

鍛造プロセスを利用した連続鋳造スラブ製高品質極厚鋼板

Heavy Gauge Steel Plate with Improved Internal Properties
Produced through Forging-Rolling Combined Process
Using Continuous Casting Slab

表 1 化学成分

Table 1 Chemical composition

(mass%)

| | C | Si | Mn | P | S | Sol. Al |
|------------|------|------|------|--------|--------|---------|
| Ladle | 0.15 | 0.19 | 1.13 | 0.016 | 0.003 | 0.022 |
| JIS G 3101 | — | — | — | ≤0.050 | ≤0.050 | — |

1. はじめに

JFE スチールでは、製品厚が 100 mm を超えるような極厚鋼板の製造において、連続鋳造スラブを用いた鍛造-圧延プロセスを実用化している。本製造プロセスの目的は連続鋳造スラブに不可避免的に残存するセンターポロシティー（空隙）を鍛造工程により圧着させ、厚板圧延後の鋼板の内質健全性と板厚方向の均質性を高めることにある^{1~4}。

連続鋳造スラブの鍛造要領は、スラブ幅方向と厚み方向の二方向から圧下を行うことによりポロシティー圧着に有利となる特長を有している。さらにスラブ幅方向鍛造圧下量の最適化などによる増厚鍛造法を採用した結果、最大製品厚 300 mm（圧下比 1.03）までの内質健全性に優れた極厚鋼板を製造することが可能になった。

また、原子力分野向け極厚鋼板は、従来その厳しい品質要求から造塊プロセスで製造されてきたが、鋳造、分塊圧延など製造工程が煩雑であり、工期が長いという欠点があった。これを解消するため、連続鋳造化を前提に本製造プロセスを適用した結果、従来の造塊材と比べて遜色のない鋼板特性が確認され、実機プラントへの実用化が開始されている。

本報告では、上記の本製造プロセスによる板厚拡大と鋼種の拡大例として、原子力分野向け極厚鋼板への適用について紹介する。

2. 適用板厚の拡大：最大厚 300 mm

2.1 鍛造条件

表 1 に示す化学組成の 310 mm 厚の連続鋳造スラブを 1230℃ に加熱し、幅方向に 500 mm の鍛造圧下量を付与して元スラブ厚を増厚させた後、厚み方向の鍛造圧下を行い、元スラブ厚より大きい 330 mm 厚のスラブを製作した。このスラブを厚板圧延に供し、製品厚 300 mm の極厚鋼板を製造した。表 2 に初期の連続鋳造スラブと鍛造後スラブおよび厚板圧延後の鋼板サイズの比較を示す。板厚中心位置（以下、1/2t 位置）の板厚方向引張試験と JIS G 0801 に基

表 2 スラブと鋼板のサイズ

Table 2 Dimension of slab and steel plate

(mm)

| | Thickness | Width | Length |
|-------------------|-----------|-------|--------|
| Initial slab size | 310 | 2 400 | 4 500 |
| Forged slab size | 330 | 1 900 | 5 000 |
| Steel plate size | 300 | 1 800 | 5 100 |

づく超音波探傷試験により鋼板内質特性の評価を行った。

2.2 鋼板特性

連続鋳造スラブのまま、鍛造後スラブおよび厚板圧延後の各状態において、1/2t 位置の板厚方向引張特性を調査した結果を表 3 に示す。サンプル採取位置はスラブ幅方向鍛造圧下時のスラブ増厚量が最も小さく、鍛錬効果が少ない製品幅中央とし、試験片は JIS Z 2201 No.4 を用いた。連続鋳造スラブの段階ではセンターポロシティーや中心偏析に起因し、十分な強度と延性が確保できていないが、厚板圧延前の鍛造後の状態ですでに強度や延性が改善されていることが分かる。なお、1/4t 位置の特性も SS400 の JIS 規格値を十分に満足する結果が得られている。

また、JIS G 0801 に準じて 300 mm 厚の極厚鋼板を超音波探傷にて鋼板内質を評価した結果を表 4 に示す。検出さ

表 3 板厚中心位置の引張特性

Table 3 Tensile properties at middle thickness

| | Thickness (mm) | Location, Direction | TS (MPa) | El (%) | RA (%) |
|-------------------------------|----------------|---------------------|----------|--------|--------|
| As cast slab | 310 | 1/2W, 1/2t, Z | 355 | 9 | 20 |
| As forged slab | 330 | | 429 | 24 | 43 |
| As plate rolling | 300 | | 433 | 24 | 45 |
| JIS G 3101 (over 100 mm t) | | 1/4t, C | 400-510 | ≥20 | — |

表4 USTの条件と結果
Table 4 Condition and result of UST

| Condition | | Result |
|-----------|-------------|-----------------|
| Frequency | Sensitivity | F_{max} |
| 2 MHz | V15-4: 40% | ≦10% (Accepted) |

れた欠陥波エコー高さは1/2t位置にて10%以内、検出頻度も1m²当たり数個のレベルであり、十分な鋼板内質を有することが確認された。

鍛造工程実施前後の全厚マクロ組織の例を写真1に示す。増厚鍛造法の適用により、鍛造後のスラブ厚が元スラブ厚と同等の状態、1/2t位置のポロシティーはほとんど解消されている。さらに、ミクロ組織の比較を写真2に示す。鍛造工程により1/4t位置では鑄込み組織が改善され、1/2t位置ではポロシティーや偏析の改善が明瞭に確認できる。このように内質の良好な厚板圧延用素材を確保できる結果、連続鋳造スラブから製造される極厚鋼板の最大厚を従来の240mmから300mmに拡大することが可能になった。

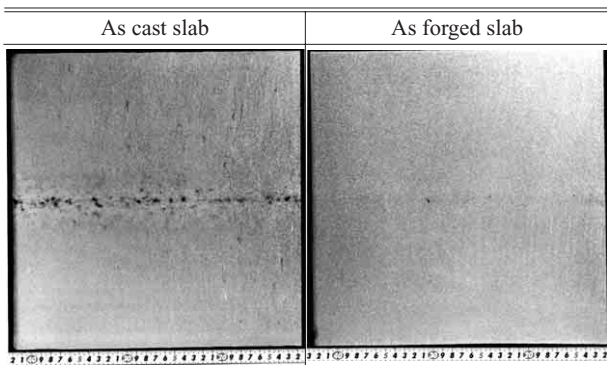


写真1 鍛造前後のマクロ組織の比較

Photo 1 Comparison of slab macrostructure before forging with after forging (Thickness: 310 mm)

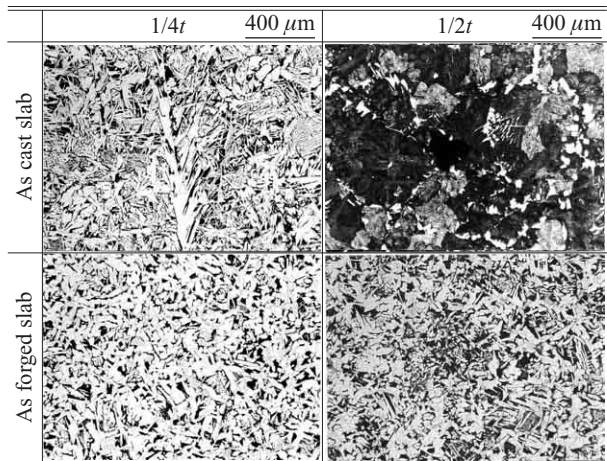


写真2 鍛造前後のミクロ組織の比較

Photo 2 Comparison of slab microstructure before forging with after forging

3. 原子力材の適用

原子炉その他の圧力容器用鋼板の適用例として、JSMEクラス1容器用JIS G 3120 SQV2A鋼板152mm厚の製造結果を以下に示す。

3.1 鋼板特性

表5に供試鋼板の化学組成、表6にJIS G 0555により測定した清浄度の一例を示す。非金属介在物は極めて少なく、安定した破壊靱性が必要な原子力プラント用鋼材として十分に良好なレベルである。

表7に引張試験結果を示す。1/4t位置の特性は十分に規

表5 化学成分

Table 5 Chemical composition

| | (mass%) | | | | | | | |
|------------|---------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-------|-----------|
| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
| Ladle | 0.16 | 0.25 | 1.41 | 0.004 | 0.001 | 0.65 | 0.15 | 0.58 |
| JIS G 3120 | ≦0.25 | 0.15-0.40 | 1.15-1.50 | ≦0.030 | ≦0.030 | 0.40-0.70 | ≦0.30 | 0.45-0.60 |

表6 JIS G 0555による清浄度

Table 6 Cleanliness, $d_{60 \times 400}$ by JIS G 0555

| | (%) | | | |
|------|-------|-------|-------|------|
| | d_A | d_B | d_C | d |
| 1/4t | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1/2t | 0 | 0 | 0.01 | 0.01 |

表7 SQV2Aの引張特性

Table 7 Tensile properties of SQV2A

| Thickness (mm) | PWHT | Location, Direction | YS (MPa) | TS (MPa) | El (%) | RA (%) |
|----------------|--------------|---------------------|----------|----------|--------|--------|
| | | | 480 | 613 | 28 | 76 |
| 152 | 623°C × 40 h | C | 462 | 593 | 29 | 75 |
| | | | Z | — | 595 | 23 |
| JIS G 3120 | | 1/4t, C | ≧345 | 550-690 | ≧18 | — |

表8 SQV2Aの衝撃および落重特性

Table 8 Impact and Drop weight properties of SQV2A

| Pre-strain | PWHT | Location, Direction | Charpy impact properties | | DWT | |
|------------|--------------|---------------------|--------------------------|-------------------|----------------|-----|
| | | | \sqrt{E} -20°C (J) | \sqrt{Trs} (°C) | T_{NDT} (°C) | |
| — | 623°C × 40 h | C | 1/4t | 156 | -24 | -40 |
| | | | 1/2t | 103 | -14 | -35 |
| | | 3% | 1/4t | 184 | -37 | -35 |
| | | | 1/2t | 125 | -6 | -35 |
| Aiming | | 1/4t, C | $\sqrt{E_{0°C}} \geq 40$ | — | ≦-12 | |

格値を上回っている。また 1/2t 位置でも良好な結果が得られ、板厚中心位置の健全性と板厚方向の均質性が確保されている。表 8 にシャルピー衝撃試験と落重試験結果を示す。靱性レベル、無延性遷移温度（NDT 温度）とも良好な特性を有している。

4. おわりに

JFE スチールでは、適用厚および鋼種の拡大を順次図り、本製造プロセスによる極厚鋼板の製造実績はすでに 14 万トンを超えている。特に原子力クラス 1 容器用鋼板への適

用化は、連続鋳造スラブによる鍛造-圧延プロセスの高い品質レベルを裏付けるものであり、さらなる展開が期待される。

参考文献

- 1) 荒木清己ほか. 圧力技術. 2003, vol. 41, no. 4, p. 20.
- 2) 林謙次ほか. JFE 技報. 2004, no. 5, p. 56.
- 3) 荒木清己ほか. CAMP-ISIJ. 2006, vol. 19, no. 5, p. 1023.
- 4) 荒木清己ほか. 川崎製鉄技報. 1998, vol. 30, no. 3, p. 57.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール 西日本製鉄所(倉敷) 鋼材商品技術部
TEL : 086-447-2774 FAX : 086-447-2674