

機械的合金化法と熱間等方加圧による分散強化銅の機械的特性
Mechanical property of dispersion strengthening copper fabricated by mechanical alloying and hot isostatic pressing.

能登 裕之¹、菱沼 良光¹、室賀 健夫¹

Hiroyuki Noto¹, Yoshimitsu Hishinuma¹, Takeo Muroga¹

¹自然科学研究機構、核融合科学研究所

¹National Institute of Natural Science, National Institute for Fusion Science

原型炉ダイバータは、これまでにない極めて高い熱負荷を受けることが想定されており、優れた除熱性能が求められている。そのためヒートシンク材料として、熱伝導特性に優れた銅(Cu)基材料が期待されている。しかしこれまでの銅合金は、照射による軟化・硬化が顕著なのに加え、高温における組織の安定性が課題とされている。そこで我々は、これまで鉄基の分野で注目されてきたナノレベル酸化物粒子を高密度に分散させた分散強化(DS)技術に応用し、これまでにない新たな原型炉級高強度銅合金として、Nano-DS-Cuを提案した。

先行研究では、機械的合金化(MA)と熱間等方加圧(HIP)を組み合わせることにより、アルミニウム(Al)化合物を分散させたCu-1wt.%Alが試作された。このAl化合物はその製造工程で、純AlとしてCu母相に合金化された。これは参照研究において、酸化物より純金属状態で添加することにより特性が向上した結果に基づいており、Cu母相におけるスキヤベンジング効果(不純物のゲッターリングとゲッター化合物による強化)であると考えられる。

そこで本研究ではより不純物との親和性の高くゲッターリング能力の高いジルコニウム(Zr)を用い、同様の工程でCu-1wt.%Zrを試作した。さらに本研究では、製造工程による不純物混入に着目した。MA後の粉末は通常大気下で、HIP用軟鋼カプセルに封入される。しかし、我々核融合科学研究所では新たに、高純度アルゴンで満たされたグローブボックス内で封入ができる装置(高純度封入装置)を導入した。本発表では、この封入装置による製造工程中の大気曝露の有無が最終的なHIP後の機械的特性に与える影響について調査した。

本実験では、基材となる純銅として純度99.8%、平均粒径100 μ mの粒子を使用し、添加粒子として不純物のゲッターリング効果を期待し、純アルミニウム(純度:99.98%)と純ジルコニウム(純度:98.5%)を添加した。これら粉末は、

高純度不活性アルゴン雰囲気の大径グローブボックス内にて、Cu-1wt.%Alと Cu-1wt.%Zrとなるように調合された。調合粉末は、遊星型ボールミル装置により250rpm、1~40hrで機械的合金化(MA)処理に供され、500 $^{\circ}$ Cの高温脱気処理が行われた後、高純度封入装置内にて、軟鋼カプセル内に封入され、950 $^{\circ}$ C1時間150MPaの熱間等方加圧(HIP)が施された。得られた焼結材について、カプセルより開封後、電子顕微鏡(SEM,TEM)により組織観察を行い、硬さ試験および引っ張り試験(4 $\times$ 16mm サイズ)により機械的特性を評価した。またHIP後の試作材に関し、化学分析を実施し不純物の影響を調査した。

MA32時間の試料と従来材Glidcop[®] (Cu-Al)を比較した結果、同等程度の硬さ値にも関わらず、結晶粒径が従来材よりも粗大であった。これは、結晶粒微細化とは異なる機構が反映されたためと考えられる。この32時間MAを施したHIP後の試作材に関し、透過型電子顕微鏡観察を行うと組織内にナノレベルのAlおよびZr系化合物が確認できた。これは、合金化により固溶したAlおよびZrが強化粒子として、Cu母相から析出したためと考えられる。この2試料に関し、製造中の大気曝露の有無が降伏強度および引張強度に与える影響を調査した結果、両試料ともその強度に上昇がみられた。

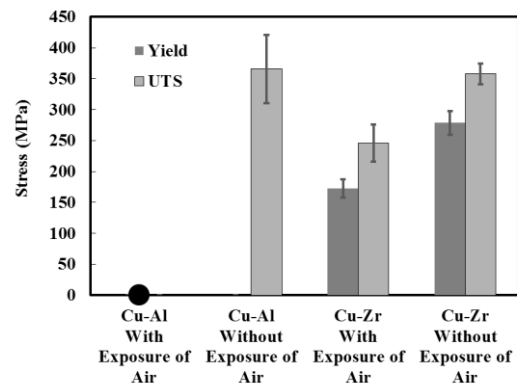


図1、HIP処理前の封入段階における大気曝露の有無がCu-1wt%AlとCu-1wt%Zrの降伏・破壊強度に及ぼす影響