



Title	環境および省エネルギーを考慮した高性能超硬合金工具の開発
Author(s)	森口, 秀樹
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48541
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	もり ぐち ひで き 森 口 秀 樹
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 2 2 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学 位 論 文 名	環境および省エネルギーを考慮した高性能超硬合金工具の開発
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 宮本 欽生 (副査) 教 授 西嶋 茂宏 教 授 竹本 正 教 授 近藤 勝義 教 授 水野 稔 教 授 盛岡 通 教 授 加賀 昭和 教 授 澤木 昌典 教 授 池 道彦 教 授 桑野 園子

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、工具材料として使用可能な高性能超硬合金を開発することを目的として実施したものである。特に、超硬合金を低温・短時間で焼結することが可能なパルス通電加圧焼結プロセス (Spark Plasma Sintering) を用いて、従来よりも強度や破壊靱性、耐摩耗性などの特性に優れた超硬合金の開発を進め、従来製法では製造することができなかった超微粒の超硬合金および超硬合金中にダイヤモンド粒子が分散した新しい硬質材料の作製に成功した内容についてまとめたものである。

超硬合金は、WC を硬質相とし Co を結合相とする硬質材料であり、他の硬質材料と比較して優れた強度、靱性、硬度、熱伝導率、ヤング率を有する。さらに、粉末冶金プロセスによるニアネットシェイプ焼結が可能であるため、工具材料として幅広く使用されている。中でもプリント基板の穴あけ加工に使用される細径ドリルは IC の高集積化により年々細径化し、十分な強度を確保するため $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の超微粒超硬合金が実用化され、さらに微粒の超微粒超硬合金の製造が望まれているが、液相焼結中のオストワルド成長により WC 粒子が粗粒化しやすい問題点があった。

通電加圧焼結プロセスは、黒鉛型にパルス電流を流して黒鉛型をジュール熱で直接加熱し短時間で昇温する他、上下パンチを通じて一軸加圧することで、低温・短時間で粉末材料を焼結できる技術である。本プロセスを用いて超微粒超硬合金の試作及び評価を進めた結果、狙い通り微粒かつ高硬度な超微粒超硬合金を製造できた。さらに、本プロセスで製造した超微粒超硬合金は高い破壊靱性を有していたが、本研究ではその原因について考察を加えた結果、扁平な Co 相が大きな影響を与えていることを見出した。但し、強度は扁平な Co 相が破壊源となり、期待した値を得ることはできなかった。

一方、ダイヤモンドは地球上で最も硬い材料であり、超硬合金中にダイヤモンド粒子が分散した複合材料を製造できれば、強度・靱性と硬度が両立した非常に優れた硬質材料とできる。ただ、ダイヤモンドは高压安定型の材料であり、超硬合金が製造される準安定な条件下では黒鉛化してしまう。また、超硬合金の構成元素である Co はダイヤモンドが黒鉛に変態するのを促進する触媒成分として働く。このため、Co とダイヤモンドの接触をダイヤモンド粒子に SiC を被覆することで防ぎ、通電加圧焼結の低温・短時間焼結の特徴をうまく活かすことで、超硬合金中にダイヤモンド粒子が分散した複合材料を超高圧発生容器を用いずに安価に製造することを可能にした。本研究では、このようにして作製したダイヤモンド分散超硬合金の破壊靱性、耐摩耗性、トライボロジー特性、機械加工性を評価し、本材料が硬質材料として優れた特性を有することを明らかにした。以上

論文審査の結果の要旨

本研究は、工具材料として産業界で幅広く使用されている超硬合金の高性能化を目的として進められたものである。特に低温・短時間で粉末材料を焼結可能なプロセスであるパルス通電加圧焼結（SPS）法を用いて、従来よりも硬度や破壊靱性、耐摩耗性に優れた超硬合金の開発に取り組み、従来法では製造できなかった超微粒の超硬合金及びダイヤモンド粒子が分散した耐摩耗性に優れた超硬合金の製造に成功している。本研究における主な成果を要約すると以下の通りである。

1) SPS 法で製造した超微粒超硬合金は、低温・短時間焼結により WC 粒子の Ostwald 成長が起こりにくく、従来法で製造するよりも 6 % 硬度の高い材料を製造できている。また、加圧焼結により Co 結合相が扁平となって亀裂の進展を効果的に抑制するため破壊靱性が 23% 向上している。SPS 法を適用した結果、従来よりも低温かつ短時間で超硬合金が緻密化できている、省エネルギーに寄与する。さらに、硬度、破壊靱性の向上により寿命の改善が期待でき、希少資源である W の使用量低減に寄与できることから、本研究は環境に優しい高性能超硬合金の製造法を提案している。

2) SPS 法とダイヤモンド粒子への SiC コーティング技術を適用することで、ダイヤモンドが準安定な条件下でダイヤモンド粒子が均一に分散した超硬合金を製造することに成功している。本材料は従来の超硬合金と比べて破壊靱性が 50% 向上している。これは、超硬合金とダイヤモンド粒子の熱膨張係数差からダイヤモンド粒子表面に引張り応力場が形成されて亀裂の引き込み作用が働く上、ダイヤモンド粒子によるブロッキング作用及び亀裂湾曲作用が働いて大幅な靱性向上につながったものである。また、本材料の硬度は従来の超硬合金並であるにも関わらず、動摩擦係数が従来の超硬合金比で約 1/5、耐摩耗性は約 10 倍とダイヤモンド多結晶体並の優れた性能を実現している。これは、本材料中のダイヤモンド粒子添加量が 20 体積%と少ないため互いに直接結合しておらず、超硬合金の海の中にダイヤモンド粒子が島のように浮いている状態であることから生まれたものである。つまり、硬さは海である超硬合金で決定され、動摩擦係数、耐摩耗性は島であるダイヤモンド粒子によって決定されたという興味深い物性発現メカニズムを提案している。さらに本材料は、エネルギー多消費型焼結装置である超高压発生装置を使用せずに製造されており、省エネルギー、環境保全に寄与するとともに、非常に実用性の高い開発内容となっている。

3) 上層にダイヤモンド分散超硬合金、下層に Co 量が多くなるように組成を傾斜化した超硬合金を積層した材料を SPS 法により焼結し、その特性を評価している。本材料は優れた耐衝撃性能を有するとともに、熱膨張係数が下層に行くほど鋼に近づいており、鋼基材と下層の超硬合金間の熱膨張係数差が小さくなった結果、鋼基材へのロウ付けを熱亀裂の発生なしで行なえる特徴を有する。本成果は傾斜機能材料（FGM）の概念を応用することで得られたものであり、実用上大きな価値を有しており、本材料の実用化に大きく寄与している。

以上のように、本論文はパルス通電加圧焼結法を用いて超硬合金の高性能化研究を行ない、従来の超硬合金では実現不可能な優れた特性を発揮できる新しい硬質材料の製造に成功している。また、本論文では複数の新しい特性向上メカニズムを科学的に明らかにしているが、そのいずれもが実用上利用価値の高い提案である。また、これらの成果は省資源、省エネルギーの遂行に寄与することが期待できる他、環境保全に対して有意義な研究と判断する。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。