

# 吐出し圧力50 MPa級の製鉄所向けデスケーリングポンプ

西山 紀久雄\*

## High Discharge Pressure (50 MPa Class) De-scaling Pump

by Kikuo NISHIYAMA

A high discharge pressure de-scaling pump, capable of being operated at a discharge pressure of 50 MPa and coupled with a rapid variable-speed coupling, has been developed. Fatigue-causing high amplitude and high cycle stress applying on the pump has been coped with by an elliptically shaped nozzle opening section which reduces stress concentration in this section.

**Keywords:** De-scaling pump, Barrel casing, Thick-wall vessel, Nozzle, Fatigue, Meridional stress, Hoop stress, Stress concentration, Throttle bush, Hard chromium plating

### 1. はじめに

製鉄所では巨大な圧延ローラで鉄の塊を引き延ばし、薄い自動車のボディ用鋼板を製造している。この圧延過程において圧延ローラと鋼板の間にスケールが介在すると鋼板表面性状を劣化させ、場合によっては傷が発生する。このような劣化は最終的に自動車ボディの美観を損なうため、圧延工程の前にスケールを取り除く必要がある。現在除去方法としては強力な水噴流で吹き飛ばす方法が採用されている。デスケーリングポンプは強力な噴流を流すための高圧水を作り出すポンプで、従来全圧力30 MPaが主流であった。最近更に高品質の鋼板が要求されるようになり60 MPaの圧力も一部には使われるようになってきているが、この場合全圧力30 MPaのポンプ2台を直列運転し対応していた。このたびは単独のポンプで全圧力50 MPaの高圧水を吐出するポンプを設計・製造し納入した。その後の運転も順調であり以下に内容を紹介する。

### 2. 高吐出し圧力デスケーリングポンプの概要

一般に鋼板の圧延ローラの通過は数分間隔の間欠的なものであるため、鋼板が来ない期間（待機運転中）はス

プレーから噴流を流す必要がない。以前は待機運転中にバルブで流量を絞ってポンプ消費動力の低減を図っていたが、更に消費動力を少なくする目的で最近ではポンプの回転速度を制御する方法が多く使われている。待機運転中はポンプの回転速度を下げたことで従来の方法に比較し約33%程度の動力が節約可能となる<sup>1)</sup>。今回納入したデスケーリングポンプの場合回転速度制御に急変速流体継手を使用した。この流体継手は待機運転期間を20%以下の回転速度で運転する。このように鋼材処理の間欠性にあわせ回転速度も間欠的に低速待機-全速を繰り返すためポンプの吐出し圧力の変動も3.2~49 MPaの範囲で大きく変動する。しかも数分間隔で増減することからその繰返し回数は相当多くなり、時間間隔が短い場合1年間で $10^5$ 回に達する。このため本ポンプを設計する上で最も考慮しなければならないのは疲労に対する強度である。更に噴流に使われる流体はスケール除去に使用した水を適宜再処理して使っているため通常の工業用水と比較すると揚水中に含まれる異物の量が多く、これも設計上考慮しなければならない。

本デスケーリングポンプの外観を写真に示す。

### 3. 特長

ポンプ及び急変速流体継手の仕様を表に、ポンプの構造図を図1に示す。

ポンプは二重胴構造となっており、高圧の圧力水に対し強度を受けもつ外胴と高いポンプ効率を実現する内胴

\* 風水力機械カンパニー カスタムポンプ事業統括 羽田工場  
高圧ポンプ技術室 高圧ポンプ第二グループ



06-03 01/210

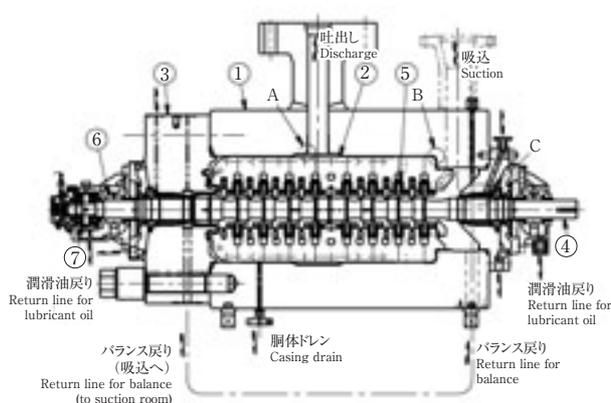
写真 50 MPa級デスケーリングポンプ  
Photo 50 MPa class De-scaling pump

表 ポンプ仕様

Table Pump specifications

ポンプ名称 Denomination	デスケーリングポンプ De-scaling pump
形式 Type	横置多段二重胴形 Horizontal multistage double case
吸込流量 Suction flow	5 m <sup>3</sup> /min
吸込圧力 Suction pressure	ゲージ圧 1.3 MPa Gauge
吐出し圧力 Discharge pressure	ゲージ圧 49 MPa Gauge
全圧力 Total pressure	47.7 MPa
液温 Liquid temperature	45 °C
回転速度 Speed	6500 min <sup>-1</sup>
ポンプ軸動力 Shaft power	5684 kW
軸封部形式 Type of shaft seal	スロットルブッシュ Throttle bush

から構成されている。外胴はポンプの吐出し圧力に対する一種の圧力容器であり本ポンプの場合外胴の応力は従来に比較し大きな値となる。この応力を低減すべく外胴の厚さを厚くしたが、有限要素法による応力計算の結果、図1に示すA部並びにB部のような応力集中部は厚さを厚くしても応力があまり低減しないことが分かった。応力集中部の応力を下げられなければ疲労により亀裂が発生する可能性が高い。このうちB部については応力集中を緩和するため隅の丸みの寸法（R寸法）を大きくすると外胴の内径が大きくなり外胴全体の応力が大きくなる。このため両者を満足する寸法を求めることが重要である。種々のR寸法について有限要素法により応力を確認し、十分な疲労強度を有する寸法を選定した。



番号 No.	部品名称 Parts name
1	外胴 Barrel casing
2	内胴 Inner casing
3	外胴カバー Barrel cover
4	主軸 Shaft
5	羽根車 Impeller
6	ラジアル軸受 Radial bearing
7	スラスト軸受 Thrust bearing

図1 デスケーリングポンプの構造図  
Fig. 1 Structural drawing of de-scaling pump

A部のようなノズルが取り付けられている部分については通常ノズル付け根部外胴の外表面に最大の応力が発生する。しかし、このポンプの場合外胴の厚さが非常に厚いことから、厚肉容器のように内周面に大きな応力が発生し、更にその内周面に応力集中の要因となるノズル用の穴があるため大きな集中応力がA部に生じる。この応力を支配する要因としては以下の四つが考えられた。

- (1) 外胴の厚さ
- (2) ノズルの厚さ
- (3) ノズル開口部隅の丸み
- (4) ノズル開口部の径

それぞれ要因を変化させて有限要素法で最大応力の変化を確認した。このなかでは「ノズル開口部隅の丸み」による応力低減効果が最も大きいものと考えていた。しかし、この値を変化させた場合最大応力発生位置に変化が見られたが、応力的には予想したほどには低減効果が現れなかった。ノズル開口部の径の変更はある程度効果があり、開口径が大きい方が応力としては小さくなる。しかし、ある径を超えると応力は逆に大きくなる。これは開口部の面積に働く圧力の反力が大きくなるためと考

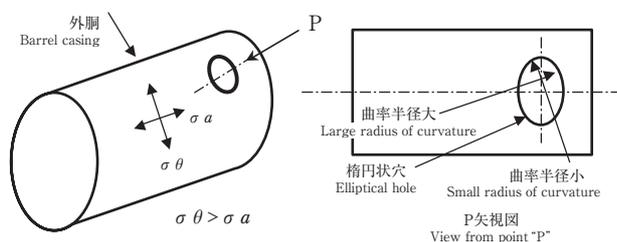


図2 外胴の応力と楕円状穴の配置

Fig. 2 Arrangement of elliptical hole for stress of barrel casing

えられる。このため開口部の面積をなるべく抑えてかつ開口径を大きくするのと同じ効果を導く方法を考える必要があった。今回この問題を解決するため開口部の形状を楕円状とし、その楕円の長軸を外胴の周方向に合わせ、短軸を外胴の軸方向に合わせた構造を採用し応力低減を検討した。一般に外胴のような円筒形の圧力容器に圧力を作用させた場合、外胴の軸方向応力 ( $\sigma_a$ ) は周方向応力 ( $\sigma_\theta$ ) に比べ小さくなる。また、開口部の形状を楕円形状（あるいは長穴のような楕円形状に近い形状）にし、長軸と短軸を前記のように配置すると応力の大きな周方向に大きな曲率をもつ穴を開けたと同じ応力低減効果を得ることができる（図2）。逆に軸方向には小さな曲率の穴を開けたことになり応力集中は大きくなるが、軸方向の応力自体は周方向に比べ小さいので集中応力としては周方向より必ず大きくなるというわけではない。このように開口部を楕円状の形状にして短軸、長軸の寸法比を調整することで円形状の場合の限界をある程度改善することが可能となる。種々の寸法比によるシュミレー

ションの結果、単純な円の場合に対し20%程度の応力の低減が可能であることが分かりこの構造を採用した。

なお、楕円状の形状の加工は容易ではないため、開口部の応力の高い部位だけに長円形の加工を実施した。

デスケーリングポンプのもう一つの問題として揚水中の異物がある。軸封部は最も異物に弱い部位であるが非接触のスロットルブッシュ構造（図1に示すC部）を採用した。しかし、スロットルブッシュ部は高速で揚水が流出するため液中に異物が存在するとエロージョンによる摩滅進行速度が速い。デスケーリングポンプの場合、揚水の温度変化が少なく、熱膨張差により部品固体接触の恐れがないので、スロットルブッシュ部に軸スリーブを装着してシャフトの摩滅を防止するとともに部品の交換を容易にした。

また、摺動表面には硬質クロムめっきを施工して耐摩耗性を高めた。

#### 4. おわりに

圧延工程における鋼板の更なる品質向上要求に対応して、単独で吐出し圧50 MPa級のデスケーリングポンプを開発した。このポンプの一番の問題は運転中の大きな吐出し圧力の変動とその繰り返し数の多さである。そのため耐圧部である外胴応力集中部の応力低減は非常に重要である。最も問題となった吐出しノズル部の応力は開口部の形状を楕円状形状にし適切な配置及び長短軸比率を採用することで解決することができた。

#### 参考文献

- 1) 形谷, デスケーリングポンプ用急変速流体継手, 産業機械, No.658