

ダイヤモンドの熱化学加工

大阪大学 ○島田 尚一、大阪電気通信大学 田中 宏明、井川 直哉、
関西大学 樋口 誠宏、山口 智実

ダイヤモンド工具で鉄系金属やニッケルなどを加工すると激しい損耗を示す。この熱化学的損耗の機構を明らかにし、損耗を積極的に生じさせることによってダイヤモンド表面を平滑に加工する手法を提案し、その有効性を示した。

1. 緒言

ダイヤモンドは、ある種の極限材料として、工具や機器要素部品の高機能材料として広く利用されている。最近では、品質の高い CVD ダイヤモンド膜が開発され、益々その応用範囲が広がるものと期待されている。しかしながら、実用に供するダイヤモンド機器要素を実現するには、表面の粗さを向上させ、高精度な平面や曲面に仕上げる技術が不可欠である。現在のダイヤモンド加工のための唯一ともいえる方法はダイヤモンド粉末による研磨加工である。この加工技術は歴史も長く、成熟した技術であるが、加工能率が低く、研磨時にかなり大きな加工力が作用するため、CVD ダイヤモンド膜では基板との剥離がしばしば見受けられる。

一方、ダイヤモンド工具で鉄系金属をはじめとするある種の材料を加工すると、激しい損耗が見られることは良く知られている。この損耗は熱化学的プロセスに基づくもので、相手材によって異なるいくつかの損耗機構があることは著者らによって明らかにされている [1]。本研究は、金属の酸化とダイヤモンドによる金属酸化物の還元によって生じる損耗を利用してダイヤモンド表面を高効率・高精度に平滑化し、成形するための手法を開発しようとするものである。

2. 鉄の加工におけるダイヤモンドの損耗機構

加工中の工具損耗過程を模擬するために、図 1 に示すように、真空チャンバー中でダイヤモンド平面試料と金

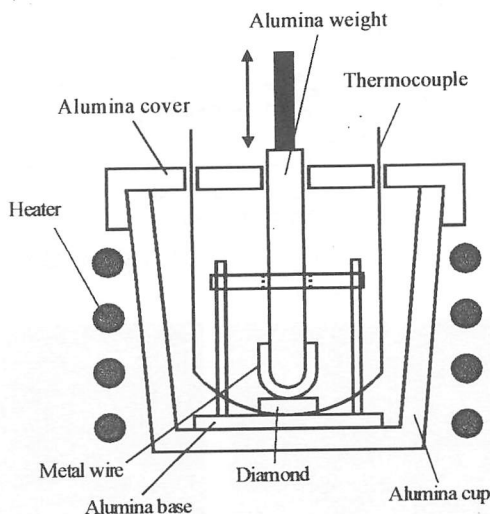


図 1. 接触加熱モデル実験

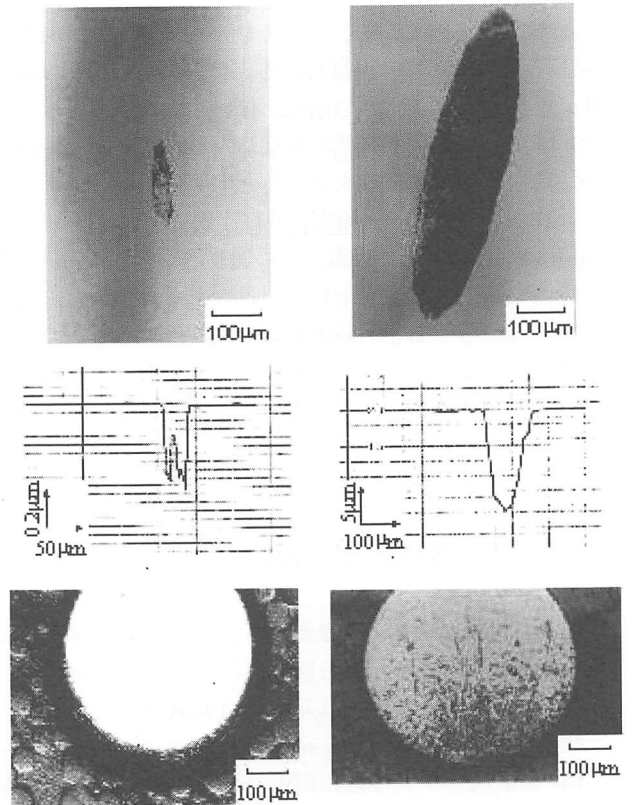


図 2. 純鉄ワイヤーとの接触加熱による損耗痕とワイヤー断面

属ワイヤーを接触させて加熱するモデル実験を行った。純鉄ワイヤーとの接触加熱後のダイヤモンド表面には、図 2 に示すような、ダイヤモンドと鉄との熱化学的な相互作用にもとづく損耗痕が発生する。973K 以上の高温では中央部が深い大きな損耗痕が見られ、損耗痕表面は黒化し、ワイヤー中には炭素が拡散している。一方、873K での損耗痕は変色が見られず、接触領域の周辺部の方が深くなっている。また、ワイヤー中への炭素の拡散は見られない。773K 以下では損耗は観察されない。

ダイヤモンドは鉄との接触下では 1000K 付近で黒鉛化し、活性化エネルギーは鉄の触媒作用によって、単体の時よりもかなり低下するといわれている [2]。また、ある条件下での化学反応の進行方向は反応式の左辺および右辺の系が持つ標準ギブスの自由エネルギーの変

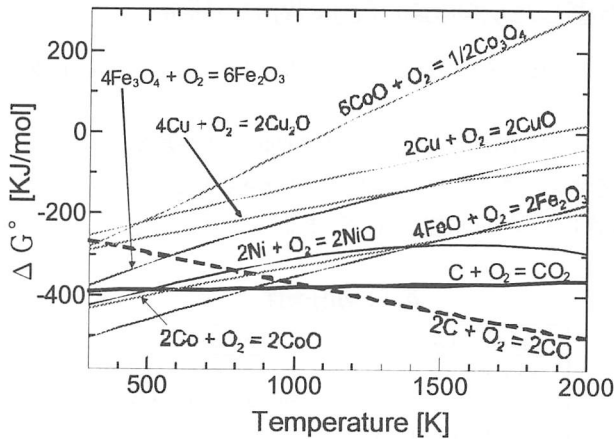


図3. 金属およびダイヤモンドの酸化反応におけるギブスの自由エネルギーの変化量

化量 ΔG_T° を知れば予測できる。 ΔG_T° が負になるときは反応が左辺から右辺に向かって進行し、0の時は平衡状態、正の時は逆に進行する。図3はいくつかの金属およびダイヤモンドの酸化反応における酸素1モル当たりの ΔG_T° を温度の関数として示したものである。同じ温度での酸化反応を比較した時、絶対値が大きい負の ΔG_T° を持つ酸化物ほど安定であるため、未酸化の物質が絶対値のより小さい負の ΔG_T° を持つ他の酸化物と接触すると、それから酸素を奪って自身が酸化し、相手を還元することができる。図より、これらの材料は全て常温以上で酸化し、ダイヤモンドは600K程度以上の高温で鉄やニッケルの酸化物を還元できることがわかる。

以上の結果より、高温下では鉄清浄面との接触によりダイヤモンド表面の炭素原子が引き抜かれて鉄中に拡散し、低温下では鉄酸化物をダイヤモンドが還元することによって損耗が進行すると考えられる。

3. 熱化学加工実験とその結果

前節の結果より、高温下でダイヤモンドを鉄清浄面と接触させると、表面の炭素原子が鉄中に拡散して加工ができると考えられ、著者らによって、それが可能であることは実験的に確かめられた。しかし、1000K以上の高温下で行うこの手法は加工装置を設計する上での問題が多い。そこで、本報では比較的低温下で加工が進むと考えられる、酸化還元反応を利用する方法を提案する。

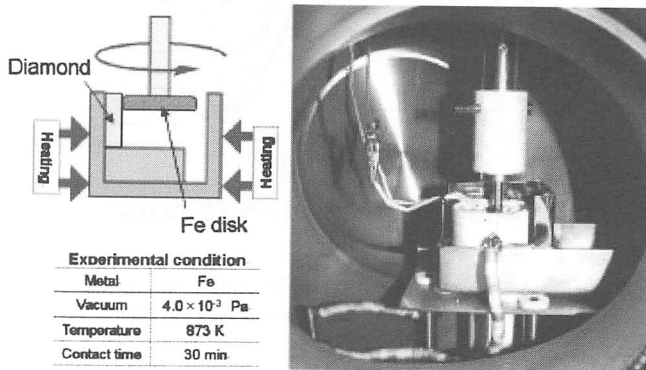


図4. 熱化学加工装置

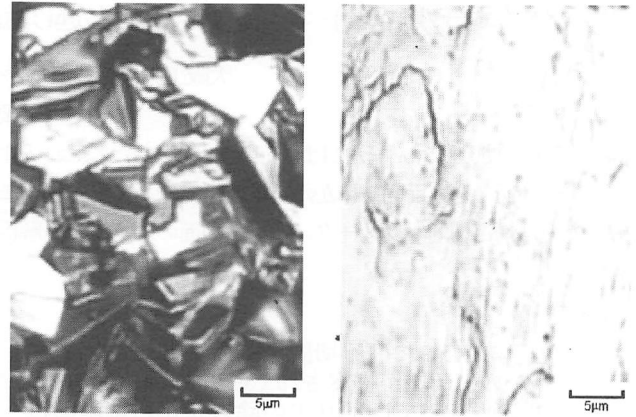


図5. 純鉄によるCVDダイヤモンド膜の加工結果

図4に示すように、雰囲気中の酸素分圧を制御できる真空チャンパー内の坩堝を周囲に設置したヒーターで873Kに加熱し、坩堝の中で、純鉄円板をダイヤモンド試料に接触させて回転させることによって、純鉄円板表面が酸化し、酸化鉄をダイヤモンドが還元することによって加工が進行する。本手法は、拡散を利用する手法に比べて、加工速度は遅いが、低温で加工ができ、工具鉄中に拡散した炭素が飽和することによる加工速度の低下がないという利点を持っている。また、例えば球のような、適当な形状を持つ工具を用いることにより、自由曲面の加工が可能である。

図5はCVDダイヤモンド薄膜を600K、 4×10^{-3} Paの雰囲気のもとで30分間加工を行った時の加工前後の表面を示す。微小な結晶の集積であった表面は明らかに平滑に加工されている。加工機構から考えて、雰囲気中の酸素分圧は高い方がより加工が早く進行するが、高くなりすぎると、ダイヤモンド表面の工具円板と接触していない部分が熱的にエッチングされるため、加熱温度によって最適の圧力を選ぶ必要がある。現在の所、最適な加工条件を決定するまでには至っていない。また、図2より加工工具材として利用できると考えられるニッケルを工具円板として用いても同様な加工が可能である。

4. 結言

ダイヤモンドの熱化学的損耗機構を原理的に明らかにし、損耗を積極的に起こさせることによって、ダイヤモンド表面を平滑化する手法を提案し、その有効性を確かめた。今後はより高能率な加工を行うための条件を明らかにしてゆきたい。

参考文献

- 1) H.Tanaka, S.Shimada et al., Key Engineering Materials, 196 (2001) 69.
- 2) E.Paul, C.J.Evans et al., Precision Engineering, 18,1 (1996) 4.