

## 論 文

UDC 669.14.018.295 : 669.15'74'782 : 620.186.4 : 621.771.23.016.2

## Si-Mn 系高張力鋼の圧延組織の微細化について\*

小原 龍吉\*\*・重松 石削\*\*\*

## The Refinement of Microstructures of Si-Mn High Strength Steel

Ryukichi OBARA and Ishige SHIGEMATSU

## Synopsis:

It is well known that rolling procedure considerably affects microstructures and mechanical properties of steels used in hot-rolled condition.

The properties of Si-Mn steels treated under various rolling and cooling conditions have been studied from the standpoint of the refinement of austenite and ferrite grain. The present results show that low heating and finishing temperatures and adequately controlled cooling rate are necessary to obtain finer ferrite-pearlite microstructures, and that these refinements are affected by the total reduction ratio rather than the amount of one pass reduction.

(Received Mar. 25, 1972)

## 1. 緒 言

非調質型の溶接構造用高張力鋼は通常フェライト・パーライト組織を呈するが、製造条件の変化により、フェライト結晶粒の大きさあるいはパーライトの形態が変化し、さらにはパーライトにかわつてベイナイトなどが部分的に生成することによつて、機械的性質が微妙に変化することが経験されている<sup>1)2)</sup>。

一般にこの種の鋼においては、フェライト結晶粒が微細になれば降伏点は上昇し、衝撃遷移温度は低下するといわれ、またフェライト結晶粒以外の変化、たとえばパーライト量の増加やベイナイトあるいはマルテンサイトの混在は、引張強さの上昇をもたらす反面、衝撃特性を劣化させるといわれている。K. J. IRVINE<sup>3)</sup>らは非調質鋼の機械的性質の向上のためにフェライト結晶粒の微細化をはかることを強調している。

熱間圧延鋼材のフェライト結晶粒の大きさに対しては多数の因子<sup>4)</sup>が関係しているが、たとえば化学成分、変態開始時のオーステナイト結晶粒の大きさ、変態まであるいは変態温度域における冷却速度、析出物の有無およびその形状・分布などに大きく影響されることがいわれている。変態開始時のオーステナイト結晶粒の大きさに対しては、最高加熱温度、圧延開始温度、圧下率、圧延比、圧延終了温度および冷却条件などが影響することは明らかである。

従来、圧延終了温度を低くした場合、フェライト結晶粒が微細になり機械的性質が向上した例はかなり報告<sup>5)</sup>されているが、付随的に種々の条件が変化する場合が多く、たんに圧延終了温度を低下させるだけでは必ずしも組織あるいは機械的性質の向上が得られるとは限らない。筆者らの経験においてもこれらの因子の効果は複雑にからみ合つており、単独の要因の効果という形での解析はかなり困難なことが認められ、文献にもこの点を具体的に解明したものはほとんど見当たらない。

筆者らは、これまでに熱間圧延鋼材中に微細なフェライト・パーライト組織を生成せしめ、良好な機械的性質を確保するための条件を求めて、実験を行なつてきたがここでは加工条件とオーステナイト結晶粒およびフェライト結晶粒との関係について報告する。

## 2. 実 験

## 2-1 供試材

供試材は、製品圧延材(板厚 38 mm)から 38 mm × 50 mm × 100 mm の小鋼片を切り出して使用した。供試材の化学成分を Table 1 に示す。なお圧延材のものと鋼塊は塩基性電気炉キルド鋼で大気鋼である。

\* 昭和 47 年 3 月 25 日受付

\*\* 三菱製鋼(株)輸出部

\*\*\* 三菱製鋼(株)長崎製鋼所

Table 1. Chemical composition of specimen (wt%).

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
0.16	0.41	1.00	0.030	0.018	0.24	0.14	0.15	0.05	0.026

Table 2. Rolling conditions.

Plate No	Heating condition	Starting temperature of rolling (°C)	Finishing temperature of rolling (°C)	Reduction per pass (%)	Pass schedules (mm)									Rolling size (mm)	Total reduction ratio	Cooling method after rolling*				
					0 pass	1	2	3	4	5	6	7	8				9			
1	1 200°C × 30'	1 070	950	10	38	34	31	28									28 × 50 × L	1.3	A-course	
2			940		38	34	31	28	25	22.5	20							20 × 50 × L		1.9
3			940		38	34	31	28	25	22.5	20	18						18 × 50 × L		2.1
4			930		38	34	31	28	25	22.5	20	18	16					16 × 50 × L		2.4
5			900		38	34	31	28	25	22.5	20	18	16	14.5	14.5	14.5 × 50 × L	2.6			
6	1 200°C × 30'	1 050	950	30	38	28											28 × 50 × L	1.3	A-course	
7			930		38	28	20										20 × 50 × L	1.9		
8			900		38	28	20	14.5									14.5 × 50 × L	2.6		
9	1 200°C × 30'	1 200	1 000	30	38	28	20	14.5									14.5 × 50 × L	2.6	A-course	
10			920																	
11			850																	
12	1 200°C × 30'	1 200	1 000	30	38	28	20	14.5									14.5 × 50 × L	2.6	B-course	
13			910																	
14			840																	
15	1 200°C × 30'	1 000	1 000	30	38	28	20	14.5									14.5 × 50 × L	2.6	A-course	
16			800																	
17			980																	
18			800																	
19	1 200°C × 30'	1 000	990	30	38	28	20	14.5									14.5 × 50 × L	2.6	C-course	
20			800																	
21			980																	
22			800																	

\* A-course.....After rolling, immediately one end of plate was quenched in water for 10 sec, but other part of plate cooled by covering in asbestos.

B-course.....After rolling, each plate was kept at 1 000°C, 900°C or 800°C in heating furnace for 10min, then one end of plate was quenched, other part cooled by covering in asbestos. The cooling rate from 900°C to 600°C of plate cooled by covering in asbestos was about 25°C/min.

C-course.....After rolling, immediately one end of plate was quenched, other part air-cooled. The cooling rate from 900°C to 600°C of air-cooled plate was about 75°C/min.

## 2.2 実験方法

供試材を実験用プロパン加熱炉で 1 200°C に加熱し、30 min 保持したのち炉外に取り出し、予定圧延終了温度に見合う圧延開始温度になるまで放冷してから、実験用小型圧延機で所定のパススケジュールで圧延した。この場合供試材の 100 mm 長さの方向が圧延方向になる。なお試験材の温度測定には光高温計を用いた。

この実験において採用した圧延条件を Table 2 に示す。圧延終了後の取り扱いはいずれの実験目的によつて、つぎのとおりとした。すなわち、Table 2 にも略記したよう

に、No 1 から No 11 および No 15 から No 18 までの試験材については、圧延終了直後、圧延材の大部分を 10 mm 厚みのアスベストで作った長さ 100~200 mm のカバー（角筒）で包み、のこりの部分をオーステナイト結晶粒を求めるために水中に 10 sec 浸漬したのち、引上げてそのままの状態を冷却した。アスベストカバーの部分は、圧延後徐冷した状態を再現する試料とした。一端焼入れの水中浸漬深さは、圧延比の少ない方で約 30 mm 大きい方で約 40 mm である。

No 12 から No 14 までの試験材については、圧延終

了後直ちにそれぞれの目標圧延終了温度に相当する温度の炉に装入して 10 min 保持し、そのあと上述と同様にアスベストカバーをして一端水焼入を施こした。

No 19 から No 22 までの試験材は、圧延終了後直ちに一端水焼入れし、約 10 sec 経過したあと引上げてそのまま放冷し、圧延後空冷した状態を再現する試料とした。

いずれの試験材についても、水焼入れ部においては、オーステナイト結晶粒度を、徐冷部においてはフェライト結晶粒度を測定した。粒度の現出のために、オーステナイト結晶粒度に対しては、検鏡試料を 550°C で短時間焼戻したあと中性洗剤 2% 添加ピクリン酸飽和水溶液で、またフェライト結晶粒度に対しては、3% ナクタルで腐食を行なった。

この圧延スケジュールにおいては、パスごとの圧下率として 10% および 30% の 2 通りを選んだ。これは、通常の圧延において経験される圧下率の最大頻度が約 10% 前後であり、一方結晶粒の微細化に対して影響があつてしかも現場的に実現可能な最大圧下率として約 30% が想定されることから、この値を採用した。

以上の実験において、No 1 から No 8 までの試験材では、圧延パスを重ねるごとのオーステナイト結晶粒の微細化とそれに伴うフェライト結晶粒の変化を調査し、No 9 から No 14 までの試験材では、圧延終了後その温度に保持したときのオーステナイト結晶粒の変化を調査したものである。No 15 から No 22 までの試験材では、上述の実験に加えて、加熱温度、圧延開始温度、圧延終了温度および冷却速度を著しく変化させた場合の、各条件間の差を把握することに主眼をおいたものである。この分については、オーステナイト結晶粒度およびフェライト結晶粒度の測定のほかに引張試験および衝撃試験を行なった。引張試験片は平行部直径 7 mm、長さ 30 mm のサブサイズ試験片で L 方向である。衝撃試験は 2 mm V ノッチシャルピー試験片 (L 方向) を用い、0°C で行なった。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 圧下率の影響

No 1 から No 8 の試験材を用いて、Table 2 に示す加熱および圧延条件における異なつた圧下率および各圧延パスごとのオーステナイト結晶粒度とフェライト結晶粒度の変化を求めた結果を Fig. 1 に示す。なおこの実験では、パス回数が重なることによつて生ずる温度降下の影響を極力除くために、圧延終了温度が同一になるようにはからつた。

Fig. 1 から、いずれの圧下率においても圧延パス回数

を重ね圧延比が増大していくにつれて、オーステナイト結晶粒が微細化していくことがわかる。しかも、板厚 16 mm 以上では混粒であつたのが、パス回数が増すにしたがつて全体的にオーステナイト結晶粒は微細化し、板厚 14.5 mm では微細な整粒になつている。このことは、加工前の鋼片が混粒であつても圧延比がある程度以上になると微細化された整粒に変化することを示している。

R. PRIESTNER ら<sup>8)</sup>も 38φ の鋼材を用いて圧延開始温度と圧下率を変えた場合のオーステナイト結晶粒度の把握を行なつているが、軟鋼材では圧下率 14.5% および 27% でもパス回数を増すことによつて微細化し限界結晶粒度に達するが、圧下率が異なればその限界結晶粒度が異なることを示している。

本試験における圧下率の影響を考えると、同一圧延比で比較する場合、圧下率 30% の方が 10% よりも微細化傾向がいくぶん大きいようであるが、圧延比が大きくなるにつれて接近してきて、圧延比 2.6 では粒度 No 0.5 の差となつており、R. PRIESTNER らの軟鋼材の例と類似した傾向を示している。さらに圧延比が大きくなれば圧下率の差はなくなることが予想される。

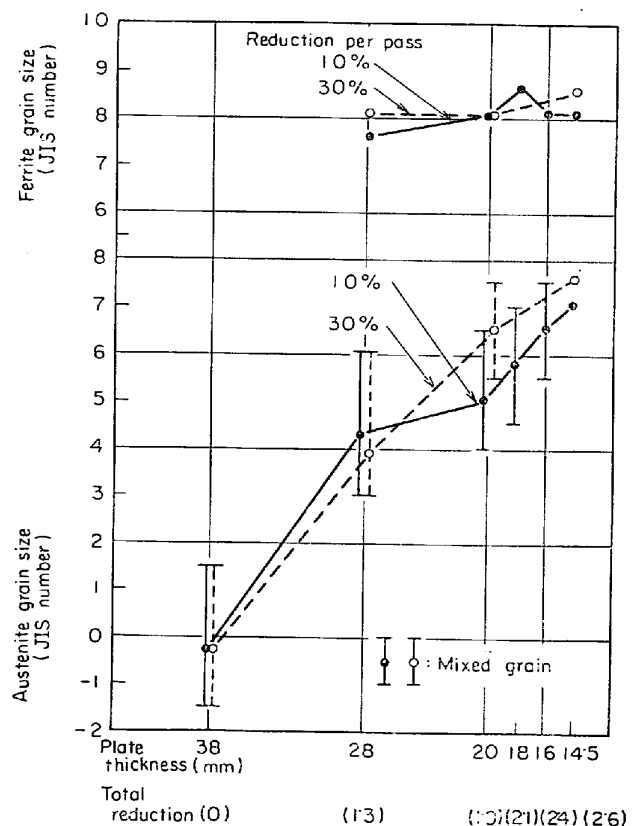


Fig. 1. Effect of total reduction ratio on austenite grain size and ferrite grain size under the rolling conditions of plate No 1~8 described in Table 2.

したがって、ある圧延比以上では圧下率の差よりもむしろ圧下量の総和の方がオーステナイト結晶粒の微細化には支配的になるものと考えられる。

もちろん、これらのことはオーステナイトの再結晶温度以上で加工が終了する場合にあてはまることであつて、再結晶を行なうために必要な時間あるいは温度条件がみだされるときには、加工によつて変形したオーステナイト結晶粒がそのまま残留することに留意すべきである。これについてはあとでふれる。

フェライト結晶粒は、圧延パス回数の増加によつていくぶん微細化の度合を増す傾向にあるが、オーステナイト結晶粒ほどには顕著ではなかつた。フェライト結晶粒の大きさは、変態開始時のオーステナイト結晶粒および変態域を通過する際の冷却速度に依存するといわれているが、本実験ではオーステナイト結晶粒との関連はそれほどはつきりしているとはいえない。この理由としてはおもにオーステナイト結晶粒においてウィッドマンステッテン状組織が生成し、これらの試験材に析出したフェライト結晶粒が一見微細と判定されたことがあげられる。

### 3.2 圧延終了温度および保持時間の影響

Table 2 に示す No 9 から No 14 までの試験材について、圧延終了温度の結晶粒微細化におよぼす影響と各圧延終了温度に保持した場合の結晶粒成長を調査した結果を Fig. 2 に示す。オーステナイト結晶粒は圧延終了温度が低くなるにしたがつて微細化していくこと、および圧延終了温度付近に 10 min 保持した場合成長する傾向があることが確かめられた。この 10 min 保持は圧延終了温度から変態温度に達するまでの冷却時間が長い場合を想定したもので、変態するまでの冷却時間が長いとオーステナイト結晶粒の成長があることがわかる。

しかし 850°C 付近の圧延終了温度ではオーステナイト結晶粒はいずれの場合も圧延方向に変形されたままであることは注目される。Photo. 1 に代表的なオーステナイト結晶粒とこれに対応する圧延組織を示す。これによると、圧延終了温度が 900°C 以上ではオーステナイト結晶粒は完全に再結晶しているが、850°C の圧延材では塑性変形を受けたままの状態であり、その温度以下の 800°C で 10 min 保持しても、900°C 以上のときに認められる再結晶による結晶粒の粒状化の現象は認められなかつた。

フェライト結晶粒はオーステナイト結晶粒と同じように圧延終了温度が低下するとともに細粒化している。とくに注目される点は、圧延終了温度が低く顕微鏡的に再結晶が認められず変形を受けたままのオーステナイト結

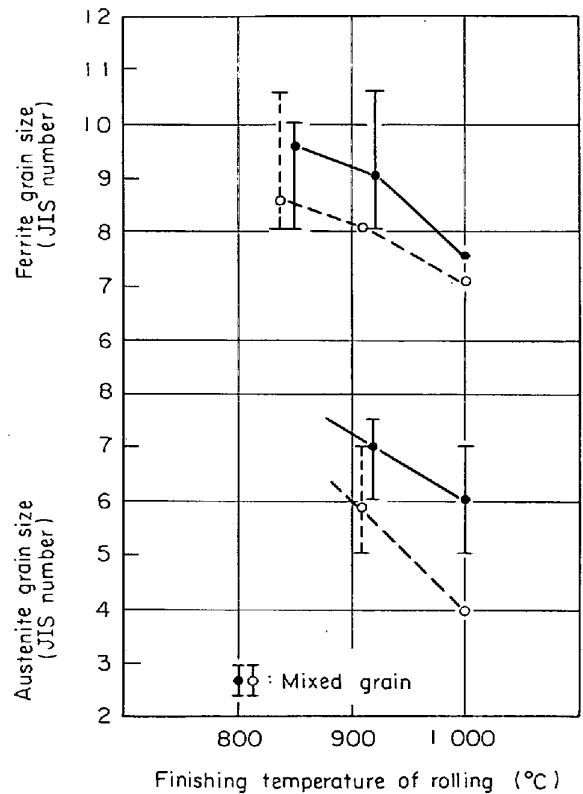
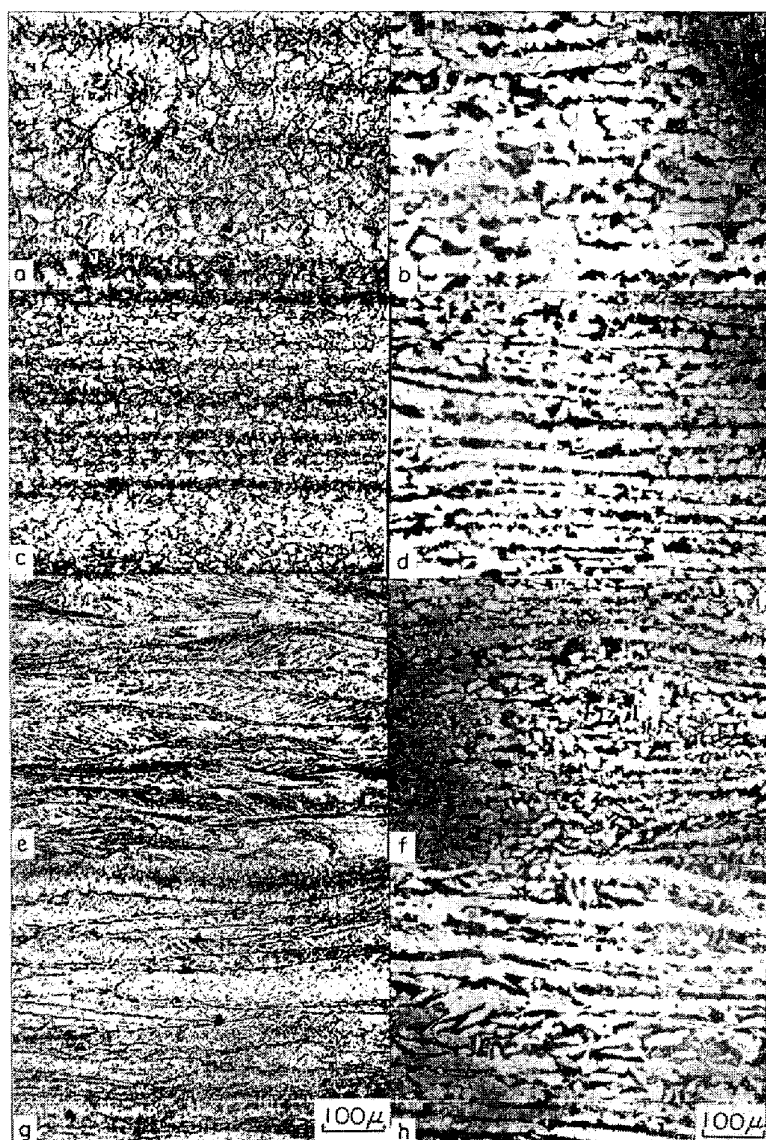


Fig. 2. Effect of rolling finishing temperature and keeping in furnace at rolling finishing temperature for 10 min. after rolling on austenite and ferrite grain size under rolling condition of plate No 9~14 described in Table 2. Open circles (○) indicate plates kept in furnace at rolling finishing temperature and cooled. Black circles (●) indicate plates not kept in furnace.

晶粒から変態した場合でも微細なフェライト結晶粒が得られている点で、この変形を受けたオーステナイト結晶粒からの変態には特徴がある。

Photo. 2 は a) は圧延終了後直ちにアスベストカバー冷却した試験材の、b), c) は 10 min 保持後アスベストカバー冷却した試験材の顕微鏡組織である。a) では全体的に比較的均一な細粒であるが、これは  $\gamma \rightarrow \alpha$  変態の際に変形を受けたオーステナイト結晶粒の粒界と粒内に核が多量に生成することによるものと考えられる。これに対し 10 min 保持材では比較的粗大化したもの(b)と非常に微細なものの混在(c)が認められる。これは、その温度に保持することによつて変形を受けたオーステナイト結晶粒内部に部分的に回復と再結晶があり、そして  $\gamma \rightarrow \alpha$  変態に際して核発生に部分的に差異を生ずることによるものと考えられる。

なお本実験とはほぼ同様な研究室的圧延実験において圧



Microstructure of austenite grain	Microstructure	Plate No	Heating temp.	Starting temp.	Finishing temp.
a	b	9	1200°C	1200°C	1000°C
c	d	19	1200°C	1070°C	920°C
e	f	11	1200°C	960°C	850°C
g	h	14	1200°C	960°C	840°C

Photo. 1. Typical examples of relation between figure of austenite grain and microstructure at various finishing temperature of rolling. Reduction per pass 30% and total reduction ratio 2.6. Plate No 14(g, h) was kept in 800°C furnace for 10 min after rolling.

Table 3. Chemical composition of the specimen for another rolling test (wt %).

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
0.23	0.43	1.07	0.030	0.009	0.22	0.17	0.14	0.05	0.020

延組織に異常組織が発生したことを記す。Table 3 に示す化学成分の厚板の小鋼片 (30 mm × 50 mm × 100 mm) を 1250°C に 2 hr 加熱して圧延開始温度をそれぞれ 1250°C, 1100°C, 1000°C および 900°C に設定し、圧延パスごとの圧下率をそれぞれ 5%, 10%, 20% および 30% に設定して 12 mm × 50 mm × 250 mm に圧延し放冷した場合の、異常組織と圧延条件の関係を Fig. 3 に示す。圧延開始温度は、あらかじめ鋼片を放冷したときの時間-温度曲線を求めておき、炉出放冷後所定の時間になったとき鋼片はそれ相応の温度になっているとみ

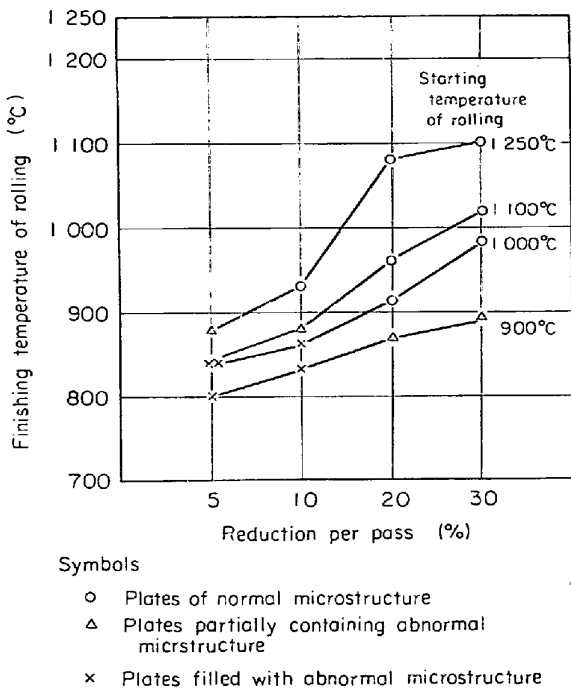


Fig. 3. Relation between finishing temperature of rolling and abnormal microstructures found in plates rolled on another rolling test. In this test four kinds of starting temperatures of rolling and four kinds of reduction per pass were chosen.

なすことによつて設定した。

Photo. 3 に得られた圧延組織および圧延前の加熱鋼片の放冷組織を示す。Fig. 3 における△および×印が異常組織を呈した圧延条件で、この異常組織は 900°C 以下の圧延終了温度で発生しており、低温になるほど発生は著しい。しかし Photo. 4 d) に示すように圧延終了温度が低い場合でも圧延終了後 850°C に 10 min 保持することにより、異常組織は消失し、フェライト・パーライト組織の粒状化が生じている。

この異常組織の生成機構はつぎのように説明できよう。圧延比が比較的小さい範囲で、圧延終了温度がある温度以下になると、加工を受けたオーステナイト結晶粒に蓄積される歪エネルギーは比較的小さく、また圧延材のもつ熱エネルギーも小さくなつていたので、オーステナイト結晶粒が回復はできても再結晶あるいは成長するには駆動エネルギーが不足するため、再結晶が阻止されることになる。このような状態のオーステナイト結晶粒がフェライト・パーライト変態に際して比較的冷却速度の大きい空冷によつて、結晶粒内のすべり線にそつてフェライトおよびパーライトをあたかもウィッドマンステッテン状に析出して、異常組織を形成したものであろう。なおこの異常組織の発生の難易は化学成分および圧延前



Photo. 2. Various aspects of microstructures of plates rolled at finishing temperature under 850°C.

Plate No	Remarks
a 11	Microstructure with fine grain
b 14	Microstructure with coarse grain of one part of the microstructure test piece
c 14	Microstructure with mixed grain of another part

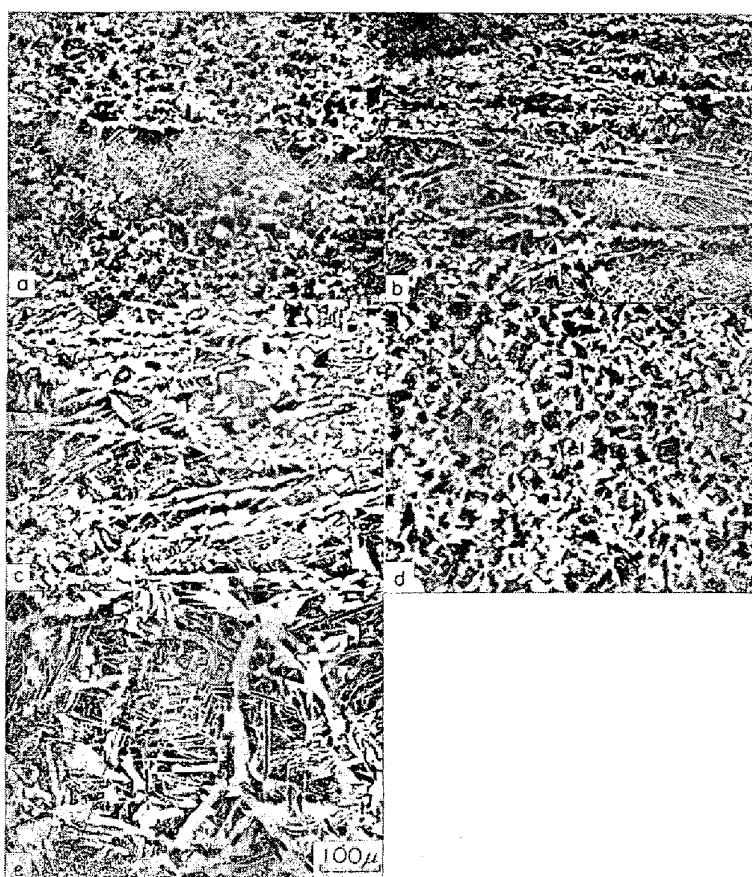
Photo. 2. Various aspects of microstructures of plates rolled at finishing temperature under 850°C.

のオーステナイト結晶粒の大きさにも左右されるように感じられる。

### 3.3 加熱温度と冷却速度の影響

圧延終了後アスベストカバー冷却およびカバーなし冷却(空冷)の場合、加熱温度と圧延終了温度がオーステナイト結晶粒とフェライト結晶粒とにいかにか影響するかを、Table 2 に示す No 15 から No 22 までの試験材を用いて調べた結果を Fig. 4 に示す。

オーステナイト結晶粒度は、圧延終了温度 1000°C の試験材についてのみ測定可能であつた。圧延前の鋼片のオーステナイト結晶粒度は 1000°C 加熱のときで粒度番号 2.0、1200°C 加熱のときで粒度番号 -0.3 とかなりの差があつた。この差は、圧延比 2.6 程度のこの実験で



	Heating temp.	Starting temp.	Finishing temp.	Reduction per pass	Remarks
a	1 250°C	1 250°C	880°C	5 %	—
b	1 250°C	900°C	800°C	5 %	—
c	1 250°C	900°C	830°C	10%	—
d	1 250°C	900°C	830°C	10%	Kept in 850°C furnace for 10min after rolling
e	Material for rolling test, heated at 1 250°C and air-cooled.				

Photo. 3. Microstructures with and without abnormal structures of plates rolled at lower finishing cooled. Temperature and microstructure of the material for test heated at 1250°C and (Total reduction ratio 2.5)

は圧延終了後の結晶粒度にも影響し、オーステナイト結晶粒度、フェライト結晶粒度ともに、1000°C 加熱圧延材の方が小であった。

フェライト結晶粒は、加熱温度および圧延終了温度が低くなり、また圧延後の冷却速度が大きくなるにつれて細粒化している。

冷却速度の影響は、1000°C 加熱圧延材でとくに顕著である。これは、1200°C 加熱圧延材に比較し圧延終了時のオーステナイト結晶粒がより微細化しているため、冷却途中のオーステナイト結晶粒の成長の相違が大きくあらわれたのであろう。本実験での試験材の 900°C から 600°C までの冷却速度は、アスベストカバー冷却したときで約 25°C/min、空冷したときで約 75°C/min であり、空冷の方がオーステナイトの再結晶粒の成長が少なく、また  $\gamma \rightarrow \alpha$  変態時の核発生数の増加などフェライト結晶粒の微細化に有利になったことが推察される。

Photo. 4 は Table 2 に示す No 15 から No 22 までの試験材の圧延組織を示す。これらの組織からも冷却速度の影響を明らかに理解できる。

### 3.4 フェライト結晶粒度と機械的性質との関係

Table 2 に示す No 15 から No 22 までの試験材について得られた引張強さ、耐力 (0.2% 永久歪) および 2 mm V ノッチシャルピ衝撃値 (0°C) と圧延終了温度との関係を Fig. 5 に、耐力および衝撃値とフェライト結晶粒度との関係を Fig. 6 に示す。引張強さと耐力は圧延条件によつて目立つた変化はないが、衝撃値は大きく変わっている。

衝撃特性の向上には加熱温度および圧延終了温度の低下が有効であることは従来から知られているが、組織的に再結晶のおこりにくい比較的低温で変形を受けたオーステナイト結晶粒からもたらされるきわめて微細なフェライト・パーライト組織をもつ圧延材において、もつと

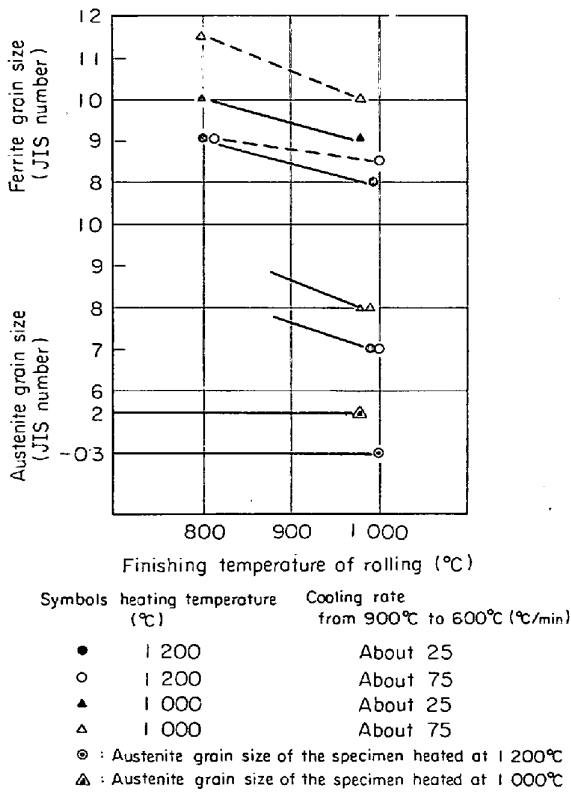


Fig. 4. Effect of heating and finishing temperature and cooling rate on austenite grain size and ferrite grain size under rolling conditions of plate No 15~22 described in Table 2.

も大きな衝撃値が得られたことは注目される。しかし面  $\gamma \rightarrow \alpha$  変態域にまでかかる加工が行なわれることは、変態後のフェライト結晶粒がさらに加工される機会を与えることになり、これが過ぎると衝撃値の劣化をもたらすこと<sup>9)</sup>、あるいは変態時にフェライトの異常な成長をひきおこすこと<sup>10)</sup>などを考慮しておく必要がある。

また Fig. 6 からわかるように同一フェライト結晶粒度レベルにおいて冷却速度の小さい方が衝撃値が上回っていることは興味がある。大きい方の冷却速度では、Formaster-F による調査によれば一部ベイナイトの生成があることが確かめられているので、そのために衝撃値が下回ったのではないかと考えられるが今後の確認を要する。一般に変態点付近の冷却速度を大きくすれば、フェライト結晶粒が細粒化し、これにより靱性が向上することが認められているが、これも程度の問題であつて、とくに下部ベイナイトの混在するような冷却条件ではかえつてマイナスになるような報告<sup>9)</sup>もあり、当実験の結果ともあわせて十分考慮する必要がある。

Fig. 7 に本実験において得られたオーステナイト結晶粒度とフェライト結晶粒度の関係を示す。この場合、圧延終了温度および冷却速度などによる層別を行なう必要

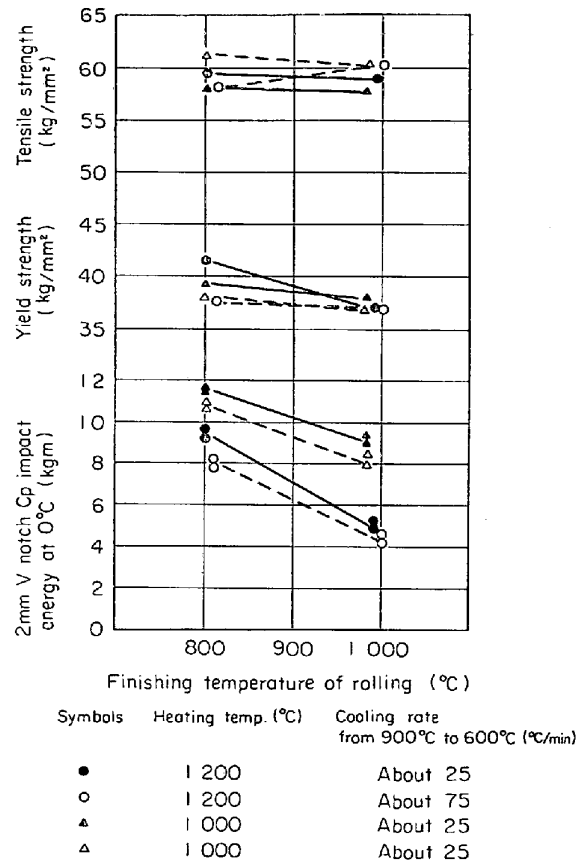


Fig. 5. Relation between heating temperature, finishing temperature and cooling condition and mechanical properties under rolling condition of plate No 15~22 described in Table 2.

もあると考えられるが、データ数も少ないので、一括して図示した。再結晶が認められなかつたオーステナイト結晶粒については、粒度測定ができなかつたので図中には粒度番号  $x$  で表わした。Fig. 7 から、両者間にはかなりの相関関係は認められるがオーステナイト結晶粒度の変化ほどにはフェライト結晶粒度は変化していないことがわかる。いずれにしてもオーステナイト結晶粒が微細になるにしたがつてフェライト結晶粒も微細になつており、圧延終了温度が低かつた未再結晶のオーステナイト結晶粒においてもつとも微細なフェライト・パーライト組織が得られたことは特記に値する。

以上のことから、Si-Mn 系高張力鋼でもつとも好都合の機械的性質を得るためには、圧延組織が微細なフェライト・パーライト組織であることが必須条件であり、この組織を得るためには変態直前のオーステナイト結晶粒が適した状態であることも必要となつてくる。そのためには加熱温度はできるかぎり低く、圧延比はある一定以上にとり、圧延終了温度は  $\gamma \rightarrow \alpha$  変態にさしかからぬ





	Plate No	Heating temp.	Starting temp.	Finishing temp.	Cooling rate(°C/min)	Ferrite grain size(JIS)
a	15	1 200°C	1 000°C	1 000°C	about 25	8·0
b	19	1 200°C	1 000°C	990°C	about 75	8·5
c	16	1 200°C	800°C	810°C	about 25	9·5
d	20	1 200°C	800°C	800°C	about 75	9·5
e	17	1 000°C	1 000°C	980°C	about 25	9·0
f	21	1 000°C	1 000°C	980°C	about 75	10·0
g	18	1 000°C	800°C	800°C	about 25	10·0
h	22	1 000°C	800°C	800°C	about 75	11·5

Photo. 4. Microstructures under rolling conditions of plate No 15-22 described in Table 2.  
(Reduction per pass 30%, total reduction ratio 2·6)

程度に低くし、圧延終了後の冷却速度はベイナイト組織が生成しない範囲で最大にすることが望ましくなってくる。

#### 4. 結 論

Si-Mn 系高張力鋼の圧延組織の微細化におよぼす圧延条件の影響を、主としてオーステナイト結晶粒度およびフェライト結晶粒度との関係という観点から調査した結果、つぎの諸点を明らかにすることができた。

1) 圧延前の粗大オーステナイト結晶粒は圧延パスが重なるにしたがつて細粒化していき、圧延比がある一定以上になると整粒の微細粒になる。

2) 圧下率 10% と 30% の間では、圧延比がある一定以上になるとオーステナイト結晶粒の微細化におよぼす影響の差はほとんどなくなり、圧下量の総和が微細化に効果がある。

3) 加熱温度および圧延終了温度を低下することによって、オーステナイト結晶粒は微細化する。また圧延終

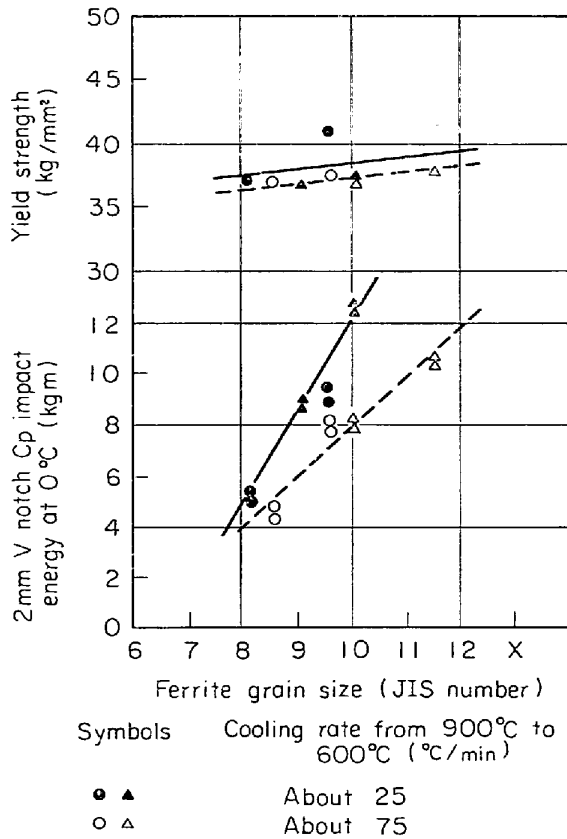


Fig. 6. Relation between ferrite grain size and mechanical properties under rolling conditions of plate No 15~22 described in Table 2.

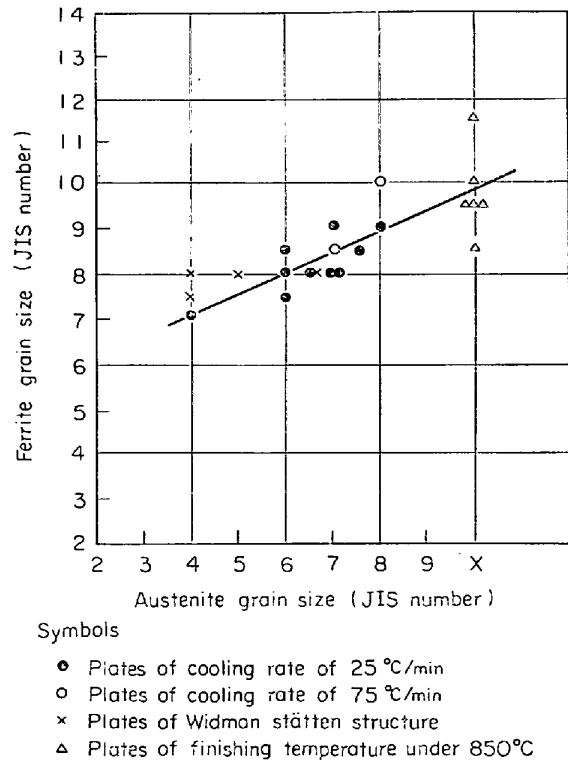


Fig. 7. Relation between austenite grain size and ferrite grain size under rolling conditions of all plates in the test.

了温度から $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態までの冷却時間を小さくすることはオーステナイト結晶粒の成長を抑制する。

4) 圧延終了温度が約 850°C 以下になると、オーステナイト結晶粒は変形を受けたままで短時間では再結晶しない。

5) フェライト結晶粒の微細化はオーステナイト結晶粒の微細化によつてもたらされる。そして変形を受けたままの未再結晶オーステナイトのときに、著しく微細化する。

6) 機械的性質はフェライト・パーライト組織が微細になるにしたがつて向上し、とくに衝撃値の上昇が顕著である。

7) 圧延終了後の冷却速度によつてフェライト・パー

ライト組織を微細化するときは、ベイナイト組織が現出しない範囲で、冷却速度を最大にすることが望ましい。

文 献

- 1) W. E. DUCKWORTH, et. al.: JISI, 203 (1965) Nov., p. 1108
- 2) 青木ほか: 鉄と鋼, 54 (1968) 4, p. 433
- 3) K. J. IRVINE, et al.: JISI, 205 (1967) Feb., p. 161
- 4) K. J. IRVINE, et al.: JISI, 201 (1963) Nov., p. 944
- 5) 福田, ほか: 鉄と鋼, 53 (1967) 10, p. 453
- 6) 阿部, ほか: 鉄と鋼, 53 (1967) 10, p. 469
- 7) 小指, ほか: 鉄と鋼, 54 (1968) 10, p. 589
- 8) R. PRIESTNER, et al.: JISI, 206 (1968) Dec., p. 1252
- 9) R. PHILLIPS, et al.: JISI, 204 (1966) June, p. 615
- 10) R. B. G. YEO, et al.: J. Metals, 21 (1968) June, p. 33