

## 特異な core-rim 微細構造を持つ超耐熱工具用材料

### Ti(C, N)–(Ti, W, Re)(C, N)–(W–Re) サーメットの組織、機械的性質及び切削特性

#### Microstructure, Mechanical Properties and Cutting Performances of Ultra-High Temperature Resistant Ti(C, N)–(Ti, W, Re)(C, N)–(W–Re) Cermets with an Unique Core-Rim Structure

産総研（正）\*村上 敬 （非）Jonny Herwan （非）小倉 一郎 （正）是永 敦

Takashi Murakami, Jonny Herwan, Ichiro Ogura, Atsushi Korenaga

AIST

#### 1. はじめに

化学プラントや海水機器などの分野では、近年高強度かつ高耐食性のスーパーステンレス鋼が使用され、その使用量は増加傾向にある。この鋼材は高速切削加工時刃先温度が1000℃近くまで上昇する難削材である。このため、スーパーステンレス鋼を高速切削するには、高温強度や化学的安定性に優れた工具材料が必要である。現在従来工具材料として、ダイヤモンド、立方晶窒化ホウ素（CBN）、超硬合金、従来型サーメットなどが用いられている。しかし従来の工具材料は1000℃以上で強度が大きく低下し、被加工材のFe、Ti、Al成分と反応しやすいため、難削材の高速切削に適していない。現在工具刃先温度を下げるため、ステンレス鋼の切削速度は100～200m/min程度に抑えられている。しかしこのため製品の製造時間は短縮しにくい。このため他の難削材も対応できる、新規の超高温用工具材料開発が望まれている。

最近著者らは、粒径がサブミクロンオーダーで融点3000℃以上のTiC<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>とW粉末を混合し、加圧焼結を行うと、特異なCore (Ti(C, N))–Rim ((Ti, W)(C, N)) 微細構造、つまり網目状微細構造を有し、従来工具材料より著しく優れた高温強度及び熱的安定性を示すTi(C, N)–(Ti, W)(C, N)–Wサーメットの得られることを世界で初めて発見した<sup>1)</sup>。またこのサーメットを低炭素鋼相手の摩擦攪拌点接合工具として使用すると、従来工具の2倍以上の工具寿命を示すことも明らかにしている<sup>2)</sup>。さらにこのサーメット工具でスーパーステンレス鋼の高速ドライ切削を行うと、従来工具の2倍近い寿命を示すことも明らかにしている<sup>3)</sup>。

一方、金属Wは超高融点金属ではあるものの、室温韌性に劣る欠点があるため、フィラメントなどとして利用する時は、強度韌性向上に効果のあるReを添加したW–Re合金とするのが一般的である。したがって金属WバインダーをW–Re合金に置換えることができれば、更なる切削特性の向上が期待できる。本研究では、Ti(C, N)–(Ti, W)(C, N)–Wサーメットに、Reを添加したTi(C, N)–(Ti, W, Re)(C, N)–(W–Re)サーメットを試作し、組織、機械的性質の評価を行ってみた。さらに切削工具形状に加工し、スーパーステンレス鋼S32750に対する高速ドライ切削試験を実施した。

#### 2. 実験方法

本研究では、混合比がTiC<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>–Xwt% (W–Re)になるよう、TiC<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>粉末（粒径0.7～0.9μm）、W粉末（純度99.9%、粒径0.6μm）、Re粉末（純度、粒径）を混合し、焼結温度1950℃、加圧力40MPa、保持時間10minで加圧焼結することにより、数種類の組成を持つTi(C, N)–(Ti, W, Re)(C, N)–(W–Re)サー

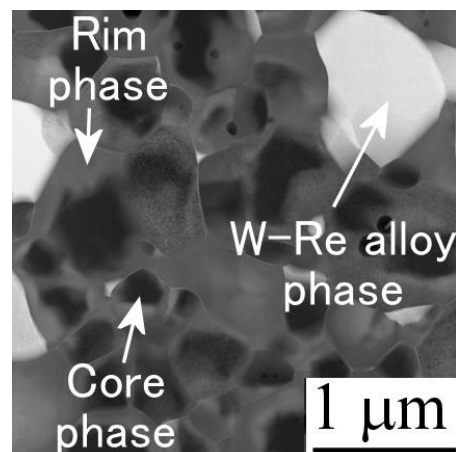


Fig. 1 TEM image of Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re) cermet specimen prepared by spark plasma sintering blended TiC<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>-44.4W-15.6Re (wt%) powder.

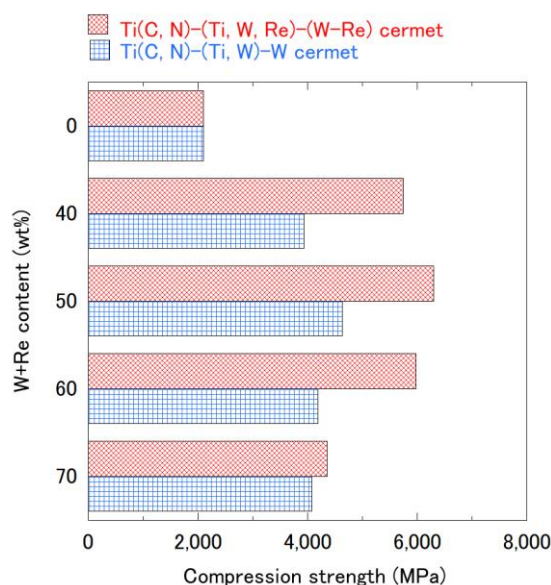


Fig. 2 Compression strength of Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re) and Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W cermet specimens prepared in this study.

メット素材を作製した。ここで、 $X=40, 50, 60, 70$  で  $W$  と  $Re$  の質量比は 74:26 である。

得られた素材について、TEM-EDS、SEM-EDS による組織観察を行い、次に室温、1700℃での圧縮試験、密度・破壊靱性値の測定等を実施した。さらに Fig. 1<sup>4)</sup>に示す切削工具形状に切出し、スーパーステンレス鋼 S32750 相手に切削速度 800 m/min, 送り速度 0.10 mm/rev, 切込み 0.15 mm の条件で高速ドライ切削試験を行った。

切削試験後、工具の摩耗量、摩耗面の SEM-EDS 分析、及び被削材の表面粗さ測定を行った。

### 3. 実験結果

Fig. 1 に混合比  $Ti_{0.5}N_{0.5}-60wt\%(W-Re)$  の粉末を焼結して得られる  $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  サーマットの TEM 像を示す。TEM の回折像及び TEM-EDS 分析の結果、Core, Rim 相はそれぞれ  $Ti(C, N)$ ,  $(Ti, W, Re)(C, N)$  相から構成されていることがわかった。また共に NaCl 結晶構造になっており、Core 相と Rim 相の境界は強度向上に有効な整合結合になっていることがわかった。また白い金属バインダー相は  $W-Re$  合金となっており、その他に化合物相は検出されなかった。これは  $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  サーマットと同じ傾向である。

Fig. 2 に  $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  と  $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  サーマットの室温圧縮強度を示す。ひずみ速度は  $2.1 \times 10^{-4} s^{-1}$  である。 $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  サーマットは  $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  サーマットより室温強度が向上することがわかった。なお IF 法により室温における破壊靱性の評価を行ったところ、金属バインダーの混合比の同じ  $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  と  $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  サーマット同士の破壊靱性値はほぼ同じ値になることがわかった。

Fig. 3 に試作した切削工具試験片の外観を示す。また Fig. 4 に  $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  サーマット工具、 $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  サーマット工具、従来工具のスーパーステンレス鋼に対する高速ドライ切削試験結果を示す。ここで切削試験条件は、切削速度 800m/min, 送り速度 0.1mm/rev, 切込み 0.15mm である。従来及び本研究で調べた切削工具の中では、混合比  $Ti_{0.5}N_{0.5}-60wt\%(W-Re)$  の粉末を焼結して得られる  $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  サーマットが最も長い工具寿命を示すことがわかった。これは  $Re$  添加により上記サーメットが高強度になる一方、破壊靱性値が下がらなかったためと考えている。また混合比  $Ti_{0.5}N_{0.5}-60wt\%(W-Re)$  の粉末を焼結して得られる  $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  サーマットの表面を XPS 分析したところ、低摩擦の  $ReO_2$ ,  $ReO_3$  と  $WO_3$  が検出された。これら低摩擦材料の形成も工具寿命の延長に影響を与えていると考えている。

### 4. おわりに

本研究では、特異な Core-Rim 微細構造を有し、従来工具より高温強度、熱的安定性に優れる  $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  サーマットの機械的性質向上を目的として、 $Re$  を添加し、得られたサーメットの組織、機械的性質、スーパーステンレス鋼 S32750 相手の高速ドライ切削特性を調べてみた、その結果、 $Re$  添加により  $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  サーマットの室温圧縮強度が増加すること、混合比  $Ti_{0.5}N_{0.5}-60wt\%(W-Re)$  の粉末を焼結して得られる  $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  サーマット工具が最も長い寿命を示すことがわかった。

### 文献

- 1) T. Murakami, M. Katoh, D. Matsukura, K. Yoshimi: High-temperature compression tests of  $Ti(C, N)-70 wt\% W$  cermet and isothermal forging of Inconel 718 alloys using cermet molds. J. Mater. Res. Technol. 24 (2023) 6578.
- 2) T. Murakami, A. Korenaga, K. Ota, A. Matsuba, M. Sakamura: Friction stir spot welding of cold-rolled low carbon steel plates using  $Ti_{0.5}N_{0.5}-Xwt\%W$  ( $X=70, 72, 75$ ) cermet tool specimens. J. Mater. Res. Technol. 30 (2024) 7095.
- 3) T. Murakami, J. Herwan, I. Ogura, A. Korenaga: High-speed cutting performance characteristics of  $Ti(C, N)-W$  cermet tools against S32750 super-duplex stainless steel round bars. J. Mater. Res. Technol. 32 (2024) 2528.

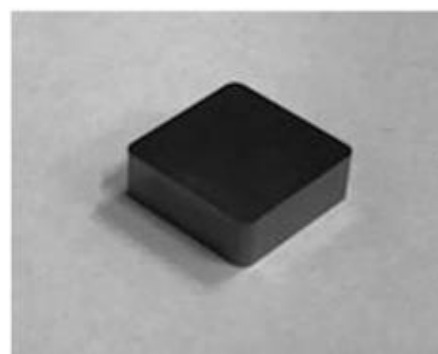


Fig. 3 Appearance of the  $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  cermet cutting tool prepared in this study<sup>3)</sup>.

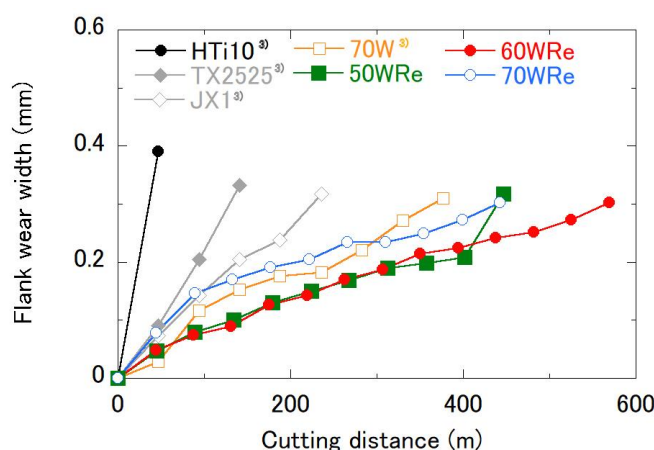


Fig. 4 Flank wear widths of  $Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re)$  and  $Ti(C, N)-(Ti, W)(C, N)-W$  cermet tool specimens after high speed dry-cutting S32750 SDSS round bars. 70W, 50WRe, 60WRe and 70WRe are abbreviations for  $Ti_{0.5}N_{0.5}-70wt\% W$ ,  $Ti_{0.5}N_{0.5}-50wt\% (W-Re)$ ,  $Ti_{0.5}N_{0.5}-60wt\% (W-Re)$  and  $Ti_{0.5}N_{0.5}-70wt\% (W-Re)$ , respectively.