

**B3** Materials

## アクアREVOドリルマイクロ専用超硬合金の開発

Development of Cemented Carbide for AquaREVO Drills Micro

**キーワード** 超硬合金・超々微粒系合金・マイクロドリル・高強度  
粒成長抑制技術

マテリアル事業部／材料開発部

竹村 真人 Makoto Takemura

## 要 旨

NACHIでは、2018年より工具の基本要素である“材料”、“形状”、“コーティング”の全てを一新した「アクアREVOシリーズ」の販売を開始し、超硬ドリル・エンドミルなどを多数市場投入している。

今般、工業製品の小型化や高精度化がすすむ中、より小さくより複雑な部品を加工できる小径工具が求められている。穴あけ加工用工具としては、マイクロドリルがその一つである。

マイクロドリルは刃先径が1mm以下となる場合もあり、その母材としては細くても簡単には折れない高強度な材料であることが要求される。

NACHIでは「アクアREVOシリーズ」としてこれまでラインナップされていなかった刃先径2mm未満のマイクロドリル「アクアREVOドリルマイクロ」を開発することとなり、マテリアル部門ではその専用母材となる超硬合金の開発にとり組んだ。

本稿では、本開発材の主な特徴を、その開発経緯とともに紹介する。

## Abstract

In 2018, NACHI started selling “AquaREVO series” which renewed the tool’s entire basic factors, material, geometry and coating. Since then, NACHI has been marketing many carbide drills, end mills and others.

Recently, a small-diameter tool that allows the drilling of smaller and complicated parts has been demanded because of the advancement of smaller industrial and high-precision products. A micro drill is one of such drills.

The cutting edge diameter of the micro drill could have 1 mm or less in some cases. Thus the base material has to be highly rigid so that the tiny cutting edge does not easily break.

NACHI has decided to develop “AquaREVO Drills Micro”, a micro drill with a cutting edge diameter being below 2 mm, which will be added to the lineup of “AquaREVO series”. Thus Materials Division has worked on developing a cemented carbide material as an exclusive base material.

The article introduces the main characteristics of the developed material and its development history.

## 1. 本材種の特徴

マイクロドリルは刃先径が非常に細く1mm未満になるものも存在する。その細さゆえに切削条件や切りくず排出状況により突発折れが起きやすいことが課題となっている。そのため、切れ刃の摩耗抑制に必要な高い硬度と、切削中の突発折れやチッピングに耐えることのできる高い強度(抗折力)の両立が求められる。

本開発材は、超々微粒系のWC粉末をベースに合金成分の最適化を行ない、抗折力と硬さを高い次元で両立させることを狙った。

## 2. 超硬合金の概要と高強度化

超硬合金の定義は、周期律表第IVa、Va、VIa族(4、5、6族)の9種類の金属であるTi、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Wの炭化物の1種または2種以上の粉末と、鉄族金属であるFe、Co、Niの粉末をいずれか1種以上を用いて焼結結合した合金である。この定義からすると、TiCやTiNを主成分とするサーメットなどの合金も超硬合金と呼べるが、WC-Co系合金が最も機械的性質に優れるため、一般的に超硬合金といえばWC-Co系合金を指している。

切削工用具用超硬合金において、一般的に重視されている機械的特性として、抗折力・硬度・破壊靱性がある。超硬合金は粘り強さのあるCo金属相の割合を増加させると抗折力が向上するが、一方で、セラミックスである硬質相のWCの割合は相対的に減少することになるため、硬度は低下する傾向にある。

これに対して、WC粒度を細かくしていくと、図1の模式図に示すようにWC同士のすきまを埋めるCo相の平均厚みが薄くなり、塑性変形に対する抵抗が増すため、その硬さは高硬度側へ遷移する。すなわち、Co量を増やすと同時にWCを微細化させることで、抗折力を上げると同時に、硬度も維持させることが可能となる。(図2)

破壊靱性については、タップや掘削用ビットなどの強い衝撃が加わる工具において重視されている。Co量が多いほど、また、WC粒度が粗いほど高くなる傾向にあるため、これら用途向けの超硬合金は、切削工用具向けのものに反して低い硬度となっている。

本開発材においては、マイクロドリルに求められる耐折損性に繋がる高い抗折力と、切削性能や長寿命化に繋がる高い硬度を両立させることを追求した。

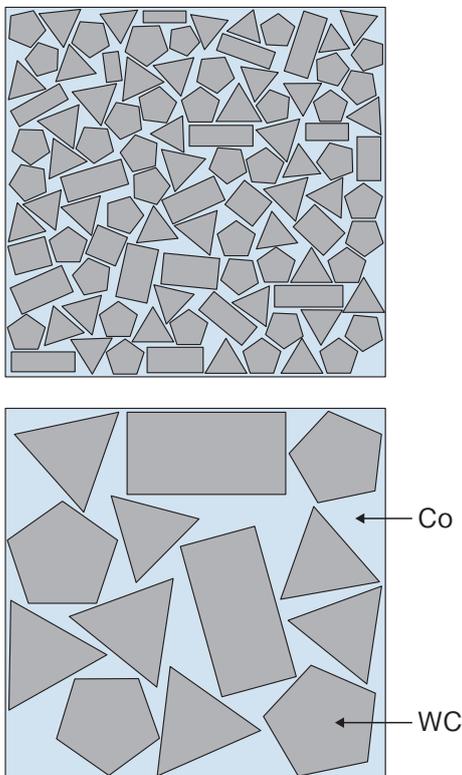


図1 WC粒度とCo厚み(模式図)

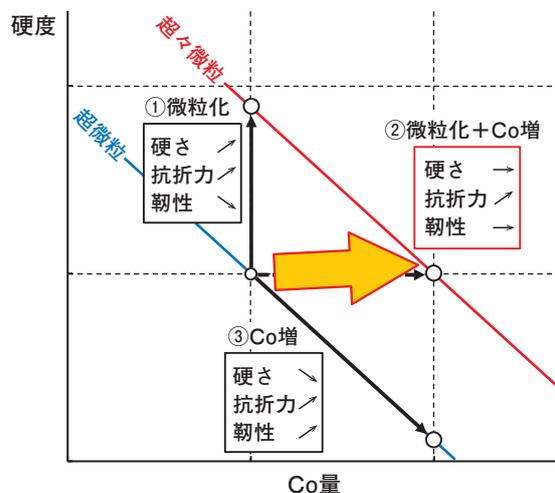


図2 WC粒度・Co量・機械的的特性の関係

### 3. 方策

まず超硬合金は、粉末冶金法でつくられる材料であり、その製法には焼結というプロセスが存在する。焼結とは、粉体を融点以下の高温に加熱したときに、粉体の粒子が相互に結合し緻密な多結晶体となることである。このとき、粉体の粒子が相互かつ緻密に結合するには、何らかの物質移動が必要となる。

超硬合金の場合、溶融したCoを介して、WCの固溶-析出過程を物質拡散の移動経路とする“液相焼結”により緻密化がすすむ。このとき、Co中に固溶した微細WCは、未固溶の大きなWC粒子を核として表面に析出することで粗大化していく。さらに、その粗大化傾向はWC粒度が細かいほど顕著である。粗大化し過ぎたWCは、前項の理由により、硬度を低下させる要因となり、同時に、強い曲げの力が作用した際に応力集中しやすい組織欠陥となってしまうため抗折力が低下する。これらの機械的性質の低下を防止するため、粒成長抑制剤と呼ばれる炭化物がしばしば添加される。

VC(炭化バナジウム)は焼結中のWC粒成長抑制効果が最も高く、WC粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の超硬合金に

広く適用されている。ただし、VCの添加に伴い耐食性が低下することがあるため、耐食性向上効果のある $\text{Cr}_3\text{C}_2$ (炭化クロム)との併用が基本となる。 $\text{Cr}_3\text{C}_2$ も焼結時の粒成長抑制効果を有しており、その効果は添加炭化物が融液中で飽和する条件下においてはVC、 $\text{Mo}_2\text{C}$ に次いで高い<sup>1)</sup>(ただし $\text{Mo}_2\text{C}$ での粒成長抑制には多量添加が必要なことや、析出相が著しく粗大化することによって合金強度の低下を引き起こすため、超硬合金へはあまり添加されない)。

本開発材についても、VCを軸に粒成長抑制剤を複合添加しており、これらの添加割合を調整、さらには製造工程を見直すことにより、適切なWC粒度を実現させている。

図3に、開発時の初期試作品と開発材それぞれのSEM組織写真を示す。図中灰色に見える部分がWC、すきまの黒く見える部分がCoである。粒成長抑制剤の少ない初期試作品よりも、粒成長抑制剤を一定量添加した開発材の方が微細かつ緻密な組織になっていることが分かる。

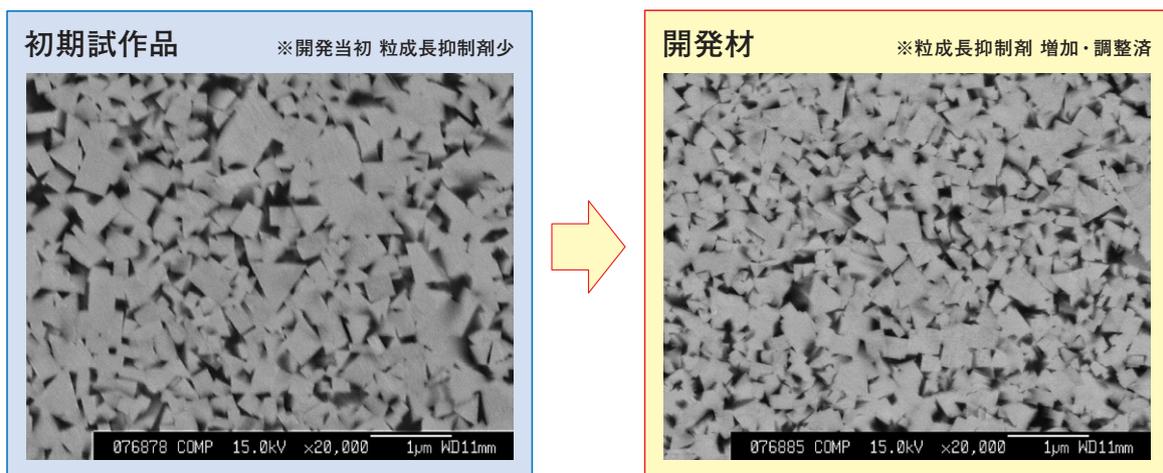


図3 初期試作材と開発材のWC粒度比較

## 4. 材質特性

開発過程をステップごとに簡単に説明する。(表1)

表1 開発ステップ概要

	内容	結果(目標値比)	
		抗折力	硬度
STEP-1	既存材種(超々微粒系WCにVC添加)をベースに、Co量と粒成長抑制剤を増加	○	△
STEP-2	STEP-1に対し、VCの添加量を大幅増加(狙い:WC微細化促進による硬度UP)	×	○
STEP-3	STEP-1,2の結果から、VC含む粒成長抑制剤の添加量を調整	○	○

### STEP-1

まずは、超々微粒系WCにVCを添加した既存材種をベースに、高Co化したものを試作した(Co量に対する粒成長抑制剤の添加割合は変更せず)。結果、抗折力は向上したが、一方で、硬度は目標に対し低い値を示した(これを初期試作品とする)。

### STEP-2

この初期試作品に対し、VCの添加量を大きく増加し、WCの微細化をさらに促進させて硬度の向上を狙った。結果、硬度の向上は確認できたが、抗折力は著しく低下した。

この原因として、炭化物の析出相の出現が考えられる。VCなどの粒成長抑制剤はWCと同じく、焼結中に液相となっているCoに一旦固溶するのだが、このときの固溶可能量には上限がある。結果として、STEP-2におけるVC添加量はCo量に対して過多であり、固溶しきれなかった分が組織中に晶出した結果、組織欠陥として作用したのではないかと考えた。

### STEP-3

その後、粒成長抑制剤のバランス調整と試作を繰り返し、最終的に抗折力・硬度ともに狙い通りの性能を示す「アクアREVOドリルマイクロ」専用材種の成分設計が完成した。

とくに、抗折力は既存の「アクアREVOドリル」用材種に対し20%向上させることに成功した。(図4)

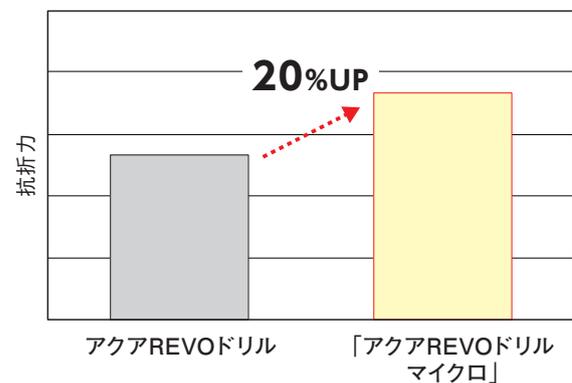


図4 既存製品母材との抗折力比較

## 5. 切削性能

図5、図6に本開発材を用いて炭素鋼(S50C)を加工した事例を紹介する。試験材種は開発材と前項の初期試作品、および、従来マイクロドリル用材種の3種。母材そのものの性能差を評価するため、刃先形状および、コーティングは従来マイクロドリルと同条件とし、刃先径1.1mmで深さ5.5mm(5D)の止まり穴加工を切削速度60m/min、送り量0.020mm/revで0.22mステップ加工にて実施した。

図5に加工穴数毎のコーナー摩耗量を示す。このグラフから、コーナー摩耗の進行は開発材が最も小さいことが分かる。また、寿命の判定基準をコーナー摩耗

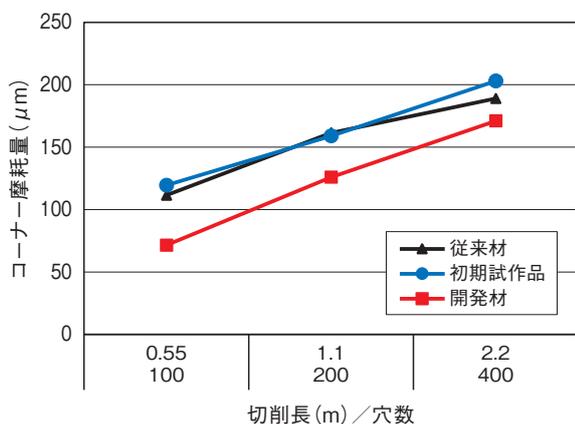


図5 炭素鋼(S50C) 穴あけ加工 コーナー摩耗量 (性能評価は従来品の形状にて比較)

200μmとしたとき、従来材および、初期試作品の寿命が平均500穴であるのに対し、開発材の寿命は平均700穴となり、従来比約1.4倍の加工長となった。(図6)

この開発材に対し、NACHI工具部門にて剛性を十分に確保しながらも切削性・切りくず排出性に優れた溝形状を設計、さらには、マイクロドリル専用REVO-Dコートと表面超平滑化処理も施した。こうして開発された「アクアREVOドリルマイクロ」のS50C切削平均寿命は従来品比5倍以上、SUS304切削においては2倍となっている。

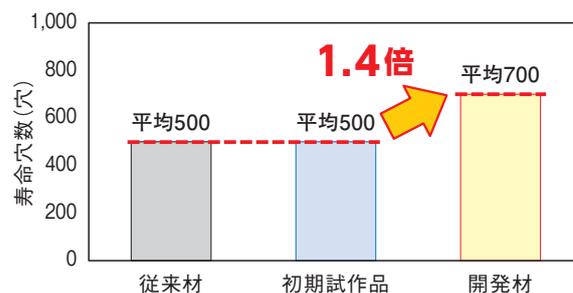


図6 炭素鋼(S50C) 穴あけ加工 工具寿命比較 (性能評価は従来品の形状にて比較)

## 6. まとめと今後の展開

「アクアREVOドリルマイクロ」は“材料”、“形状”、“コーティング”の全てを一新。その中でマテリアル部門では“材料”の面にこだわり、抗折力と硬さを両立させた超硬合金を開発し、工具の性能を飛躍的に向上させることに成功した。

当部門ではこれまで多様な材料の切削に幅広く対応可能な汎用性の高い超硬材種の開発にとり組んできたが、今後も工具部門と連携し、特定の用途に強い材種など、新たな用途開拓も見据えた材種開発を展開していきたい。

### 参考文献

- 1) 林 宏爾・福家 康矩・鈴木 寿: 粉体および粉末冶金 19 [2] (1972), 67