

1. はじめに

天然ガス輸送用パイプラインのトータルコスト削減のため、操業圧力の高圧化とともに使用鋼材量の低減と現地溶接施工コスト削減が可能な高強度ラインパイプに対する要求がさらに高まっている。このため、近年 70 および 80 グレード（：アメリカ石油協会）の高強度ラインパイプの適用が増えており、2002 年には 100 が初めて実用化された¹⁾。また、120 グレードのラインパイプの開発も盛んに進められている。一方、パイプラインの建設は環境の厳しい地域へ拡大しており、特に、地震地帯や不連続凍土地帯などへ敷設されるラインパイプに対しては、地盤変動によるパイプの変形に対して局部座屈や円周溶接部から

2. 高強度ラインパイプの2相組織制御技術

2.1 ミクロ組織に及ぼす圧延条件の影響

フェライト-ベイナイト2相組織を活用し変形能を向上するためには、鋼板の制御圧延-加速冷却条件を精度よく制御し最適な2相組織形態を得る必要がある。図1に0.0C-0.25C-1.5C-0.04C鋼を用いて実験室で行った圧延-冷却実験における加速冷却開始温度とベイナイト組織分率の関係を示す。冷却開始温度は A_3 温度(フェライト変態開始温度)との差で示している。加速冷却開始温度が A_3 温度以上ではベイナイト分率が100%の組織となっているが、冷却開始温度が A_3 温度より低下すると、加速冷却前にフェライトが生成するため、得られる組織はフェライト-ベイナイト2相組織となり、冷却開始温度が低下するほどベイナイト分率が低下している。これらの鋼板の圧延方向引張試験による一様伸びとベイナイト分率の関係を図2に示す。ベイナイト分率が約50%で最も高い一様伸びが得られている。

2相組織鋼の引張特性に及ぼす組織の影響に関しては実験および解析的検討がなされており、上記のベイナイト分率の影響の他にもベイナイト相のアスペクト比や硬質相と軟質相の強度比が降伏比や n 値(加工硬化指数)に影響を及ぼすことが知られている。よって、鋼材の化学成分と鋼板の圧延-冷却条件を精度よく制御し、適切な2相組織とすることがラインパイプの変形能向上のためにきわめて重

要である。

2.2 ベイナイト変態挙動に及ぼす成分の影響

ホウ素(B)は焼入性の高い元素であり、加速冷却により高強度を得るにはきわめて有効な元素である。しかし、ホウ素添加鋼ではフェライト-ベイナイト2相組織を得ることが困難となる。図3はホウ素非添加鋼およびホウ素添加鋼の加工冷却変態線図(連続冷却変態線図)を示す。ホウ素非添加鋼では空冷に相当する低冷却速度では約700℃付近でフェライトが生成することが分かるが、ホウ素添加鋼では遅い冷却速度でもフェライトが生成せず、いずれの冷却速度でもベイナイト単一組織となる。また、ホウ素添加

で板厚 15.7 の鋼板を製造した。ここで、ホウ素添加鋼はベイナイト単一組織，そしてホウ素非添加鋼はフェライト-ベイナイト 2 相組織となるように圧延条件を制御した。図 1 に供試鋼のマイクロ組織を示す。ホウ素非添加鋼は冷却開始温度を 3 温度以下としており，フェライト-ベイナイト 2 相組織となっているが，ホウ素添加鋼はベイナイト単一組織を呈している。図 4 にホウ素非添加鋼およびホウ素添加鋼の圧延方向の応力ひずみ曲線を示す。

図 1

管曲げ座屈実験などによって評価する必要があるが、開発した 120 ラインパイプはその機械的特性（高一様伸びでかつ低降伏比）から高い変形能を有していることが期待される。また、120 ラインパイプの（落重試験）での破面遷移曲線を Fig. 10 に示す。延性破面率が 5%となる温度（5% σ_{TS} ）は約 -20°C であり、本開発鋼は -20°C の低温環境でも高い脆性き裂停止性能を有しているといえる。

3.3 X120 ラインパイプのマイクロ組織

Fig. 2 に 120 ラインパイプのマイクロ組織を示す。フェライト-ベイナイト 2 相組織でかつ十分な分率の微細ポリゴナルフェライトが見られる。これによって高い一様伸びと、低降伏比が達成できた。

4. おわりに

制御圧延と加速冷却、および加速冷却直後のオンライン熱処理の適用によってフェライト-ベイナイト 2 相組織とすることで、高強度と高変形能を両立しさらに高いシャルピーエネルギーが得られることが示された。本プロセス

により製造した、外径 14.4 mm、管厚 1.0 mm の 120 ラインパイプは、高強度でかつ 4%以上の高一様伸びと 5%以下の低降伏比が得られ、さらに -20°C の設計温度に対応した優れた低温性能を示した。

参考文献

- 1) S. V. S. et al., J. Mater. Sci., 2003, 38, 2003-3742.
- 2) S. V. S. et al., J. Mater. Sci., 2005, 40, 04-0224.
- 3) S. V. S. et al., J. Mater. Sci., 2003, 38, 10-11.
- 4) S. V. S. et al., J. Mater. Sci., 2005, 40, 2005-6714.
- 5) S. V. S. et al., J. Mater. Sci., 2006, 41, 2006-10240.
- 6) S. V. S. et al., J. Mater. Sci., 2001, 36, 2001/1-0001 ()2, 522.203, 0.0252.