傾斜超硬材料の開発

平井 誠一^{*1)} 野口 博幸^{*2)} 坂 勉^{*3)}
菅野 忠雄^{*4)} 桑原 光雄^{*5)}

1. はじめに

超硬は、金属では得られない硬度、耐摩耗性をもち、セラミックスでは得られない強度を有し、高い剛性、高い熱伝導性を兼ね備えた素材として、切削用の刃具や高温下で 사용되는金型、あるいは耐摩耗性を必要とする型材等として用いられている。

しかしながら靱性が低く、その使用領域を限定したり、使用にあたっては十分な配慮が必要だったり、一面では使いづらさを持つものでもあった。

そのため、表面はこれまでのように高硬度かつ高耐摩耗で内部は高靱性かつ高強度なものができないか検討した。

この方法の一つとして、超硬の硬質皮膜コーティングが行われてきたが、刃具とした場合は刃先精度が悪いという課題や、高応力下では、コーティング層の剝離等の課題も生じていた。また、靱性についてはコーティング法では向上が図れず、素材として、高硬度、高耐摩耗性で、より高強度、高靱性な素材が望まれていた。

素材とした場合、傾斜機能材が候補となるが、多層積層法や蒸着法のようなこれまでの方法では、形状付与性の課題や、加工による除去量の課題から、対応が難しいと考えられた。

2. 開発の経緯

超硬材は、セラミック粒子の炭化タングステンと金属のコ

バルトの複合材であり、金属量は刃具材で～5～7%である。通常、素形材の硬度と靱性はトレードオフの関係にあり、硬度が上昇すれば靱性が下がり、靱性を上げようとする硬度が下がる。刃具や金型として考えた場合、表面は耐摩耗性の観点から高硬度が望ましいが、内部は靱性が高い方がよい。そして、その間が傾斜機能的に変化すれば、破壊応力の伝播が緩和されたり吸収されたりし、破壊力学的にも有利である。実際に傾斜材で刃具や金型を構成しようとなると、加工除去量や応力緩和の観点から、傾斜層厚みは少なくともmmオーダーが必要と考えられた。このような傾斜材は、蒸着法では対応し難く、多層積層法では形状自由度に乏しく量産化も難しいため、以下のような視点で、開発を進めた。

出発時は均質体で、焼成などの工程中で、傾斜組成にならないだろうか。蒸着法にも、多層積層法にもよらず、より簡単に、より安価に、傾斜材を造る方法はないだろうか。表面のセラミック粒子を大きく粒成長させて高硬度化し、粒子、組成再配列を誘起させ、内部に金属を集積化し、傾斜層はこの中間層—拡散層で形成できないだろうか。

そこで超硬材に含まれるセラミック粒子に着目するとともに、その粒子成長促進剤を添加することとし、その元素種の選択と添加形態を考慮した。結果的に、安全性、取り扱い利便性、経済性から、添加元素としてニッケルを選択し、添加形態を最小量で最大効率が図れ、その量とセラミック粒子の粒成長が制御可能なよう、原子に近い大きさのイオンとした。

添加剤の供給単位や量を、原子に近い大きさに制御すれば、粒子の成長を粒子単位で自在にコントロールすることが可能となり、溶液にて添加剤を供給すれば、添加剤を特定部に集積したり、希釈したりすることも可能である。すなわち、超硬材へ添加する添加剤の濃度により、超硬材のセラミック粒子の粒成長速度が変化し、例えば添加剤を表面近傍に濃縮し、内部を薄くすると、焼結時、表面近傍の添加剤濃度の高い部分では構成粒子の粒成長が速く、内部では遅くなるとともに粒子再配列的な挙動が生じ、表面の金属成分は追いやられて内部に集積し、表面は金属量が少なく、内部は多

* ホンダエンジニアリング株式会社

1) 開発統括常務取締役

研究開発部：2) 取締役部長 3) 所付

4) 5K テリトリリーダー 5) 5K 技術主任

Development of Functionally Graded Super-hard Material;
Seiichi Hirai, Hiroyuki Noguchi, Tsutomu Saka, Tadao Kanno,
Mitsuo Kuwabara (Honda Engineering Co., Ltd.)

1998年1月31日受理

く、その間が拡散層となり、傾斜的に変化するようになる。

また、粒成長時に粒成長促進剤として選択された添加剤は、その量を適正にコントロールすれば、セラミック粒子とセラミック粒子のみならず、金属とセラミック粒子の結合力を向上することができ、構成粒子の大きさが増大したに関わらず、粒子保持力の向上や強度の向上が図れ、刃先形成の際の精度や耐久性も向上すると考えられた。

その結果、表面が硬く、高耐摩耗性でありながら、内部は高靱性かつ高強度で、その間が傾斜機能材料的に変化する素材が得られることになった。

本方法は、多層積層法や蒸着によらず、簡便な方法で優れた物性や性能を持つ傾斜材が安価に得られ、なおかつその傾斜層の厚みがmmないしはcmオーダーで得られるため、工業化しやすく実用化しやすい、という点に大きな特徴がある。

3. 開発した傾斜超硬材料の特徴

(1) 製造工程

製造工程の概略を、一般的な方法と対比しながら、図1に示す。原料は炭化タングステン89%，炭化タンタル2%，炭化ニオブ1%，金属コバルト量8%で、すべて汎用原料であり、超硬汎用品のJIS K-10組成に近いものである。添加剤としてニッケルを選択し、イオン形態で添加が可能のように溶液含浸としている。Niイオン濃度はニッケル塩として10%で、正味のNiイオン量は～2%にすぎない。

成形後、金属成分の端点が融着し、含浸時、成形体が崩壊しないよう仮焼きする。その後ニネットシェイプ化し、必要部を含浸し、乾燥して溶液成分の成形体内濃度を決め、焼結する。焼結温度は従来の方法と同一で、雰囲気は窒素下ないしは真空中であり、安全性に課題のある水素は使用しない。またHIP工程も不要である。

(2) 優れた機械的性質および性能

図2は、得られた傾斜超硬材料素材の電子顕微鏡写真を、イメージ化したものである。傾斜層が数mm以上におよび、構成粒子の大きさが μm オーダーであるため、イメージ図とした。超硬内に含まれるセラミック粒子が、表面近傍では大きく成長しながら金属成分を内部に押しやり、内部での粒成長はほとんどなく、その間が傾斜的に、粒子の大きさも金属量も変化する。

図3は、ニッケルイオンのセラミック粒子成長効果を示すもので、表面からの距離に対応して、粒成長の度合いが変化している。表面近傍の粒子の大きさは、はじめの状態から比べると2～3倍になる。これまでは含有する粒子が大きくなったり成長したりすると、強度が低下するため、可能な限り素材に含まれる複合粒子の成長を抑制し、小さくしようとしていた。そのひとつが超微粒子化であった。これまでとは方

図1 製造工程の概略。

図2 開発した傾斜超硬材の電子顕微鏡観察イメージ図。

図3 Niイオン添加によるWC粒子の成長。

図4 金属量と強度-Ni含浸処理の効果。

向が異なることも特徴となっている。

図4は、ニッケルイオンの添加効果を示している。図3と対応させて考えると、添加することにより構成粒子が成長しているにもかかわらず、抗折強度の向上が図れることがわかる。粒子の大きさが増大したにも関わらず、強度が向上したメカニズムは、添加したNiイオンが焼結時金属となり、触媒的な作用でWCの成長を促しながら、金属のコバルトと結合し、さらにこのとき、WC粒子表面にあるニッケルが金属コバルトと強く結合するためと考えている。そのため、材料中のセラミックス粒子保持力が向上し、これにより、高強度化、高靱性化が達成されたものと考えられる。

図5は、得られた傾斜超硬材の機械的性質として、硬度と破壊靱性値を表面からの距離と対比させ、示している。傾斜的に物性が変化していることがわかる。市販の刃具用超硬材の靱性は $6\sim7\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 程度であるから、傾斜超硬材は大きく靱性が改善されている。傾斜層厚みはこのデータに見られるように、約7mmであった。

図6は焼結体を切削用刃具に加工し、切削性能試験を行った結果である。被削材は高Si合金のJIS AC8B相当品で行っている。市販のK-10相当品や超微粒子品と比較すると1.5～3倍の性能が得られた。

4. 開発した傾斜超硬材の実用化状況

以上のように開発した傾斜超硬材は、優れた特性を持つもので、硬度、靱性、強度とも市販の汎用品はもとより、超微粒子品の値を凌ぎ、しかも従来の汎用超硬品と同等以下の製造コストで生産できる。そこで、焼結体をドリルに機械加工し、実加工ラインで加工精度や寿命を試験した。

結果を図7に示す。対比材の市販超微粒子超硬品に比べ、チップングや構成刃先の形成もなく、優れた結果であった。

以上の結果を踏まえ、さらに実機での試験を継続し、工程の健全性も検証の上、1997年9月より量産を開始し、世界の生産拠点に供給し、使用していただいている。

5. ま と め

本開発により、多層積層法や蒸着法によらず、形状自由度に優れ、物性・性能に優れた傾斜超硬材を、より安価に製造することが可能となった。

得られた傾斜超硬材の例として、汎用原料を使用し、金属コバルト量8%、添加剤としてニッケル溶液を含浸する方法、および実用化例として、ドリルについて言及してきた。容易に想定されるように、原料を超微粒子化することや添加剤を変えることにより、さらに強度や靱性の向上が図れるし、硬度を改善し、より耐久性を延ばすことも可能である。また、超硬材に限らず、複合材のさらなる展開にも、本方法

図5 素材表面からの距離と靱性。

図6 切削試験結果 V-T 線図。

図7 実加工ラインテスト結果。

は適用できるものと考える。

われわれは次の段階として、傾斜超硬材の持つ特性を有効に活用し、種々の型材への適用を図りたいと考えている。

6. 知的財産所有権

本件に関わる知的財産として登録特許第2593354号—出願1989年7月がある。他に国内6件出願済みであり、海外にも出願中1件という状況である。