

平成 21 年 6 月 4 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560116

研究課題名（和文） ダイヤモンド工具の損耗に及ぼす被削材との熱的親和性と切削形態に関する研究

研究課題名（英文） Study on the influence of thermal affinity with workpiece and cutting form upon the wear of diamond cutting tool

研究代表者

佐藤 昌彦（MASAHIKO SATO）

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50244512

研究成果の概要：

単結晶ダイヤモンド工具を用いて炭素鋼，チタン合金，ステンレス鋼，ニッケル合金の断続切削実験を行い，工具刃先温度を測定した．温度測定には赤外線放射 2 色温度計を使用した．実験は連続切削と断続切削で実験を行った．切込み 100 μm におけるステンレス鋼，炭素鋼は約 450°C，チタン合金，ニッケル合金に対しては約 550°C であった．切削条痕と切りくずの観察を行い被削材が切削特性に及ぼす影響を調べた．

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：切削，温度，測定，ダイヤモンド工具

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンド工具は，高硬度で刃先が鋭利であることから，アルミニウムや銅などの軟質金属の超精密切削に広く適用されている．しかしながら，代表的な構造用材料である鉄鋼や機能性材料であるチタン合金などに対しては，工具の摩耗が急速に進行するために，実用的に使用がすることが難しい状況にある．工具摩耗の最大の原因は切削温度であり，工具すくい面での切削温度の上昇によって

被削材との間で熱化学反応が促進され，著しい工具摩耗を示すとされている．このような摩耗機構を解明するためには，すくい面上での切りくずとの接触面温度を知ることが重要であるが，実際の加工でダイヤモンド工具がどのぐらいの温度まで上昇しているかについては，適当な温度測定方法がないために，ほとんど明らかにされていないのが現状である．また最近，摩耗機構に関連して温度上昇と並んで重要なのは，高温となった状態が

どのぐらいの時間、持続しているかであり、ダイヤモンドが高温で化学反応し、構造変化を起こして摩耗していくためには数 ms 程度の時間が必要で、ごく短い時間間隔の断続切削によっては工具摩耗が抑制できるという報告もある。従って、摩耗の原因を明らかにし、最適切削条件を求めようとするためには、実切削における工具刃先の到達温度とその持続時間の両面から検討していく必要があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、ダイヤモンド工具による切削において、切削時の到達温度と切削時間が工具摩耗に及ぼす影響を、加工中の工具刃先温度を実際に測定した結果に基づいて明らかにし、得られた摩耗特性を、被削材の熱化学的な性質に基づいて整理することで、ダイヤモンド工具による切削の実用化に向けた新たな展開を図ることを目的としている。

具体的には、ダイヤモンドは赤外線に対して高い透過率を有しており、この性質を利用して切削時の工具刃先温度を測定する。すなわち、切削加工中にすくい面上の工具と切りくずとの接触面から放射され、工具内を透過してきた赤外線を工具裏面から検出することにより温度に換算する。被削材には鉄系材料とチタン合金などを使用し、各被削材に対する工具刃先温度の特性を明らかにする。同時に、切削条痕や工具刃先の観察から、工具摩耗との関係を明らかにする。また、工具と被削材との接触時間が工具摩耗に及ぼす影響を明らかにするために、切削長さを変えた被削材を用意して断続切削実験を行い、工具刃先に加わる熱的な負荷との関係を明らかにする。得られた結果は、被削材の機械的、物理化学的な性質を基にして系統的な整理を行うこととする。以上の結果より、各被削材の諸性質に基づく実用的な切削条件を見出すための指針を示す。

3. 研究の方法

切削実験には、旋盤（大隈、LS 旋盤）を使用した。実験は丸棒の外周連続切削と、矩形材の断続切削を行った。ただし、連続切削においては旋盤の振動の問題もあり、安定したデータが取れなかったため、断続切削の結果についてのみ報告する。断続切削における実験条件は、切削速度が約 1000m/min、切込みが 0~100 μm 、工具送りが 0.365mm である。被削材には、チタン合金 Ti-6Al-4V、ステンレス鋼 SUS304、炭素鋼 S45C、ニッケル合金 Inconel718 を使用した。実験においては、被削材に約 100 μm の傾斜をつけることにより、切削ごとに切込みを変化させることができるようにした。

図 1 は実験装置の概略であり、主軸に取り

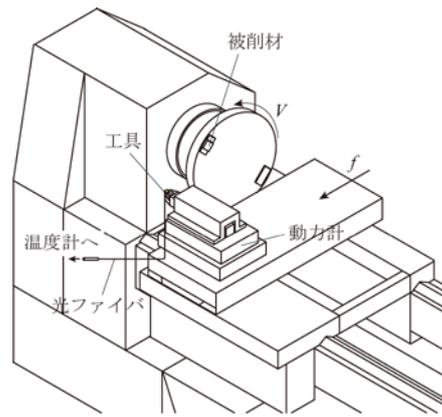


図 1 実験装置

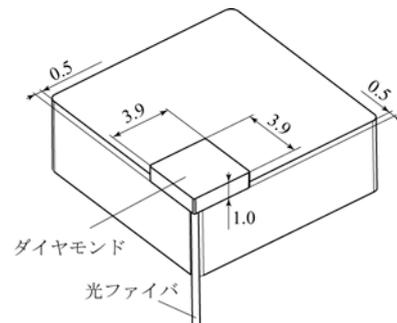


図 2 工具詳細

付けた円盤に被削材を取り付けている。円盤の直径は約 300mm であり、被削材と反対側にバランサを取り付けている。

切削抵抗の測定には、水晶圧電式の切削動力計を使用した。

温度計には、フッ化物ガラスを主成分とした光ファイバと赤外線検出素子とを組合わせた熱放射温度計を使用した。ファイバのコア径は約 190 μm 、長さは約 2m である。赤外線検出素子には InAs と InSb の積層素子を使用した。2つの素子を用いて温度計を構成し、それぞれの出力の比から温度に換算することにより、測定対象が小さな場合でも対象の面積によらない温度測定が可能となる。素子の応答速度は約 1 μs であり、温度計の増幅回路の周波数応答特性が約 10Hz~100kHz であることから、温度計全体の周波数応答特性は増幅回路の特性によって決まる。素子は液体窒素で冷却している。

本温度計は測定領域から受光した赤外線エネルギーを温度に換算することから、測定している温度は測定領域の平均温度よりも高く、最高温度に近い温度となる。

工具として使用した単結晶ダイヤモンド工具の外観を図 2 に示す。工具は図のようにチップ基盤から 0.5mm 程度ダイヤモンドを突きだしており、突き出た部分の底面に光ファイバを受光面が工具と切りくずとの接触面を向くように設置する。ダイヤモンドは赤外線に対して透過性を有していることから、

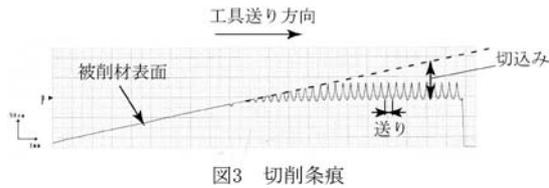


図3 切削条痕

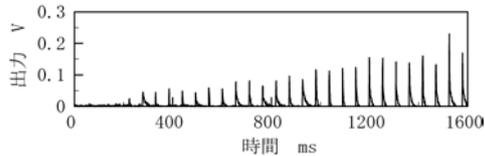
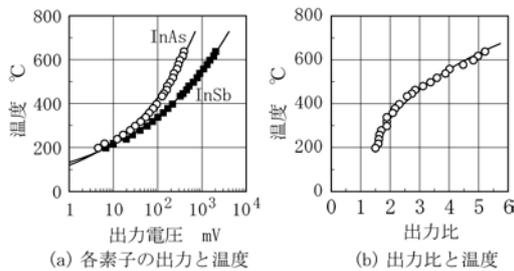


図4 出力波形例 (InSb 素子)



(a) 各素子の出力と温度 (b) 出力比と温度

図5 温度計の出力校正

切削中に工具と切りくずとの接触面から放射された赤外線は工具内を透過し、工具裏面に設置した光ファイバによって受光されて温度計に伝送、温度に換算される。ダイヤモンドの厚さは約 1mm である。

4. 研究成果

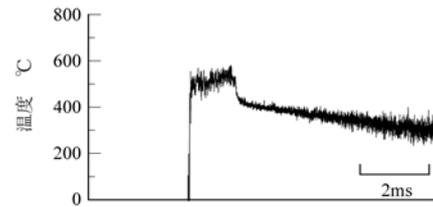
4. 1 測定波形例

図3は切削後の被削材上の切削条痕であり、被削材表面の延長線と条痕との距離が切込みとなる。図4はそのときの InSb 温度計の出力電圧であるが、断続的な切削に対応して出力が得られていることがわかる。

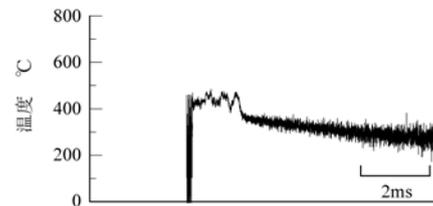
温度校正は、被削材を試片として一定温度に加熱し、試片表面から放射される赤外線を工具を通して受光することにより求めた。得られた校正曲線を図5に示す。

図4に示すような温度計の出力を各パルスごとに拡大し、出力比を求めて温度に換算したものを図6に示す。

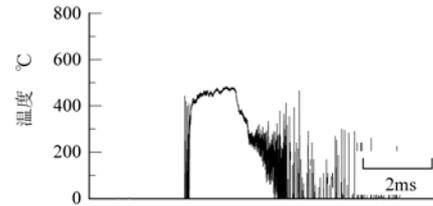
図(a)はチタン合金に対するものであり、切削が開始すると直ちに温度が上昇し、上昇後ごく短時間で温度は定常的な状態になっていることが分かる。切削中の工具すくい面温度は緩やかに約 550°C程度まで上昇し、切削が終了すると温度は約 400°C程度に急低下する。しかしながら、その後の刃先温度の低下は極めて緩やかである。これは、切削後の工具すくい面に切りくずが凝着するために切削後は凝着物の温度を測定することとなり、温度が低下しにくくなっているためと考えられる。このことは工具が比較的長い時間高温にさらされるため、摩耗に影響するものと考えられる。



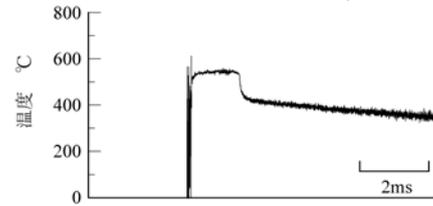
(a) Ti-6Al-4V, d=105.3μm



(b) SUS304, d=98.4μm



(c) S45C, d=106.3μm



(d) Incone1718, d=122.9μm

図6 測定波形例

同図(b) ステンレス鋼や同図(d) ニッケル合金の場合も同様であるといえる。ニッケル合金の場合には切削中の温度変化はほとんどない。

炭素鋼の場合には、温度上昇は比較的緩やかであり、切削後はすくい面温度が下げ止まるようなこともなく低下していく。これはすくい面への切りくずの凝着が少ないためと考えられる。

それぞれの図において温度が低くなるにつれて温度波形にノイズが多くなっていくのは、温度計の測定下限が約 200°Cであるためである。

4. 2 切込みとすくい面温度との関係

図7は各被削材ごとの切込みと工具すくい面温度との関係である。

図より、切込みが 100 μm 程度においては、チタン合金、ニッケル合金に対するすくい面温度は約 550°C程度であり、ステンレス鋼や炭素鋼に対するすくい面温度は約 450°Cとなっている。一般的な超硬工具によるチタン合金などの切削では刃先温度が 1000°C以上の高温となることが知られているが、それと比べて小さいのはダイヤモンドの熱伝導率が

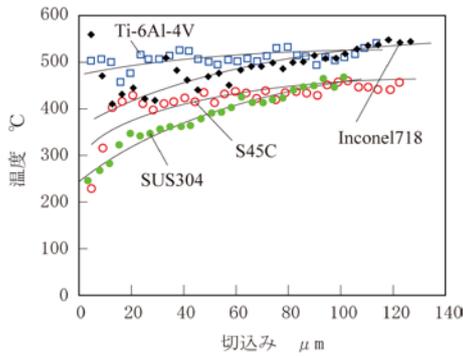


図7 切込みとすくい面温度との関係

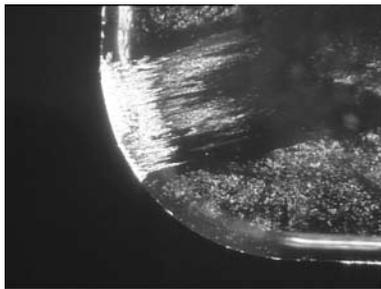


図8 工具すくい面の観察

900W/mK と極めて大きいと考えられる。

ステンレス鋼は難削材であり刃先温度も高くなるのが知られているが、炭素鋼とあまり相違がなかった。また、切込みが小さい範囲においては炭素鋼よりも温度は低かった。

チタン合金は切込みが数 μm と小さい範囲においても刃先温度は約 500°C 程度と高く、刃先に対する熱的負荷は大きいといえる。これは、チタン合金の熱伝導率が 6.7W/mK と小さく、切込みが小さい場合でも切削熱が切りくず内から拡散しにくく、刃先温度が上昇しやすいためと考えられる。インコネルはチタン合金ほどは温度は高くないが、切込みが大きくなるにつれて難削性を示し、刃先温度は高くなる。

4. 3 工具摩耗, 切削条痕

切削後の工具すくい面を観察した例を図 8 に示す。図はニッケル合金を切削した後であるが、工具すくい面には、切りくず流出方向に沿って被削材が凝着しており、図 6 に示したように切削後の工具すくい面温度が緩やかに低下するのは、このような凝着物の影響であると考えられる。すくい面摩耗については切削距離が短いことから工具摩耗が小さく、被削材ごとに温度との関係を定量的に評価するには至らなかった。

図 9 は仕上げ面上の切削条痕を観察した例である。チタン合金と炭素鋼の場合を示しているが、4 つの被削材の中では炭素鋼切削時の条痕が最も荒れており、すくい面の温度は低い、このような切削時の切りくず生成の

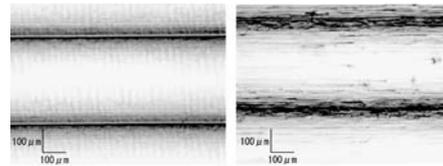


図9 切削条痕の観察

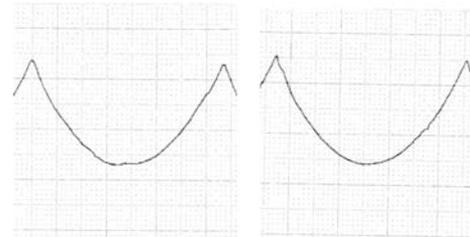


図10 切削条痕

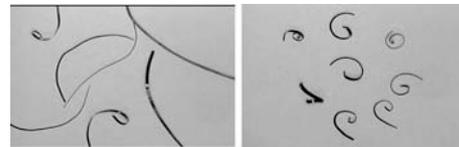


図11 切りくず

微視的な不安定さは工具摩耗に影響するものと考えられる。

図 10 は切削条痕を表面粗さ計で測定した例である。被削材上には工具刃先形状が規則的に残されており、切削は安定的に行われていると推察される。チタン合金の場合、わずかに先端形状に差異があるが、切削距離との定量的な関係を把握するには至らなかった。

図 11 は切りくずの観察例である。チタン合金の場合に切りくずが長いのは、切削後に工具刃先に切りくずが凝着し、次の切削の際にその切りくずに新しい切りくずが凝着していくためと考えられる。このことは、断続切削においてダイヤモンド工具すくい面には常に切りくずが凝着していることを示しており、工具摩耗への影響は大きいものと考えられる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1 件)

- ①佐藤昌彦, 硬脆材料の微小切削における切削点温度の熱放射計測, 精密工学会中国四国支部愛媛地方学術講演会, 2008 年 11 月 15 日, 愛媛大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 昌彦 (SATO MASAHIKO)
鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 50244512

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし