

## 論 文

UDC 669.14-194.2 : 620.186.5 : 621.785.01 : 669.71'786

## 低合金鋼の熱処理による AlN の挙動ならびにオーステナイト結晶粒度とその粗大化温度について\*

木下 修司\*\*・上田 武司\*\*・鈴木 章\*\*\*

## Behavior of Aluminum Nitride, Austenite Grain Size, and Its Coarsening Temperature in Low Alloy Steels

Shushi KINOSHITA, Takeshi UEDA, and Akira SUZUKI

## Synopsis:

The austenite grain coarsening temperature of low carbon alloy steels has been studied for various conditions of heat treatment, and the results are discussed in terms of the effects of particle size of aluminum nitride and the initial grain size of austenite.

It is found that the preheat treatment of the isothermal reaction type with regard to aluminum nitride has an influence on the austenite grain coarsening temperature through its effect on the particle size of aluminum nitride, whereas the quench and temper type of heat treatment has an effect both on the particle size of aluminum nitride and the initial grain size of austenite.

The effect of the microstructure and the prior grain size of austenite on the initial austenite grain size have also been investigated.

(Received May 23, 1972)

## 1. 結 言

Al で粒度調整を行なった鋼のオーステナイト結晶粒粗大化温度が熱処理によつて変化することは、よく知られた事実である<sup>1)2)</sup>。そしてオーステナイト結晶粒粗大化温度(以下単に結晶粒粗大化温度と呼ぶ)におよぼす熱処理の効果は主として AlN の観点から考察されており<sup>1)2)</sup>, AlN を微細かつ均一に分散析出させる熱処理は、結晶粒粗大化温度を上昇させるとされている<sup>1)~3)</sup>。AlN にかぎらず、一般に過飽和状態の固溶体を再加熱すると、析出物は微細かつ均一に分布するのが通則であるから、AlN の観点から結晶粒粗大化温度を上昇させるためには、AlN を溶体化して一度室温まで急冷後、再度適当な温度まで加熱して AlN を析出させる焼入焼もどし型の熱処理を行なうのが好ましいと考えられる。このように、これまで結晶粒粗大化温度の高低は AlN の大きさと結びつけて考察されてきたが、結晶粒粗大化温度におよぼす熱間加工の影響を調べた著者らの研究<sup>4)</sup>によると、結晶粒粗大化温度におよぼす熱間加工の効果はその AlN の大きさにおよぼす効果よりも、むしろそのオーステナイトの初期粒の大きさにおよぼす効果として説明でき

る。すでに述べたように熱処理によるオーステナイト結晶粒粗大化温度の変化を調べた報告は多数あり、今井ら<sup>5)</sup>によつて集録されている。その後、現在までにいくつかの研究結果<sup>2)6)~9)</sup>が報告されているが、これらはいずれも主として析出物の観点から論じられており、熱処理によるオーステナイトの初期粒粗大化温度の変化から結晶粒粗大化温度の変化を論じたものは見あたらない。

本研究では、結晶粒粗大化温度におよぼす熱処理の効果についての理解を深めるために、結晶粒粗大化温度におよぼす熱処理の効果、オーステナイトの初期粒粗大化温度におよぼす効果も加えて検討したので、これを報告する。

## 2. 供試材ならびに実験方法

## 2.1 供試材

供試材は Table 1 に示すハダ焼鋼で、100 kVA 塩基性高周波炉で溶製後鍛造によつて 25 mm φ に鍛伸した。供試材 A はさきの研究<sup>1)</sup>に用いたものと同じである。

\* 昭和46年10月日本金属学会講演大会にて一部発表  
昭和47年5月23日受付

\*\* (株)神戸製鋼所中央研究所

\*\*\* (株)神戸製鋼所高砂工場 工博

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

| Steel | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Ni    | Cr   | Mo   | Al    | N      |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| A     | 0.22 | 0.26 | 0.45 | 0.005 | 0.008 | <0.10 | 1.05 | 0.15 | 0.055 | 0.0067 |
| S     | 0.21 | 0.28 | 0.72 | 0.009 | 0.013 | 0.03  | 1.00 | —    | 0.034 | 0.0089 |

2.2 実験方法

前処理のオーステナイト結晶粒度ならびに AIN の大きさにおよぼす効果の調査にあつては、各種の前処理後一度室温まで冷却したものを、所定のオーステナイト化温度まで平均 3°C/sec の加熱速度で加熱して 5 hr 保持後水冷した。このようにして得た試料を鏡面研磨後、表面活性剤を加えた飽和ピクリン酸水溶液にて腐食し、ASTM の截片法 (Intercept procedure) にてオーステナイト結晶粒度を求めた。また AIN の大きさの測定は、カーボン抽出レプリカ法によりレプリカを作製し、電子顕微鏡により行なつた。なお AIN の大きさはその形状が多岐にわたるため、電子顕微鏡写真にあらわれた個々の AIN 粒の面積あるいはその面積と同じ面積になるような正方形の辺長で表示した。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 熱処理温度と結晶粒粗大化温度

Fig. 1 は供試材 A を 1200°C に 1 hr 加熱して AIN を溶体化後室温まで急冷し、これを再加熱して 400~1200°C 間の各温度に 1 hr 保持して水冷したものの結晶粒粗大化温度の変化を示す。図中 1200°C におけるデータは溶体化のままに相当する。フェライト域では結晶粒粗大化温度は加熱温度によつてあまり変化しないが 700°C でわずかに高くなる。加熱温度が  $\alpha + \gamma$  2 相共存域である 800°C になると結晶粒粗大化温度は著しく低下するが、加熱温度がオーステナイト域になると加熱温度の上昇とともに結晶粒粗大化温度は上昇することがわかる。Fig. 2 は同じく供試材 A を 1200°C に 1 hr 加熱して AIN を溶体化後、ただちに 400~1200°C 間の各温度に保持した塩浴中に急冷して 1 hr 保持し、続いて室温まで水冷した場合の結晶粒粗大化温度の変化を示す。図中保持温度が 1200°C の場合のデータは溶体化後急冷したものである。結晶粒粗大化温度は溶体化後の保持温度の低下につれて低下し、1000°C で最低を示すが、さらに保持温度が低下すると逆に上昇し、600°C 以下では変化しない。

3.2 前処理後の冷却速度と結晶粒粗大化温度

Fig. 1 および Fig. 2 に示した結果はいずれも前処理

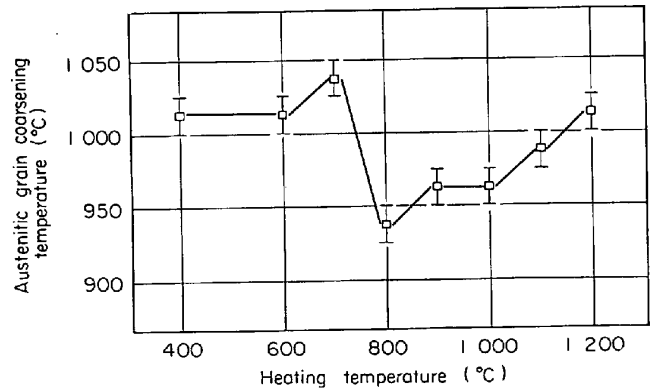


Fig. 1. Austenitic grain coarsening temperature as a function of heating temperature, held for 1 hr, after solution treated at 1200°C and quenched (Steel A).

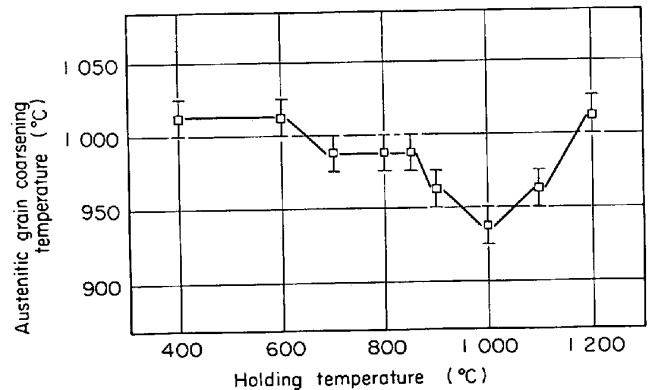


Fig. 2. Austenitic grain coarsening temperature as a function of down-quench temperature, held for 1 hr, after solution treatment at 1200°C (Steel A).

の後室温まで水冷を行なつているので、オーステナイト域から冷却したものはベーナイトを含むマルテンサイト組織となつているが、冷却速度の影響を調べるために、溶体化して水冷後 900~1200°C の温度から冷却速度を変えて冷却したときの結晶粒粗大化温度の変化を、供試材 S を使つて調べた。その結果を Fig. 3 に示す。水冷したものは Fig. 1 と同様に溶体化後の加熱温度の上昇とともに結晶粒粗大化温度は上昇するが、炉冷を行なつたものでは逆に低下する。また空冷を行なつたものではほとんど変化しない。加熱温度からの冷却速度の相違により前処理組織が異なるので、Fig. 3 の結果が冷却速

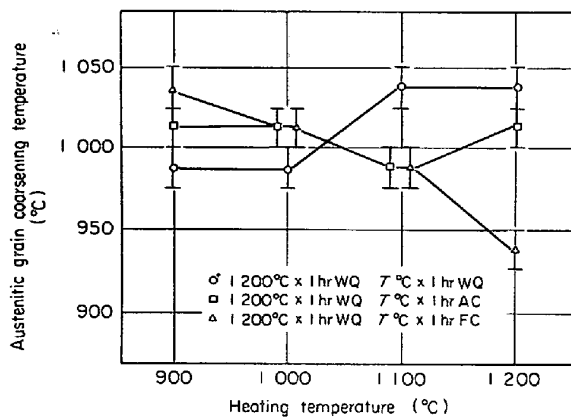


Fig. 3. Effect of cooling rate on austenitic grain coarsening temperature (Steel S).

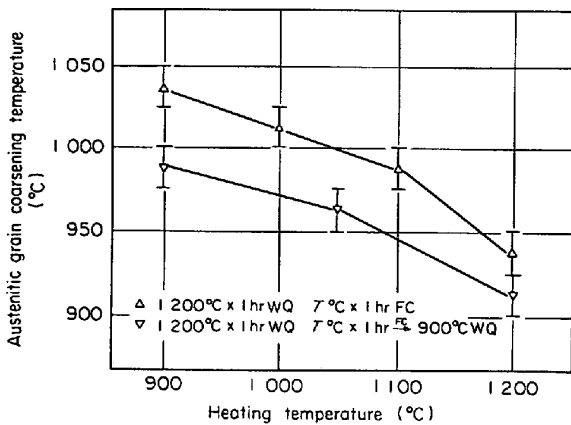


Fig. 4. Effect of cooling rate in austenitic region on austenitic grain coarsening temperature (Steels S).

度によるものか組織の相違に起因するものかを調べるために、溶体化後 900~1200°C の加熱温度から 900°C まで炉冷し、900°C から室温まで水冷して結晶粒粗大化温度を調べた。その結果を Fig. 4 に示す。前処理組織は 900~1200°C の各温度から直接水冷したものと変わりなく、いずれもパーライトを含むマルテンサイトであった。参考のために、Fig. 3 に示した 900~1200°C 間の各温度から室温まで炉冷した結果をあわせて Fig. 4 に示した。この結果からわかるように、結晶粒粗大化温度は溶体化後の加熱温度の上昇とともに低下し、その傾向は室温まで炉冷したものと一致する。しかしながら、結晶粒粗大化温度は各温度とも室温まで炉冷したものより低い。室温まで炉冷したものでは前処理組織はフェライト+パーライト組織であった。したがって、Fig. 3 における冷却速度の相違による結晶粒粗大化温度の加熱温度依存性の違いは、冷却速度の違いによる前処理組織の差異によるものではなく、オーステナイト域における冷

却速度の相違に起因すると推察される。オーステナイト域を徐冷すると結晶粒粗大化温度が低下する現象は、Fig. 2 において 1000°C で結晶粒粗大化温度が最も低くなる現象に対応するものと考えられ、ERASMUS<sup>6)</sup> によっても報告されている。これは後述のごとく、オーステナイト中に析出した微量の AlN の析出中心効果により、その後再度オーステナイト域に加熱したときに AlN が粗大析出することによると考えられる。

### 3.3 前処理と AlN の大きさ

Fig. 5 は供試材 A を 1200°C に 1 hr 加熱して水冷後、600~1150°C に再度加熱して 1 hr 保持したときの AlN の析出曲線を示す。この処理は AlN に対する焼入焼もどし処理であり、Fig. 1 に示した結晶粒粗大化温度の前処理に相当する。Fig. 6 は同じ供試材 A を 1200°C に 1 hr 加熱後 600~1050°C の塩浴中に急冷し、1 hr 保

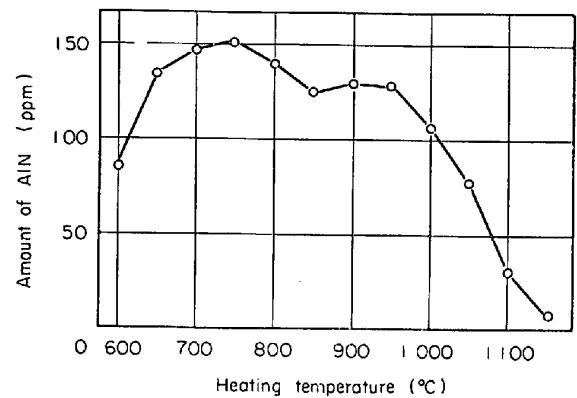


Fig. 5. Amount of aluminum nitride precipitated as a function of heating temperature, held for 1 hr, after solution treated at 1200°C and quenched (Steel A).

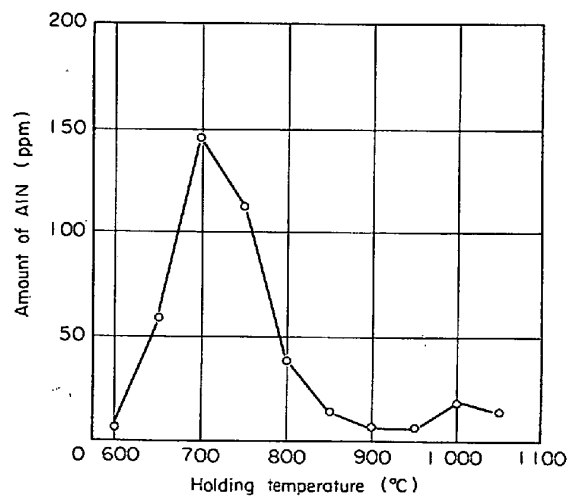


Fig. 6. Amount of aluminum nitride precipitated as a function of down-quench temperature, held for 1 hr, after solution treatment at 1200°C (Steel A).

持して水冷した場合の保持温度と AlN の析出量の関係を示す。この処理は AlN を溶体化後恒温析出させる処理であり、Fig. 2 に示したものの前処理に対応する。Fig. 5 に示した焼入焼もどし型の処理では 700~750°C 付近で析出量は最大になり、800~950°C では加熱温度の上昇とともに AlN 量はやや減少するが、950°C を越えると析出量は急激に減少する。これに対して、Fig. 6 の恒温析出型の処理では 700°C と 1000°C にピークが存在し、前者はフェライト中での、また後者はオーステナイト中での AlN の析出に関する C 曲線の鼻に相当する。これらの結果はすでに述べたもの<sup>1)</sup>と一致する。溶体化急冷後加熱過程での AlN の析出速度は非常に早いので<sup>1)</sup>、Fig. 5 の結果は 600 および 650°C での結果を除けば、ほぼ平衡析出量に達していると考えられる<sup>1)</sup>。また Fig. 6 の 850~950°C における析出曲線の谷は AlN の析出速度がおそいことによると考えられ<sup>1)</sup>、これは溶体化後冷却過程でのオーステナイト中での AlN の核生成が困難であることによると思われる。ここで注意すべきは、Fig. 5 および Fig. 6 は前処理後の AlN の析出量を示したものであるということである。粒度試験を行なう場合には、Fig. 5 および Fig. 6 の前処理に続いてオーステナイト域での適当な温度に加熱して 5 hr 保持するので、前処理時に未析出の AlN は粒度試験での加熱中に析出し、過剰の AlN はオーステナイト中に再固溶すると考えられる。すでに述べたように、加熱過程における AlN の析出速度は非常に大きいので、Fig. 5 の結果はオーステナイト域においてはほぼ平衡析出量に達していると考えられる。したがって実際に粒度試験のための加熱を行なった後に存在する AlN 量は Fig. 5 の曲線にしたがうと考えてよい。

Photo. 1 および 2 に代表的な AlN の電子顕微鏡写真を示す。Photo. 1 は前処理として 1200°C に 1 hr 加熱水冷後、900°C に 1 hr 再加熱して室温まで水冷した後、950°C に 5 hr 加熱して AlN を観察したものである。また Photo. 2 は前処理として 1200°C に加熱して溶体化後ただちに 1050°C の塩浴中に急冷保持後室温まで水冷し、続いて 950°C に 5 hr 加熱して AlN を観察した結果である。いずれも 950°C に 5 hr 加熱したのは実際の粒度試験を考慮したものであり、したがって Photo. 1 および 2 にみられる AlN はそれぞれの前処理後 950°C で粒度試験を行なったときに存在する AlN である。焼入焼もどし型の前処理を行なった Photo. 1 の場合には、棒状の AlN が多くみられるのに対し、恒温析出型の処理を行なった Photo. 2 では多角形のものが多く認められる。これらの傾向は熱間加工を行なったものにおいて

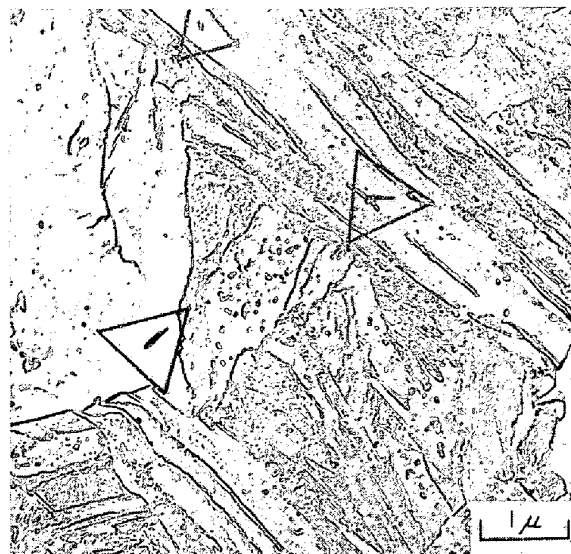


Photo. 1. Electron micrograph of AlN in the sample heated for 5hr at 950°C and quenched after the treatment of 1200°C×1hr WQ and 900°C×1hr WQ.

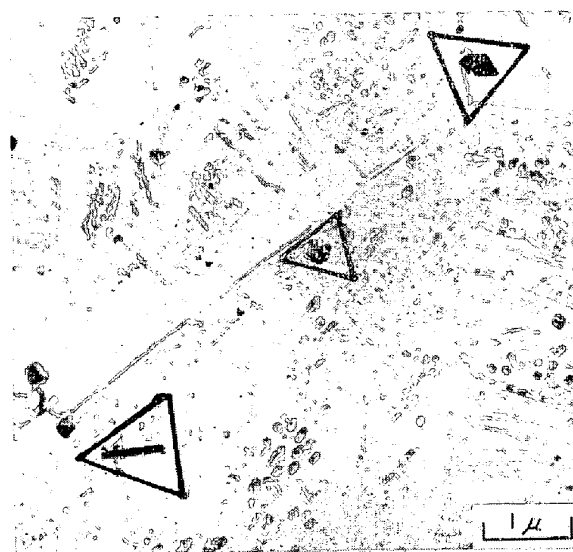


Photo. 2. Electron micrograph of AlN in the sample heated for 5hr at 950°C and quenched after the treatment of 1200°C×1hr→1050°C×1hr WQ.

も認められている<sup>4)</sup>。

溶体化後室温までただちに水冷したものでは、析出 AlN 量は痕跡程度であるのに対し、溶体化後 1050°C に保持したものでは 10~15 ppm 程度の AlN が析出することが Fig. 5 および Fig. 6 の析出曲線から知られる。したがって、恒温析出型処理を行なった Photo. 2 では多角形のものが多く、恒温保持中に析出する少量の AlN が、その後のオーステナイト域への加熱時に析出する AlN の析出の中心として作用するためである

Table 2. Effect of preheat treatments on particle size of AlN at 950°C (Steel A).

| Mark | Preheat treatment  | AGCT*<br>(°C) | Particle size**<br>of AlN<br>( $\times 10^6$ mm <sup>2</sup> ) | Equivalent square<br>edge length<br>( $\times 10^3$ mm) | Amount of AlN<br>at AGCT*<br>(ppm) |
|------|--|---------------|--|---|------------------------------------|
| 12W  | 1 200°C $\times$ 1 hr WQ                                     | 1 000         | 0.014***   | 0.118   | 92                                 |
| 9W   | 1 200°C $\times$ 1 hr WQ, 900°C $\times$ 1 hr WQ             | 950           | 0.019  | 0.138   | 132                                |
| 8W   | 1 200°C $\times$ 1 hr WQ, 800°C $\times$ 1 hr WQ             | 925           | 0.019  | 0.138   | 130                                |
| 7W   | 1 200°C $\times$ 1 hr WQ, 700°C $\times$ 1 hr WQ             | 1 025         | 0.013  | 0.114   | 88                                 |
| 14   | 1 200°C $\times$ 1 hr $\rightarrow$ 900°C $\times$ 1 hr WQ   | 950           | 0.021  | 0.145   | 132                                |
| 16   | 1 200°C $\times$ 1 hr $\rightarrow$ 1 050°C $\times$ 1 hr WQ | 950           | 0.031  | 0.176   | 132                                |

\* Austenitic grain coarsening temperature, \*\* Average particle size indicated by area of individual particles appeared on electron micrographs, \*\*\* Particle size at 1000°C

と考えられる。

Table 2 には各種の前処理後の結晶粒粗大化温度ならびに前処理後 950°C に 5 hr 加熱したときにオーステナイト中に存在する AlN の大きさを測定した結果 (いずれも 50~200 個の平均値) を示す。ただし前処理として溶体化処理のみを行なったもの (12W) は 1000°C に 5 hr 加熱したときの AlN の大きさである。AlN の大きさの測定に際して析出 AlN 粒の分布状態を調べたが異常はなく、いずれの前処理の場合にもオーステナイト中に均一に分布していることが知られた。Table 2 の結果から、恒温析出型処理を行なった 14, 16 では、焼入焼もどし型処理を行なった 7W, 8W, 9W, 12W (12W では AlN の大きさ測定のためのオーステナイト化処理自身が焼もどしになる) に比較して AlN が大きいことがわかる。これは前述の“析出中心効果”によるものと考えられ、Fig. 4 に示したオーステナイト域の徐冷による結晶粒粗大化温度低下の原因と考えられる。

焼入焼もどし型処理を行なった場合、7W, 12W では AlN は小さく、8W, 9W では大きいので、AlN の大きさにより傾向的には Fig. 1 の結果を説明できる。また恒温析出型処理の場合も恒温保持温度が 1050°C および 900°C のときは大きく、1200°C (溶体化のままと同じで、12W に一致する) では小さく、さらに恒温保持温度が高温フェライト域の場合には小さくなることが知られている<sup>2)</sup>ので、AlN の大きさの変化により定性的には Fig. 2 の結果を説明することができる。しかしながら、前処理の型にかかわらず結晶粒粗大化温度と AlN の大きさの関係を調べてみると、AlN が小さい方が結晶粒粗大化温度が高い傾向がみられるが、9W, 14, 16 では結晶粒粗大化温度が同じであるにもかかわらず 16 では AlN の大きさは大きい、また 8W では AlN

の大きさは 9W, 14 とほぼ同じであるにもかかわらず結晶粒粗大化温度は低い、など AlN の大きさだけで結晶粒粗大化温度の高低を論ずることはできないことがわかる。

### 3.4 熱処理温度とオーステナイトの初期粒度

オーステナイト結晶粒粗大化温度の変化は AlN の大きさだけでなく、オーステナイトの初期粒度にも強く依存することが知られている<sup>4)</sup>が、熱処理条件によるオーステナイトの初期粒度の変化の様子についてはよく知られていない。

結晶粒粗大化温度の高低を検討するとき問題になるのは粗大化直前の結晶粒度である<sup>4)</sup>が、粗大化直前粒度は 875°C (本実験に用いている鋼の  $A_c3$  変態点は約 860°C であるので、この温度は変態点直上の温度と考えてよい) における結晶粒度とほぼ等しい<sup>4)</sup>ので、875°C に 5 hr 保持したときのオーステナイト結晶粒度を初期粒度と定義すると、初期粒度は粗大化直前粒度と同じ意味を持つ。

Fig. 7 は Fig. 1 と同じ前処理を行なった場合の加熱温度とオーステナイトの初期粒度の関係を示す。すなわち、供試材 A を 1200°C に加熱して 1 hr 保持後室温まで急冷し、これを再度 400~1200°C 間の各温度に加熱して 1 hr 保持後水冷して、初期粒度を求めた結果である。加熱温度がフェライト域の場合には初期粒度は比較的大きい (粒度番号は小さい) が 800°C に加熱すると微細になり、初期粒度は最小となる。加熱温度がさらに高くなると初期粒度は大きくなる。この曲線を Fig. 1 の温度と結晶粒粗大化温度の関係を示す曲線と比較すると、両者は傾向的によく一致していることがわかる。また Fig. 8 には供試材 A を 1200°C に 1 hr 加熱後 400~1200°C 間の各温度に直接急冷して 1 hr 保持し、水冷したものの初期粒度測定結果を示す。図中 1200°C お

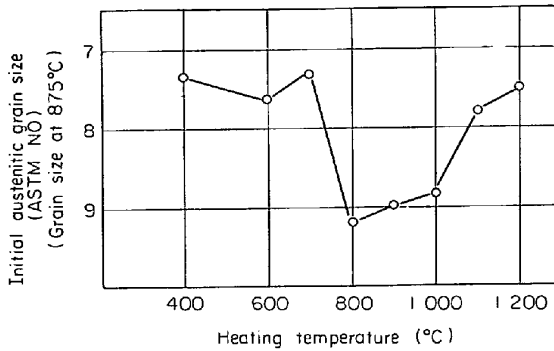


Fig. 7. Change of initial austenitic grain size with heating temperature, held for 1hr, after solution treated at 1200°C and quenched (Steel A).

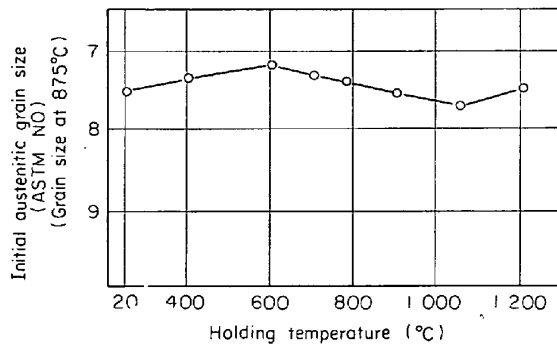


Fig. 8. Change of initial austenitic grain size with down-quench temperature, held for 1hr, after solution treatment at 1200°C (Steel A).

よび 20°C におけるデータは溶体化温度からそのまま水冷したものの結果である。この前処理は Fig. 2 に示したものに相当する。600°C 付近で初期粒度はやや大きくなる傾向が認められるが、溶体化後水冷し再度加熱した焼入焼もどし型の前処理の場合と異なつて、初期粒度の保持温度依存性は非常に小さいことが知られる。

オーステナイトの初期粒の半径を  $R$ 、結晶粒粗大化温度における析出 AlN 量の体積分率を  $f$ 、AlN の大きさを  $r$  (等価正方形の辺長であらわした AlN の大きさの 1/2) とすると、結晶粒粗大化温度においては

$$R = K r / f$$

なる ZENER の関係が成立することが期待される<sup>4)</sup>。ただし  $K$  は定数である。本実験結果を ZENER にしたがつて整理すると Fig. 9 のようになる。図中矢印を付した点は Table 2 における 7W および 8W の結果であるが、Table 2 からわかるように結晶粒粗大化温度と AlN の大きさの測定温度が一致していないので、厳密には上式は成立しないが参考のために記した。なお矢印の方向は結晶粒粗大化温度で AlN の大きさを測定すればその

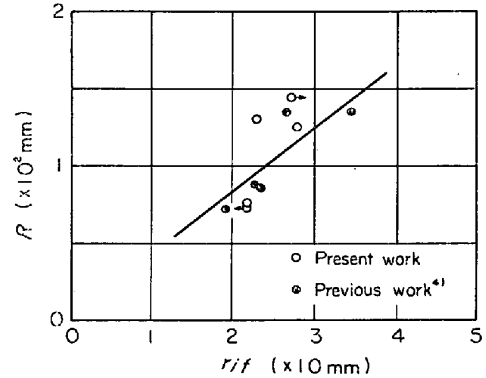


Fig. 9. Relation between initial austenitic grain size ( $R$ ) and particle size ( $r$ ) and volumetric fraction ( $f$ ) of aluminum nitride at austenitic grain coarsening temperature.

Arrows indicate the direction in which datum points (should) have shifted if the measurement of AlN particle size has been conducted at austenitic grain coarsening temperature.

データ点が動くと思される方向を示している。図からわかるように、焼入焼もどし型の前処理の場合も恒温析出型の前処理の場合も、結晶粒粗大化温度において ZENER の関係が成り立つ。このことから、Table 2 において 16 が AlN の大きさでは 9W よりもかなり大きいにもかかわらず結晶粒粗大化温度が等しいのは初期粒度が 9W に比較して大きいためであり、8W と 9W において AlN の大きさは両者とも等しいにもかかわらず結晶粒粗大化温度は前者の方が低いのは、8W の方が 9W よりもオーステナイトの初期粒度が小さいためと考えられる。なお 14 と 9W において AlN の大きさがほぼ等しく、初期粒度は前者が後者に比較して大きいにもかかわらず結晶粒粗大化温度が等しいのは実験誤差によるものと思われる。このように、AlN の大きさだけでは結晶粒粗大化温度の高低を説明することができないが、初期粒度を考慮すれば各種の熱処理条件に対する結晶粒粗大化温度の変化を説明できることが知られる。このことは各種の熱処理条件の変化がその後のオーステナイト化時の AlN の大きさ、すなわち結晶粒成長阻止力に影響をおよぼしているだけでなく、オーステナイトの初期粒度つまり結晶粒の成長力にも大きな効果をあたえることを意味している。

Fig. 2 と Fig. 8 からわかるように、恒温析出型の処理を行なつた場合には前処理温度の変化による結晶粒粗大化温度の変化に対する初期粒度の変化は非常に小さく、前処理の効果はその AlN の大きさにおよぼす効果であると考えられるが、焼入焼もどし型の処理を行なつ

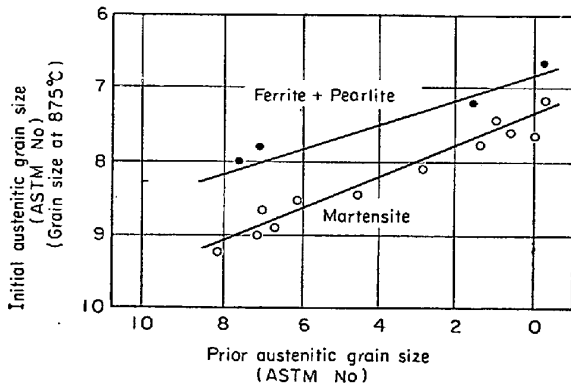


Fig. 10. Change of initial austenitic grain size with prior austenitic grain size and microstructure (Steel A).

た場合には、結晶粒粗大化温度におよぼす前処理の効果は、その AIN の大きさにおよぼす効果と同時にオーステナイトの初期粒度におよぼす効果であると考えられ、Fig. 1 と Fig. 7 の対比から後者の効果はかなり大きいと考えられる。

上記のように、オーステナイトの初期粒度は結晶粒粗大化温度に対して重要な役割を果たしており、その効果は熱間加工を行なった場合に顕著に認められることはすでに報告した<sup>4)</sup>が、同様な結果は冷間加工を行なった場合にも期待される。結晶粒粗大化温度を高くする処理として知られる AIN に対する溶体化処理<sup>10)</sup>もその後のオーステナイト化時の初期粒度を粗くすることから、AIN の大きさならびに初期粒度の両面に結晶粒粗大化温度を高くする効果をおよぼしていることがわかる。

Fig. 10 は供試材 A を用いてオーステナイトの初期粒度と前処理組織および前処理のためのオーステナイト化時のオーステナイト結晶粒度との関係を調べた結果である。粒度試験のための加熱速度は平均  $3^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  である。この図からわかるように、オーステナイトの初期粒度は前処理時のオーステナイト結晶粒度と前処理組織に強く依存し、もとのオーステナイト結晶粒度が大きい(番号は小さい)方が、また前処理組織はマルテンサイトよりもフェライト+パーライトの方がオーステナイトの初期粒度は大きくなることからわかる。Fig. 4 に  $900\sim 1200^{\circ}\text{C}$  間の各温度から室温まで炉冷したもの、 $900\sim 1200^{\circ}\text{C}$  間の各温度から  $900^{\circ}\text{C}$  まで炉冷し以後水冷したものの結晶粒粗大化温度の変化を示したが、両者は傾向的には一致しているが、室温まで炉冷したものの方がいずれの温度においても高い結晶粒粗大化温度を示した。室温まで炉冷したものではいずれの温度から冷却したものでもフェライト+パーライト組織であり、 $900^{\circ}\text{C}$  から水冷したものではいずれもベーマイトを含むマルテンサイトで

あつた。これらの結果を考慮すると Fig. 10 からわかるように、室温まで炉冷したものの方が  $900^{\circ}\text{C}$  から水冷したものより粒度試験時のオーステナイトの初期粒度が大であつたと考えられ、これが前者の方が結晶粒粗大化温度が高い一因であつたと推察される。すでに述べた<sup>4)</sup>ように、初期粒度は粗大化直前粒度とほぼ等しいから、Fig. 10 の結果によると前組織がフェライト+パーライトの場合もマルテンサイトのときも、もし前処理後のオーステナイト化時の温度が結晶粒粗大化温度より低い場合には、そのときのオーステナイト結晶粒度はその前処理時のオーステナイト結晶粒度よりも小さくなる。このことはオーステナイト化を繰り返すと、オーステナイト化温度が結晶粒粗大化温度を越えなければオーステナイト結晶粒が微細化されることを意味しており、オーステナイト結晶粒度が微細化されればされるほど結晶粒粗大化温度は低下し、オーステナイト化時に混粒が発生する危険性が大きくなることを示唆している。繰り返しオーステナイト化処理のオーステナイト結晶粒(結晶粒粗大化温度以下の温度域における結晶粒)微細化効果はオーステナイト化後急冷する方が著しいので、繰り返しオーステナイト化処理による混粒発生危険性はオーステナイト化後急冷する方が大きい。繰り返し焼ならしあるいは繰り返し焼入によつてオーステナイト結晶粒が粗大化しやすくなる現象は GROSSMANN<sup>10)</sup> によつて示されており、GRANGE<sup>11)</sup> も認めている。

オーステナイトの初期粒度はオーステナイト化時の加熱速度によつても左右され<sup>11)</sup>、加熱速度が大きいほど初期粒度が小さくなつて結晶粒粗大化温度が低下することが指摘されている<sup>12)</sup>ので、結晶粒粗大化温度の測定には加熱速度も十分考慮する必要がある。

#### 4. 総 括

低炭素の Cr-Mo 鋼および Cr 鋼を用いて、オーステナイト結晶粒粗大化温度におよぼす前熱処理の効果と AIN の大きさ、オーステナイトの初期粒度の観点から調査した。その結果を総括すると、次のとおりである。

- (1)  $1200^{\circ}\text{C}$  に加熱後室温まで急冷し、再度加熱する焼入焼もどし型の前処理を行なうと、結晶粒粗大化温度はフェライト域ではあまり変化しないが  $700^{\circ}\text{C}$  で最高を示し、その後急激に低下して  $800^{\circ}\text{C}$  で最低を示した後、オーステナイト域では昇温とともに再び上昇する。
- (2)  $1200^{\circ}\text{C}$  に加熱後  $400\sim 1050^{\circ}\text{C}$  間のいろいろな温度に保持後急冷する恒温析出型の前処理を行なうと、結晶粒粗大化温度はフェライト域では保持温度によりほとんど変化しないが、オーステナイト域では  $1000^{\circ}\text{C}$

付近で最低となる。

(3) 焼入焼もどし型処理の結晶粒粗大化温度におよぼす効果は、そのAINの大きさにおよぼす効果とオーステナイトの初期粒度におよぼす効果が考えられ、特に後者の効果が大きいと考えられる。

(4) 恒温析出型処理の結晶粒粗大化温度におよぼす効果はそのAINの大きさにおよぼす効果と考えられる。

(5) オーステナイトの初期粒度は前処理時のオーステナイト結晶粒度と前処理組織によつて支配され、前処理時のオーステナイト結晶粒度が大きい方が、また前処理組織はマルテンサイトよりフェライト+パーライトの方が初期粒度は大きい。

文 献

1) 鈴木, 木下, 伊藤, 上田: 鉄と鋼, 53(1967),

p. 1299

- 2) 足立, 荻野: 日本金属学会誌, 30(1966), p. 394
- 3) 遠藤, 大竹: 日本金属学会誌, 19(1955), p. 389
- 4) 木下, 上田, 鈴木: 日本金属学会誌, 36(1972), p. 403
- 5) 今井, 佐々木, 香川: 鉄と鋼, 48(1962), p.1592
- 6) L. A. ERASMUS: Iron Steel, 39(1966), p. 477
- 7) T. GLADMAN: ISI Special Report, 81(1963), p. 68
- 8) T. GLADMAN and F. B. PICKERING: JISI, 205(1967), p. 653
- 9) T. GEORGE and J. J. IRANI: J. Aust. Inst. Met., 13(1968), p. 94
- 10) M. A. GROSSMANN: Trans. ASM, 22(1934), p. 61
- 11) R. A. GRANGE: Met. Trans., 2(1971), p. 65
- 12) J. WYSZKOWSKI: Iron Steel, 43(1970), p. 77