

レアメタル対策における硬質材料の本格研究

コバルト・クロムフリーの耐熱性超硬合金

硬質材料とレアメタル

金属を高精度に加工する切削工具や金型に利用される硬質材料として超硬合金が知られています。超硬合金は、一般的にタングステンカーバイド(WC)をコバルト(Co)で焼結した複合材料であり、高硬度で高強度の材料です。しかし、超硬合金は希少金属(レアメタル)であるタングステンやコバルトなどを用いた材料であり、近年のレアメタルの供給不安から将来的に安定して生産することへの不安がもたれています。産総研では、セラミックス粒子と金属の複合材料である金属基硬質材料について組織微細化による高機能化を目指し、新しいプロセス技術の開発を行っています。特に、金属基硬質材料によるレアメタル使用量の低減、あるいはレアメタルを代替する材料開発を積極的に進めています。

メカニカルアロイング法を用いた硬質材料の合成

これまで金属基硬質材料(例えば超硬合金やサーメット)はセラミックス粒子と金属粉末を湿式で均質に混合して成形(プレス成形など)した後、加熱して金属の液相が生成する温度域で焼結して作製されてきました。しかし、このプロセスでは焼結中にセラミック

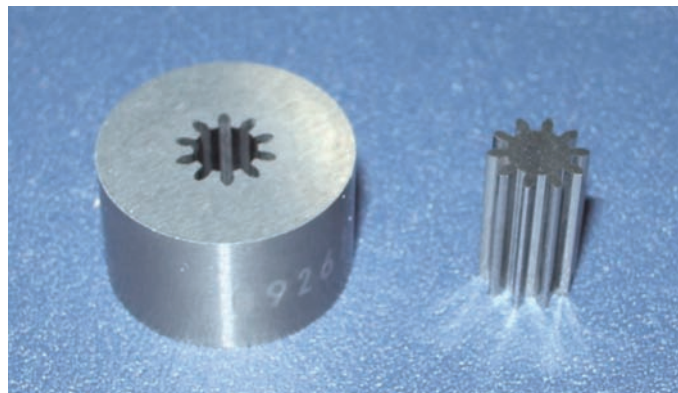


図1 放電加工と研削加工で作製したWC-FeAl金型の外観(左15mmφ) これまでの超硬合金と同じ条件で加工できる。

ス粒子の粒成長や金属とセラミックスの反応による脆化相の生成により特性の低下が生じる場合があります。そこで、複合材料を構成する元素粉末を鋼球とともに密閉容器に入れ、乾式にて連続した粉碎と混合を繰り返すこと(メカニカルアロイング:MA法)により微細混合粉末を作製する技術を開発しました。この粉末を短時間で焼結することにより、焼結中に目的の硬質粒子や金属間化合物を合成して微細組織化した金属基硬質材料が作製できることを明らかにしました。例えば、チタン(Ti)、炭素(C)、ニッケル(Ni)の粉末をMA法で処理すると非平衡相を含む合金粉末が作製でき、パルス通電焼結法で固化成形すると200nm程度のTiC粒子が分散したTiC-Ni系複

合材料(サーメット)が合成できました。この材料は、焼結中にTiとCが燃焼合成反応によりTiC粒子を生成するため、これまでの複合材料より微細な硬質粒子を分散しています。

同じように、WC、鉄(Fe)、アルミニウム(Al)の粉末をMA法で処理した後に焼結して新しいWC-FeAl超硬合金を作製することに成功しました。これまで超硬合金にAlを添加すると強度が著しく低下することが知られていました。一方、超硬合金を安価なFeで作りたいという要望はこれまでもありましたが、得られた超硬合金が“錆びる”という問題があり、技術的に実現できませんでした。しかし、FeにAlを加えるという発想の転換で、Feを結合相とした超硬合金における最大の課題である“錆び”を解決することができました。ただ、開発当初のWC-FeAlは室温における強度が0.5GPa程度しかなく、硬質材料として実用化できるレベルではありませんでした。

液相を利用したパルス通電焼結によるWC-FeAl合金の固化成形

MA法を使って合成したWC-FeAlは、焼結過程でFeAl金属間化合物相が合成され目的の硬質材料となります



大学卒業後、民間企業を経て、工業技術院名古屋工業技術試験所へ。専門は冶金学であるが、ものづくりの基本となる鑄造や粉末冶金を武器に現在はレアメタル対策技術を担当。材料の非平衡化技術、高速・低温焼結技術、電磁浮揚溶解・鑄造技術、凍結鑄造技術などに従事。チタンを中心に、金属と軽元素の化合物に関する研究がライフワーク。

小林 慶三 (こばやし けいぞう)

kobayashi-keizo@aist.go.jp

サステナブルマテリアル研究部門

相制御材料研究グループ (中部センター)

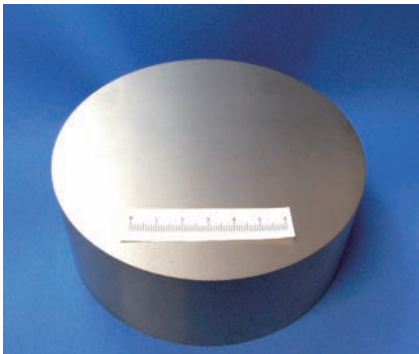


図2 WC-FeAl 焼結体 (140mm φ) の外観
パルス通電焼結により有機系の成形助剤なしで、金型素材となる大型焼結体を作製できる。

が、残存する気孔や長時間の焼結に伴う反応生成物により焼結体の強度を高くできませんでした。しかし、FeAl相の合成過程を詳細に調べた結果、Alの液相が生成する温度域で加圧成形し、その後の加熱でFeAl相を合成できることを見いだしました。このプロセスでは有機物の成形助剤を使わず成形でき、さらに焼結体の気孔率を大幅に減少できることがわかりました。その結果、これまでに報告されているWC-FeAlに比べて大幅に強度を高めた(2.0 GPa以上)焼結体を作製できました。これにより、この材料を超硬合金として実用化できるという期待が一気に膨らみました。なお、この材料を焼結する技術として加圧しながら短時間で加熱できるパルス通電焼結が最も適していると考えています。パルス通電焼結は成形用の型と粉末に直接電流を流して固化成形する技術であり、省エネルギー型の焼結技術ですが、生産性や大型成形体の作製には課題がありました。

実用化に向けた課題の解決

新しい材料の実用化を進めるためには、これまでの材料と同等の性能に加えて材料固有の特性や従来技術の適用性などを明らかにする必要があります。

す。産総研では“ハイテクものづくり”の中で、開発したWC-FeAlがこれまでの超硬合金と同程度の硬度を示し、同程度の効率で放電加工や研削加工ができること(図1)を明らかにしました。そして、高強度を有するWC-FeAlはパルス通電焼結により作製できますが、成形途中で液相を利用するプロセスで140 mm径の大型焼結体(図2)も作製できることを確認しました。これにより、金型などの部材を作製できるものと期待されます。また、WC-FeAlは大気中で900℃に保持してもこれまでの超硬合金より酸化しにくく(図3)、銅に対する摩擦摩耗量が小さいという独自の特性をもっています。また、結合相であるFeAl相のAl量により磁性/非磁性を調整することができ、これまでの超硬合金の用途を拡大できることを確認しました。表面に摩擦低減および表面硬化のためにDLC(ダイヤモンドライクカーボン)をコーティングすると、これまでの超硬合金(WC-Co)より密着性に優れることもわかりました。さらに、WC-FeAl超硬合金の機械的特性に及ぼすWC粒径やFeAl量の影響についても詳細に検討することができました。

これらの基礎研究をベースとして、現在WC-FeAlの特性を活用した実用化研究を民間企業と協力しながら推進しています。なお、WC-FeAlはコバルトを使わないだけでなく、クロムを添加せずに高い耐酸化性を示すこと、これまでの超硬合金より少ないタンゲステン使用量で同じ硬度が得られることから総合的なレアメタル対策材料の一つと考えています。一方、タンゲステンの使用量低減技術に関しては、超硬切削工具を対象として別途研究開発を行っています。

今後の展開

資源の乏しいわが国において産業が持続的に発展するためには、埋蔵量が少なく偏在性の高いレアメタルを効率的に活用する技術が不可欠です。特に、レアメタルを添加したことによって発現する機能のメカニズムを明らかにし、使用量低減や機能の一部を代替できる材料を提案することが重要だと考えられます。しかし、すでに工業化されている機能性材料はレアメタルの使用を前提として完成しており、レアメタルの使用量を低減する技術や代替する技術を民間企業だけで開発することはリスクが大きすぎる技術課題と考えられます。そこで、これまで産総研で開発してきた基盤技術を民間企業にご活用いただき、代替材料の特性を最大限に利用した用途開発を行うことでレアメタル対策技術を一層社会に普及できるものと考えています。今回紹介したWC-FeAlは硬質材料の開発事例ですが、この材料を用いた加工技術は省エネルギー加工や高効率加工につながりますので、今後もさまざまな分野の方々と協力して用途展開を図っていきたくと考えています。

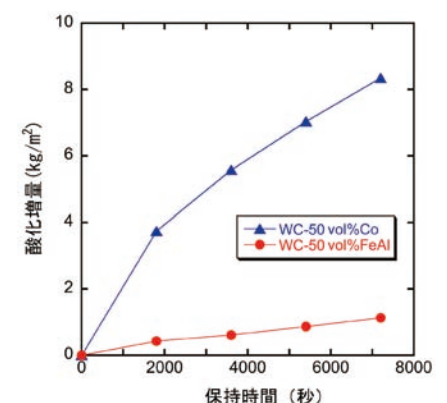


図3 900℃の大気中で保持した場合の重量変化
これまでの超硬合金(WC-50 vol%Co)に比べて開発材料(WC-50 vol%FeAl)は酸化されにくく、高温で使用できる。