

鋼管鑄込み銅ステーブ

Cast-in steel pipe copper stave cooler

① はじめに

高炉の長寿命化を実現する技術の一つに銅製ステーブクーラーがあります。銅製ステーブクーラーは図3に示すように炉体鉄皮を保護する目的で高炉の内面に設置される装置です。銅製ステーブクーラーは1990年代半ばにドイツで使われ始め、その後多くの高炉で採用されています。

銅製ステーブクーラー(以下、銅ステーブと称す)は、圧延銅板をドリル加工し、給水および排水のパイプを溶接して水路を形成するのが主流です。この方式は水路端部および配管接続部に溶接構造を有しています(図1)。

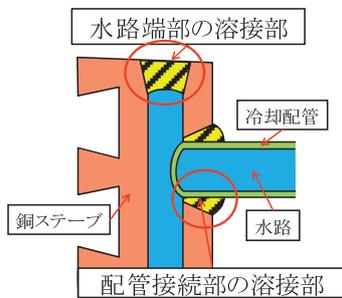


図1 圧延銅ステーブの断面

しかし、高炉内部の熱変動により繰返し発生する熱応力や曲げ応力によって溶接部に亀裂が入り、冷却水が炉内へ漏水したトラブルが数件公表されており、圧延銅ステーブは溶接部からの漏水リスクを完全に排除できません。

炉内への浸水は高炉操業を不安定にしますので、ユーザーニーズである高炉の安定操業に貢献するため、当社は溶接部からの漏水リスクを排除した鋼管鑄込み銅ステーブを商品化しました。2004年から2011年にかけて7年間実炉で使用した鋼管鑄込み銅ステーブを回収し、切断調査を行った結果も踏まえて、当社の鋼管鑄込み銅ステーブの特徴をご紹介します。

② 鋼管鑄込み銅ステーブの特徴

鋼管鑄込み銅ステーブには、3つの特徴があります。

1) 溶接が無い構造により炉内への漏水リスクを排除

鋼管鑄込み銅ステーブでは鑄造時に鋼管を鑄込んで水路を形成するため、水路に溶接がありません。水路の気密性は鋼管によって確保されますので、圧延銅ステーブに不可欠な溶接構造を無くし、

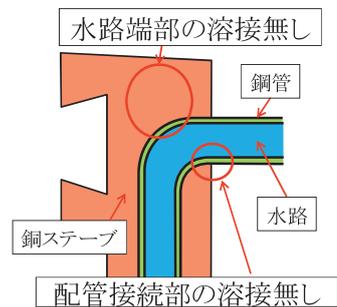


図2 鋼管鑄込み銅ステーブの断面

溶接部からの漏水リスクを排除しました(図2)。実炉で使用した鋼管鑄込み銅ステーブは、使用中に一度も漏水は発生せず、高炉の安定操業に貢献しました。

2) 長期の寿命を有する

ステーブが長期の寿命を有するためには、高炉内部の熱変動により繰返し発生する熱応力や曲げ応力によってステーブが疲労破壊せず、また原料により摩耗しないことが必要です。実炉で鋼管鑄込み銅ステーブ使用時に発生する応力を3次元伝熱計算および応力計算により評価しました。表1に示す計算条件は、過去に我々が経験した最も熱負荷が高い条件に対し、更に15%高い熱負荷に設定しています。ステーブ厚み方向温度分布(図4)から、鋼管鑄込み銅ステーブのリップ先端温度は448℃となります。このとき、鋼管鑄込み銅ステーブに発生する応力は銅母材の疲労強度よりも低く、上記の条件で長期使用した場合でも、鋼管鑄込み銅ステーブは疲労破壊しません。

表1 3次元伝熱計算の条件

銅の材質	単位	銅管鑄込み用 鑄物銅	圧延銅
銅の熱伝導率	Kcal/mh°C	260(※1)	315(※2)
鑄込み管の材質	—	銅管	配管無し
鑄込み管の有無	—	有り	無し
鑄込み管の熱伝導率	Kcal/mh°C	40	315
鑄込み管外面の熱伝達係数	Kcal/m²h°C	50,000	—
炉内ガス温度	°C		1,200
炉内ガス熱伝達係数	Kcal/m²h°C		300
銅と水路の境界面の熱伝導率	Kcal/m²h	5	315
冷却の奪熱量	Mcal/m²h		500

(※1：実測値、※2：カタログ値)

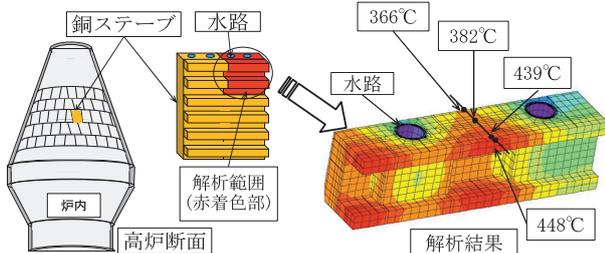


図3 銅ステープの高炉内面設置イメージ図および単体形状概略図

図4 3次元伝熱計算による銅ステープ炉内方向の温度分布

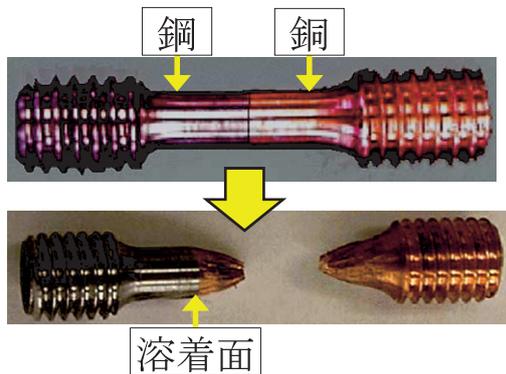


図5 溶着面の引張試験結果

ここで、上記の計算の前提として、炉内の熱変動による繰返し応力が発生しても銅母材と鋼管の溶着面が剥離することなく、高い熱伝導性が維持されている必要があります。

図5に銅と鋼の溶着面の引張試験結果を示します。図5の結果から、銅と鋼の溶着面は破断せず、銅側で破断しており、溶着面の引張強度は銅母材よりも高いことがわかります。このことから、溶着面の疲労強度も銅母材の疲労強度より高いと考えられます。一方で、実炉でステープ温度が上昇した場合に、銅と鋼の熱膨張差等により、溶着面に応力が発生しますが、応力計算では銅母材の疲労強度よりも

小さい応力しか発生しません。このことは発生応力が溶着面の疲労強度よりも小さいことを示しており、銅と鋼管の溶着面は実炉での使用において剥離しないと評価できます。

7年間実炉で使用した銅管鑄込み銅ステープの切断調査結果(図6)においても、銅と鋼管の溶着面に剥離がないことが確認され、3次元伝熱計算および応力計算に基づく評価の妥当性が実証できました。また、切断調査により、実炉で7年間使用した銅ステープの摩耗は極めて小さいことが確認できました(図7)。この7年間の摩耗実績から推定すると、銅ステープの一般的な寿命である20~25年の使用における摩耗量はリブ厚みに対し極めて小さく、ステープの機能への影響は無いと言えます。

以上のことから、銅管鑄込み銅ステープは疲労破壊せず、20~25年の使用における摩耗量も極めて小さいと考えられます。

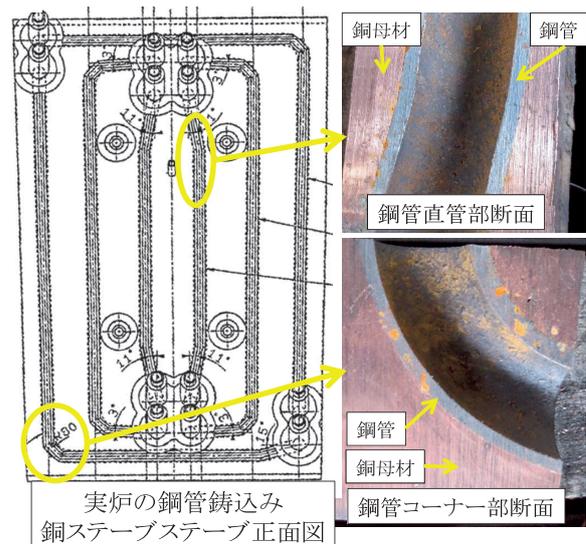


図6 実炉から回収した銅管鑄込み銅ステープの断面

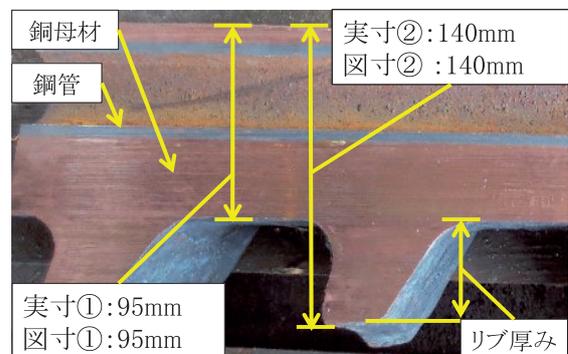


図7 実炉から回収した銅管鑄込み銅ステープの厚みの測定結果

3) 水路レイアウトの設計自由度が高い

鉄皮流用による高炉改修の安価化や既設高炉の寿命延長を行う場合、既設鉄皮開口を流用して銅ステーブを設置することが求められます。圧延銅ステーブでは、ドリル加工により水路が形成される(図8)ため、水路レイアウトには制約があります。一方で、鋼管鑄込み銅ステーブは、鋼管を曲げて水路を形成しますので、既存のステーブや冷却板が設置されていた既設鉄皮開口に鋼管鑄込み銅ステーブの水路入口、出口の配置を合わせることが容易です(図9)。

前述の実炉に採用された鋼管鑄込み銅ステーブは既設鉄皮開口を流用したもので、既設鉄皮開口を流用できる水路レイアウトを提案できたことが、鋼管鑄込み銅ステーブが採用された理由の1つでした。

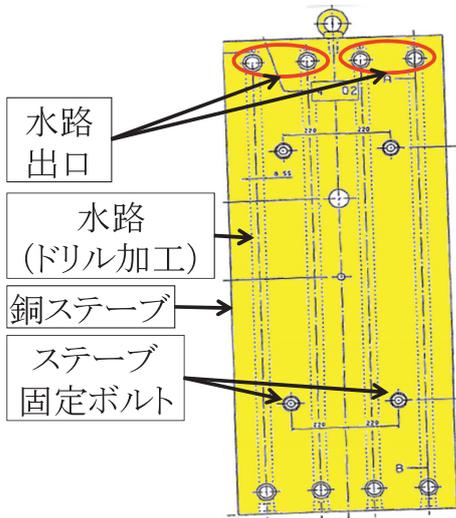


図8 圧延銅ステーブの水路レイアウト

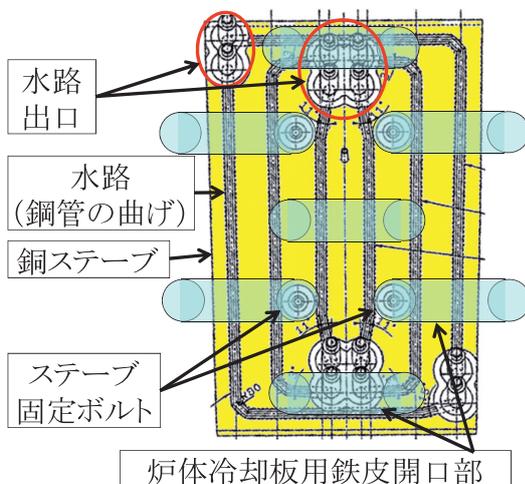


図9 鋼管鑄込み銅ステーブの水路レイアウト

③ まとめ

以上の結果から、鋼管鑄込み銅ステーブは以下の特長を有します。

- 1) 溶接の無い構造により炉内へ漏水リスクを排除
- 2) 長期の寿命を有する
- 3) 水路レイアウトの設計自由度が高い

さらに実炉での使用実績から、1)～3)の信頼性が実証されましたので、今後、これらの特長を活かし、鋼管鑄込み銅ステーブを国内外へ普及させていくとともに、社会のニーズに応えるべく更なる先端を目指し技術開発に取り組んで参ります。

お問い合わせ先
製鉄プラント事業部
製鉄プラントエンジニアリング第一部
商品技術室

TEL(093)588-7022