

銅合金製鍵の破断解析調査

Fracture analysis of copper alloy key

Osumi Corporation . Namie Suzuki

Abstract

From the above survey results, it is considered that the cause of the copper alloy key failure was caused by an external stress load that exceeded the allowable stress, starting from the central part that becomes thin wall under a state where it was not completely fitted to the female side of the key. In addition, one of the factors is considered to be that the outermost layer has been dezincified due to plating peeling and environmental peripheral factors, resulting in a decrease in strength. In order to prevent dezincification, a dezincin-resistant brass material containing tin (Sn) is also effective.

1. はじめに

銅合金およびダイカスト製品は、電機、電子部品、建設産業などに多く用いられている素材の一つであり、その需要は近年特に伸びつつある。銅は鉄と比し、導電率や熱伝導率が特に優れており、耐食性も有する。また、金同様に光沢を放つ金属の一つでもあり、外観上においても質感が高いなどの特徴がある。これらの特徴から、半導体材料のリードフレームや自動車、カメラなどのコネクタ、電線、水栓金具やバルブ、装飾品、日用品など多岐に渡り使用されている。

本稿では、銅合金製鍵の破断調査結果をまとめたものであるが、3度に渡り同様部位で破損に至ったことで調査した事例レポートである。

2. 調査方法および装置

調査試料を図1に示し、調査方法は、以下に記す。

(1) 外観および破面マクロ観察、断面観察調査

デジタルマイクロスコープ(KEYENCE 社製 VHX-7000 型)(以下、“DMS”と記載する)

(2) 破面詳細観察調査

SEM-EDS(JEOL 社製 JSM-7600 型、Thermo FisherScientific 社製 NORAN System7 312E)

(3) 硬さ測定調査

マイクロビッカーズ硬さ試験機(マツザワ社製 MMT-X7B 型)

3. 調査結果

3.1 外観観察

破損した鍵は、両面稜線上に切欠き加工(ギザギザ)が施されており、一般的なシンリンドンダー内ディスクタンブラー形式の施錠開錠鍵に多く用いられている。また鍵本体の形状は、鋼矢板(波板)様の断面形態であり、斜行壁部のポーリング切削加工部近傍である薄肉部(約 0.3 mm t)で破壊に至った形態を示している。



図1 外観観察

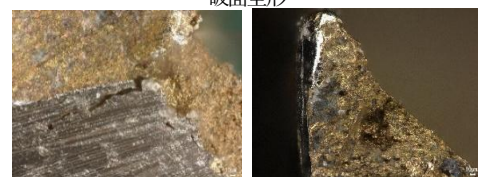
3.2 破面観察

破面マクロ観察では、斜行壁薄肉部から肉厚内部に伝播した形態で観察された。

外表層部周辺では、すべり擦傷痕様の平坦面で観察され、概ね A 面側から B 面側方向に伝播した様相を呈している。また、両末端部周辺では、各末端方向へ延伸された様に観察された。



破面全形



A 部(破面中央側面側)

B 部(末端側)

図2 破面観察図(DMS 撮影)

その SEM 詳細観察では、斜行壁薄肉部の両側面側より波紋状様に段差形態で内部に進展し合う破面形態で観察された。鍵溝部周辺では、外表層部周辺にラビリントな形態が観られ、一部ではメッキ層が割れ、押しつぶされた様な形態で観察された。破壊伝播方向は、概ね A 面側から B 面側の一方向を示しており、その破面形態は延性破面(ディンプル)で観察された。

末端部周辺では、各末端方向へ応力負荷され延伸された延性破面で観察された。

これらのことから、斜行壁薄肉部(鍵中央部)が応力負荷の支点(起点)となり、主に一方向における許容応力以上の負荷またねじれ負荷により破損したと考えられる。

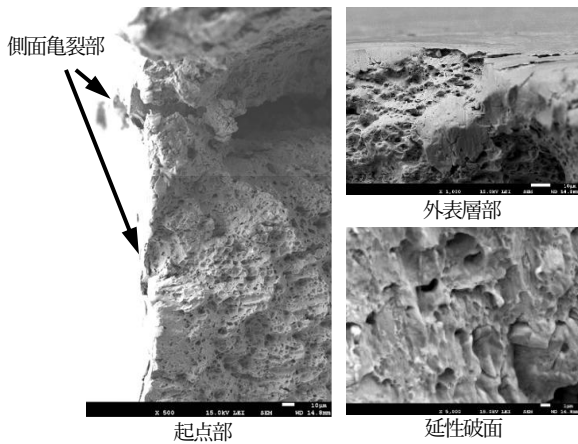


図3 破面SEM詳細観察像

3.2 断面観察

断面観察では、起点部近傍に L 方向および C 方向に亀裂が観察された。L 方向の亀裂長さは約 2.6 mm であり、これは鍵溝半径程度となる。最薄肉部(約 55 μm)に観られた C 方向の最大亀裂は、薄肉部全形の約 2/3 程度進展して観察された。また、特に亀裂開口部および亀裂内部には腐食痕や腐食による粒欠落および粒界割れが顕著に観察された。

なお、メッキ加工の一部で、剥離や母材とメッキ層との間に隙間が観察され、これらの部位周辺には腐食痕が観察された。

金属組織においては、一般的な黄銅となる α + β 黄銅 鋳物と判定される。

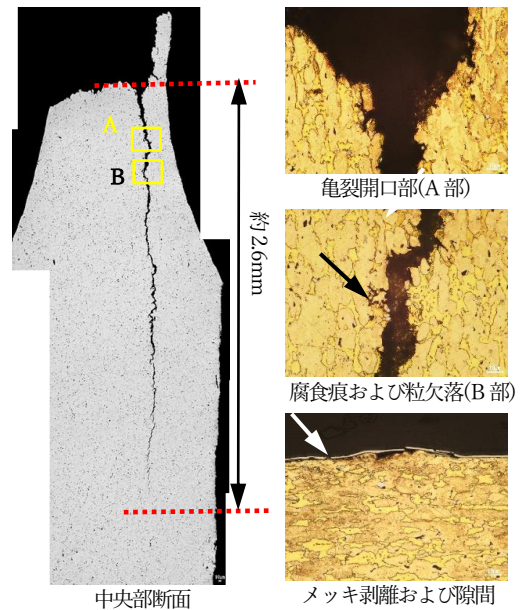


図4 断面観察図

3.3 SEM-EDS 結果

各種 SEM-EDS による定性分析結果では、母材では主に銅 (Cu)、亜鉛(Zn)、酸素(O)、アルミニウム(Al)、炭素(C)が検出された。一般的に新鍵は洋迫で造られ、ニッケル(Ni)を含むことが多く、黄銅は合鍵製造に用いられることが多いため、本件は複製物である可能性が高い。

腐食部では、亜鉛(Zn)が不検出となり、他、硫黄 (S) が検出された。母材成分との差異より、腐食による脱亜鉛状態と言え、これが強度低下につながったと考えられる。なお硫黄は腐食の原因物質と思われる、周辺環境由来のものと思われる。

介在物においては、母材成分以外にけい素(Si)が多く検出され、けい素化合物と思われる。

メッキ層では、主にニッケル(Ni)が検出され、ニッケルメッキと判定される。

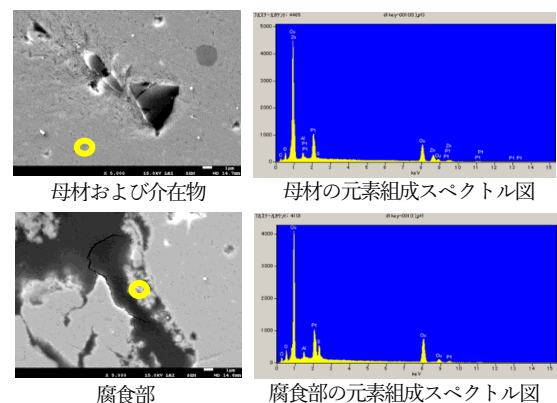


図5 各種 EDS 結果(○部:測定箇所)

3.4 硬さ測定調査

硬さ測定結果では、平均硬さ約 197HV となり、表層および内部に差異は見られない。黄銅鑄物の詳細な種別は不明なため、参考値とする。

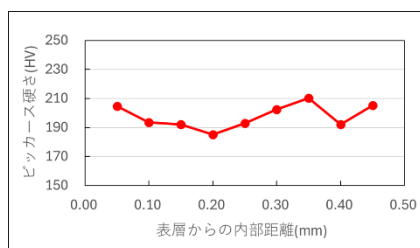


図6 ビッカース硬さ測定結果

4. 結言

以上の調査結果より、銅合金製鍵が破損した要因は、鍵雌側に不完全な差し込み状態で、斜行壁薄肉となる中央部を起点とし、許容応力以上の外的応力負荷により破損したと考えられる。また、最表層部はメッキ剥がれや環境周辺要因により脱亜鉛腐食となり強度低下したことも要因の一つとして考えられる。脱亜鉛を防ぐには、スズ(Sn)を含有させた耐脱亜鉛黄銅材も効果的である。

以上

参考文献

- 1)喜佐男, 阿部. *日用品鑄物*. 日本機械学会誌 第 61 巻 第 477 号, 昭和 33 年 10 月.
- 2)弘之, 山口. *脱亜鉛に関連する β 真鍮単結晶の組織変化*. 応用物理 第 33 巻 第 3 号, 1964.
- 3)弘之, 山口. *脱亜鉛に伴う α 真鍮の組織変化*. 応用物理 第 32 巻 第 12 号, 1963.
- 4)田尻秀男, 松原雅春, 片山皓嗣, 中田忠勇. " $\alpha + \beta$ 黄銅の熱間加工における組織変化." n.d.
- 5)南海男, 昆 謙造, 大谷. *α - 黄銅単結晶および双結晶の応力腐食割れ*. 日本金属学会誌 第 40 巻, 1976.
- 6)本正, 堀茂 徳, 竹. *引張予歪を与えた α 黄銅の応力腐食割れに関する研究*. 日本金属学会誌 第 37 巻, 1973.
- 7)靖, 村上 陽太郎, 吉田 博行, 猪飼. *α 黄銅の応力腐食割れに関する研究*. 日本金属学会誌, 1965.

株式会社オオスミ

分析技術グループ主任技師 鈴木奈美枝



***ミニメモ ～銅の歴史～

銅の歴史は鉄よりも長く、紀元前 7,000～8,000 年頃に世界で人類が初めて手にした金属とされている。古代エジプトでは紀元前 5,000 年頃より装飾品や武器等で使用されていたと言われおり、ピラミッド建設時には青銅も用いられていたという諸説もある。紀元前 2,750 年頃にはアプシル神殿に、給水管として銅管が使用されていた事実や、その後エジプト第 6 王朝ペピ 1 世の世界最古の銅像も造られていた。

日本では弥生時代から銅剣や銅鏡など青銅として使われていた。やがて銅鉱山が発掘され、貨幣や仏具、工芸品など盛んに作られた。既存物例では、東大寺大仏(東大寺盧舎那仏像)や硬貨があり、時代とともに技術の進歩を図れる。

東大寺大仏では、奈良時代には砂型鑄造技術があったと言える。またアマルガム法も用いられ、焼き付けの良い金メッキが施されている。そのため、腐食も少ないと考えられている。銅自体も酸化被膜を形成し、その下部は腐食進行がしにくい状態であったと私的には考える。

硬貨においては、和同開珎、富本銭と 7 世紀後半には一定量で生産する技術を有していた。その後、伸銅加工法の発展し、ロール圧延の機械化などを経て、造幣局で製造されている。そして、現在の日本の伸銅工業は、質の高いものとされており、海外では建設業が主力だが、日本では電気・電子部品が主力で使われており、海外含め IT 分野には欠かせない材料として供給を支えている。