

(討7) 極厚低合金鋼板の製造時の熱処理について

新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 Dr. - Ing. 高石昭吾 齊藤 晟
 ○中尾仁二 川合 亜之
 山場 暁太 間淵 秀里

1. 緒 言

原子炉および脱硫リアクター等の圧力容器に用いられる低合金極厚鋼板の品質特性としては、内質の均一性と低温靱性が特にあげられる。このような圧力容器用低合金極厚鋼板は各工程にわたって完全な品質保証体制のもとに製造が行われるが、ここでは原子炉圧力容器用 ASTM A 533 B 鋼板の製造を例にとり、内質の均質性を目的とした圧延後の熱処理に伴う A1N の析出挙動および低温靱性への影響の問題点と、脱水素熱処理の理論についての検討を行う。

2. 低合金極厚鋼板の圧延後の熱処理

低合金極厚鋼板は鍛造スラブからの圧延、あるいは鋼塊からの直接圧延により製造が行われる。このような大型鋼材の熱間加工後は、鋼材の表面と中心部の温度差による割れの防止、水素に起因する遅れ割れの防止、あるいは組織の均一化の目的で、ピット内の徐冷あるいは熱処理炉内での熱処理の検討が各所で行われている。

ここで内質の均一性の確保を目的に提案された熱処理の一例は図1に示したように、圧延後一度オーステナイト領域に加熱して組織を均一化し、局部的に偏析した水素を均一に分散させ、以後の脱水素を容易にする熱処理方法である。この目的からと熱経済の点から圧延後直ちにオーステナイト化するのが好都合と思われる。ここでこの種の熱処理は低合金鋼の A1N の析出挙動に大きな影響をおよぼし、これが結晶粒、ひいては低温靱性に著しい影響をおよぼすことが充分考えられるので、以下この点について実験的な検討を行った。

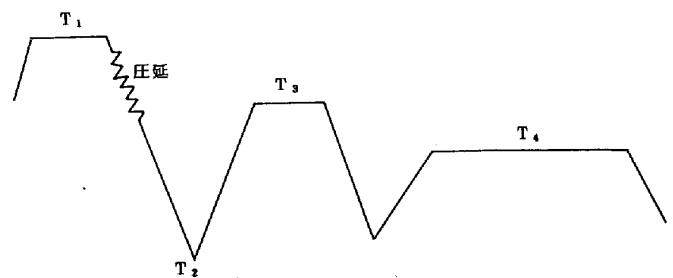


図1 低合金極厚鋼板の圧延後の熱処理の一例

またフェライト温度領域における脱水素熱処理に関しての理論的検討および低合金鋼に特有なマイクロ偏析部に注目した脱水素熱処理の検討が行われた。

3. 圧延後の熱処理における A1N の挙動および低温靱性への影響

通常の板厚の厚鋼板で、通常の A1 と N の含有量の場合は圧延のままでは A1N は殆んど析出せず、過飽和に固溶しており、焼ならしあるいは焼入れ等の熱処理の段階で A1N が析出する。しかし原子炉圧力容器用 ASTM A 533 B 鋼板のように板厚が厚く、圧延後の冷却速度が遅く、しかも図1のような圧延後の熱処理過程における A1N の析出挙動に関する研究は見当らず、低温靱性にも影響があると思われたので次のような試験を行った。

3. 1 試験方法

供試材は 90 ton 鋼塊からの鍛造スラブから採取され、その化学成分を表1に示した。試料は A1N の析出挙動を調べるための 25 mm 角とシャルピー衝撃試験用としての 25 × 100 × 150 mm 板と

'75-A26

からなり、いずれも 1170°C で1hr保持後、 $150\sim 160\text{mm}$ 厚の実際の鋼板を想定して、 200°C/hr の冷却速度で T_2 まで冷却を行った。ここで実際には T_1 から T_2 までの間に圧延の

表1 供試材の化学成分 (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	N
.20	.29	1.88	.006	.006	.04	.62	.11	.52	.023	.0070

工程が入るが、実験の都合上、上記の冷却速度で冷却のみを行ったものである。 T_2 の温度としては、 800 、 600 、 400 、 200 および 150°C 以下とした。 T_3 の温度は一般の焼きならし温度の 900°C として、1hr保持後 200°C/hr の冷却速度で室温まで冷却を行った。さらに実際の圧力容器の製作を想定して、 880°C で1hr保持後、 45°C/min の冷却速度で冷却後、 665°C で9.2hr焼戻後炉冷を行った。 25mm 角試料はAlNの析出量の分析および電子顕微鏡観察に供し、 $25\times 100\times 150\text{mm}$ の試料はシャルピー衝撃試験に供した。

3.2 試験結果および考察

各熱処理の過程において、水中へ焼入れを行いN as AlNを分析した結果を図2に示した。通常の板厚の鋼板の場合と同様に、AlNの溶体化温度から 200°C/hr で冷却を行い、 200°C 以下に冷却を行ってもAlNの析出は殆んど起らない。 T_2 温度の以後の各熱処理過程におけるAlNの析出におよぼす影響については、 T_2 が 600°C 以上の場合には、 T_3 で $900^{\circ}\text{C}-1\text{hr}$ 保持後もAlNの析出が少なく、次の焼入れの際に多量に析出する。これに反して T_2 が 400

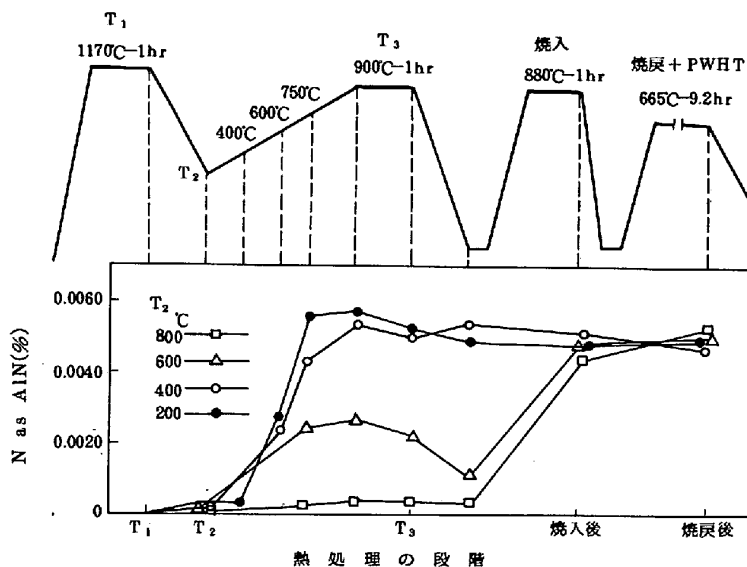


図2 A533B鋼におけるAlNの析出挙動

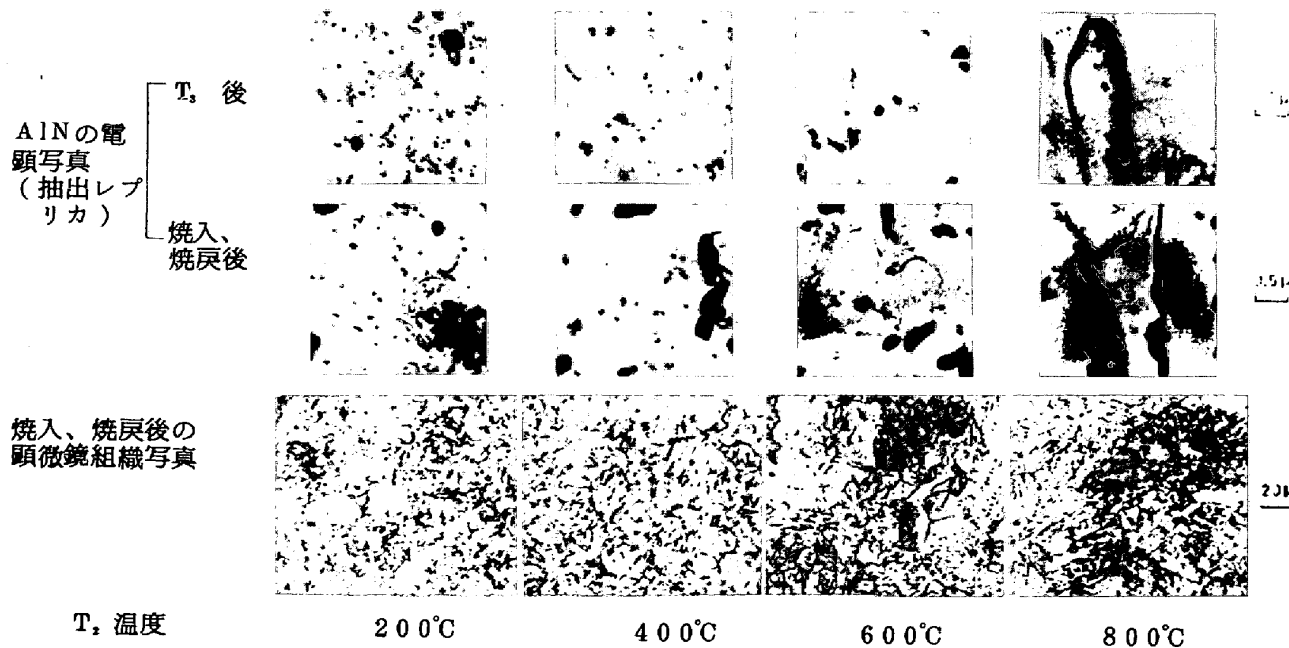


写真1 T_2 温度によるAlN析出の電子顕微鏡および顕微鏡組織写真

°C 以下の場合には、 T_3 への昇温の過程の 600°C 以上で AlN が著しく析出し、 750°C では飽和値に達している。一方析出した AlN の形態を抽出レプリカにより電子顕微鏡で観察した結果を写真 1 に示した。 T_3 が 600°C 以上の場合にも、 AlN は焼入の段階では析出するが、その大きさは T_2 が 400°C 以下の場合に比較して、 600°C の場合はオーステナイト域での一部の析出が起り粗大化している。これに対して T_2 が 800°C の場合は AlN が未析出のままで T_3 温度になり、ついで過飽和に固溶のままで冷却され、次の焼入れのための昇温時に AlN が析出し、焼入れ、焼戻後の析出サイズは再び小さくなる。しかし 400°C 以下の場合に比べ、変態過程が少いので得られるオーステナイト粒は大きくなっている。この AlN の析出挙動の焼入れの際のオーステナイト粒への影響を図 3 に示した。このような AlN の析出挙動および焼入時のオーステナイト粒は当然予想されるように低温靱性に影響をおよぼし、図 4 および 5 のようになる。

以上 A533B の AlN の溶体化温度からの冷却およびオーステナイト温度への加熱の過程での AlN の析出挙動を明らかにし、 AlN の析出挙動が低温靱性に著しい影響をおよぼすことが判明した。このような現象は原子炉圧力容器用鋼材のような大型鋼材の製造および容器の製作にあたっても充分考慮されるべき問題と思われる。

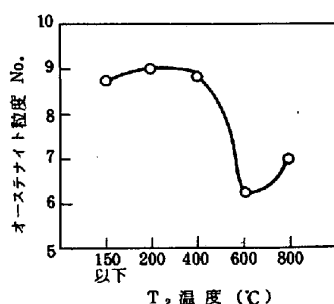


図 3 T_2 温度の焼入時のオーステナイト粒度への影響

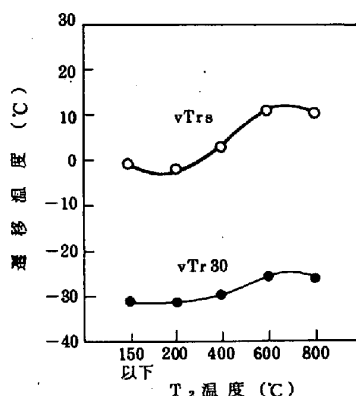


図 4 T_2 温度のシャルピー衝撃遷移温度への影響

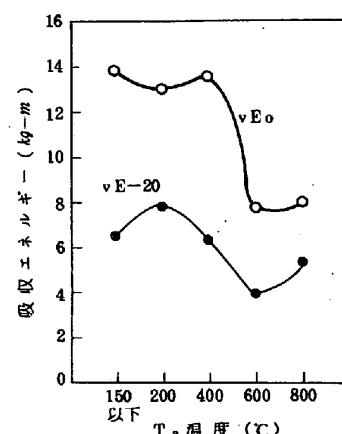


図 5 T_2 温度のシャルピー衝撃吸収エネルギーへの影響

4. 脱酸素熱処理

次に図 1 における T_4 での脱酸素熱処理についての検討を行う。固体鋼中の脱酸素は水素の溶解度が高く、拡散速度の遅いオーステナイト中よりは、フェライトの高温側で行うのが効率が高い。そこでフェライト中での脱酸素処理を行う際の温度と時間の予測には、水素の拡散の理論式がよくあてはまる。ここで水素が鋼中を体拡散のみにより拡散するものとして、鋼板の板厚方向の水素濃度の変化は Fick の第 2 法則から次のように求められる。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1) 式は初期および境界条件を定めることにより、次のようになる。

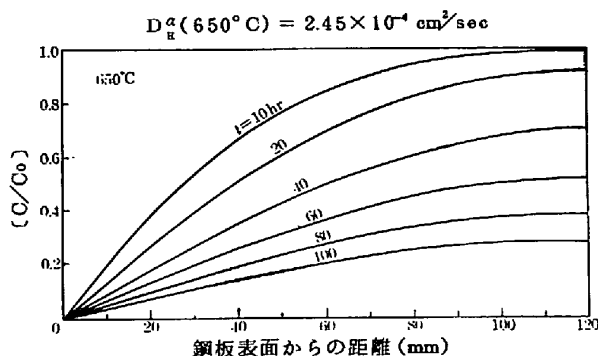
$$\frac{c}{c_0} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)} \exp \left\{ \frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4 l^2} \right\} \cos \frac{(2n+1)\pi x}{2l} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで c : 板厚の中心から距離 x 、時間 t における水素濃度

c_0 : 水素の初期濃度、 l : 鋼板の $1/2$ の厚さ

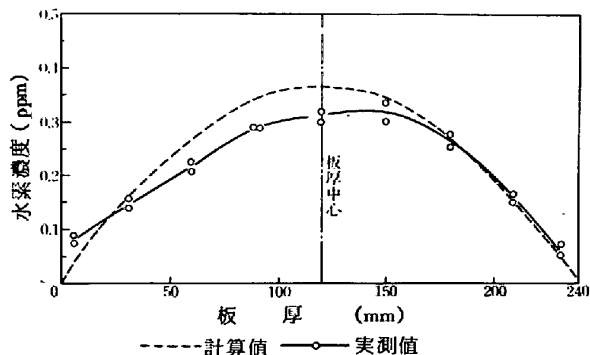
D : 水素の拡散係数、 $= 1.4 \times 10^{-8} \exp(-3,200/RT) \text{ cm}^2/\text{sec}$

図6は(2)式で240mmの鋼板について、板厚方向の水素濃度の変化を C/C_0 で表わしたものであり、図7は初期水素濃度1.29ppm、650°C、96hrの脱水素熱処理を行った際の水素濃度の計算値と実測値を比較したものであり、比較的良好一致を示している。このように脱水素熱処理後の板厚方向の水素濃度の変化が計算により推定出来ることを示している。



試験材：板厚240mm，650°C脱水素処理

図6 脱水素熱処理中の水素濃度の変化



-----計算値 —○— 実測値

T = 650°C, t = 96hr, C₀ = 1.29 ppm

図7 水素濃度の計算値と実測値の比較

しかしここで注意を要するのは、写真2に示したようにA533B鋼中には、C、Mn、Ni、Mo等が偏析したマイクロ偏析部が存在し、特にCおよびMnの濃度は地の平均値よりも高く、その部分の A_{c1} 温度は地の A_{c1} よりも低くなっていることが図8に示したKochs⁽²⁾のFe-Mn-C系の状態図から推定される。

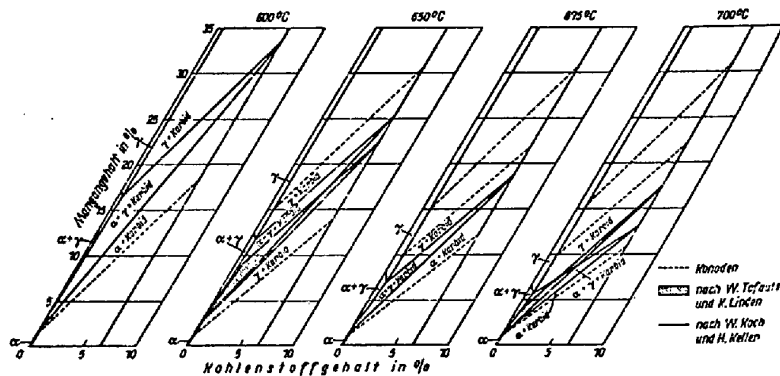


図8 Fe-Mn-C系の600~700°Cの状態図⁽²⁾



写真2 A533B鋼のマイクロ偏析部の組織写真

従って脱水素熱処理温度の選定には、単にフェライト域の高温側というだけでなくマイクロ偏析部の A_{c1} 温度に注目する必要がある。さもないと報告されているように水素による割れ感受性を増大させることになる。⁽³⁾

5. 結 論

原子炉圧力容器用A533B鋼板の製造時の熱処理を例にとり、圧延後の脱水素熱処理までの熱履歴におけるA1Nの析出挙動と靱性への影響、脱水素熱処理の理論的検討について述べた。これらは単に鋼板の製造時のみならず、圧力容器の製作時の熱処理においても充分留意する必要があると思われる。

6. 参考文献

- (1) 国武、斉藤、中尾、小菅、五弓、菊竹、製鉄研究 No. 282(1974)、11085
- (2) W. Koch u. H. Keller, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 35(1964)、12、1173
- (3) 高石、斉藤、中尾、川合、鉄と鋼 60(1974)、11、S552