

機関番号：3 2 6 4 4

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：2 0 5 6 0 1 1 4

研究課題名 (和文) 超硬質 Ti-B-C コーティングによるドライ切削用高耐熱工具の開発

研究課題名 (英文) Development of super hard Ti-B-C coated tool with high thermal stability for dry cutting.

研究代表者

神崎 昌郎 (KOHZAKI MASAO)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：2 0 3 6 6 0 2 4

研究成果の概要 (和文)：本研究では、B および C 含有量の制御を中心として、Ti-B-C 薄膜の硬度、摩擦特性の向上を図った。その結果、TiB₂+10wt%B ターゲットを用いて TiB_{2+α} 薄膜を形成することにより、35GPa 以上の硬度が得られた。また、炭素含有量を 40%以上とすることにより、Ti-B-C 膜の摩擦係数は 0.2 程度まで低減した。この Ti-B-C 膜をコーティングした切削工具を用いることにより、Ti 合金加工時の切り屑排出性は改善し、被削材表面の平滑性は向上した。

研究成果の概要 (英文)：In this work, the hardness and the frictional properties of Ti-B-C films have been improved by controlling the contents of boron and carbon. TiB_{2+α} films obtained with TiB₂+10wt%B target had the high hardness above 35GPa. The friction coefficients of Ti-B-C films with the carbon content above 40% were about 0.2. In the cutting Ti alloys, tip formation process had been improved and the surface roughness of the work piece became smooth by using the Ti-B-C coated tools.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・(5002) 生産工学・加工学

キーワード：切削加工, コーテッド工具, Ti 合金

1. 研究開始当初の背景

(1) エネルギー資源の枯渇、地球温暖化等の環境問題からエネルギーの消費削減が要求されており、機械加工分野においても省エネルギーおよび環境対応化促進が大きな課題となっている。現在の切削油を用いた加工では、加工時に消費されるエネルギーの 50%程度が切削油供給に費やされているだけではなく、切削油使用の後工程として製品(加工物)の洗浄脱脂が必要となり、生産性向上の妨げとなっている。したがって、機械加工に

おいては、環境対応化および生産効率向上の観点から切削油の使用を極力抑えた MQL (Minimum Quantity Lubrication) 加工(セミドライ加工)や完全にドライ化した加工に対するニーズは極めて高い。

(2) 近年のエンジン等の機械システムの高性能化に対応して、Ti 合金や Ni 基超合金等の耐熱材料使用に対する潜在的ニーズが大きくなっている。しかし、これらの金属は熱伝導率が小さく、切れ刃温度が上昇しやすいと

ともに溶着性が高く、高効率の加工が難しい材料である。現時点での耐熱材料の加工においては、切削油（クーラント）への依存度が高く、高圧・大容量クーラントポンプが必要であり、設備費用が高額になっている。さらに、加工後の部品洗浄や洗浄廃水処理が環境に与える影響も大きい。したがって、現在でも市販の汎用エンジンにはTi合金やNi基超合金等の耐熱材料はほとんど使用されておらず、これらの耐熱材料に対するドライ加工技術の確立（環境対応化および高効率化）が強く求められている。

2. 研究の目的

上述の耐熱材料を含む難削材のドライ加工を実現する上では、工作機械、工具、加工条件のすべてを適切に開発・選定・設定し、新規切削加工技術として確立する必要がある。本研究においては、セミドライ加工およびドライ加工が冷却性の点で従来の切削油を用いた加工に比べ劣ることを課題として取り上げ、工具表面の高性能化（耐熱性向上および温度上昇抑制を目的とした低摩擦化）を通してドライ加工技術の開発を目指すこととした。具体的には、TiB₂を骨格構造とする新規高耐熱潤滑性Ti-B-C硬質膜を二元マグネトロンスパッタリング法により創成し、難削材のドライ加工を実現する工具および技術の開発を目的として研究を進めていく。

3. 研究の方法

(1) TiB₂を骨格材料とするTi-B-C薄膜創成に関する基礎的知見を集積するために、現有のDC二元マグネトロンスパッタリング装置をTi-B-C薄膜創成時の基板にバイアス電圧を印加できるよう改良する。

(2) Ti-B-C薄膜創成の基礎となるTiB₂薄膜の結晶性および組成（B含有量）をバイアス電圧印加により制御する技術の確立を目指す。特に、硬質化が確認された化学量論比組成以上のBを含むTiB_{2+α}薄膜の創成に注力し、使用するターゲットの検討も行う（(TiB₂+B)ターゲットの使用）。得られた薄膜の結晶性および組成と微小硬度の関係をXPS、薄膜XRDおよびナノインデントにより評価する。

(3) 上記(2)で得られた超硬質TiB₂薄膜の創成条件において、Cを同時スパッタリングすることにより、あるいはArガスとともにCH₄ガスを導入することにより膜中のC含有量の制御を行い、ドライ切削用工具に求められる低摩擦特性の実現を目指す。

(4) 上記(2)および(3)で得られた潤滑性Ti-B-C硬質膜を高温大気中で一定時間保持

し、熱処理の前後、あるいは熱処理条件の違いによりどのように結合状態、結晶構造、膜構造が変化するかを評価する。これらの結果から耐熱性向上に有効な要因を洗い出す。

(5) 高耐熱潤滑性Ti-B-C硬質膜の密着力の評価を現有のスクラッチ試験機を用いて行う。高耐熱潤滑性Ti-B-C硬質膜の創成条件が把握できるまでは実験の効率および成膜後の評価・観察を考慮して、基板にはSiウエハを用いるが、密着力評価の実験を行う際は実際の工具材料である超硬合金やサーメットを基板として用いる。この実験を通して密着力向上に有効な成膜要因を明確にしていくとともに、中間層形成を含めて基板近傍のみTiリッチの組成とする「複層傾斜化」により密着性の改善を目指す。

(6) 高耐熱潤滑性Ti-B-C硬質膜の密着力が改善された段階で、実際の超硬合金製あるいはサーメット製スローアウェイチップにコーティングし、自動車用エンジン部品等へのニーズが強いTi合金の旋削加工(MQL切削、ドライ切削)を行う。

4. 研究成果

(1) TiB₂膜およびTiB_{2+α}膜の組成

表1にTiB₂ターゲットを用いて形成した膜（以下、TiB₂膜）とTiB₂+10wt%Bターゲットを用いて形成した膜（以下TiB_{2+α}膜）の組成を示す。TiB₂膜のB/Ti比は1.7程度であるのに対し、TiB_{2+α}膜においては2を超えB過剰になるとともに、酸素含有量は半分程度に低下した。

表1. TiB₂膜およびTiB_{2+α}膜の組成

Target	Base pressure (Pa)	Ar gas flow rate (sccm)	Ti (%)	B (%)	O (%)	B/Ti	
TiB ₂	2 × 10 ⁻³	50	34	56	8	1.6	
		70	33	56	10	1.7	
		90	32	55	12	1.7	
TiB ₂ +10wt.%B	2 × 10 ⁻³	50	27	67	5	2.5	
			25	67	7	2.7	
			27	69	3	2.6	
			70	28	63	8	2.2
			90	27	66	5	2.2

(2) TiB₂膜およびTiB_{2+α}膜の密着力

図1にTiB₂膜およびTiB_{2+α}膜の密着力の指標となる剥離臨界荷重を示す。TiB₂膜、TiB_{2+α}膜とも成膜時のArガス導入量を増加させることにより剥離臨界荷重は大きくなった。また、TiB_{2+α}膜の剥離臨界荷重はTiB₂膜のそれに比べ、1.5倍程度大きかった。酸素含有量の低下に伴いTiO₂の形成が抑制され、Tiと基板の相互作用が強くなったためと考えられる。

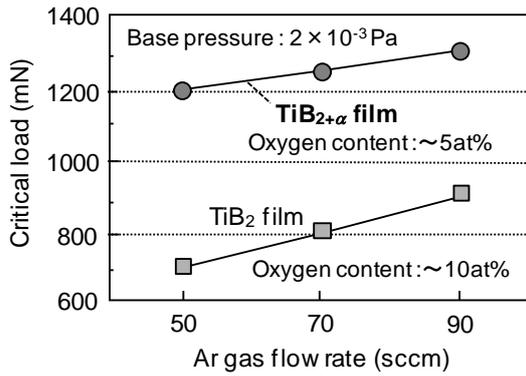


図1. TiB₂膜およびTiB_{2+α}膜の剥離臨界荷重

なお、成膜時の基板に-50Vのバイアス電圧を印加することにより剥離臨界荷重が15%程度向上することを確認している。

(3) TiB₂膜およびTiB_{2+α}膜の微小硬度

図2にTiB₂膜およびTiB_{2+α}膜の微小硬度を示す。TiB₂膜の微小硬度はArガス導入量の増加に伴い低下したが、TiB_{2+α}膜においてはその傾向は明確ではなかった。ただし、Arガス導入量によらずTiB₂膜よりTiB_{2+α}膜の方が高硬度であった。

図3に成膜前のベースプレッシャーを変化させて形成したTiB_{2+α}膜の微小硬度を示す。

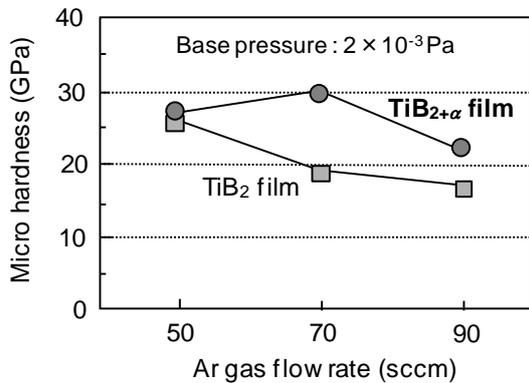


図2. TiB₂膜およびTiB_{2+α}膜の微小硬度

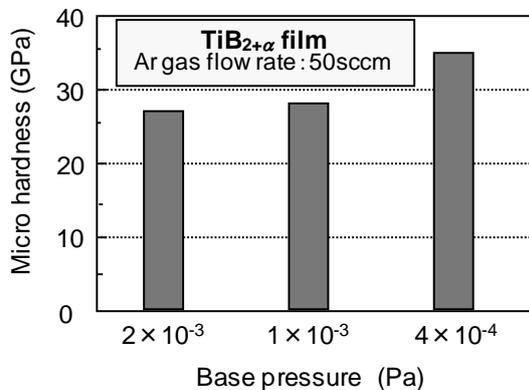


図3. TiB_{2+α}膜の微小硬度

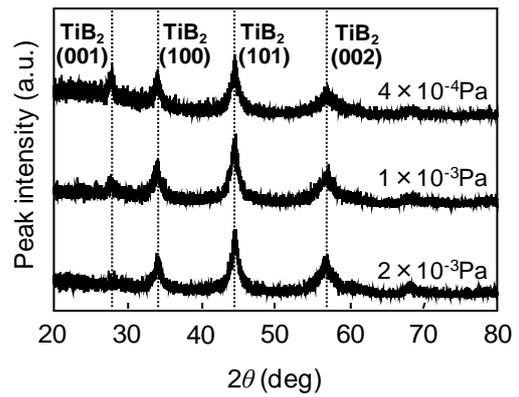


図4. TiB_{2+α}膜のXRDスペクトル

ベースプレッシャーを低くし、TiB_{2+α}膜中の酸素含有量を3at%まで減少させることにより、微小硬度は35GPaまで上昇した。これは、酸素含有量低下に伴いTiO₂相が減少したこと、および図4に示したXRDスペクトルでわかるように、(001)のピークが観測されるようになるなど結晶性が向上したためと考えられる。

(4) C添加による摩擦特性の改善

成膜時にTiB₂+10wt%Bターゲットに加え、Cターゲットを用いて形成したTi-B-C膜の摩擦係数を図5に示す。Cを添加していないTiB_{2+α}膜の無潤滑下での摩擦係数は0.7程度であったのに対し、Cを40at%以上添加することにより摩擦係数は0.2程度まで低下した。ただし、C添加量をさらに増加させた場合でも、これ以上の摩擦係数低減の効果は発現しなかった。

摩耗量は摩擦係数の低下に伴い半分以下に減少した。

(5) Ti-B-Cコーテッド工具の切削性能

上記の低摩擦化を実現したTi-B-C膜を超硬合金製スローアウェイチップにコーティングし、Ti合金ドライ切削時の切削性能を評価した。

切削距離50m時点ではTi-B-Cコーティングによる切削抵抗低減の効果は見られ、ノンコーテッド工具を用いた場合のMQL加工時の切削抵抗とほぼ同程度であった。ただし、切削距離1000m時点においてはその効果はほとんど無くなった。これは図6に示すように、工具刃先のTi-B-C膜が剥離したためと考えられる。

それに対し、Ti-B-Cコーティングにより改善された切り屑排出性は、図6に示すように1000m切削時においても維持された。工具すくい面に残存する低摩擦Ti-B-C膜が切り屑排出性を良好にしていると考えられる。また、これに対応して、被削材(Ti合金)の表面平

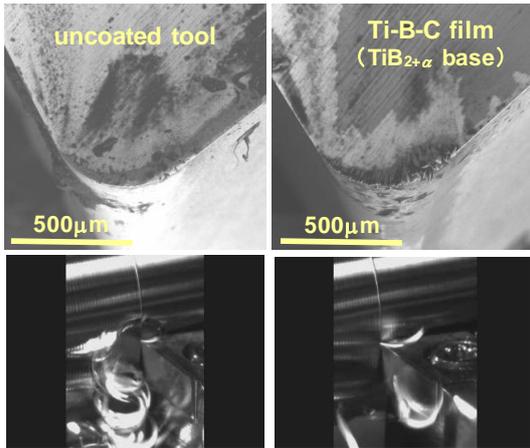


図6. Ti合金1000m切削時の工具刃先のSEM像および切り屑排出状況
(切削速度: 100m/min, 切込み深さ: 0.4mm)

滑性は向上した。

なお、成膜時に CH_4 ガスを導入することにより C を添加した Ti-B-C 膜においても、摩擦係数は低下したが、工具刃先にコーティングした場合には切削後に気泡が観察された。これは、成膜時の Ti-B-C 膜中に H が取りこまれ、高温になる切削時に H_2 ガスとして放出されたためと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ①高耐熱 B-C-X 系硬質膜を用いた難削材の高効率加工, 神崎昌郎, 東海大学紀要工学部, 査読有, Vol.49, No.2, pp.131-134, (2009).
- ②Ti 合金切削用 Ti-B-C コーテッド工具の開発, 森田次郎, 神崎昌郎, 東海大学紀要工学部, 査読有, Vol.48, No.1, pp.143-148, (2008).

〔学会発表〕(計 7 件)

- ① TiB_2 薄膜の硬質化と航空機材料用切削工具への応用, 頓所孝文, 神崎昌郎, 日本機械学会 2010 年度年次大会, 2010 年 9 月, 名古屋工業大学.
- ②航空機用材料の加工に適したホウ素含有潤滑性硬質膜の創成およびそのドライ加工性能, 稲葉翔一, 神崎昌郎, 2010 年度精密工学会春季大会, 2010 年 3 月, 埼玉大学.
- ③ $\text{TiB}_{2+\alpha}$ を出発源とする Ti-B-C 薄膜の創成とその硬度・摩擦特性の制御, 稲葉翔一, 神崎昌郎, 平成 21 年度神奈川県ものづくり技術交流会, 2009 年 10 月, 神奈川県産業技術センター.
- ④ Development of High Adhesive and Lubricious Ti-B-C Thin Films for Cutting of Ti Alloys, S. Inaba and M. Kohzaki,

Proceedings of World Tribology Congress 2009, (2009) in CD, 2009 年 10 月, 京都.

⑤ TiB_2 を骨格とした Ti 合金加工用潤滑性硬質膜の創成, 稲葉翔一, 神崎昌郎, 日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月, 岩手大学.

⑥Ti-B-C コーテッド工具の開発と Ti 合金の切削性の評価, 稲葉翔一, 神崎昌郎, 2009 年度精密工学会春季大会, 2009 年 3 月, 中央大学.

⑦Ti-B-C 薄膜の低摩擦化と切削工具への応用検討, 稲葉翔一, 神崎昌郎, 日本機械学会 2008 年度年次大会, 2008 年 8 月, 横浜国立大学.

〔その他〕

ホームページ等

http://www.mech.u-tokai.ac.jp/~kohzaki_lab/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神崎 昌郎 (KOHZAKI MASAO)

東海大学・工学部・教授

研究者番号: 20366024

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: