

© 1990 ISIJ

 ////////////////  
 論文  
 ////////////////

# 17%Cr ステンレス薄鋼板の機械的性質 に及ぼす熱延巻取温度の影響

原 勢 二 郎\*・竹 下 哲 郎\*<sup>2</sup>

## Effect of Coiling Temperature in Hot Rolling on the Mechanical Properties in 17%Cr Stainless Steel Sheet

Jirou HARASE and Tetsuro TAKESHITA

## Synopsis:

Effect of coiling temperature on the mechanical properties of 17%Cr stainless steel sheet containing 0.124%Al(A) and 0.013%Al(B) has been investigated.

The yield stress and yield point elongation of the specimen A initially increase and then decrease with increasing final annealing time when processed with coiling temperature lower than 750°C and without annealing before cold rolling. This is due to decomposition of  $\alpha'$  during initial stage of annealing and subsequent precipitation of AlN. The yield stress and yield point elongation of the specimen A coiled at 850°C are low and remain almost the same with increasing final annealing time as no  $\alpha'$  is present before cold rolling and AlN phase has been precipitated at coiling stage.

In the case of specimen B, the yield stress and yield point elongation increase with increasing final annealing time when processed with coiling temperature lower than 750°C and without annealing before cold rolling. This is due to the decomposition of  $\alpha'$  during initial stage of annealing and no precipitation of AlN during final annealing.

**Key words** : mechanical properties ; ferritic stainless steel ; hot rolling ; 17%Cr steel ; SUS430 ; nitrides.

### 1. 緒 言

17%Cr ステンレス薄鋼板は、熱延板焼鈍後1回または中間焼鈍をはさんだ2回の冷間圧延を含んだ工程で製造されている<sup>1)</sup>。熱延板焼鈍を行う冶金的理由は、種々あるが熱延板に存在する  $\alpha'$  相を、 $\alpha$  と炭化物に分解し冷間圧延を容易にすることもその目的の一つである<sup>1)</sup>。ところでこの熱延板焼鈍工程を省略できれば、経済的な価値が高い。著者らは、この熱延板焼鈍を省略した場合冷延焼鈍後の薄鋼板の機械的性質にどのような影響を与えるか、Al含有量の異なる17%Cr鋼を素材として、調

査した<sup>2)3)</sup> ので報告する。

### 2. 実験方法

出発素材は、Table 1 に示した成分の厚さ 200 mm の 17%Cr 鋼铸件 (Al 0.124% と 0.013% 含んだ2種類) である。この铸件を 1200°C で 60 min 加熱後、パス間時間およそ 10 s で 6 パスで厚さ 20 mm まで圧延した (圧延終了温度 1100°C) 後、およそ 60 s 経過、960°C で圧延を開始し、およそ 24 s で 6 パスで厚さ 3.0 mm の熱延板とした (熱延終了温度 890°C)。熱延後、そのまま空冷した試片と、巻取条件をシミュレートする目的で鋼

Table 1. Chemical compositions (mass%) used.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Al	N	O
0.05	0.33	0.11	0.02	0.004	0.07	16.3	0.124	0.010	0.002
0.05	0.32	0.11	0.02	0.003	0.07	16.5	0.013	0.012	0.006

昭和 60 年 10 月・61 年 4 月本会講演大会にて発表 平成 2 年 1 月 6 日受付 (Received Jan. 6, 1990)

\* 新日本製鉄(株)ステンレス・チタン研究センター (現:新日本製鉄(株)電磁鋼研究センター) Ph. D. (Stainless & Titanium Research Lab., Now Electrical Steel Research Lab., Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yahatahigashi-ku Kitakyushu 805)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)ステンレス・チタン研究センター (現:シェフィールド大学) (Stainless Steel & Titanium Research Lab., Now University of Sheffield, Nippon Steel Corp.)

板を冷却すること無く直ちに 550°C, 750°C, 850°C に保定された加熱炉で 1 h 保持後空冷した試片を作成した。これらの熱延板は、酸洗後、冷延を行い厚さ 0.4 mm の薄鋼板とした (圧下率 80%)。この薄鋼板を 850°C の塩浴中で最長 120 s まで加熱後空冷した (昇温速度 80°C/s)。

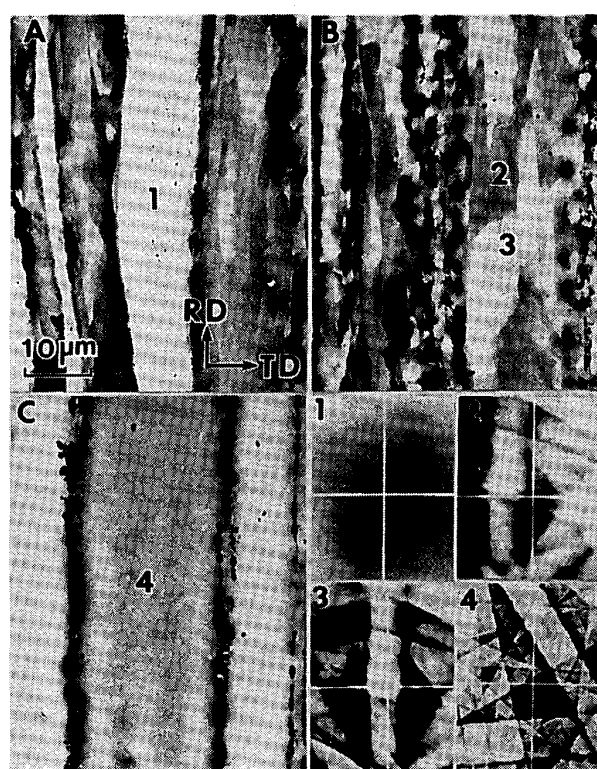
最終焼鈍板から圧延方向に平行に JIS 13 号 B 試片を採取し、引張試験を行った。熱延板及び最終焼鈍板は、SEM-ECC (エレクトロンチャンネルコントラスト) で結晶組織を観察し、一部の結晶粒については ECP (セレクトッドエアリアエレクトロンチャンネルングパターン) で、パターンの確認と方位の測定を行った。最終焼鈍板の粒径 (円相当径) は画像処理装置 (Tospix II) で求めた。焼鈍板を、臭素メタノール法で抽出した残さの Al 分析から N as AlN を決定した。サルチル酸 40 g, 塩化リチウム 20 g, エチレングリコール 100 cc, をメチルアルコールに添加した溶液 (全量で 1000 cc) で電流密度 10 mA/cm<sup>2</sup> で電解した残さの N を定量することで、N as 窒化物の量を求めた。

### 3. 実験結果

#### 3.1 巻取温度と結晶組織の関係

Photo. 1 に Al を 0.124% 含んだ熱延板の SEM-ECC 像を示す。空冷した試片 (A) は、白く光った部分 (番号 1) が観察される。その部分の ECP は、ECP 写真 1 に示したようにパターンが発現せず、歪みが高い。この部分が、旧  $\gamma$  相が  $\alpha'$  相に変態した部分である。750°C で巻き取った試片 (B) の場合はこの相は存在せず、旧  $\gamma$  相は、点列状の微細な炭化物と、フェライトになっている。組織写真の番号 2, 3 の位置の ECP 写真 2, 3 がややぼやけて、平行線が湾曲しているので、フェライト相の部分も、転移密度が高く結晶方位が、同一粒内で微妙に変化していることが分かる。850°C 巻取りの場合 (C) は、番号 4 の位置の ECP 写真 4 が示すように、歪みが無く、いわゆる完全に再結晶が完了した状態にあることが分かる。熱延板の  $\alpha'$  相 (白く光った部分) の面積率は、550°C 巻取りの場合、Al の無い試片で 20.6%, Al を添加した試片で 9.3% であり、Al を添加した試片では、存在量が少ない。Al を添加した試片の 1080°C における平衡  $\gamma$  量は、著者らの測定では約 20% 存在する<sup>4)</sup> ので、熱延中におよそ半分強が  $\alpha$  相に変態したといえる。

本論文では、 $\gamma$  から変態した組織で ECP パターンを示さないような高歪みのものを  $\alpha'$  相と呼ぶ。大部分はマルテンサイトと考えられるが一部ベイナイトが含まれるか否かについては断言できない。



A : Air cooled B : Coiled at 750°C C : Coiled at 850°C  
Photo. 1. SEM-ECC micrographs and ECP of hot rolled sheets of 0.124%Al containing specimen.

Photo. 2 に、この空冷した熱延板を、冷延 (圧下率 86.7%) 後 850°C で 30 s 塩浴中で熱処理した試片の SEM-ECC-ECP 像の一例を示す。図のレンズ状の組織が、熱延板で存在していた  $\alpha'$  相である。この段階では、熱延板の状態と比較してこのような相の存在量は少ない。図の ECP 写真 B から、まだ歪みの高い部分と、ECP 写真 E, H のように、比較的歪みの少ない  $\alpha$  相に変態が完了した部分から構成されていることが分かる。この部分は、熱延中是一个の  $\gamma$  粒であり、それが巻取工程で  $\alpha'$  相に変態し、更に最終焼鈍工程で  $\alpha' \rightarrow \alpha +$  炭化物に変態しつつあると考えられるが、この部分の結晶方位は、図に示すように比較的似通っている。

Fig. 1 に Al を 0.124% 含んだ試片の焼鈍 (850°C × 120 s, 850°C × 0 s) 後の粒界線図, Fig. 2 に加熱時間と粒径の関係を示す。巻取温度が高いほど粒径が大きく、加熱時間の増加に従って粒成長するが、巻取温度が、750°C 以下では、加熱時間による粒成長は、ほとんど認められないことがわかる。これは、巻取温度が 750°C 以下では冷延板の状態の  $\alpha'$  相が、仕上げ焼鈍過程で微細な炭化物を形成し、この炭化物が粒成長のピンドメ作用をするためと考えられる。

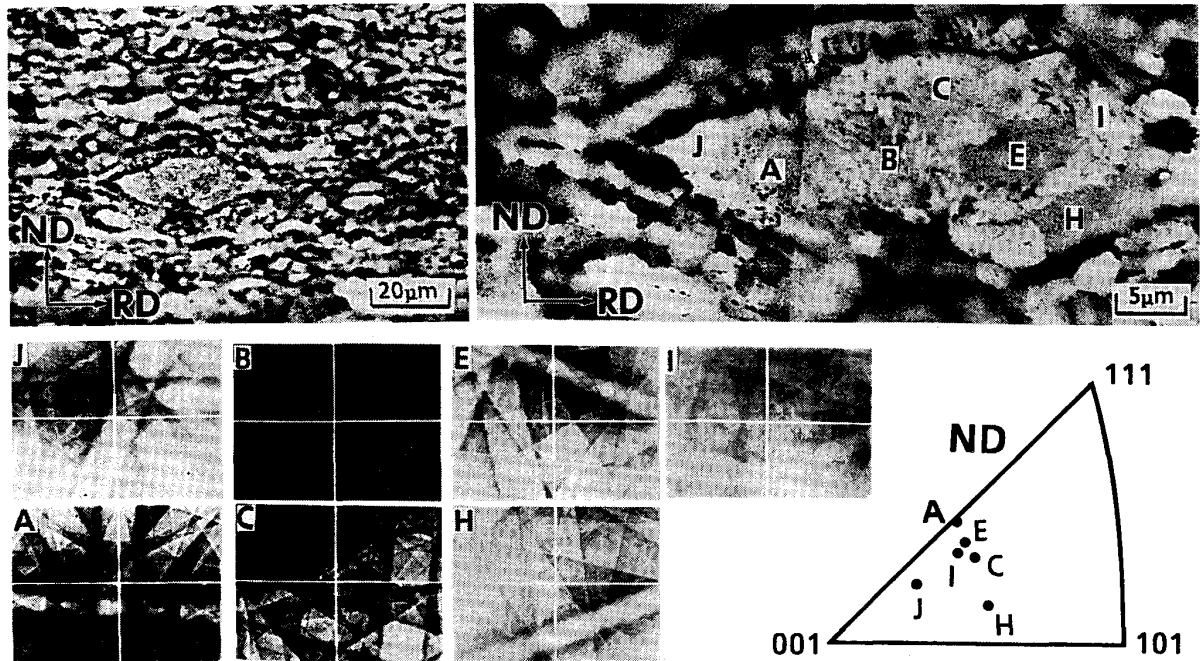
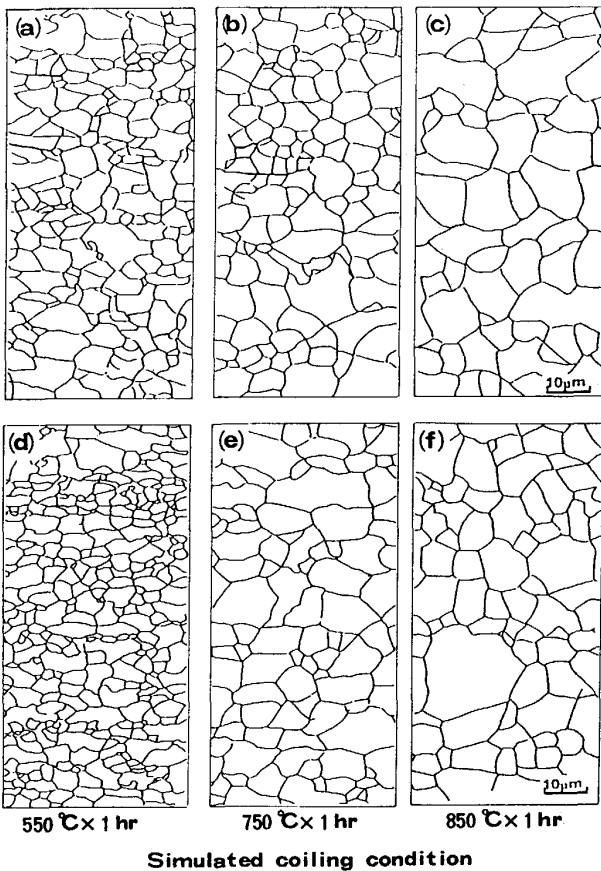


Photo. 2. SEM-ECC micrographs and ECP of  $\alpha'$  phase cold rolled (86.7% reduction) and annealed at 850°C for 30 s in the 0.124%Al containing specimen air cooled after hot rolling.



Simulated coiling condition

(a)(b)(c) : Annealed at 850°C×120 s  
 (d)(e)(f) : Annealed at 850°C×0 s

Fig. 1. Grain structure of cold rolled and annealed sheets of 0.124%Al containing specimen processed without annealing before cold rolling.

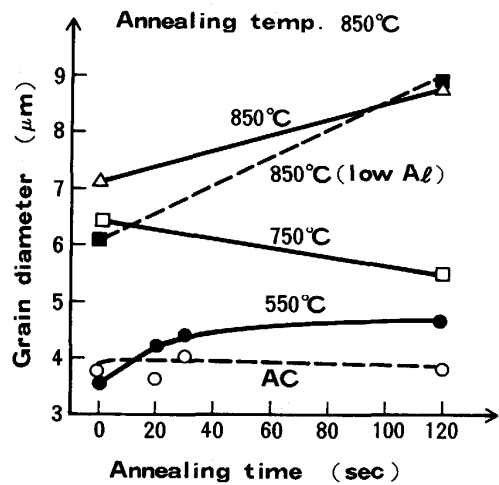


Fig. 2. Relationship between grain diameter and final annealing time.

### 3.2 巻取温度と機械的性質の関係

Fig. 3, 4, 5, 6 に最終焼鈍の加熱時間と、降伏点、降伏点伸び、抗張力、均一伸び、全伸びの関係を示す。

Fig. 3 で Low Al と書いてある材料は、Al を 0.013% 含んだ試片であり、何も書いていないものは、Al を 0.124% 含んだものである。Fig. 3 から巻取温度が 750°C 以上の場合は、加熱時間が増すと降伏強度はわずかず減少する傾向が見られるが、巻取温度が、550°C 以下の素材では降伏強度は一度増加した後再び減少する傾向がみられる。粒径  $d$  の  $d^{-1/2}$  と降伏強度は相関が

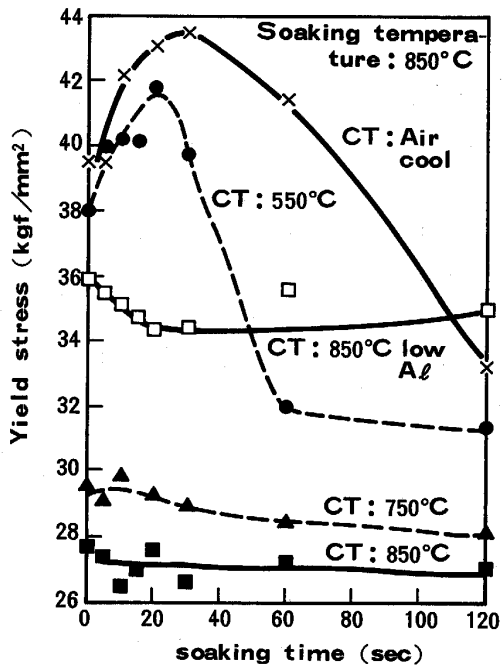


Fig. 3. Effect of final annealing time on the yield stress of cold rolled and annealed sheets processed without annealing before cold rolling.

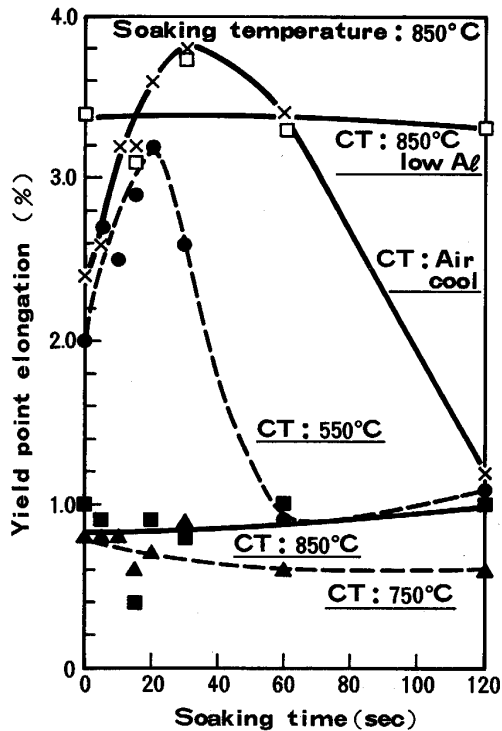


Fig. 4. Effect of final annealing time on the yield point elongation of cold rolled and annealed sheets processed without annealing before cold rolling.

あると言われるが、この場合は、巻取温度 550°C 以下の素材では、加熱時間を変えても粒径がほとんど変化せず (Fig. 2),  $d^{-1/2}$  と降伏強度は相関がない。Fig. 7 に

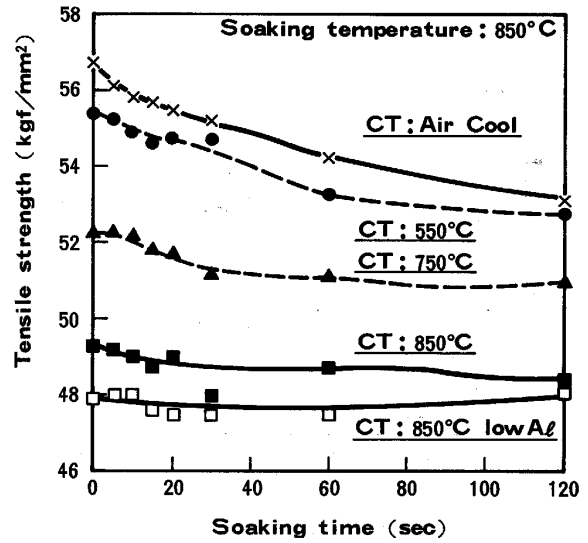


Fig. 5. Effect of final annealing time on the tensile strength of cold rolled and annealed sheets processed without annealing before cold rolling.

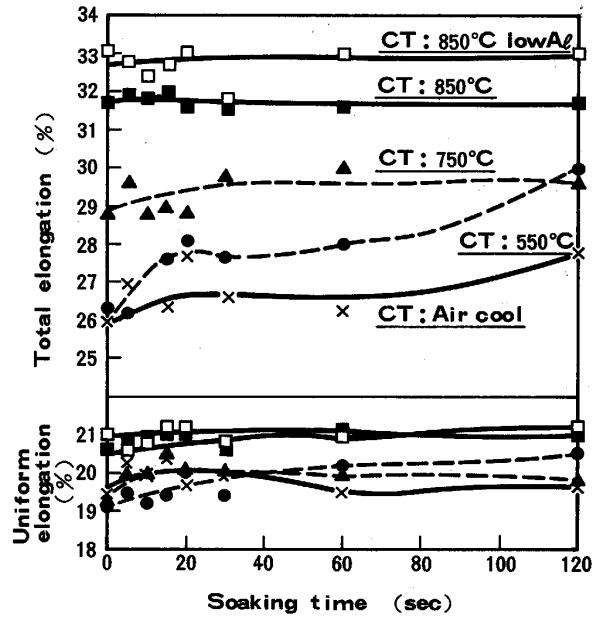


Fig. 6. Effect of final annealing time on the total elongation and uniform elongation of cold rolled and annealed sheets processed without annealing before cold rolling.

最終焼鈍の加熱時間が 120 s の場合の  $d^{-1/2}$  と降伏強度の関係を示したもので、この場合は、 $d^{-1/2}$  と降伏強度とは相関関係が認められる。このことは、加熱時間が短い場合の降伏点の上昇は、冷延前に存在した  $\alpha'$  相が関与していることを示唆している。Fig. 4 は、加熱時間と降伏点伸びの関係を示したものである。降伏点の場合と同様、巻取温度 550°C 以下の素材では、降伏点伸び

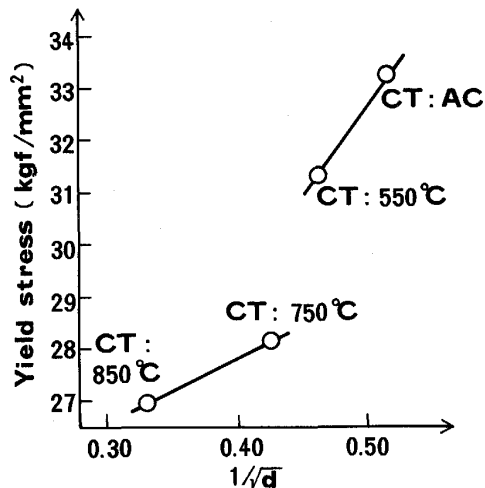


Fig. 7. Relationship between grain diameter and yield stress in the 0.124%Al containing specimen annealed at 850°C for 120 s.

が加熱時間と共に増加し、再び減少する傾向を示している。また 850°C で巻き取った Al 0.013% 含んだ試片では、加熱時間による降伏点伸びの変化はないが、Al を 0.124% 含んだ試片と比べて降伏点伸びが大きい。Fig. 5 は、加熱時間と抗張力の関係を示したものである。図から巻取温度 850°C の材料では、加熱時間の影響は比較的少ないが、巻取温度 750°C 以下では、巻取温度が低いほど、抗張力は高く、かつ加熱時間が長くなるに従い、抗張力が低下する傾向がみられる。Fig. 6 は、加熱時間と均一伸び、全伸びの関係を示したものである。巻取温度 750°C 以上の場合、加熱時間の伸びに及ぼす影響は少ないが、550°C 巻取材や、空冷した熱延板では、加熱時間が長くなると伸びが増加する傾向が見られる。同一加熱時間では、巻取温度が高いほど全伸びは増加する傾向を示す。

#### 4. 考 察

降伏点伸びは、固溶元素と密接な関係があると言われている。また降伏強度は、転位の発生源となる第 2 相が存在する場合は、小さくなることが知られている<sup>5)</sup>。ここではそれらの知見をふまえて降伏挙動が、熱延巻取温度と、最終焼鈍時の加熱時間で大きく変化するメカニズムについて考察する。

Fig. 8, 9 は、Al 0.124% 含んだ素材の空冷材と、550°C 巻取材の加熱時間と窒化物 (AlN, 全窒化物)、全窒素から窒化物としての窒素を引いた値 (固溶窒素とみなせるもの)、降伏強度、降伏点伸びの関係を示した。図から固溶窒素は、いったん増加し再び減少しており、降伏強度の変化と、似た挙動を示している。Fig. 10 に

Al 0.013% 含んだ素材で 550°C 巻取材についての同様な調査結果を示す。比較のため熱延板焼鈍を行った試片についての結果も示した。この場合は Al の多い素材と異なり加熱中に、AlN の析出がないが、全窒素から窒化物としての窒素を差し引いた値は、熱延板焼鈍無しの工程材では、加熱時間と共に減少してゆく傾向が見られる。その理由については定かではない。降伏強度、降伏点伸びのいずれも、加熱時間の増加につれて、増加している。熱延板焼鈍を行った工程材の場合は、加熱時間が短い間は、熱延板焼鈍省略材と比べて、降伏点も、降伏点伸びも大きい。加熱時間の増加によるこれらの値の変化は少ない。Fig. 8, 9, 10 の結果から、低温巻取材で、加熱時間が短いときに降伏点が低く、降伏点伸びが小さい理由は、熱延板に存在していた  $\alpha'$  相が未分解で存在しているためであり、加熱時間が長くなると Al の多い素材では再び、降伏点が低下し、降伏点伸びが減少するのは、AlN の析出による固溶窒素の減少によるものと推察した。その推定を確認するため Fig. 11 に示した実験を行った。A 工程は、Al 0.124% 含んだ厚さ 1 mm の冷延板を、1100°C に加熱後水冷した後 0.4 mm まで圧延した試片を 850°C で焼鈍したもので、B 工程

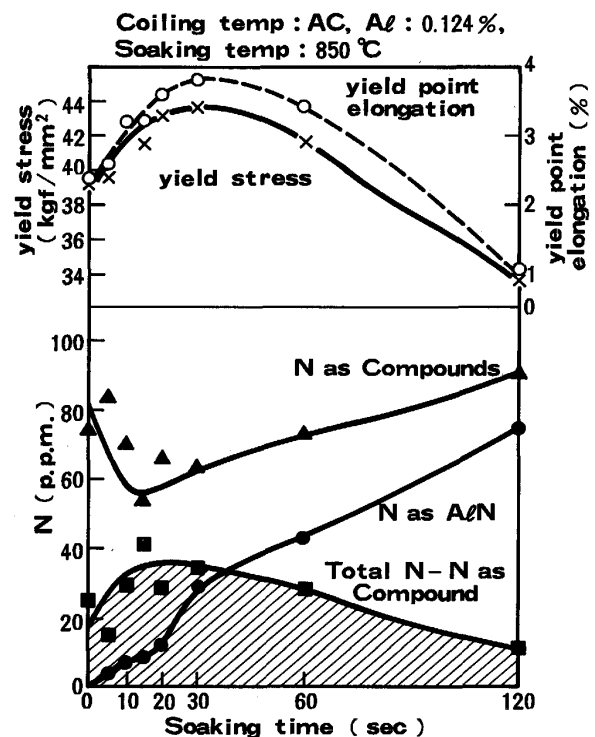


Fig. 8. Effect of final annealing time on the yield stress, yield point elongation and nitrides in the cold rolled and annealed sheets of 0.124%Al containing specimen air cooled after hot rolling and processed without annealing before cold rolling.

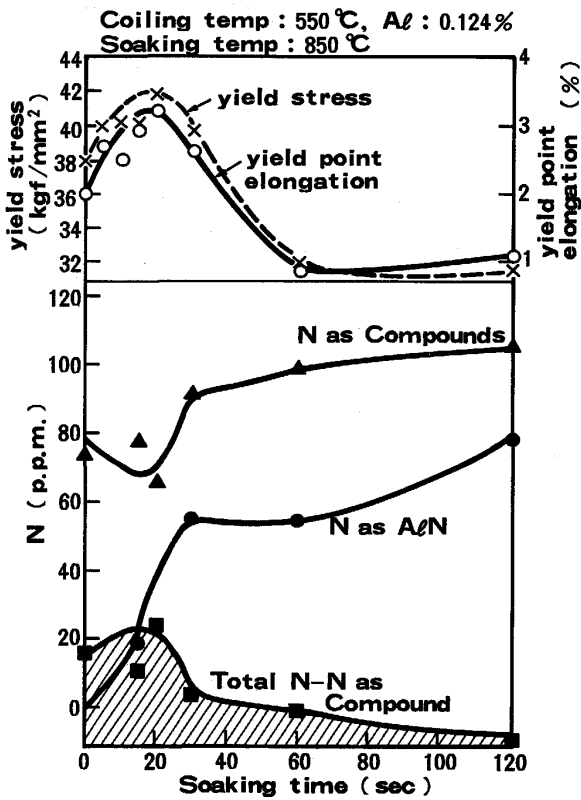


Fig. 9. Effect of final annealing time on the yield stress, yield point elongation and nitrides in the cold rolled and annealed sheets of 0.124%Al containing specimen coiled at 550°C and processed without annealing before cold rolling.

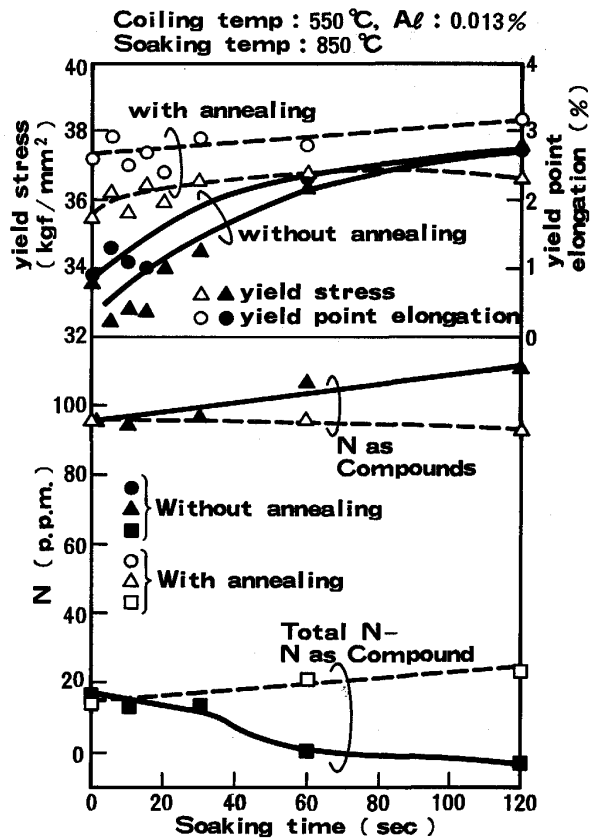
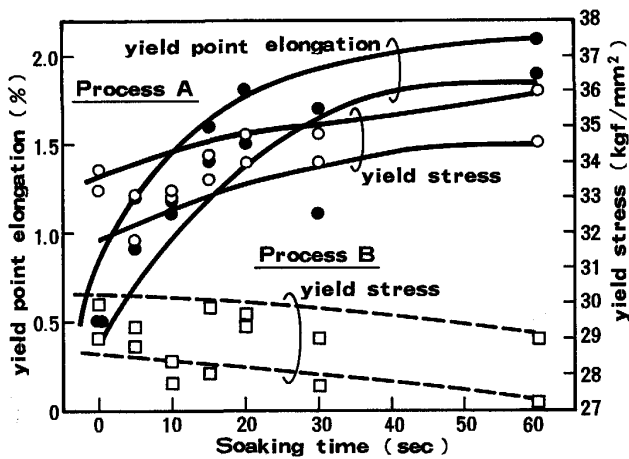
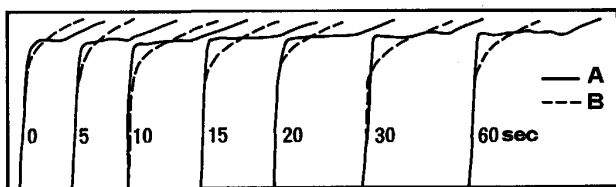
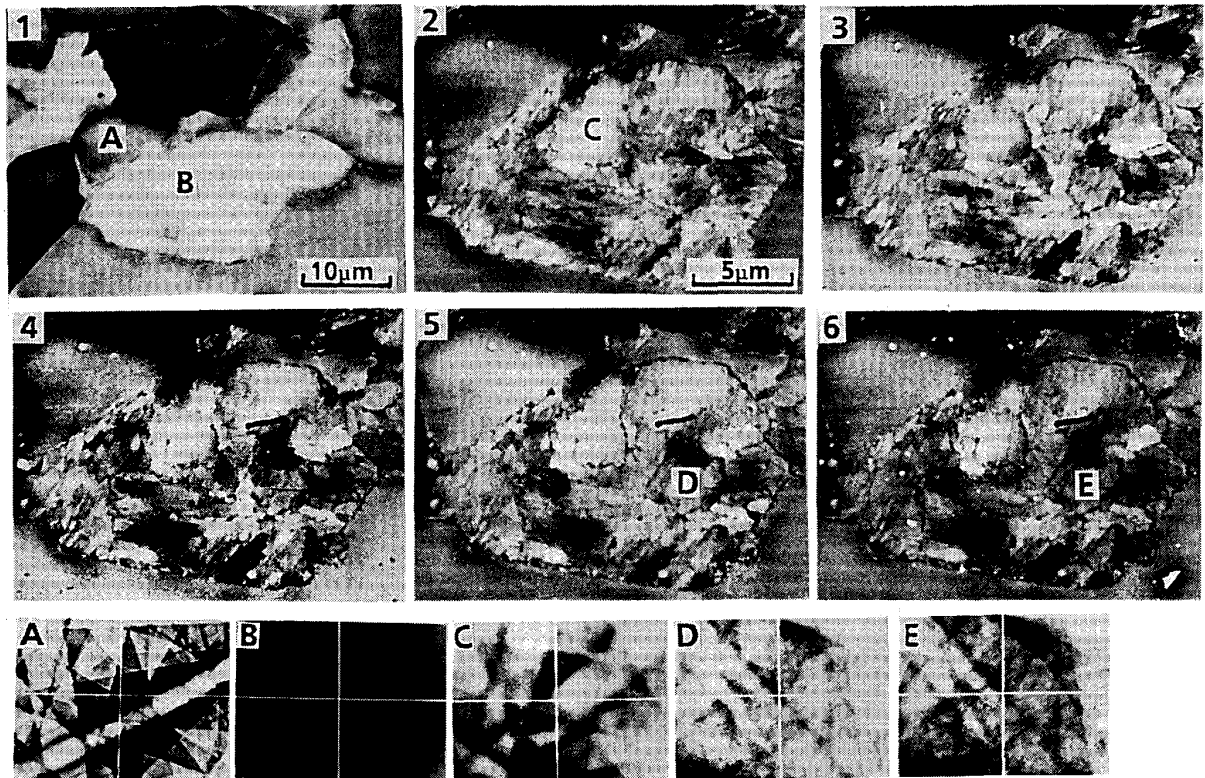


Fig. 10. Effect of final annealing time on the yield stress, yield point elongation and nitrides in the cold rolled and annealed sheets of 0.013%Al containing specimen coiled at 550°C and processed without annealing before cold rolling.



Process A → 1100°C × 0 sec → W.Q → CR → 1.0mm → 0.4mm → Annealing 850°C × 0~60 sec  
 Process B → CR → 1100°C × 0 sec → 1.0mm → 0.4mm → Annealing 850°C × 0~60 sec

Fig. 11. Effect of annealing time on the yield stress and yield point elongation of the specimen containing  $\alpha'$  subjected to cold rolling (process A) and fresh  $\alpha'$  (process B).



1: 1130°C×0s→W.Q.→2: 850°C×1min→3: 850°C×2min→4: 850°C×10min→5: 850°C×60min→6: 900°C×1min

Photo. 3. SEM-ECC micrographs and ECP of  $\alpha'$  phase subjected to intermittent annealings at 850°C and 900°C and for several minutes in the Al containing specimen water quenched from 1130°C.

は、0.4 mm まで圧延した後 1100°C に加熱後水冷した試片を 850°C で焼鈍したものである。この場合の焼鈍時間と、降伏強度、降伏点伸びの関係を示したものである。図から、焼鈍時に冷間加工を受けていない  $\alpha'$  が存在する場合は、焼鈍時の加熱時間を長くしても、降伏点伸びを示さず、焼鈍時に冷間加工を受けた  $\alpha'$  が存在する場合は、加熱時間の増加に従って降伏点伸びが増加し、降伏点が高くなり、Fig. 8 と類似した挙動を示す。Photo. 3 は、冷間加工を受けていない  $\alpha'$  相の熱的安定性を調べた結果を示す。写真は、同じ Al を含んだ試片を 1130°C に加熱後、水冷した試片を 850°C で再加熱し、再加熱過程における  $\alpha'$  相の分解過程を SEM-ECC-ECP で調査したものである。写真 1 は、焼入れ後の ECC 像で A はフェライト相であり、鮮明な ECP を示す。B は  $\alpha'$  相であり、ECP 像が発現しない。850°C で 60 s 加熱後の同じ部分の ECC 像 2 では、 $\alpha'$  相は、微細に分解した組織を示す。図で比較的大きなフェライト相となったように見受けられる C の ECP 像は、ぼやけており、この段階では未変態のフェライト相 A と比較すると歪みが高い。更に同じ温度または温度を 900°C まで高めた場合この部分の ECC 像 (3, 4, 5, 6)

はほとんど変化せず、ECP 像 (D, E) は、C (60 s 加熱後) と同様ぼやけており、しかも、いくつかのパターンが混じっている。これは、この部分がまだ歪みが高く、ECP の分解能 (約 3  $\mu\text{m}$ ) より小さなフェライト粒から構成されていることを示す。B 工程で加熱時間 60 s まででは、降伏点伸びが観察されないのは、分解過程にある  $\alpha'$  相やこの歪みの高い微細フェライトの存在といえる。A 工程では、 $\alpha'$  相は冷間加工を受けているので、 $\alpha'$  相の分解が速く、B 工程で観察されるような、微細フェライト相は速く消滅する。そのため加熱時間の増加に従い降伏強度が上昇し、降伏点伸びが増すと見えよう。以上の結果を総合すると、低温巻取りの Al の多い素材で加熱時間が短い間は、加熱時間の増加に従って、降伏強度が増し、降伏点伸びが増えるのは、 $\alpha'$  相の分解の影響によるものであり、更に加熱時間が増すと降伏点が減少し、降伏点伸びが減少するのは AlN の析出による固溶窒素の低下によるものと結論できる。

## 5. 結 論

Al 0.124% と 0.013% 含んだ 17%Cr 鋼の巻取温度を変えた熱延板を冷延焼鈍し、焼鈍加熱時間と機械的性質

の関係を調査し、次の知見を得た。

(1) 巻取温度が 750°C 以下では、Al の多い素材では、最終焼鈍の加熱時間の増加に従い降伏強度、降伏点伸びがいったん増加した後減少した。Al の低い試片では、Al の高い素材と比べ降伏強度、降伏点伸びが大きく、最終焼鈍の加熱時間の増加に従い降伏強度、降伏点伸びが増加した。巻取温度 850°C の素材では、加熱時間の増加による降伏強度、降伏点伸びの変化はほとんど見られず、低温巻取材と比較して低い値を示した。Al の高い素材は Al の低い素材と比べ、降伏強度が小さく、降伏点伸びも小さかった。

(2) 上記現象は、低温巻取材の冷延板に残存する  $\alpha'$  相の、加熱過程における分解と、Al の高い材料では AlN の析出による固溶窒素の現象で説明できた。

#### 文 献

- 1) 例えば松尾宗次: 日本金属学会会報, **19** (1980), p. 192
- 2) 原勢二郎, 竹下哲郎, 太田国照: 鉄と鋼, **72** (1986), S656
- 3) 原勢二郎, 清水 亮: 鉄と鋼, **73** (1987), S532
- 4) T. TAKESHITA, J. HARASE and H. YADA: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **27** (1987), p. 432
- 5) 例えば F. FURUKAWA, H. MORIKAWA, H. TAKECHI and K. KOYAMA: Structure and Properties of Dual-Phase Steels, ed by R. A. KOT and J. W. MORRIS, Jr. (1979), p. 281