

1. 緒言

長尺シームレス鋼管を直接焼入れする冷却方法として、管内面をクランプ式の高速度噴流、管外面をフラットラミナーとするパイプ回転冷却方式が合理的であることを第1報で述べたが、ここでは本方式にまつわる周辺のエンジニアリングを詳細検討し、冷却の設備と操業条件の最適化を図った。

2. 管内の2相流

小径長尺パイプでは管内を軸噴流が流れるにつれ水温上昇が大きくなり、ついには沸点に到達して吐出側で蒸気と熱水の2相流となることもある。この状況をモデル実験した例を図1に示すが、2相流の噴出時に入口水圧は単相流圧損よりも高くなるジャンプ(ΔP)を生じる。この2相流圧損増分を解析し入口水圧の余裕を見込んだ。たとえ、管端側が2相流となっても、その噴出時間が短ければ平均的冷却能力は維持できるので、その意味でも噴流の高速化がもっとも重要である。なお、2相流では管端で静圧が急降下する圧力分布となっており、静圧不足による一時的な冷却能力減少も管端クロップの範囲に収まる。

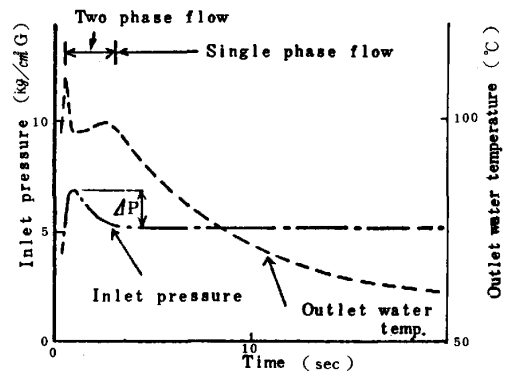


Fig 1 An experimental example of inside cooling of pipe

3. 冷却曲り

管外面冷却はフラットラミナー水膜を鋼管頂上線に流下させる部分冷却なので適正な回転数がないと冷却曲りを生じる。回転数と曲りの関係を熱弾塑性解析した例を図2に示す。低速回転の場合は、たしかに曲りは大きく、特に変態を通過するあたりで曲り量が最大となる。一方、高速回転を与えると冷却中のピーク曲りも冷却後の残留曲りも小さく、問題ない。回転冷却方式は、回転数さえ適正に選べば従来の冷却法よりはるかに少ない曲りに抑制しうる利点がある。

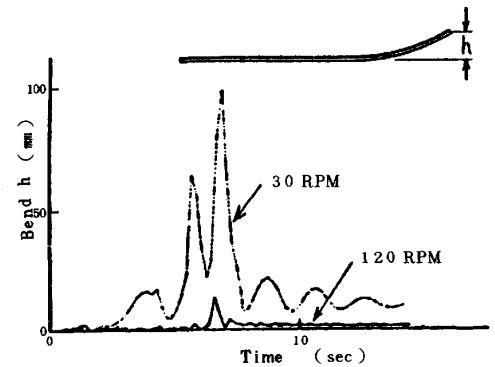


Fig 2 Influence of revolution on bend of pipe

4. フラットラミナー冷却装置

スリットノズルから水膜を落下させるフラットラミナーは、最近、適用が検討され始めた新しい冷却法であるので、適正な設計指針をうるための実験をした。ノズルまわりでは、スリットのギャップ幅、ノズルの流下長さギャップ幅の比、ノズルの内面粗度などの影響およびスリット端部での縮流現象と防止法を検討した。また、ヘッダー内の静圧分布を均一化する構造としては、バッフル板を多段に並べる方式が有効であり、均一な流量分布がえられた。

5. あとがき

第1報と本報で述べたオンライン冷却設備は58年5月から順調に稼動しており、長尺シームレス鋼管の直接焼入れが十分なる品質レベルで達成されている。なお、本設備では外面フラットラミナーの流量分布をボトム側を多くするテーパ冷却を行うと長手方向の温度がほぼ均一な状態で冷却停止できる設計になっており、ストップクエンチの可能性を有しているのも特徴である。