

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 一朗 （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°C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る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°C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°C以上のTiC_{0.5}N_{0.5}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¹⁾。またこのサーメットを低炭素鋼相手の摩擦攪拌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²⁾。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³⁾。

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_{0.5}N_{0.5} – Xwt% (W-Re)になるよう、TiC_{0.5}N_{0.5}粉末(粒径0.7~0.9 μm), W粉末(純度99.9%, 粒径0.6 μm), Re粉末(純度、粒径)を混合し、焼結温度1950°C、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

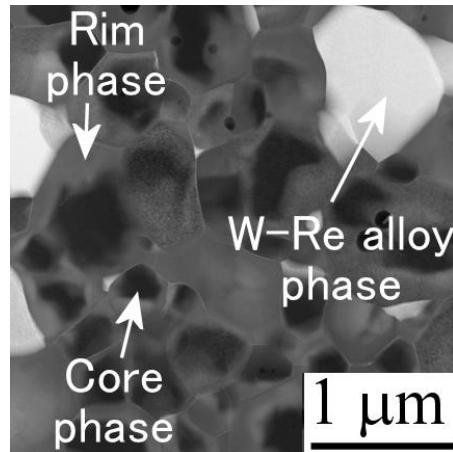


Fig. 1 TEM image of Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re) cermet specimen prepared by spark plasma sintering blended TiC_{0.5}N_{0.5}-44.4W-15.6Re (wt%) powder.

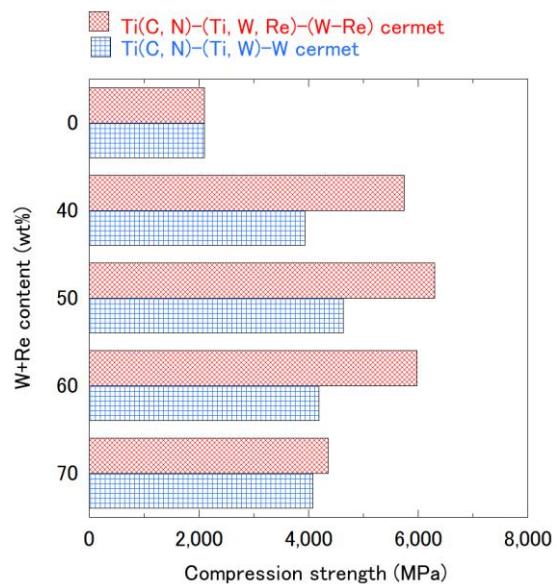


Fig. 2 Compression strength of Ti(C, N)-(Ti, W, Re)(C, N)-(W-Re) and Ti(C, N)-(Ti, W)-W cermet specimens prepared in this study.

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°Cでの圧縮試験、密度・破壊靭性値の測定等を実施した。さらにFig.1⁴⁾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800m/min、送り速度0.10mm/rev、切込み0.15mm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TiC_{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)サーメットの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結晶構造になつており、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つた。これはTi(C,N)-(Ti,W)(C,N)-Wサーメ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サーメットの室温圧縮強度を示す。ひずみ速度は 2.1×10^{-4} s⁻¹である。Ti(C,N)-(Ti,W,Re)(C,N)-(W-Re)サーメットはTi(C,N)-(Ti,W)(C,N)-Wサーメットより室温強度が向上することがわかつた。なおIF法により室温における破壊靭性の評価を行つたところ、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サーメット同士の破壊靭性値はほぼ同じ値になることがわかつた。

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)サーメット工具、Ti(C,N)-(Ti,W)(C,N)-Wサーメット工具、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TiC_{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)サーメットが最も長い工具寿命を示すことがわかつた。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、破壊靭性値が下がらなかつたためと考えている。また混合比TiC_{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)サーメットの表面をXPS分析したところ、低摩擦のReO₂、ReO₃とWO₃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サーメ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サーメットの室温圧縮強度が増加すること、混合比TiC_{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)サーメット工具が最も長い寿命を示すことがわかつた。

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 TiC_{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.

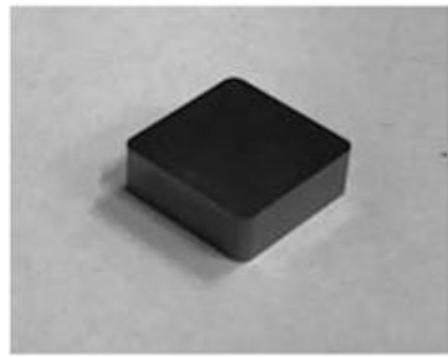


Fig. 3 Appearance of the Ti(C,N)-(Ti,W)(C,N)-W cermet cutting tool prepared in this study³⁾.

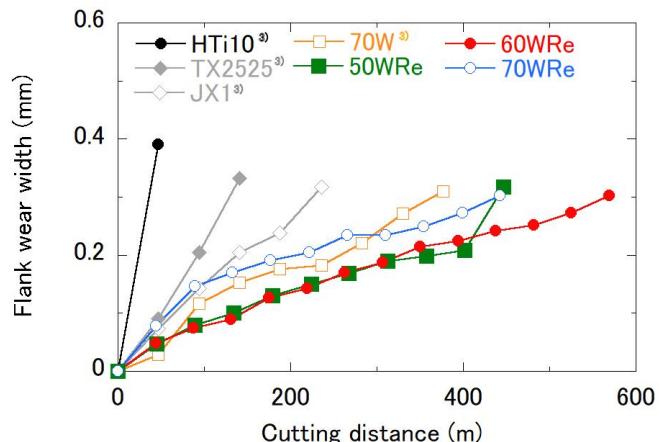


Fig. 4 Flank wear widths of Ti(C,N)-(Ti,W,Re)(C,N)-(W-Re) and Ti(C,N)-(Ti,W)(C,N)-W cermet tool specimens after high speed dry-cutting S32750 SDSS round bars. 70W, 50WRe, 60WRe and 70WRe are abbreviations for TiC_{0.5}N_{0.5}-70wt% W, TiC_{0.5}N_{0.5}-50wt% (W-Re), TiC_{0.5}N_{0.5}-60wt% (W-Re) and TiC_{0.5}N_{0.5}-70wt%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