

る。これは本試験に用いた試片の板厚が薄いために、規定のビード置き条件では冷却速度が著しく遅くなるためと思われる。また、このために最高硬さはいずれも Hv 306 以下であり、このことより考えれば本鋼種のように高 Cr% の場合でも板厚の薄い材料の場合にかぎるならば溶接性に対する Cr の悪影響をある程度許容して、これまで述べた材料の延性値に対する Cr の好ましい影響を利用できるものと思われる。

4. 結 言

0.1% C-1% Cr 鋼に対する Al%, 0.0% C-1% Si-0.02% Al に対する Cr% の影響について調べた。

過剰の Al 投入量はフェライト+パーライト組織の鋼の加工性を低下せしめ、特にこの傾向は Mn/Si の大なるほど著しい。

Cr% の増大により、圧延のままでは引張強さ、伸び、孔拡率、切欠靱性を向上するが、降伏応力は低下する。また曲げ性は 0.50~0.60% Cr で最も良好となる。しかし焼準材では引張強さを除きすべての性質が低下する。

溶接熱影響部の最高硬さは板厚 4.5 mm の材料のように冷却速度の遅い場合には C_{eq} の影響は判然としない。

文 献

- 1) 岩宮, 角谷, 入谷, 丸橋: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 2025
- 2) 岩宮, 角谷, 入谷, 丸橋: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 2028
- 3) 岩宮, 角谷, 入谷, 丸橋, 長谷川: 鉄と鋼, 52 (1966) 4, p. 589

(130) 原子炉压力容器用 Mn-Mo-Ni 鋼 超厚板の性質について

(原子炉压力容器用超厚鋼材の性質について—I)

日本製鋼所, 室蘭製作所

工博 小野寺真作・工博 宮野樺太男
○山田 国雄・千葉 隆一

On the Properties of Heavy-Section Mn-Mo-Ni Steel Plate for Nuclear Pressure Vessel.

(On the properties of heavy-section steel for nuclear pressure vessel—I)

Dr. Sinsaku ONODERA, Dr. Katao MIYANO,
Kunio YAMADA and Ryuichi TIBA.

1. 緒 言

昨秋わが国においても原電 2 号炉に BWR 型の採用が決定されたが、発電出力約 40 万 kW の本炉の压力容器には ASTM-A-302B 改良型鋼の厚さ 200 mm 級の板が必要とされる。他方同出力の PWR 型発電炉では所要の

鋼板厚さは 250 mm に達するようである。

これらの超厚鋼板に要求される性質は、

- 1) 肉厚の 1/4 の深さで規定の材力値、衝撃値を満たし、また溶接時の長時間の応力除去焼鈍後も母材と同等の規格値を満たさねばならない。
- 2) 非破壊検査成績が特に優秀であること。
- 3) 溶接性が優れていること。

でこれを達成するための製造条件は相互に相矛盾するものを含んでいる。当社では昭和 38 年度以来本協会を中心とする照射試験共同研究会、日本溶接協会鋼材溶接委員会、その他の要請に応じて厚さ 250 mm 級の本鋼材を製造してそれぞれ満足すべき成果を得てきたが、原電 2 号炉をはじめとする米国型原子炉建設の機運にあたってこれらの結果の概要をまとめて報告したい。

本報告では板厚 150 mm, 250 mm の ASTM-A-302 B 改良型 (Mn-Mo-Ni 系) 鋼板の機械的性質におよぼす熱処理の影響および応力除去焼鈍による機械的性質、低温靱性の変化について報告する。

2. 供試材および実験方法

供試材は 20 t および 80 t 塩基性電気炉で溶解して板厚 150 mm および 250 mm に圧延後焼準焼戻しまたは焼入焼戻しを行なった材料である。供試材の化学成分は Table 1 に示すごとくである。これらの供試材を使用して熱処理方法による板厚 1/4 部の機械的性質、低温靱性の変化およびそれらにおよぼす応力除去焼鈍の影響について検討した。各試験材は板厚 1/2 または 1/4 で縦方向に採取し、また NRL 落重試験片は ASTM 規格の P 1 試験片を用いた。

応力除去焼鈍においては加熱速度を 100°C/hr, 冷却速度を 50°C/hr の炉冷とし一般の作業条件にあわせた。

3. 実 験 結 果

3.1 熱処理方法と機械的性質

機械的性質におよぼす熱処理方法の影響を Table 2 に示した。焼準、焼入、焼戻温度はそれぞれ 900°C, 880°C, 670°C であり保持時間は in/hr である。焼準焼戻材、焼入焼戻材ともに強度的には ASTM 規格を満足するが焼準焼戻材では 1/4 t の切欠靱性が低く特に 250 mm では衝撃値規格 (-12°C 5.2 kg-m/cm² 以上) を下廻っている。これを冷却速度から考えると板厚が増大するにしたがつて質量効果の関係から一般の焼準処理では冷却速度は薄板に比較して非常におそく、板厚内部では徐冷の形となり細粒組織が得られず切欠靱性は低下する。この場合焼入 (焼準) 時の冷却速度の鋼材の切欠靱性におよぼす影響は大きく、本鋼材では冷却速度が 20°C/min (900°C~500°C) 以上であると衝撃値規格を満足するがそれ以下では割る公算が大きい。

当所で焼入方法と板厚各部の冷却速度を測定した結果

Table 1. Chemical composition of tested steel (%).

| Code | Thickness (mm) | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mr |
|-------------|----------------|-------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|-----------|
| ASTM-A-302B | — | <0.25 | 0.13/0.32 | 1.10/1.55 | ≤0.035 | ≤0.040 | — | — | 0.41/0.65 |
| A, B | 150 | 0.17 | 0.25 | 1.30 | 0.018 | 0.009 | 0.70 | 0.15 | 0.54 |
| C, C | 250 | 0.17 | 0.25 | 1.30 | 0.018 | 0.009 | 0.70 | 0.15 | 0.54 |
| E | 250 | 0.20 | 0.26 | 1.29 | 0.012 | 0.009 | 0.69 | 0.08 | 0.50 |

Table 2. Mechanical properties of tested steels. (1/4t, rolled direction)

| Code | Yield strength (kg/mm ²) | Tensile strength (kg/mm ²) | Elongation GL=50 (%) | vE-12 (kg-m/cm ²) |
|-------------|--------------------------------------|--|----------------------|-------------------------------|
| ASTM-A-302B | ≥35 | 56/70 | ≥20 ≥19 | |
| A (N·T)* | 45·2 | 60·6 | 29·9 | 4·6~6·2 |
| B (Q·T)* | 52·5 | 62·0 | 28·8 | 17·9~24·3 |
| C (N·T)* | 46·9 | 64·1 | 28·0 | 1·5~3·0 |
| D (Q·T)* | 54·0 | 64·8 | 20·2 | 6·6~10·4 |
| E (Q·T)* | 48·2 | 60·0 | 31·2 | 5·2~11·1 |

* N·T: Normalized and temper, Q·T: Quenched and temper.

Table 3. Relation of cooling rate and position of steel thickness.

| Position | Cooling rate °C/min | | |
|----------|---------------------|------------|------------|
| | Water quench | | Normalize |
| | t = 150 mm | t = 250 mm | t = 250 mm |
| Surface | — | 250~280 | — |
| 1/4 t | 35~45 | 25~35 | 2~6 |
| 1/2 t | 25~35 | 10~20 | — |

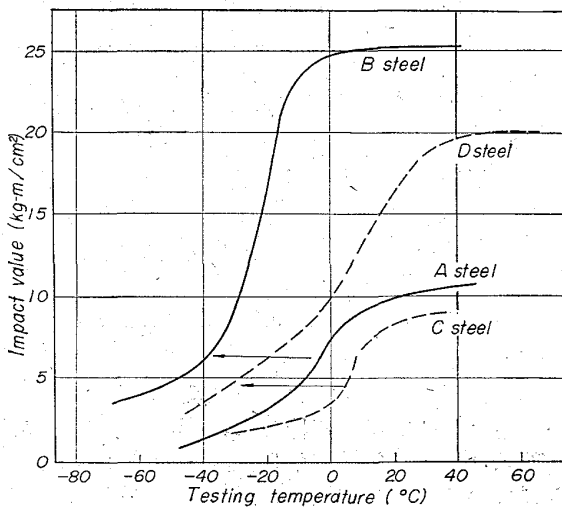


Fig. 1. Relation of heat-treatment method and transition curve.

は Table 3 のごとくである。250 mm 焼準焼戻材では板厚 1/4 においても 2~5°C/min で衝撃値の規格を満足しないことが判明し、また焼入焼戻でも 250 mm 厚の 1/2 位置では規格値ぎりぎりまたは割るおそれがある。

150 mm, 250 mm 厚鋼板の 1/4 位置縦方向の衝撃遷移曲線におよぼす熱処理の影響を示したのが Fig. 1 である。この結果をみると焼入焼戻材の遷移曲線は焼準焼戻材に比較するといずれも低温側に移行し 5.2 kg-m/cm² のレベルでみると約 40°C 低温側であり、最大吸収エネルギーも著しく改善されている。

3.2 応力除去焼鈍時間と機械的性質

極厚 A-302B 改良型鋼板の溶接作業においてはその溶接部に発生する残留応力を除去するために溶接工程において数回 (合計数 10 時間) の応力除去焼鈍を必要と

する。原子炉用鋼材に対しては母材特性はもちろんであるが応力除去焼鈍後の機械的性質、低温靱性に対しても母材と同等の特性が要求される。この点から応力除去焼鈍時間と機械的性質、切欠特性および NRL 落重試験結果の関係を求めた。要求される NDT 温度は -12°C 以下である。

150 mm の焼入焼戻鋼材について 625°C の応力除去焼鈍時間と機械的性質の関係を Table 4, NDT 温度の関係を Fig. 2 に示した。引張強さ、降伏強さは応力除去焼鈍時間の増加に従い徐々に減少し、伸び率はあまり変化はない。

NRL 落重試験は ASTM 規格の P1 型をもちいて行なったが 1/2 t, 1/4 t とともに NDT 温度は規格 (-12°C 以下) を満足する。縦方向は横方向に比較しその靱性は優れているが、いずれも応力除去焼鈍時間の経過とともに脆化することが認められる。つぎに供試材 E (250 mm 焼入焼戻材 1/4 t 縦方向) について応力除去焼鈍の方法と機械的性質、2 mm V シャルピー値の関係を求

Table 4. Relation of stress relief annealing and mechanical properties (B steel t=150 mm).

| Stress relief annealing time | Yield strength (kg/mm ²) | Tensile strength (kg/mm ²) | Elongation GL=50 (%) |
|------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------|
| As received | 52·5 | 62·0 | 28·8 |
| 625°C 6°-00' | 52·0 | 61·2 | 28·2 |
| 625°C 18°-00' | 50·6 | 61·4 | 29·5 |
| 625°C 30°-00' | 51·0 | 60·2 | 30·1 |
| 625°C 42°-00' | 51·0 | 60·8 | 29·8 |
| 625°C 90°-00' | 50·3 | 59·8 | 30·0 |

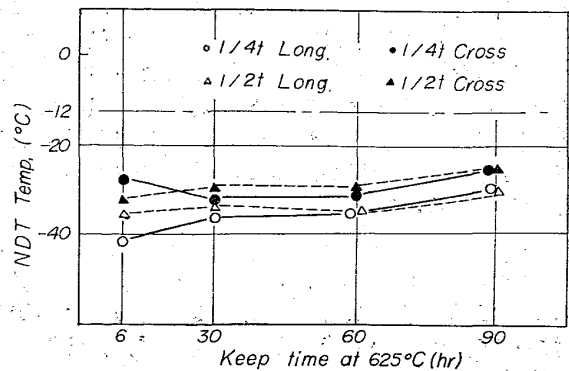


Fig. 2. Relation of N. D. T. Temperature and stress relief annealing time (B steel).

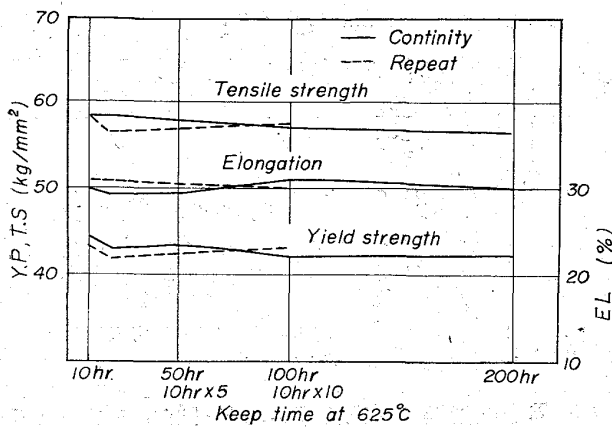


Fig. 3. Relation of mechanical properties and stress relief annealing time. (E steel)

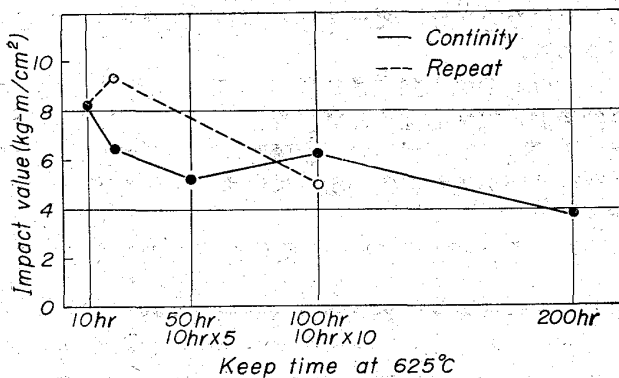


Fig. 4. Relation of 2mmV charpy impact value and stress relief annealing time. (E steel)

めて Fig. 3, 4 に示した。これは 625°C における保持時間を 10 hr の繰返しおよび連続の 2 種とし両処理により生ずる性能の差および靱性の低下につき検討した。

機械的性質に対する連続および繰返し処理の差はほとんどみられないが、150 mm の鋼材と同様に引張り、降伏強さは漸次低下し 200 hr 保持によりいずれも約 2 kg/mm² の低下がある。Fig. 4 には -12°C における衝撃値との関係を示した。繰返し処理では 10 hr 5 回の処理程度まではその衝撃値は連続処理に比較してやや高いが保持時間の経過とともに脆化し、100 hr 焼鈍後は 2~3 kg-m/cm² 程度母材より低下する。

以上のごとく応力除去焼鈍処理は低温靱性にかかなり影響し、保持時間が長くなるほど衝撃値は低下した NDT 温度も上昇する。この原因は明白ではないが組織的に考えると母材原質部はフェライト+炭化物の組織であるが保持時間が長くなるにつれてフェライト結晶粒の成長および炭化物の粒界凝集が進みその低温靱性が劣化するものと考えられる。

4. 結 言

150 mm, 250 mm の極厚 ASTM-A-302 B 改良型鋼板について熱処理方法と機械的性質の関係および焼入焼戻材の長時間応力除去焼鈍と機械的性質、低温靱性の関係を検討し次の結論を得た。

1) 板厚 150~250 mm の極厚鋼板でも焼準焼戻処理により規定の材力を確保することができる。

2) 低温靱性には鋼材の質量効果が大きく影響する。試材採取位置における焼入時の冷却速度が 20°C/min 以上であると規格の衝撃値 (-12°C, 5.2 kg-m/cm² 以上) を満足するが焼準焼戻 250 mm 鋼板 1/4 t では焼準時の 2~5°C/min の冷却速度では規格を満足しえず、焼入焼戻処理が必要となる。また 150 mm, 250 mm 材の 1/4 t の衝撃遷移曲線は焼入焼戻処理を行なうことにより焼準焼戻材に比較し約 40°C 低温側に移行する。

3) 焼入焼戻材を長時間応力除去焼鈍処理すると引張強さ、降伏強さはやや減少するが伸び率はあまり変化しない。2 mm V シャルピー衝撃値は連続、繰返し加熱処理とも時間の経過とともに低下し 100 hr の保持後には母材の 2/3 程度まで脆化し、また NDT 温度も同様に時間とともに上昇し劣化する傾向がある。

なお本鋼板の一つから採取した試験片についてベルギーの BR-2 試験炉で照射試験が行なわれており(本協会の照射試験共同研究に参加)その成果についてもいずれ報告したい。

以上要するに本鋼の 250 mm 級超厚板を現在の原子力仕様によつて製造することが十分確立されたこと。本研究での最大寸法は 3200 mm × 3500 mm であり最大巾 4000 mm, 最大重量 60 t 級のものについても全く同様の性能で製作できることを付記して結びとしたい。

(131) 低マンガン鋼の高張力鋼棒への応用

神戸製鋼所, 神戸工場

辻村 昂・○今村 弘

Application of Low-Mn Steel to High Strength Steel Bar.

Takashi TSUJIMURA and Hiroshi IMAMURA.

1. 緒 言

一般に、抗張力 140 kg/mm² 程度以上の、高応力負荷で使用される高張力鋼棒では、Ni, Cr, Mo などを含む、特殊な低合金鋼を使用し、熱処理によつて、高抗張力を得ているが、製造技術の進歩に伴い、使用鋼材の低廉化が、積極化する傾向にある。

この目的のため、最近注目されている鋼種に、低 Mn 鋼、含 B 鋼、含 Mo 鋼などがある。

著者らも、かかる見地に立ち、抗張力 140 kg/mm² 程度の強度要求に対して、低 Mn 鋼を使用すべく、各種確性試験を行ない、低合金鋼と、比較検討したので、報告するものである。

2. 供試材および試験方法

2.1 供試材の化学成分

供試材および低合金鋼比較材の化学成分を Table 1 に示す。低 Mn 鋼は、Mn 量を 1.50% 程度とし、C 量を、0.39~0.44% となるようにした。また、低合金鋼としては、Mn-Cr 鋼を選んだ。

2.2 焼入、焼戻性能試験

直径 25 mm φ で圧延のままの各供試材を、860°C で 60 min 均熱後、油焼入し、300°C~600°C の各種温度で、50 min 焼戻をして、JIS 4 号試験片に切削加工後、静的