



令和3年12月24日

報道機関 各位

東北大学金属材料研究所

必須の高強度・高伝導性銅合金の開発に新たな道 SDGsの達成への貢献

【発表のポイント】

- 高い強度と熱伝導性を併せ持つ複合酸化物分散強化銅合金(※1)の開発に成功しました。
- ジルコニウムとイットリウムの複合酸化物の高密度リアルナノ分散を実現しました。
- 高温作動ヒートシンク等への適用に向けて、大量製造技術開発の進展が期待されます。

【概要】

銅合金は優れた熱伝導性と強度を併せ持つことから、SDGs 達成に不可欠な高効率のエネルギー輸送・変換機器において必須の材料です。ただし銅合金を高温で用いるためには、材料を強化する析出物や分散粒子が高温でも安定であることが必要で、それには酸化物が期待されています。東北大学金属材料研究所/大学院工学研究科 博士前期課程学生の Gao Zimo 氏(研究当時)、東北大学金属材料研究所の余浩助教、笠田竜太教授らの研究グループは、メカニカルアロイング法(※2)によってイットリウムとジルコニウムの複合酸化物をナノサイズの分散粒子として銅中に混合した新しい酸化物分散強化銅合金を創り出すことに成功しました。新合金は、従来のイットリウム酸化物を分散粒子とする合金の1.5倍の強度があります。また、強度上昇に伴う熱伝導特性の低下を抑制するための合金製造や熱処理の条件に関する指針が得られました。

本研究成果は、未来のエネルギー源として開発が進められている核融合炉の厳しい環境に耐えるヒートシンク用の開発を進める中で得られたものですが、高温で作動するヒートパイプや熱交換器等にも適用できる可能性があります。今後は大量製造に向けた技術開発や、材料特性の評価を進めます。

本成果は2021年12月21日に、Journal of Alloys and Compounds 誌にオンラインで公開されました。

【詳細な説明】

○研究背景

SDGs において掲げられた目標のひとつである「エネルギーをみんなに そしてクリーンに」を達成するためには、高効率なエネルギー輸送を可能とする材料技術の革新が不可欠です。特に、高温で動作する機器のエネルギー効率の改善のためには、冷却法あるいは熱輸送法の改善が重要な課題です。銅合金は、優れた熱伝導特性を有することから、ヒートパイプ等の熱輸送機器における伝熱用の構造材料として広く用いられています。また、未来のエネルギー源として期待されている核融合炉において熱を受け止めるダイバータと呼ばれる機器のヒートシンクに用いることも期待されています。

伝熱機器を高温で動作させるために、構造材料には高い強度が求められます。従来の多くの銅合金は、室温における強度特性向上が主目的であり、高温で十分な強度を得ることには限界がありました。高温での利用を目指した銅合金として、内部酸化法(※3)という手法を用いることによって銅中にアルミニウム酸化物(アルミナ)を粒子状に微細分散させた酸化物分散強化銅合金が商用化されています。

酸化物分散強化合金の高温強度を更に向上させるためには、酸化物粒子を更に微細にナノメートルサイズまで微細化して高密度に分散させる必要があります。これまでに当研究グループでは、メカニカルアロイング法によってイットリウム酸化物粒子を銅合金中に緻密かつ微細に分散させることに成功し、内部酸化法で得られた合金と同等の強度特性を得ていましたが、更なる強度の増加を目指して合金開発を進めてきました。

○成果の内容

今回の研究では、これまでに成功していたイットリウム酸化物粒子分散強化合金の組成に第 3 の金属元素粉末であるジルコニウム粉末を加えてメカニカルアロイングを行って得られた粉末を放電焼結し、更に熱間鍛造することによって合金を作製しました。得られたサンプルについて、硬さや熱伝導特性とそれらに係る微細組織を観察した結果から、次のような結論が得られました。

- 新合金のビッカース硬さは従来のイットリウム酸化物分散強化銅合金に比べて 1.5 倍となりました。室温での降伏応力は 700MPa 相当であることが推定されました。
- 新合金中の分散粒子は、添加したイットリウム酸化物とジルコニウムが反応したイットリウム・ジルコニウム複合酸化物となっていました。その結果、母相である銅との整合性が高くなったことが微細分散の要因となっていることが示唆されました。
- 新合金の熱伝導性(熱拡散率)は、純銅に対して、室温で 50%、500℃で 70%程度でしたが、475℃での熱時効処理によってそれぞれ 60%、80%まで向上しました。
- イットリウム・ジルコニウム複合酸化物粒子は、酸化物分散強化鉄鋼材料中で優れた高温安定性を有することが明らかとなっており、新合金についても高温で用いる上で優れた特性を示すことが期待されます。

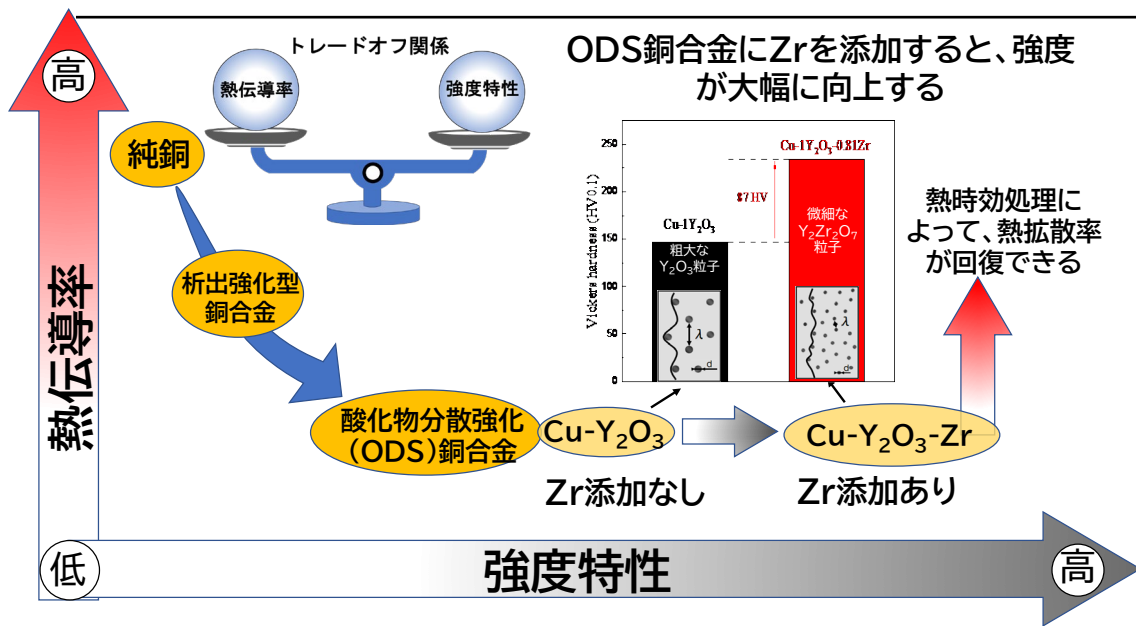


図 開発した酸化物分散強化銅合金の特性

○意義・課題・展望

高温で用いる構造材料は、材料強度を高めるために高温でも安定な分散粒子を微細かつ緻密の有していることが求められます。本研究は、酸化物分散強化合金中の酸化物粒子をナノサイズ化するために、鉄系合金で見出した合金設計指針である第3の活性金属元素を添加する方法による複合酸化物化が銅合金においても有効であることを実証しており、多様な酸化物分散強化合金の実現が期待されます。

また、本研究成果は高温用銅合金に新たな道を拓くものであり、今後は大量製造技術や材料特性評価に関する研究開発への進展が必要となります。また、SDGsの達成への貢献に向けて、本材料の核融合炉への適用性を調べていくとともに、その他の高温機器への活用を通じたエネルギー効率の改善の可能性についても検討を進めたいと考えています。

○発表論文

雑誌名: Journal of Alloys and Compounds

英文タイトル: Effects of Zirconium Addition on the Material Properties and Microstructure of ODS-Cu Alloys

全著者: Zimo GAO, Hao YU, Diancheng GENG, Yuchen LIU, Sosuke KONDO, Yasuki OKUNO, Ryuta KASADA

DOI: doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.163328

○専門用語解説

※1 酸化物分散強化合金

高温まで安定な酸化物粒子を金属中に微細緻密分散することによって、室温のみならず高温での強度を向上させる合金。これまでに鉄基、ニッケル基、プラチナ基の酸化物分散強化合金が開発されている。英語では、Oxide dispersion strengthened alloy と書かれるため略して ODS 合金とも呼ばれる。

※2 メカニカルアロイング法

通常、合金は溶解によって製造されるが、金属や化合物の粉末を機械的に混合することによって合金を得る方法がメカニカルアロイング法である。固体状態でも機械的に繰り返し混合することによって、原子レベルでの混合が可能になる。

※3 内部酸化法

あらかじめ製造した銅とアルミニウムの合金の細線などを酸化物中に埋め込み、合金中のアルミニウムを酸化させて分散粒子とする方法。

○助成

本研究は、核融合科学研究所原型炉研究開発共同研究「酸化物分散強化銅合金の大型化に関するフィージビリティ研究」(NIFS21HDAF008)、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)「超微小試験技術による照射脆化のミッシングリンク解明」(19H02643)、基盤研究(A)「ダイバータ用銅合金の開発」(16H02443)、東北大学金属材料研究所共同研究の支援を受けて実施されました。

本件に関するお問い合わせ先

◆研究内容に関して

東北大学金属材料研究所

原子力材料工学研究部門

教授 笠田 竜太

TEL:022-215-2065

E-mail:r-kasada@imr.tohoku.ac.jp

◆報道に関して

東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班

TEL:022-215-2144 FAX:022-215-2482

E-mail:press.imr@grp.tohoku.ac.jp