

# 耐熱性・耐酸化性を高めた環境に優しい超硬合金

## 金属間化合物の利用で新しい機能性超硬合金を

資源的に豊富なFe（鉄）を利用して、耐酸化性に優れた超硬合金を開発した。Feの最大の問題であった錆をFeAl金属間化合物にすることで解決し、焼結時に燃焼合成反応を利用することで緻密化に成功した。このプロセスで作製したFeAl-WC超硬合金の抗折力はこれまでに報告されている値の1.5倍以上であり、従来の超硬合金の7倍以上の耐酸化性を示した。

A hard metal as a new concept with a binder of FeAl intermetallic compound has been successfully fabricated via combustion synthesis reaction. The obtained FeAl-WC has had 1.5 times higher transverse rupture strength than the other studies. And it has revealed 7 times as good oxidation resistance as a commercial hard metal. Moreover, the control of Al content for FeAl-WC has made it possible to prepare both magnetic and nonmagnetic materials.

### 結合相に求められる新たな機能

超硬合金とは、硬質なWC（炭化タングステン）粒子を遷移金属で結合した複合材料であり、WC粒子との塗れ性（なじみやすさ）が優れることからCoを用いたWC-Co合金が一般的である。この超硬合金は優れた機械的特性をもっていることから、切削工具、耐摩耗工具、土木鉱山工具として幅広い分野で利用されている。また、さらに過酷な環境下での使用については、非磁性で耐食性に優れたWC-Ni-Cr超硬合金も開発されている。しかし、これら従来型の超硬合金の結合相であるCo、Ni、Crは希少金属材料である上、近年では第一種指定化学物質に指定されるなど、規制が年々強化されつつある。

また、環境問題から切削工具では切削油フリーの機械加工が望まれており、耐熱性や耐酸化性の改善が切望されている。

### 新しい超硬合金の開発

このような社会的要求に対して、私たちの研究グループでは、金属間化合物FeAlを結合相とする新しい超硬合金を提案し、研究を行ってきた。FeAlは、その構成元素が環境に優しく、地球上に豊富に存在しているとともに、耐酸化性に優れているなどの特徴をもつ。しかし、融点差の大きなFeとAlを目的の組成で均質に合金化することは難しく、FeAlの成形性も悪いことから実用化が遅れていた。

**松本 章宏** Akihiro Matsumoto  
akihiro-matsumoto@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 主任研究員

アモルファス、準結晶、結晶などの相を積極的に制御することによって既存材料の高性能化や新材料開発に取り組んでいる。ここで紹介したテーマの他に、Fe<sub>2</sub>VAl熱電材料の開発とモジュール化、準結晶型水素吸蔵合金の開発などに力を入れている。

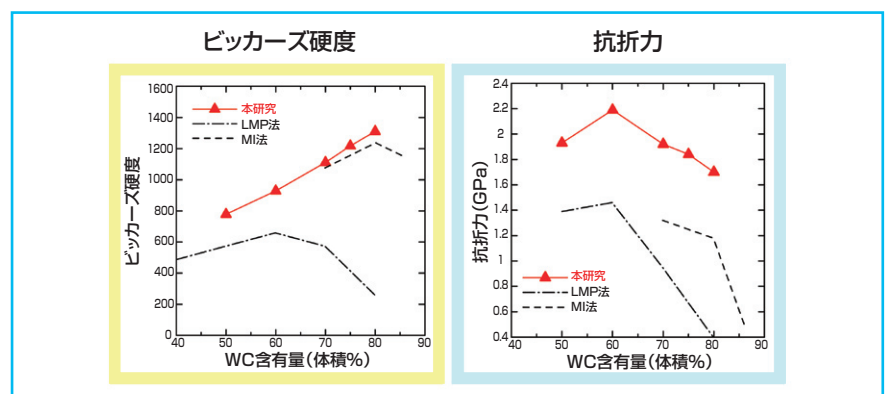
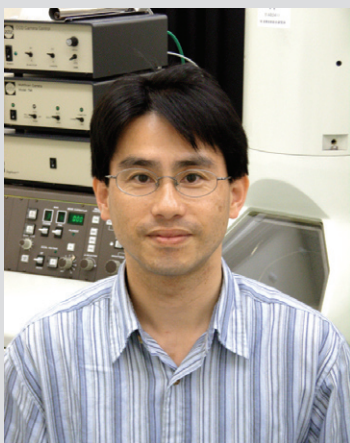


図1 FeAl-WCの機械的特性

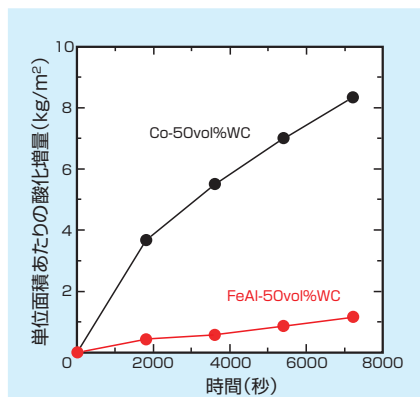


図2 FeAl-WCの酸化試験

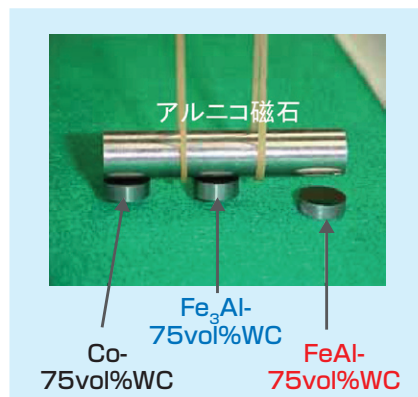


図3 非磁性超硬合金としてのFeAl-WC

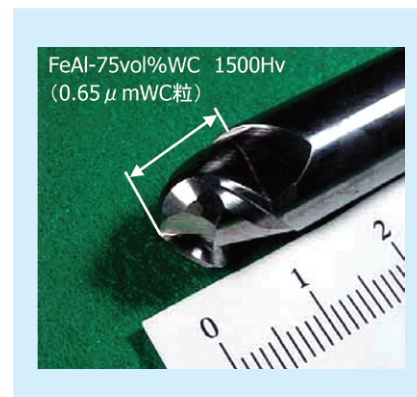


図4 FeAl-WC エンドミル

そこで、FeAl-WCの作製は、粉末冶金技術をベースとして、焼結の過程でFeAl金属間化合物が燃焼合成反応で生成するプロセスを利用した。具体的には、Fe粉、Al粉およびWC粉からなる混合粉末を、パルス通電焼結装置を使用して50MPaの加圧下、真空中(40Pa以下)で1373Kまで加熱することにより焼結体を作製した。

粉末粒径が焼結体の組織と機械的特性に与える効果について調べたところ、Fe粉が微細であるほど組織が均質となり、その機械的特性も向上することが分かった。図1に、Fe粉(4-7μm)、Al粉(10μm)およびWC粉(2.5μm)を用いて作製したFeAl-WC材のピッカース硬度と抗折力のWC含有量依存性を示す。比較のため、これまでに報告されているFeAl-WC複合材料の研究結果を示す。SchneibelらはLMP(Liquid Phase Sintering of Mixing Powders)法、SubramanianらはMI(Melt Infiltration)法によってFeAl-WCを作製して機械的特性を評価している。私たちのプロセスで作製したFeAl-WCは、LMP法やMI法に比べて1.5倍以上の高い抗折力が得られており、世界のトップレベルにあることがわかる。これは、このプロセスでは

WC含有量にほとんど関係なく、98%以上の高い相対密度をもつ成形体得られることに起因している。

#### さらなる可能性と実用化の展望

図2にWC体積率を50vol%としたFeAl-WCとCo-WCを1173Kの大気中で最大2時間保持した場合の酸化に伴う重量変化を示す。FeAl-WCの酸化増量は、Co-WCの約1/7程度であり、優れた耐酸化性をもっていることがわかる。これは、FeAlの表面に耐酸化性に優れたAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜が形成されるためである。

Fe-Al系金属間化合物は、Al濃度が35at%を境にして強磁性から常磁性に遷移することが知られている。図3に、WC体積率を75vol%としたCo-WC、Fe<sub>3</sub>Al-WC(Fe<sub>3</sub>AlのAl濃度は28at%)、FeAl-WC(FeAlのAl濃度は40at%)に、アルニコ磁石を近づけた際の様子を示

す。前二者は磁石に引き寄せられるが、FeAl-WCは磁石につかないことがわかる。VSM(振動試料型磁力計)で飽和磁化を測定したところ、FeAl-WCはCo-WCの約300分の1程度であり、市販の非磁性超硬合金と同程度であった。このことは、結合相である金属元素の種類を変えることなく、Al濃度を変化させるだけで、FeAl-WCの磁性・非磁性を制御できるというユニークな特徴を示している。

図4に、φ10×10mmのFeAl-75vol%WCを作製し、シャンクにロウ付け後、3枚刃を持つボールエンドミル形状に加工した例を示す。FeAl-WCは市販の超硬合金と比べて同程度の加工性があることがわかった。

今後は、さらに高硬度・高強度のFeAl-WCの開発を目指すとともに、量産化が可能なプロセスの検討を行う予定である。

#### 関連情報

- A.Matsumoto, K.Kobayashi, T.Nishio and K.Ozaki : PM2004 Conference Proceedings, Vol.3, p. 641-645 (2004).
- 「高硬度で耐酸化性に優れた超硬合金」(特開平7-3357).