

氏名 (本籍)	玉川 博一 (熊本県)
学位の種類	博士 (工学)
学位授与番号	乙第79号
学位授与日付	平成30年9月30日
専攻	物質工学専攻
学位論文題目	空調機用銅及び銅合金管における細径薄肉化技術の構築と高耐食材料の開発 (Construction of the small diameter thin wall technology and development of high corrosion resistance alloy in copper and copper alloy tubes for air conditioners)
学位論文審査委員	(主査) 教授 櫻田 修 (副査) 教授 杉浦 隆 教授 山下 実 外部審査委員 山田 豊

論文内容の要旨

本論文は、ヒートポンプの伝熱管に用いられる銅管の課題である細径薄肉化技術の構築と高耐食材料の開発に関して研究をおこない、それらを取りまとめたものである。

(1) 細径薄肉化技術の構築では、薄肉化に伴う管材料での剛性低下問題の解決を図るため、集合組織制御による加工性向上を検討した。銅管における集合組織制御は、これまでにほとんど行われていなかった。内面溝付管の製造工程における集合組織の発達を明らかとし、溝付け加工における外径減少率を小さくすることで{011}<100>方位 (以下、Goss 方位) の発達を抑制することが可能となること、Goss 方位は、円周方向の延性を低下させるため、その発達を抑制することで良好なヘアピン曲げ加工性が得られることを明らかとした。また、加工硬化させたままの硬質管においては、管の曲がり矯正する工程に着目し、矯正ロールで加わるせん断力によって、銅管表層の集合組織が、抽伸で発達した{011}<211>方位 (Brass 方位) が{112}<111>方位 (Cu 方位) へと変化する事、それに伴って銅管の長手および円周方向の機械的性質が変化することを見出した。これにより、硬質銅管での高加工性材料の開発が期待された。また、銅素材の高強度化についても研究をおこなった。従来の銅および銅合金管では、管同士を接続する際におこなわれる硬ろう付けにおいて、その 800°Cを超える熱影響により強度が著しく低下し、薄肉化の阻害要因となっていた。Cu-Ni-P 合金では、硬ろう付けの加熱・冷却過程において強度向上が図れることを見出し、その特性発現の機構が冷却過程における Ni₂P の析出現象であることを明らかとした。

(2) 高耐食材料の開発では、ヒートポンプにおいて慢性的に問題となっていた蟻の巣状腐食に対し、これまで有効策のなかった素材側からのアプローチをおこなった。Cu-P 合金において添加元素 P を 0.2%以上とした場合、腐食形態が蟻の巣状から孔食状へと変化し、腐食寿命が大幅に向上することができることを見出した。それらは高濃度に添加した P が腐食環境下で溶出し、リン酸を形成することで発現されることを明らかとした。また、Cu-P 合金においては、P を高濃度に添加すると応力腐食割れの感受性が高まることが知られていたが、エアコンで使用されるヘアピン曲げをおこなった銅管では、その感受性の関係が不明であった。ヘアピン曲げで生じた形状異常により、銅管局所で残留応力が生じて、応力腐食割れ性を低下させるものの、P 濃度の影響については軽微であることを明らかとした。

本論文では、空調機用伝熱管および配管として利用される銅管の問題点に対して有効な対策の提案をおこなった。本技術を活用することで、ヒートポンプの発展に大きく寄与できるもの期待される。

論文審査結果の要旨

本論文は、エアコンなどのヒートポンプで用いられる銅管における課題、すなわち、細径薄肉化および蟻の巣状腐食対策に関する研究・開発についてまとめたものである。細径薄肉化では、管寸法で低下した剛性によりヘアピン曲げなどの加工性が低下する。これに対し、銅管ではほとんど研究がおこなわれてこなかった集合組織制御による加工性の向上が提案され、加工条件による集合組織への影響を明らかとし、それに伴う加工性の変化について研究がおこなわれた。また、高強度材の開発もおこなわれ、800℃を越えた加熱冷却過程での析出制御により、これまでろう付け加熱後には強度低下が生じる材質のみであったが、同加熱後に強度が15%向上するCu-Ni-P合金を見出している。

蟻の巣状腐食対策においては、Cu-P合金で添加元素Pを0.2%以上とした場合に腐食の形態が蟻の巣状から孔食状へと変化することを見出し、添加元素Pが腐食環境下においてリン酸として溶出することで発現されることを明らかとした。また、高濃度にPを添加したCu-P合金においては、応力腐食割れ性の感受性が高くなることが知られていたが、蟻の巣状腐食対策のCu-0.2~0.4%P合金においては、P濃度ではなく、ヘアピン曲げにおける形状不良により生じた局所的な残留応力の方が高い影響度を示すことを明らかとした。

エアコンなどのヒートポンプで用いられる銅管の課題に対し、有効な解決方法の提案を行ない、学術的な考察を加えて、産業的にも学術的にも優れたものであった。いずれの課題においてもこれまでに類のない開発を行い、その学術的知見を得ており、博士(工学)の学位論文として十分な内容と認められた。

最終試験結果の要旨

主査1名、副査3名で構成する学位審査委員会は、以下の2点について慎重に検討を行った。

(1) 公表論文

平成30年7月19日に学位審査委員会を行い、本論文の主要部分は査読付きの研究論文として5編発表・掲載済みであり、物質工学専攻の判定基準を満たしていることを確認、論文提出者と面談し平成30年8月27日に公聴会を行うこととした。また、論文提出者は参考文献として8編を発表しているほか、論文賞2件、学協会での開発賞2件の公的表彰を受けている。

(2) 最終試験および公聴会

平成30年8月27日に論文審査委員と一般職者を含めて公聴会を行った。公聴会の出席者は大学教員8名、一般企業などからの外部有識者3名ほか、合計17名であった。論文提出者の発表内容および質疑に対する回答状況などから、学位審査委員会は最終試験に合格と判断した。

発表論文(論文名, 著者, 掲載誌名, 巻号, ページ)

1. 「内面溝付銅管の再結晶集合組織に及ぼす造管条件の影響」
玉川博一, 小平正明, 鈴木忍, 法福守: 銅と銅合金, 54(2015), 11-14.
2. 「Cu-Ni-P合金の時効析出挙動と機械的性質」
玉川博一, 永井健, 浅野峰生: 銅と銅合金, 55(2016), 17-21.
3. 「耐蟻の巣状腐食性に優れた銅管の開発」
河野浩三, 鈴木忍, 金森康二, 玉川博一, 京良彦, 大谷良行: 銅と銅合金, 55(2016), 140-145.
4. 「Strength and Microstructure of Copper Tube in Cross-Roll Straightening」
Hirokazu Tamagawa: Materials Transactions, 59(2018), 760-763.
5. 「ヘアピン曲げ銅管の応力腐食割れに及ぼすP濃度及び管形状の影響」
玉川博一, 金森康二, 河野浩三, 京良彦, 大谷良行: 材料と環境, 67(2018), 251-255.