端、空冷端および水冷端より 50mm の試料については学振滲炭法における滲炭温度を、850~1200°C に変化させてオーステナイト結晶粒の成長性を調べた。

これらの結果は Fig. 2 および Fig. 3 に示す通りである。また Fig. 4 には P-11 についてジョミニー試

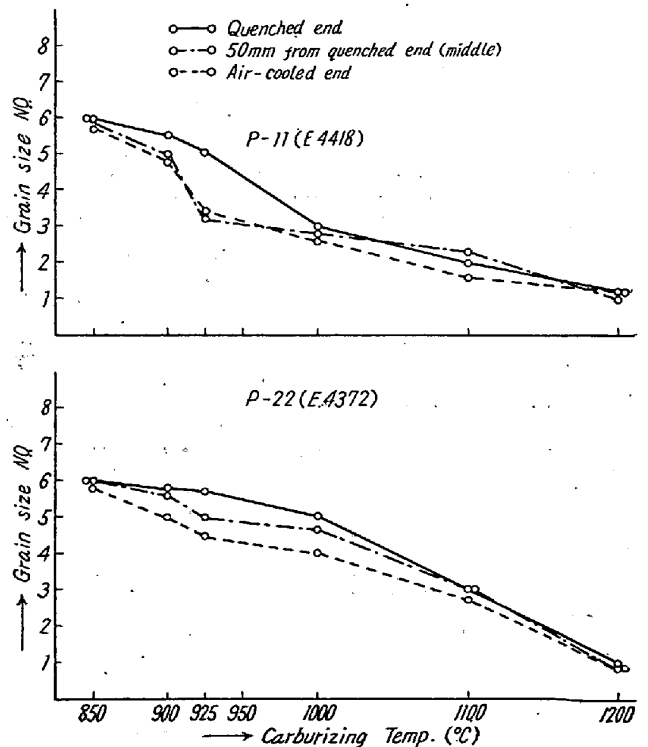


Fig. 3. Grain growth characteristics of specimens from various positions in the Jominy test bar.

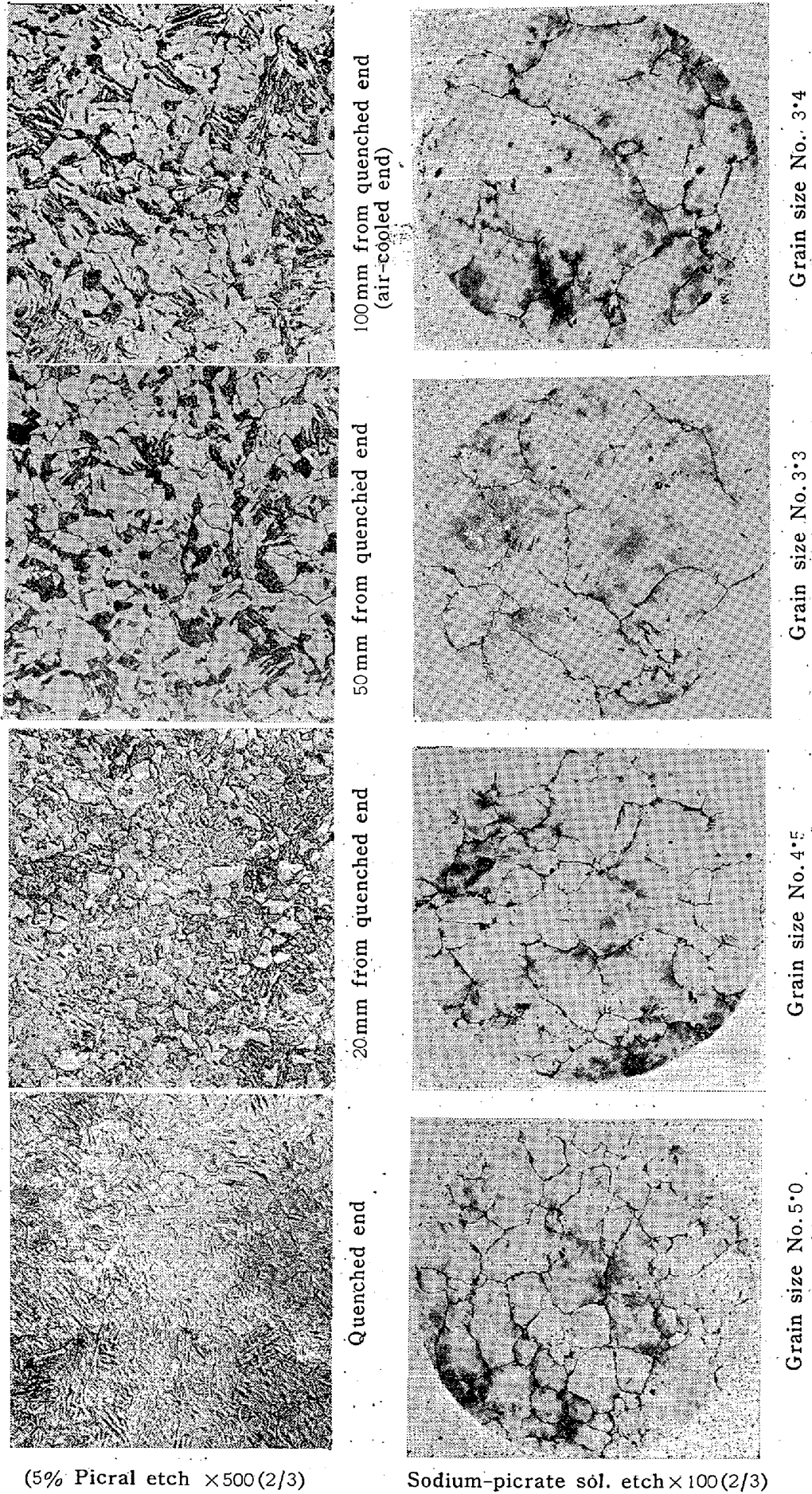


Fig. 4. Microstructure and austenite grain size of specimens from various positions in the Jominy test bar.

(P-11, E 4418)

(5% Picral etch  $\times 500(2/3)$ )

Sodium-picrate sol. etch  $\times 100(2/3)$

験片における代表的な顕微鏡組織と結晶粒度を示しているが、水冷端ではマルテンサイト+(ベイナイト)で水冷端より 15~20mm 附近よりフェライトの析出が見られるとともにマルテンサイトは徐々に減少し、空冷端ではほとんどフェライト+ベイナイト組織になる。P-22 については P-11 に比してフェライトの析出とマルテンサイトの消失がおくれ、空冷端になお一部マルテンサイト状の組織が認められる。しかし炉冷試料ではいずれも大部分がフェライトでこれに少量の微細パーライト+(ベイナイト)を含んだ組織である。

なお取鍋試料と製品本体の顕微鏡組織においても、炭化物の分布状態に差が認められ、前者は主として微細なフェライト+ベイナイトの混合組織であるのに対し、製品本体は比較的粗大なフェライト+パーライト(又はベイナイト)の焼戻組織を呈する。

以上の結果よりオーステナイト結晶粒度および成長性は加熱前の組織によっても変化することが認められる。すなわちオーステナイト化温度から急冷したもの程粗大化温度が高くかつ微細な結晶粒を呈する傾向がある。かかる現象は M. Grossmann<sup>6)</sup> も低炭素 Ni-Mo 鋼について認めているが、もしこれが AlN 量によるとすれば W. C. Leslie 等<sup>7)</sup>の研究によれば 815°C 附近の冷却速度の小なるもの程 AlN の析出が多くなって結晶粒の成長がより強く抑制され、本実験結果とは逆になる筈である。したがってこの場合はむしろ加熱前の組織における炭化物の分布状態に基因するものと考えられ、細粒化に対する有効 Al 量が少量で親炭性合金元素の多量な鋼種程かかか傾向は強くなるものと考えられる。

## V. 鋼中 Al の存在形態と結晶粒度及び成長性の関係

以上の実験試料についての鋼中 Al の分析結果とオーステナイト結晶粒度の関係を図示したものが Fig. 5 および Fig. 6 である。すなわち Fig. 5 には可溶 Al 量と学振滲炭粒度、Fig. 6 には Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量と学振滲炭粒度の関係を示す。ただしこれの図には前報<sup>1)</sup>における 0.30% C (Al キルド) 炭素鋼、中炭素 Cr-Mo 鋼および Ni-Cr-Mo 肌焼鋼についての値も再録してある。

これらの結果から鋼中の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量とオーステナイト結晶粒度の間には明瞭な関係が認められないが、可溶 Al 量と粒度の間には飽和曲線状の明瞭な関係が認められ、これは前報<sup>1)</sup>で述べたことと一致する。ただし本実験の場合には可溶 Al 量がすべて 0.020% 以下の領域で、0.002~0.013% に変化し、これに対応してオーステナ

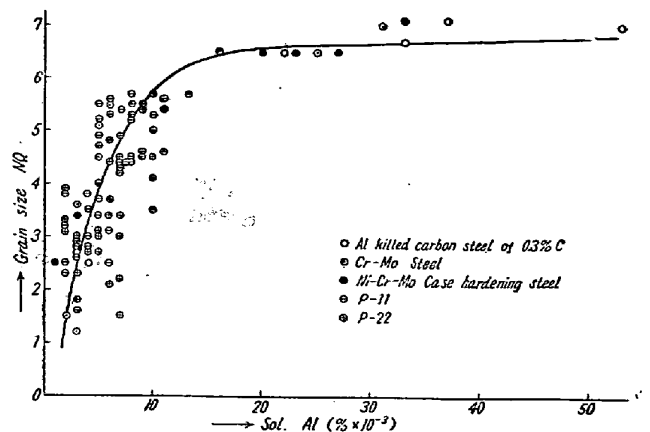


Fig. 5. Relation between acid soluble Al content and austenite grain size. (925°C×6h)

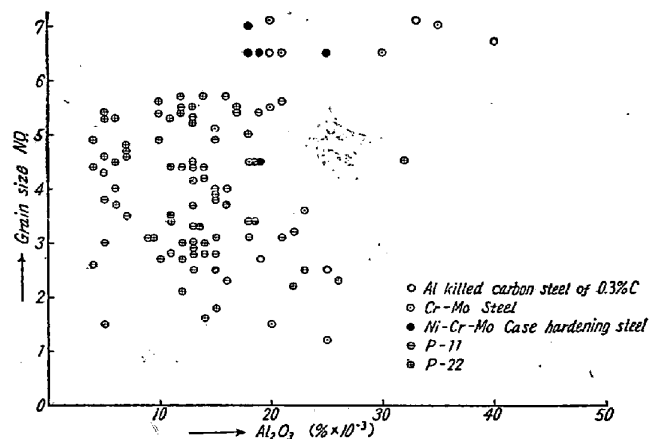


Fig. 6. Relation between Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content and austenite grain size (925°C×6h)

イト結晶粒度は No.1.5~No.5.7 に変化し、この間の測定点は比較的分散している。

取鍋試料と製品本体間に大なる粒度差を生じた原因については、前述の実験結果から細粒化に有効な可溶 Al 量の消耗が最も支配的なものと考えられるが、前述の如く鍛造比および加熱前組織の変化による粒度差の発生から見て、とくに本研究の供試鋼の如く可溶 Al 量の少ない粗粒鋼においては、取鍋試料と製品本体のこれら二条件の差もまた与つているものと考えられる。またこれが上述の可溶 Al 量 0.020% 以下の領域における測定点分散の原因であろう。

次に前報<sup>1)</sup>における細粒鋼および混粒鋼と本報における粗粒鋼についての実験結果から、それらのオーステナイト結晶粒の成長特性を概念的に比較すれば Fig. 7 の如くなる。すなわち細粒鋼は明瞭な突然成長型、粗粒鋼はいわゆる漸進成長型の成長特性を有し、混粒鋼はそ



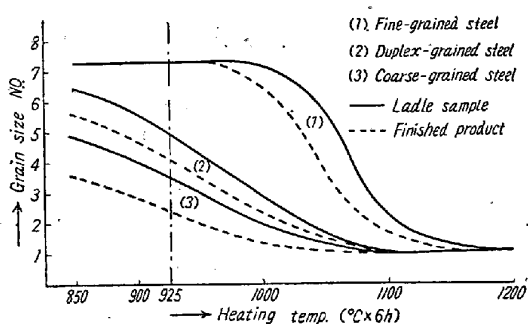


Fig. 7. Schematic diagram for comparison of grain growth characteristics of austenite in fine-grained, coarse-grained and duplex-grained steels.

の中間的成長特性を有し、これによつて三者の結晶粒成長特性の相対関係が明示される。

## VI. 総括ならびに結言

粗粒鋼におけるオーステナイト結晶粒度調整の基礎資料に供するため、高温高圧用鋼管材を対象とし、結晶粒の成長性という観点から、多数の現場試料につき取鍋試料と製品本体の粒度の関係、溶解、精錬および鋳込過程の粒度の変化を調べ、かつそれらの結果に対し鋼中 Al の存在状態および炭化物の分布状態の見地より 2, 3 の検討を加えた。

これらの結果を総括すれば次の通りである。

(1) 製品本体の結晶粒は取鍋試料のそれに比して粒度番号で 1~3 粗く、3~4 の整粒を呈する。両者の粒度差は鍛造比の増大とともに増加する傾向にある。

(2) オーステナイト結晶粒の成長はいわゆる漸進成長型で突然成長段階を有しないが、製品本体に比して取鍋試料は粗大化温度が高い。

(3) その溶解に当つては、還元精錬が進むにつれて結晶粒は漸次微細となり、Al 添加により更に微細とな

るが、時間の経過とともに粗大となる。粗大化温度も同様な傾向を有し Al 添加後が最も高い。

また Cr の添加による結晶粒の微細化も認められる。

(4) オーステナイト結晶粒度と粗大化温度に対し、可溶 Al 量は密接な関係を有するが、 $Al_2O_3$  量は明瞭な関係を有しない。

(5) 取鍋試料と製品本体の粒度差の原因は細粒化に有効な可溶 Al 量の消耗が最も支配的であるが、とくに粗粒鋼の如くその量の少ない場合には、両者における鍛造比および炭化物の分布状態の差もまた与つているものと考えられる。

(6) 細粒鋼、粗粒鋼および混粒鋼のオーステナイト結晶粒成長特性の相対関係を明らかにした。

終りに臨み、本研究遂行に当り御懇切なる御指導をいただいた当所兎玉藤雄技術部長、技師長住友元夫博士および技師河井泰治博士ならびに種々御援助をいただいた川本良正、三輪博および荒川三千夫の諸氏に対し深甚の謝意を表する次第である。(昭和 31 年 2 月寄稿)

## 文 献

- 1) 河井, 益子: 本誌, **41** (1955) 435
- 2) 山本, : 住友金属, **6** (1654) 184
- 3) E. Ehn, H. McQuaid: Trans. Amer. Min. Met. Eng., **67** (1922) 241
- 4) M. Grossmann: Trans. Amer. Soc. Steel Treat., **16** (1929) 1197
- 5) 斎藤: 本誌, **36** (1950) 108
- 6) M. Grossmann: Trans. Amer. Soc. Met., **22** (1934) 861
- 7) W. C. Leslie, R.L. Rickett, C. L. Dotson & C. S. Walton: Trans. Amer. Soc. Met., **46** (1954) 1470.