

# 耐圧性に優れた高強度銅管 C18620「HRSC<sup>®</sup>」の開発

田中真次<sup>1)</sup> 大石恵一郎<sup>2)</sup> 須崎孝一<sup>3)</sup>

## 1. 開発の背景

地球環境保全の観点から空調機器に用いられる冷媒はオゾン層破壊係数の大きいCFC類フロンからHFC類フロンへと変化している。将来的には脱フロン化され、自然界に元々存在する自然冷媒が使用されていくことが予想される。近年、二酸化炭素を冷媒とした給湯システム「エコキュート」が実用化され、急速に普及している。しかし、これら自然冷媒は凝縮圧力が大きくなることが問題である。

銅は優れた加工性、ろう付け性、熱伝導性からエアコン、冷凍機などの熱交換器に用いられ、C1220(りん脱酸銅)管が使用されている。銅配管はろう付けによる接続が行われ、高温に加熱されるため機械的強度が著しく低下する。したがって高い凝縮圧力の冷媒に適用するために管厚を厚くする必要がある。特に、エアコンには一般配管よりも太径で絞り加工を施した銅配管部材が用いられており、外径の大きな部材では一層管厚を厚くしなければいけない。しかし、製品の小型化、銅価の高騰により使用銅材料の節減の要求が強く、優れた耐圧性のある銅管が求められている。

## 2. 開発の概念

エアコン配管部材の外観を図1に示す。銅管は還元雰囲気中で炉中ろう付け、または大気雰囲気での手ろう付けにより接合され、りん銅ろうBCuP2の液相線温度である約800℃で数分間、または800℃あるいはそれ以上の温度で数秒から数十秒加熱される。また絞り加工銅管は、主に短時間で加工可能なスピニング加工で製造され、摩擦熱により加工中銅管の

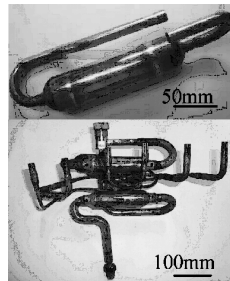


図1 エアコン配管部材。

温度は局部的に800℃以上に達する。我々は高温に加熱されても機械的強度の低下を最小限にとどめることを目的とし、表1に示す5種の元素を少量添加した「HRSC<sup>®</sup>」を開発した。HRSCは2007年7月、CDAにC18620として登録されている。なお、比較材として0.026%のPを含有するC1220を用いた。

## 3. 開発合金の諸特性

### (1) 直管材の耐圧性

一般配管用銅管(以下直管材と称す)の耐圧性を評価するため外径9.52mm、管厚0.8mmの調質O材(結晶粒度HRSC: 8 μm, C1220: 15 μm)と、そのO材を800℃で約5分間保持される炉中ろう付け炉を通過させた管材(以下炉中材と称す)を用意した。耐圧試験は300mmに切断した直管材の両端に接続金具をねじ接続し、水道水を加圧媒体とし、

表1 開発合金の化学成分/mass%.

	Cu	Sn	Co	Zn	Ni	P
HRSC	残部	0.05	0.20	0.05	0.05	0.055

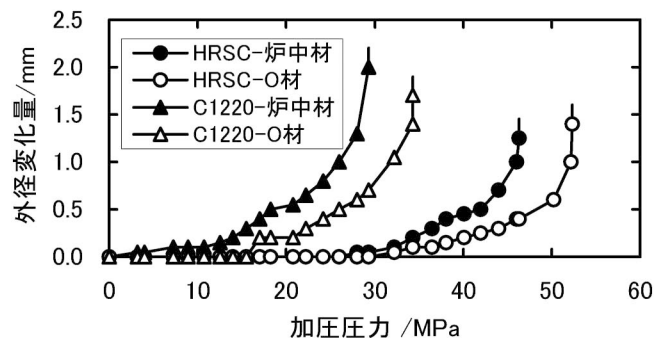


図2 加圧圧力と管径変化。

\* 三菱伸銅株式会社  
 三宝製作所開発部：  
 1) サブリーダー 2) フェロー・部長 3) 研究員  
 Development of High Strength Copper C18620 “HRSC” with Excellent Pressure Tightness; Shinji Tanaka, Keiichiro Oishi, Koichi Suzaki (Mitsubishi Shindoh Co., Ltd.)  
 2008年11月11日受理

加圧圧力1 MPa毎に降圧し、外径を破壊するまで測定した。図2に各サンプルの耐圧試験結果を示す。

C1220のO材は低圧から塑性変形が始まり、加圧圧力の上昇と共に変形量は増加する。HRSCの場合、変形の開始圧力が高く、圧力上昇にともなう管径の増大率は低い。炉中材はO材よりも低圧で変形し始め、破壊圧力も低くなる。表2に0.2 mm外径が増した時および破壊時の圧力(以下それぞれ $P_{0.2mm}$ および $P_B$ と称す)を示す。

HRSCのO材の破壊圧力( $P_B$ )はC1220の1.5倍以上である。また、塑性変形初期の圧力( $P_{0.2mm}$ )を比較すると、その差は2.3倍以上に広がる。

HRSC炉中材の $P_B$ はC1220の1.6倍であり、 $P_{0.2mm}$ は2.8倍以上になる。またHRSCの炉中材の $P_B$ 、 $P_{0.2mm}$ は、C1220のO材と比較してもそれぞれ1.3倍以上、2.0倍以上で、800°Cに加熱されても耐圧性の低下は少ない。

図3に炉中材の耐圧試験後の破壊部分および外径が0.5 mm変形した直管部の表面状態を示す。C1220はサンプル全域に凹凸模様が見られ、変形部には微細な表面割れが生じている。一方、HRSCは滑らかな表面のままである。表面割れにより新生面が現れると、使用中の応力腐食割れ感受性が高くなり、また疲労強度も低下することが予想される。

図4に炉中材の断面マイクロ組織を示す。800°Cで5分間加熱してもHRSCは結晶粒度が10  $\mu\text{m}$ と微細組織を維持するのにに対し、C1220の結晶粒度は150  $\mu\text{m}$ に粗大化する。この

表2 耐圧試験結果.

サンプル		加圧圧力/MPa	
品 種	調 質	$P_{0.2mm}$	$P_B$
HRSC	O 材	40.1	52.3
C1220		17.0	34.3
HRSC	炉中材	34.3	46.6
C1220		12.0	29.1

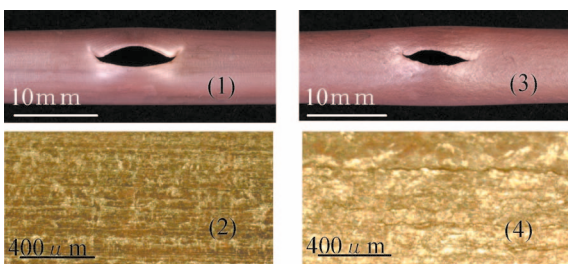


図3 耐圧試験後の破壊部および表面状態。(1), (2) HRSC-炉中材, (3), (4) C1220-炉中材 (2), (4) 外径0.5 mm変化部

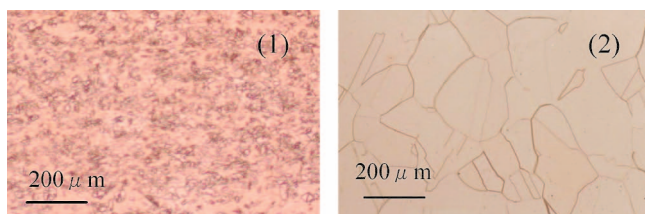


図4 炉中ろう付け装入後の金属組織。(1) HRSC, (2) C1220

HRSCの微細な結晶組織が破壊圧力はもちろん、変形開始圧力を高め、表面割れを生じさせさない結果をもたらしていると考えられる。

## (2) 絞り加工管の耐圧性

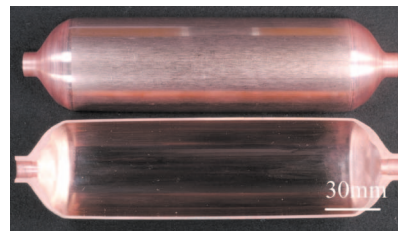


図5 HRSC絞り加工管(1.25 mm).

図5に絞り加工管の外観写真および断面形状を示す。絞り加工管の素材は調質H材、外径を55 mmとし、管厚をC1220は1.55 mm、HRSCは1.25, 0.96,

0.67, 0.48 mmとした。HRSCは熱間での加工性も良好であり、高い強度を有しているためスピニング加工中に座屈などすることなく、0.48 mmの薄肉材でも絞り加工することが可能であった。絞り加工管の両端部はスピニング加工により直管部分より厚肉になっている。なお、スピニング加工は高速回転するダイスに管材を押し当て、その摩擦により発熱させて、塑性変形させる方法であり、部分的に管材の温度は800°Cを越える。

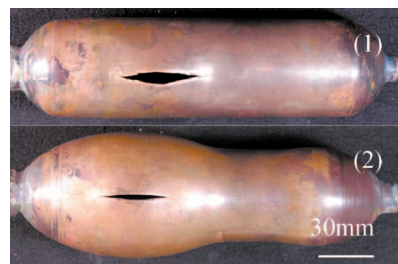


図6 耐圧試験後の絞り加工管。(1) HRSC(0.48 mm), (2) C1220(1.55 mm)

図6に耐圧試験後の絞り加工管の外観を示す。耐圧試験は手ろう付けにより絞り加工管の一端を封じ、他端に黄銅継手を接続した。破壊部は両サンプルとも絞り加工部近傍の直管部分で起こっている。HRSCは破壊

近傍に膨らみが認められるのみで、直管部および絞り加工部ともに大きな変形は認められない。しかし、C1220は破壊部を中心として大きく膨れており、直管部だけでなく絞り加工部にも変形が認められる。破壊部が絞り加工部近傍に認められるのはスピニング加工および手ろう付けの熱影響により、直管部分まで材料温度が上昇し、強度低下したためと推測する。なお、絞り加工部は、直径が小さく、厚肉になることによって直管部より耐圧性が高くなり、変形し難くなっている。

図7に絞り加工管の耐圧試験結果を示す。HRSCは破壊前までほとんど変形することなく、破壊圧力に達しているのに対し、C1220は低圧側で変形が始まり、圧力の上昇とともに外径変化量が大きくなる。

図8に管厚と $P_B$ および $P_{0.2mm}$ の関係を示す。HRSCの耐圧性はほぼ管厚に比例している。管厚1.55 mmのC1220と同等の破壊圧力および0.2 mm外径変化時の圧力を得るためのHRSCの管厚は、図8からそれぞれ0.77 mm、0.19 mmとなる。管厚から求めたHRSCの耐圧性( $P_B$ )はC1220の2倍であり、初期変形時の場合8倍と非常に大きな差が生じている。直管材と比較すると外径の大きい絞り加工管の方が

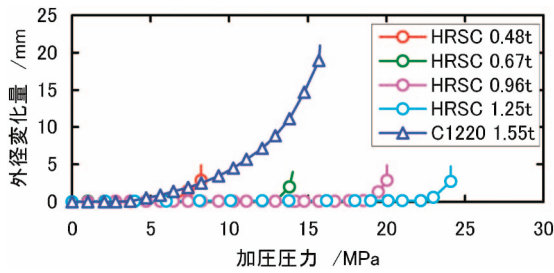


図7 絞り加工管の耐圧性.

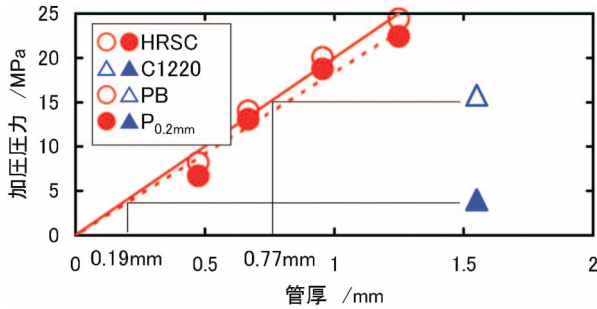


図8 管厚と耐圧の関係.

HRSCの耐圧性の向上率は大きく、HRSCの優位性がより明確になる。

### (3) 絞り加工管の金属組織

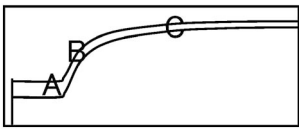


図9 金属組織観察部位.

図9に絞り加工管の断面マイクロ組織観察部位の模式図および図10に耐圧試験前の各部位の断面マイクロ組織を示し、硬さ測定結果も合わせて示す。絞り加工時の強加工部

(A)は材料とダイスが接触している時間が長く、また手ろう付けで直接加熱される部分であり、最も温度が上昇する部位である。その部分から直管部分へと移るにつれ加工時およびろう付け時の熱影響は小さくなる。HRSCの場合、A部は再結晶組織であり、結晶粒度は炉中材と同様に微細で $12\mu\text{m}$ である。B部は、スピニング加工による金属組織の流れが明瞭に認められ、ほとんど再結晶していない。C部は、素管時の加工組織のままである。一方、C1220は、いずれの部位も再結晶組織で、A部では炉中材と同様、結晶粒が $150\mu\text{m}$ に粗大化しており、B部で $75\mu\text{m}$ 、C部で $20\mu\text{m}$ である。

硬さについてHRSCの場合、ビッカース硬さは、素管で144であったのが、A部は、再結晶化により約1/2にまで低下している。B部では、依然として高い値を示し、C部においては素管とほぼ同じ値である。C1220は素管で110であったが、再結晶化によりいずれの部位も1/2から1/3に低下している。なお、HRSCはいずれの部位においても、C1220に比べ2倍以上の硬さ指数を示す。

透過電子顕微鏡で、HRSC絞り加工管のAおよびB部の析出物の分布を調べた結果を図11に示す。なお、B部はわずかに再結晶している部分を観察した。両部位ともに $\text{Co}_2\text{P}$ を主とする析出物が均一に分布していることが観察されるが、析出物の粒径はA部で約 $15\text{nm}$ 、B部は約 $4\text{nm}$ で、熱影響

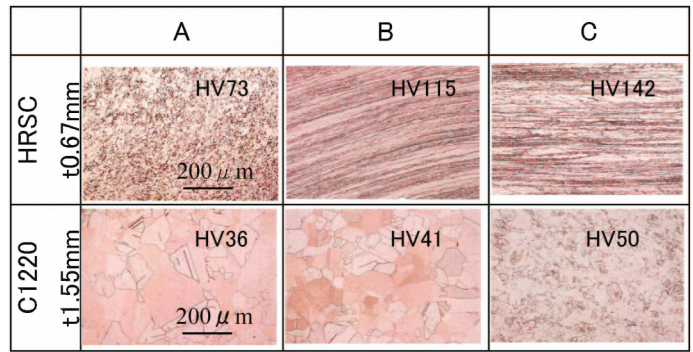


図10 絞り加工管の断面マイクロ組織および硬さ.

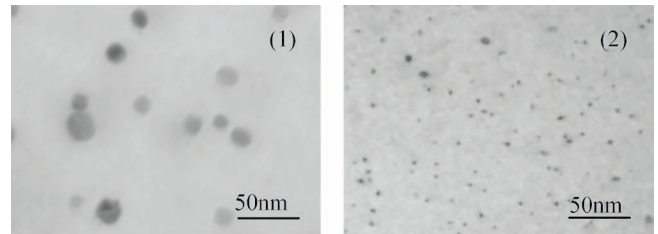


図11 HRSC絞り加工管のTEM像.

(1) A部：絞り加工先端、(2) B部：絞り加工部中央

の受ける度合いで差がある。A部は短時間ではあるが $800^\circ\text{C}$ を超える高温状態となるため再結晶化する。一方析出物は、温度上昇中に生成し、成長するが、多くは消滅することなく残留するため、再結晶粒の成長を抑制する。また炉中材においても、析出物の分布はA部と同様であることを確認している。他方B部では、Snの固溶とCo、Pの微細析出物により再結晶化を遅らせ、さらに析出粒子が微細であるので、幾分硬化に寄与していると考えられる。C部は、C1220が再結晶化する程度の熱影響しか受けなため再結晶化せず、素管と同等の高い強度を維持する。

以上のようにHRSC管は、スピニング加工やろう付けの熱影響を受け、高温に加熱されても再結晶化し難く、また再結晶後も再結晶粒の成長が抑制されるため、優れた耐圧性を備える。

## 4. ま と め

(1) HRSCの破壊圧力はC1220と比較し、絞り加工管で2倍、ろう付け炉に装入した直管で1.5倍であり、それぞれ管厚を1/2、2/3にすることが可能である。初期変形圧力に関しては、破壊圧力以上にその割合が拡がる。

(2) HRSCは $800^\circ\text{C}$ に加熱してもCoとPの析出物によって結晶粒の成長が抑制されるので直管材で高い耐圧性を示す。

(3) HRSCはスピニング加工、ろう付けの熱影響を受けるとも再結晶化し難く、高い強度を維持するため、絞り加工銅管において高い耐圧性能を示す。

## 5. 特 許

国内では特許第3878640号として成立し、国外にも出願している。