

(182) オーステナイト結晶粒に関する
2, 3 の観察

(オーステナイト結晶粒に関する研究— I)

日本製鋼所, 室蘭製作所研究所 ○本間 亮介

Some Observations on Austenitic Grain.

(Studies on austenitic grain— I)

Ryosuke HONMA.

1. 緒 言

オーステナイト結晶粒 (以後単に結晶粒と記す) が鋼材の諸性質を左右する重要因子のひとつであることは周知のことで, 古くからこれについて多くの研究がなされ広範にわたる知識が得られているが, 実用上, 特に大型鋼材の結晶粒の挙動については必ずしも従来の知識からは説明し得ず, 十分な解明がなされないままに, 広義のいわゆる質量効果のひとつとして認識されているものもある。

大型高速回転軸用として用いられている Ni-Cr-Mo-V 鋼がしばしば粗大結晶粒を呈することが経験され, 2, 3 検討を行なった結果, そのオーステナイト化過程において興味ある現象が認められたので以下に報告する。

2. 試験方法

Table 1 に試験材の化学成分ならびに関連データを示す。A~D 鋼は Ni-Cr-Mo-V 鋼で, 本試験では主としてこの材料に注目する。D および H 鋼以外は工業的に処理されたものである。

オーステナイト結晶粒界の現出には, ピクリン酸水溶液に表面活性剤 (中性洗剤を使用) を添加した試薬によりもとのオーステナイト粒界を選択的に腐食する方法¹⁾を用いた。オーステナイト化過程における組織観察にもこの方法を用いた。

熱処理は急速加熱の場合一部鉛浴を用いたほかはすべて電気炉を用い大気中で行なった。試験片は 15mm 平方の角棒に切出したものを用いた。

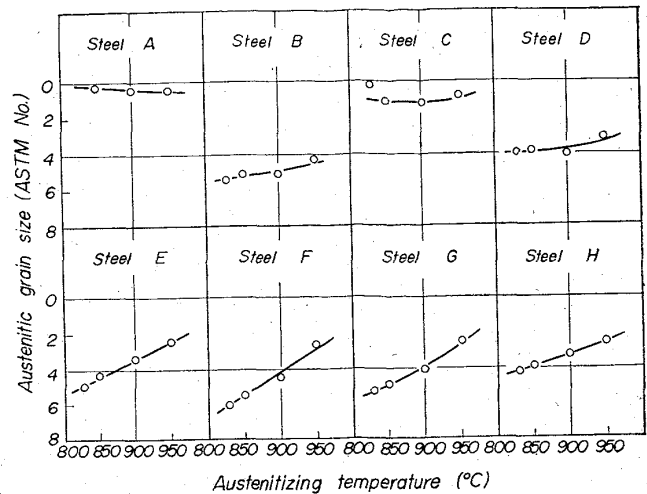


Fig. 1. Relation between austenitizing temperature and austenitic grain size.

3. 試験結果

3.1 結晶粒成長に関する 2, 3 の試験

Fig. 1 に A~H 鋼を 830~950°C でオーステナイト化した時の結晶粒成長曲線を示す。熱処理は大型鋼材の熱処理過程を想定して下記のようにした。

徐加熱 (30°C/hr) → 640°C × 10hr → 徐加熱 (15°C/hr) → 830~950°C × 10hr → W.Q.

Fig. 1 の曲線は, 温度の上昇に伴って結晶粒が大きな変化を示さないものと, 漸次粗大化するものの 2 グループに分けられる。前者 (A~D 鋼) はいずれも Ni-Cr-Mo-V 鋼である。また A および C 鋼が低い温度ですでに十分粗大化していることが注目される。

Fig. 2 は A, C, E, F および G 鋼を 900°C × 1hr のオーステナイト化をする際, 途中 770~800°C の各温度で 1 hr の保持を挿入した時の 900°C における結晶粒度と途中保持温度との関係である。加熱は鉛浴による急

Table 1. Chemical composition, microstructure and austenitic grain size of materials tested.

Steel	Type of steel	Chemical composition (wt.%)									Microstructure	Austenitic grain size (ASTM No.)
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V		
A	Ni-Cr-Mo-V	0.22	0.25	0.36	0.008	0.008	3.46	1.76	0.41	0.12	Bainite	0.8
B	"	0.22	0.28	0.31	0.018	0.010	3.47	1.82	0.44	0.12	"	3.2
C	"	0.26	0.28	0.32	0.009	0.010	3.66	1.81	0.46	0.10	"	3.6
D	"	0.22	0.34	0.44	0.012	0.011	3.70	1.70	0.45	0.12	"	8.1
E	Plain-C	0.37	0.27	0.50	0.013	0.013	0.14	0.05	0.04	tr.	Ferrite and pearlite	6.2
F	Ni-Mo-V	0.31	0.35	0.57	0.015	0.018	2.88	0.07	0.35	0.05	Ferrite and bainite	6.9
G	Ni-Mo	0.30	0.28	0.49	0.020	0.005	2.22	0.23	0.40	tr.	"	3.8
H	Ni-Cr-Mo	0.38	0.24	0.24	0.012	0.014	1.86	0.90	0.27	tr.	Bainite	4.6

Remarks A : 95 t ingot. Forged to 200mm sq. bar. Normalized and tempered.
 B : 140 t ingot. Forged to 1650mm dia. shaft. Normalized and tempered.
 C : 120 t ingot. Forged to 1350mm dia. shaft. Normalized and tempered.
 D : 5kg ingot. Forged to 20mm dia. bar. Normalized and tempered.
 E : 20 t ingot. Forged to 200mm dia. shaft. Normalized and tempered.
 F : 100 t ingot. Forged to 1100mm dia. shaft. Normalized and tempered.
 G : 75 t ingot. Forged to 1100mm dia. shaft. Normalized and tempered.
 H : 540kg ingot. Forged to 140mm sq. × 220mm block. Normalized and tempered.

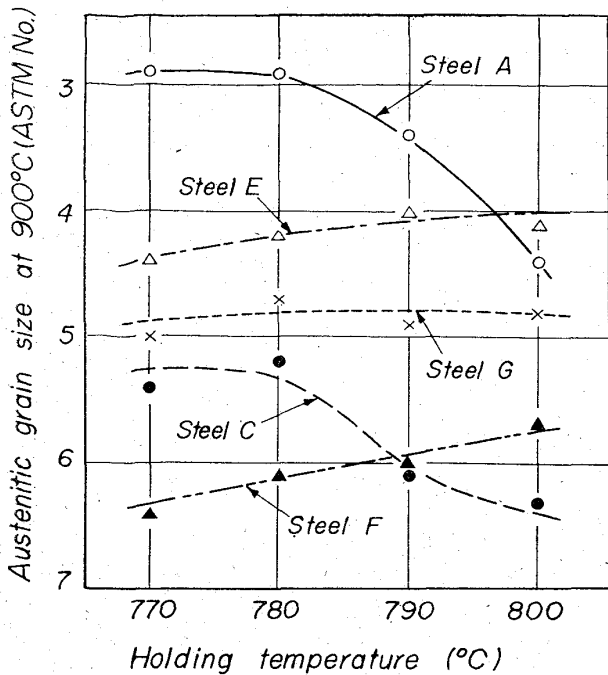


Fig. 2. Effect of holding temperature prior to austenitization on grain size at 900°C.

Table 2. Effect of heating rate on austenitic grain size.

Heating rate (°C/hr)	Steel A	Steel C	Steel F
400	4.2	6.0	7.4
50	2.1	2.0	6.5

速加熱とした。この場合にも Ni-Cr-Mo-V 鋼の A および C 鋼が途中保持温度の上昇とともに細粒化している点ではかものと明らかに異なる挙動を示している。

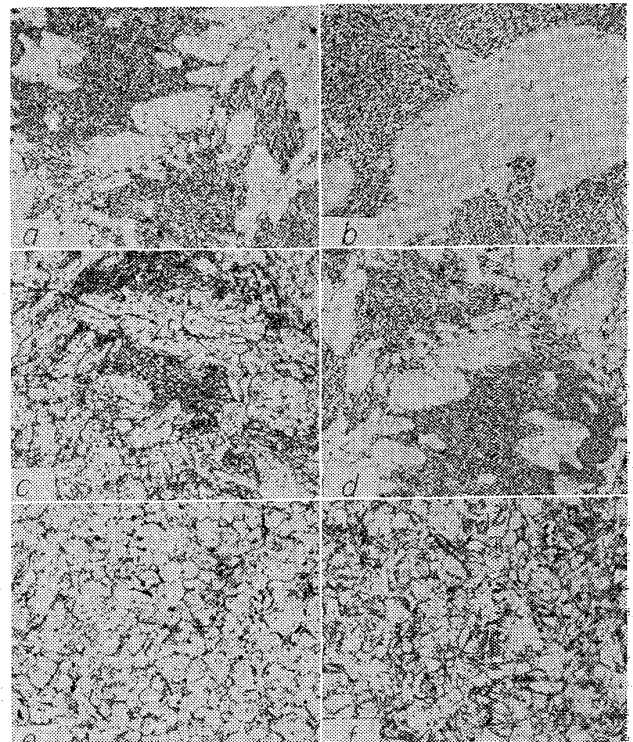
Table 2 は A, C および F 鋼を 400 および 50°C/hr の 2 様の加熱速度で加熱した際の 900°C に達した直後の結晶粒度である。加熱速度の影響は Ni-Cr-Mo-V 鋼の A および C 鋼について顕著に認められ、加熱速度の早いほど結晶粒は小さい。

3.2 オーステナイト化過程における組織の観察

Photo. 1 に A, C および F 鋼を 400°C および 50°C/hr で加熱し、800°C に達した直後に水冷した時の組織を示す。A および C 鋼の場合、腐食の結果比較的に明るく見える部分と暗く見える部分が明りように識別される。便宜上前者を LEC、後者を DEC と呼ぶことにする (Lightly-および Darkly-Etched-Constituent の意)。F 鋼においてはこれらが明確に識別される状態になつていない。また A および C 鋼では加熱速度の大きいほど LEC のサイズが小さく、かつ量が多い。

A, C, E, F および G 鋼を 770°C に急加熱し 1hr 保持した後水冷した試験片についても A および C 鋼にのみ LEC が認められた。

Fig. 3 は C 鋼を 400 および 50°C/hr でオーステナイト化する途中、いろいろな温度から水冷した試験片について LEC の量を測定した結果である。LEC は温度の上昇とともに増加し、ある温度で急速に増加する。加熱



×400 (3/5)

- a: Steel A, heating at the rate of 400°C/hr
- b: " " " " 50 "
- c: " C, " " 400 "
- d: " " " " 50 "
- e: " F, " " 400 "
- f: " " " " 50 "

Photo. 1. Effect of heating rate on micro structure of specimens quenched from 800°C.

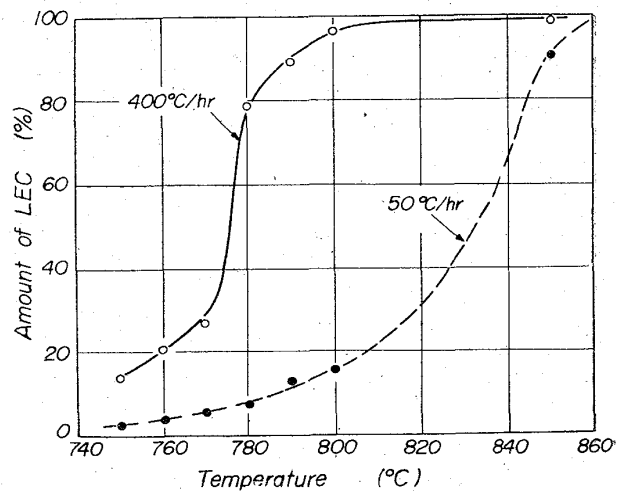


Fig. 3. Variation of the amount of LEC with temperature, showing the influence of heating rate. (Steel C)

速度の早いものは LEC の量もより多く、急速に増加し始める温度もより低温側にある。

Fig. 4 は A 鋼を 50°C/hr で加熱した時の 850~900°C 間の各温度での LEC のサイズの分布状況である。LEC の量は 850°C では 40% 程度、880°C ではほぼ 100%

620.186.8:669.112.227.1

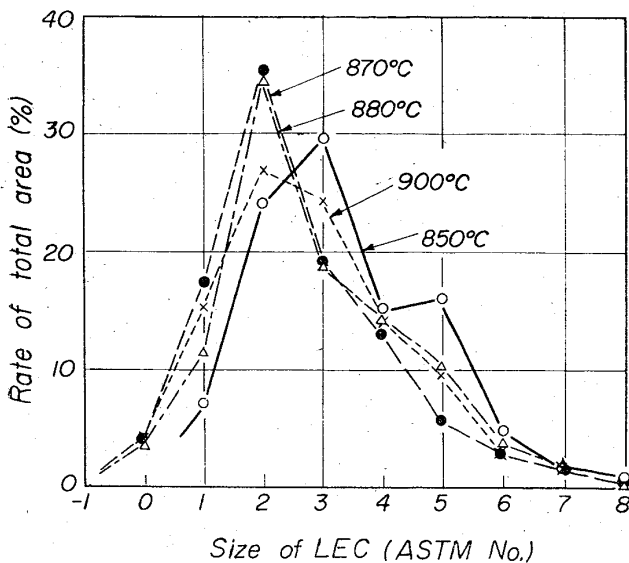


Fig. 4. Distribution of size of LEC at various temperatures. (Steel A, heating at the rate of 50°C/hr)

%に達する。したがって 880°C 以上では事実上通常のオーステナイト結晶粒度を測定していることになる。880°Cにおける結晶粒度は実質的に 900°Cにおけるそれと大差なく、また LEC が 40% しか存在しない 850°Cにおける LEC のサイズも 900°Cの結晶粒度とはなほだしくは異なっていない。

4. 考察

Ni-Cr-Mo-V 鋼の結晶粒の挙動がほかの試験材と異なることが度々指摘されたが、これが LEC の挙動に関連するオーステナイト化の機構に関係のあることは明らかである。LEC の重要性は、その挙動によつてオーステナイト化の比較的初期における結晶粒度が左右されることにある。この考えにもとづけば、Fig. 1においてAおよびC鋼が比較的低い温度ですでに粗大粒を呈しているのは、これらの材料のいわゆる結晶粒粗大化温度がより低温にあるのではなく、初期においてすでに粗大であったと見られる。したがって LEC を微細に生成させることが結晶粒の微細化に連なることになる。

この試験では Ni-Cr-Mo-V 鋼にのみ LEC が見られたが、これがこの材料特有の性質によるものか否かを確認するため、ほかの試験材について、まづ 1200°C × 1hr → W.Q. の処理によつて条件を揃えたのち 50°C/hr で再加熱し、途中の組織変化を観察した結果 F および G 鋼などにも明りように LEC が認められた。すなわち、LEC は必ずしも Ni-Cr-Mo-V 鋼の特有のものでなく、この材料にたまたま生成しやすいものと見るのが妥当である。また、条件によつてはほかの鋼種においても Ni-Cr-Mo-V 鋼に見られると同様、LEC の挙動に関連する粗大結晶粒の生成の可能性が考えられる。

LEC そのものは一種のオーステナイトの nodule と見られるが、LEC が 100% となる温度は、50°C/hr で加熱した場合では、A 鋼が 880°C 付近、C 鋼が 850°C 以上である。一方 C 鋼について測定した Ac₁ および Ac₃ はそれぞれ 730 および 790°C 付近である。すなわち LEC が 100% となる温度は Ac₃ よりもかなり高温で

あること、したがって α → γ 変態が終了した状態で LEC および DEC の 2 様のオーステナイトの存在状態のあることが知られる。NEHRENBURG²⁾ によれば針状の原組織を有する鋼のオーステナイト化過程においては、オーステナイトの成長はまず針状のフェライト粒内に制約されさらに KULA と COHEN³⁾ および WEBSTER と ALLEN⁴⁾ は、このようにして生成した針状のオーステナイトの nodule のあるものが、温度の上昇によつて優先的に成長を開始し、隣接する nodule を一掃して急速に成長を遂げる場合のあることを示唆している。LEC の挙動はこのようなオーステナイト化過程における変化であることも考えられる。

5. 結 言

炭素鋼および低合金鋼を含む 5 種の構造用鋼についてオーステナイト結晶粒成長に関する試験を行ない、次の結果が得られた。

- (1) Ni-Cr-Mo-V 鋼の結晶粒がほかの試験材に比して特異な挙動を示す。
- (2) この現象はオーステナイト化過程において現われる LEC と仮称した 1 種のオーステナイトの nodule の挙動に関係のあることが知られた。
- (3) LEC の重要性は、その挙動が熱処理条件によつて変化し、初期の結晶粒度を左右することにあると考えられる。
- (4) オーステナイト化過程における LEC の存在は Ni-Cr-Mo-V 鋼特有のものでなく、条件によつては他の鋼種にも存在する可能性がある。

文 献

- 1) 本間, 田部, 工藤, 山下: 鉄と鋼, 51 (1965)5, p. 1069
- 2) A. E. NEHRENBURG: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 188 (1950), p. 162
- 3) E. KULA & M. COHEN: Trans. Amer. Soc. Metals, 46 (1954), p. 727
- 4) D. WEBSTER & G. B. ALLEN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 200 (1962), p. 520

(183) オーステナイト結晶粒度におよぼす加熱速度および前処理の影響

(オーステナイト結晶粒に関する研究—II)

日本製鋼所, 室蘭製作所研究所 ○本間 亮介

Effect of Heating Rate and Pre-treatment on Austenitic Grain Size.

(Studies on austenitic grain—I)

Ryosuke HONMA.

1. 緒 言

前報¹⁾において Ni-Cr-Mo-V 鋼のオーステナイト結晶粒度(以後単に結晶粒度と記す)が加熱速度などによつて影響されることをのべたが、本報告においては加熱速度の影響についてのさらに詳細な試験ならびに前処理の影響についての 2, 3 の試験の結果をのべる。