

水栓製品の品質向上に関する研究（第5報）

細野幸太*

Study on faucet parts for quality improvement (V)

HOSONO Kota*

メッキ処理が必要な青銅製水栓製品において、メッキ前の研磨後に発見される小さな引け巣などの鑄造欠陥を補修する技術として、低融点金属である亜鉛を補修材とし、管状炉中で窒素及び水素ガスを流しながら加熱処理を行う手法を試みたところ、素材である銅合金と亜鉛は密着することが分かった。また、素材中の銅が亜鉛中に拡散し、素材よりも硬く、ボイド等の欠陥がほぼない銅-亜鉛化合物層を形成することが分かった。したがって、本手法は、小さな鑄造欠陥部の補修方法として有効であることが示唆された。

1 はじめに

前報¹⁾では、砂型鑄造で作製した青銅製水栓製品において問題となる引け巣（溶湯が移動した後に発生する空洞状の収縮巣）等の鑄造欠陥を減少させる手法として、鑄造シミュレーション技術とマイクロ X 線 CT を用いた内部欠陥構造解析等の活用を検討し、これらを併用することで実製品の不良率が減少することを明らかにした。しかし、不良品を完全になくすことは困難であるため、残った不良品の大部分は再利用（再溶解）され、一部は補修のうえ製品となる。補修が行われるのは、後工程でメッキを施す製品であり、数 mm 程度以下の小さな鑄造欠陥をレーザー溶接機等によって補修することが一般的である。レーザー溶接は銅系の溶接材を用いた高温処理であるためクラックが発生し易く、補修には熟練技術が必要である。また、補修後の製品は、再研磨のうえメッキ処理が行われるが、クラックは、メッキの膨れや剥がれの原因となることから、より簡便な補修方法の開発が求められている。

本研究では、熟練技術が不要で多数の製品を同時に補修可能な青銅製品の補修方法の開発を目指し、低融点金属である Zn 薄板を補修材料とし、カーケンダル現象²⁾による金属拡散を伴う加熱処理による補修処理方法について基礎的検討を行ったので報告する。

2 実験

2.1 試験片

試験片の基材には、厚さ約 4mm の青銅（CAC406）平板を使用した。試験片表面は #120、#320、#500、#800 及び #1200 のシリコンカーバイド（SiC）研磨紙で湿式研磨後、エタノールで 5 分間超音波洗浄した。同試験片に $\phi 6$ 、深さ約 0.5mm の穴を切削加工により形成し、これを鑄造欠陥の補修箇所と見做した。補修材となる Zn 薄板（株式会社ニラコ製、純度 99.2%）は、穴形状に入

るよう $\phi 6$ 程度に加工し、厚み 0.3mm と 0.1mm の順で、重なるように穴に設置した。また、Zn 単独では、酸化により表面が黒く変色することから $\phi 6$ 程度で厚み 0.05mm のスズ（Sn）箔（株式会社ニラコ製、純度 99.9%）を 0.1mm 厚の Zn 薄板上に設置し、加熱処理前の試験片とした。

2.2 加熱装置

管状炉中に Zn 薄板等を乗せた CAC406 試験片を設置し、酸化の影響を少なくするために窒素及び水素ガスをそれぞれ一定量流しながら加熱した。加熱保持温度は Zn の融点（約 419℃）以上である 450℃とし、2 時間保持した。また、炉冷（180℃）後試験片を取り出し各種測定に供した。

2.3 断面観察、元素分析及び硬さ測定

加熱処理後の試験片を切断、樹脂埋め、鏡面研磨し断面観察試料とした。断面観察試料を金属顕微鏡（株式会社ニコン製エクリプス LV100）にて観察し、青銅平板と Zn の密着状態及び欠陥等の有無を確認した。また、断面観察試料を走査型電子顕微鏡（SEM、日本電子株式会社製 JXA-8530F）にて観察するとともに、SEM 装置内蔵のエネルギー分散型 X 線分析（EDX）を用いて銅（Cu）、Sn、鉛（Pb）及び Zn の分布状態を確認した。さらに、切断面の硬度をマイクロビッカース硬さ試験機（株式会社フューチャアテック製 FM-810）により測定した（HV0.3、各層 5 点）。

3 結果及び考察

加熱処理後のマクロ断面像を図 1 に示す。同図より Zn と CAC406 は接合していることが分かる。

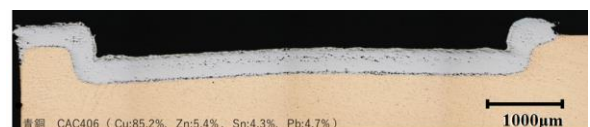


図 1 加熱処理後のマクロ断面像（金属顕微鏡）

* 金属部

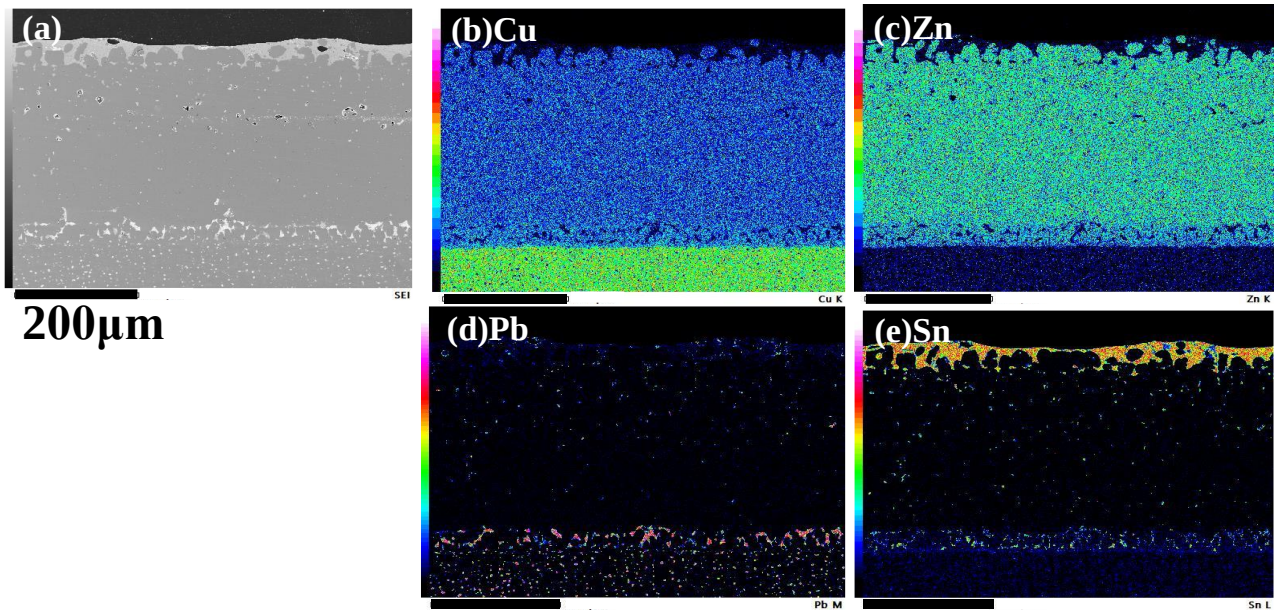


図2 Sn 箔/ Zn 薄板/CAC406 平板加熱処理後の(a)SEM 断面像（反射電子像）及び各元素分布像（(b)Cu、(c)Zn、(d)Pb 及び(e)Sn）

図2に加熱処理後の(a)SEM 断面像（反射電子像）及び元素分析結果(b)Cu、(c)Zn、(d)Pb 及び(e)Sn の分布状態を示す。同図より、Zn 薄板にCAC406 の成分であるCu、Pb 及びSn が拡散し、カーケンダルボイド等の欠陥がほぼない約350μm 厚の化合物層が形成されていることが分かった。また、図1で観察されたZn 層内に分布する黒い空隙は、ほぼPb やSn であることが分かった。EDX による簡易定量分析からCu-Zn 化合物層中のCu は34.5at%、Zn は65.1at%、Pb は0.19at%、Sn は0.27at%であり、Cu-Zn の状態図³⁾及びMayappan らの報告⁴⁾を考慮するとCu₅Zn₈を形成していると考えられる。さらに、CAC406 とZn 界面にはPb やSn が多く拡散し、Sn 箔中には、Sn とZn の共晶が形成されることが分かった。この共晶は、Cu 等の拡散に伴って拡散速度の速い余剰Zn も拡散し、Sn 箔中に取り込まれたことで形成されたものと推定している。

Cu-Zn 化合物層のビッカース硬さは、392 となった。素材であるCAC406 の硬さは104 であることから、硬いCu-Zn 化合物層が均質に形成されていることが分かった。なお、加熱前の素材の硬さは102 であり、加熱処理前後で素材の金属組織の変化も認められないことから、加熱処理による素材の熱影響は少ないと考えられる。

加熱処理後の試験片表面を#800 及び#1200 のSiC 研磨紙で湿式研磨後、ダイヤモンド懸濁液を用いてバフ研磨した試験片を図3 に示す。本研磨工程により表面から約100μm が研磨されている。同図よりφ6 の穴がきれいなCu-Zn 化合物層により埋められていることが分かった。以上から小さな鑄造欠陥部を切削加工後、Sn 及びZn を設置し、窒素及び水素ガス中で加熱することで

欠陥部を補修できる可能性があることが示唆された。

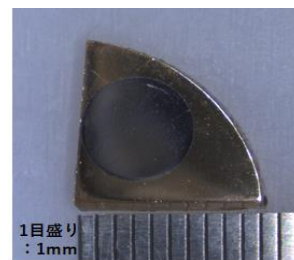


図3 バフ研磨後の補修試験片

4 まとめ

青銅製品における鑄造欠陥の補修方法を検討するため、低融点金属であるZn 薄板及びSn 箔を穴形状を有するCAC406 平板に設置し、管状炉中にて窒素ガス等を流しながら加熱する実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) CAC406 平板とZn は密着した。また、素材のCu がZn 中に拡散し、ほぼ欠陥のない約350μm 厚のCu-Zn 化合物層を形成することが分かった。
- 2) Cu-Zn 化合物層は、素材よりも3 倍以上硬いことが分かった。

【参考文献】

- 1) 細野ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.4, pp19-20,2023
- 2) 中嶋,まてりあ,Vol.34,No.4,pp461-467,1995
- 3) 横山,図解合金状態図読本,オーム社, pp166-168,2001
- 4) R.Mayappan et al.,Advanced Materials Research, 173,pp90-95,2011