



光ファイバを用いた赤外線放射温度計による 常圧焼結 Si_3N_4 の研削温度測定*

上田隆司** 鳥居明人*** 中村 示† 杉田忠彰**

Key words: silicon nitride, diamond grain, grinding temperature, infrared radiation pyrometer, optical fiber

1. 緒 言

構造用セラミックスに対しては、現在のところ、ダイヤモンド砥石による研削加工が一般的な加工法となっている。ところが、大部分のセラミックスは電気的不良導体であることから、従来の熱電対を用いた研削温度測定方法を適用することは難しい。研削温度は注目する温度場領域の大きさに応じて異なるが、砥粒切れ刃温度は最も基礎的な温度であり、砥石寿命だけでなく材料除去機構や加工材料の仕上面性状に大きな影響を及ぼす。また、加工物表面層の温度分布は材料強度の低下原因になる熱応力などの解析に重要である。

そこで、本研究では著者らが開発した光ファイバと高感度赤外線検出素子を組み合わせた新しいタイプの赤外線放射温度計を用いて¹⁾⁻³⁾、代表的な構造用セラミックスである Si_3N_4 を平面研削した時のダイヤモンド砥粒の切れ刃温度、及び Si_3N_4 内の温度分布を測定した結果について報告する。

2. 研究方法

2.1 温度計

図1に温度計の基本構造を示す。測定対象物から放射される赤外線を1本の光ファイバで受光し、光電変換素子 InSb セルへ伝送する。ここでは低温を精度よく測定するため、InAs の代わりに長波長の赤外線を測定できる InSb を用いている²⁾³⁾。InSb セルで電気信号に変換された信号は増幅後、シンクロスコープなどでモニタされる。InSb の応答速度は $1\ \mu\text{s}$ であり、アンプは $100\ \text{kHz}$ までフラットな周波数特性を持つ

ている。図2に光ファイバの分光透過率や InSb の分光感度特性などで決まる本温度計の相対感度を計算した結果を示す。

2.2 出力校正

赤外線温度計の出力校正は一般に難しいが、ここでは加熱した試料から放射される赤外線を温度計で測定することによって出力校正を行った。図3は加工材料である Si_3N_4 の出力校正曲線、図4はダイヤモンド砥粒の出力校正曲線である。図中の実線は図2の相対感度曲線であり、よく測定結果と一致している。い

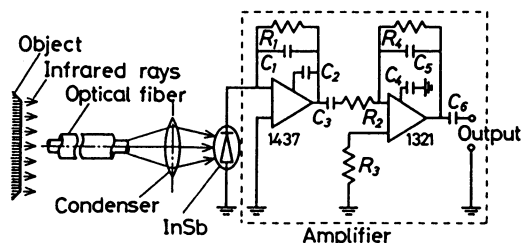


Fig. 1 System of InSb-I. R. P.

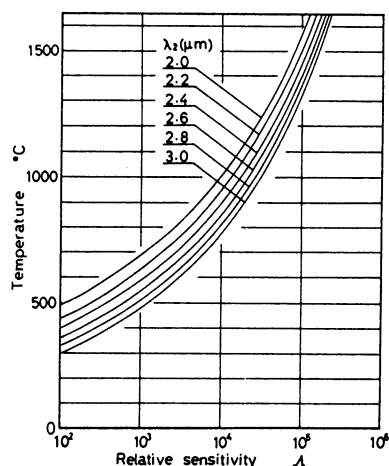


Fig. 2 Theoretical relative sensitivity of InSb-I. R. P.

* 原稿受付 平成元年8月14日

** 正会員 金沢大学工学部(金沢市小立野2-40-20)

*** 正会員 日本電装(株)(刈谷市昭和町1-1)

† 正会員 大阪大学基礎工学部(豊中市待兼山1-1)

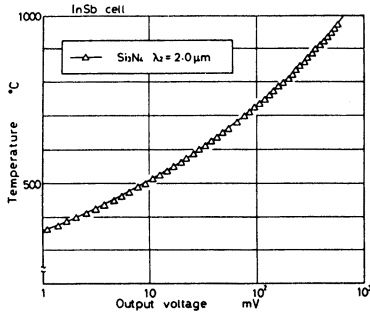


Fig. 3 Calibration curve of InSb-I. R. P. for Si_3N_4 specimen

れの場合も $350\sim 400^\circ\text{C}$ 以上の温度を測定できる。ダイヤモンド砥粒の校正に際しては、酸化を防ぐため窒素ガス中で加熱する方法も試みたが、温度計の出力には空気中の場合と差が認められなかった。また、レジ用ダイヤモンド砥粒はニッケルコーティングされているため、HCl 処理により Ni を除去した砥粒も用いてみたが、図 4 (b) にみるように、両者の間にはほとんど差が認められない。したがって、Ni の有無は切れ刃温度の測定に影響しないことがわかる。

2.3 実験方法

実験は砥石周速度 $V=1\ 000\ \text{m/min}$ 、テーブル速度 $v=10\ \text{m/min}$ のもとで乾式上向きワンパス平面研削を行い、加工物内の温度分布、及び砥粒切れ刃温度の測定を行った。加工物の底面から研削表面近傍まであけた直径 $1\ \text{mm}$ の小穴にコア径 $49\ \mu\text{m}$ の石英光ファイバ (多モードステップ型, $\text{NA}=0.212$) 1 本を、受光面が小穴の底面と接する位置まで挿入する。このファイバにより、砥石が小穴の上を通過するとき小穴の底面から放射される赤外線を受光し、InSb セルへ伝送する。測定信号はサンプリング間隔 $1\ \mu\text{s}$ でデジタルメモリーに記録した後、パーソナルコンピュー

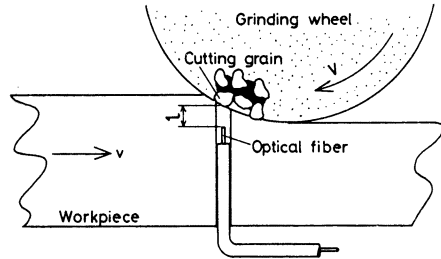


Fig. 5 Illustration of measurement of temperature of cutting grains

タで処理する。研削が進むと小穴の底面は研削面に近づき、小穴が貫通するまで測定を繰り返す¹⁾。

小穴が研削面を貫通すると、図 5 に示すように光ファイバは小穴の上を通過する砥粒切れ刃からの赤外線を受光することになり、切削中の切れ刃温度を測定することができる。このとき、小穴内の空気は外へ吸い出される状態となるため、切りくずが粉状となるセラミックス加工では、切りくずによって測定が妨げられることが少ない。切れ刃と受光面間の測定距離は $50\sim 100\ \mu\text{m}$ としているが、図に見るように、小穴に対する砥石の位置により、ファイバの測定距離 l が変化するとともに、切れ刃の切込み深さが変化することから、測定結果の取扱いには注意を要する。

2.4 実験材料

加工材料には常圧焼結した Si_3N_4 (研削面形状: $25\times 8\ \text{mm}$, 密度: $3.26\ \text{g/cm}^3$, HRA 91, 熱伝導率: $12.6\ \text{W/mK}$) を用いた。このほか、熱伝導のよい SiC (熱伝導率: $57.3\ \text{W/mK}$) も用いてみたが、 Si_3N_4 に比べて研削抵抗が小さく、温度が上がらないため加工物内の温度は測定できなかった。砥石にはレジ用ダイヤモンド砥石 (形状: $\phi 200\times 10\ \text{mm}$, 集中度: 80) を用いた。ダイヤモンド砥粒は #60/80 の CSGII (G. E. 製, ニッケルコーティング) である。

3. 実験結果

3.1 Si_3N_4 内の温度分布

セラミックスの研削加工では研削抵抗の法線方向分力 F_n が大きくなるため、切残しが大きくなり、設定切込み量 t は単なる目安を与えるに過ぎない。そこで、温度測定時に測定した研削抵抗の接線分力 F_t 、及び F_n を t で整理した結果が図 6 である。 t と研削抵抗の間に直線関係のあることがわかる。

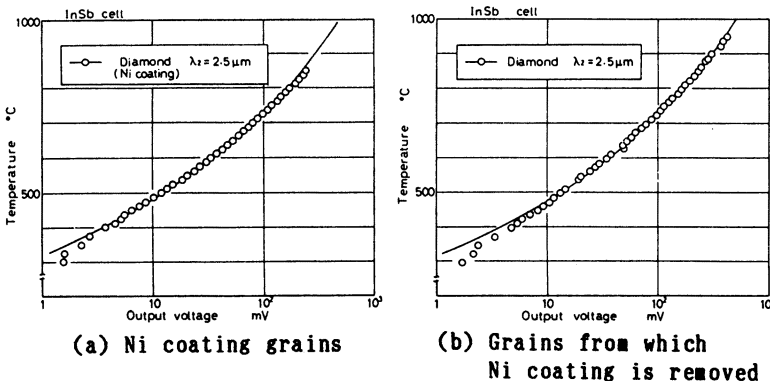


Fig. 4 Calibration curves of InSb-I. R. P. for diamond grains

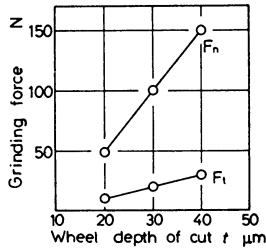


Fig. 6 Grinding force

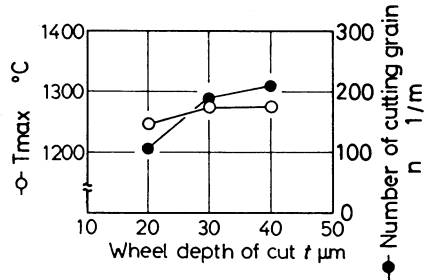


Fig. 9 Maximum temperature of cutting grain and number of cutting grain



Fig. 7 Output wave of grinding temperature in surface layer of Si₃N₄

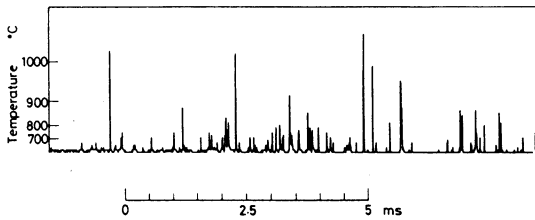


Fig. 8 Typical experimental result for measurement of cutting temperature of diamond grains

Si₃N₄ は熱伝導率が小さいため、研削表面層での温度勾配が急になり、内部では温度が急激に低下してしまうと考えられる。図7は小穴が研削表面に貫通する直前の測定結果 ($t=40\mu\text{m}$) であり、本研究でもこの一例が測定されただけである。パルス状の出力(時間軸を圧縮しているため図では線となっている)は個々の切れ刃が穴の上を通過したときの出力である。小穴の底面の平均的な温度上昇は切れ刃が通過してわずかな時間遅れの後最高温度に達しているが、高々500°Cにすぎない。これらの時間遅れや低い温度上昇はSi₃N₄の熱伝導の悪さによるものと考えられるが、400°C以下の温度測定が難しい本温度計ではこれ以上の結果を得ることは難しく、今後、より長波長の赤外線透過するふっ化物光ファイバを用いるなどの改良を加える必要がある²⁾。

3.2 砥粒切れ刃温度

ダイヤモンド砥粒の切れ刃温度を測定した結果を図8に示す。パルス高さが温度に対応しているが⁴⁾、図5にみるように、加工進行と共に光ファイバの受光面

と切れ刃(砥石作業面)との距離(測定距離)は時々刻々変化している。このため、パルス高さが切れ刃温度を正確に表しているとはいえない。すなわち、この温度計の測定原理からすれば、温度を過大に評価することはないが、測定距離が長い場合には温度計の感温面積が大きくなり、温度を低く評価するが生じる¹⁾。また、up cutであることから、測定開始時には切削終了時の高温に達した切れ刃を測定しており、測定終了時には切削始めでまだ十分に高温に達していない切れ刃を測定していることになる。この様子は、図8において、測定終了に近づくにつれてパルス高さが段階的に低下していることにも現れている。従って、この測定結果では最高温度 T_{max} に注目すべきであり、切れ刃温度が少なくともこの温度に到達していることがわかる。図9は数回の加工実験を行い、 T_{max} 、及び切れ刃数 n を測定して切込み深さ t で整理した結果である。切削抵抗 F_i は図6に示すように t が大きくなれば直線的に大きくなるが、 T_{max} は少し上昇するものの1200~1300°Cの間ではほぼ一定となっている。これは金属加工と同様 t が大きくなれば F_i と共に n も増加し、結果的に1個の切れ刃に作用する負荷が大きく変化しないことによるものである。しかし、ダイヤモンドは600~700°Cから酸化が始まるため、1200°C以上という温度は砥粒切れ刃の寿命の観点から極めて過酷な状態であるといえる。また、Si₃N₄の研削表面もこれに近い高温に達していると推定できる。

4. 結 言

光ファイバと光電変換素子 InSb セルを組み合わせた新しいタイプの赤外線温度計を用いて、構造用セラミックス Si₃N₄ を平面研削した時のダイヤモンド砥粒の切れ刃温度、及び加工物内の温度の測定を試みた。その結果、砥粒切れ刃は高いもので1200~1300°Cに達していた。また、Si₃N₄の研削表面もこれに近い温度に達していると推定できるが、温度勾配が急

なため、研削表面近傍では高々数百°Cにしか達していなかった。

終わりに、光ファイバ、及びセラミックスの提供を受けた藤倉電線(株)、及び日本特殊陶業(株)に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 上田隆司, 細川 晃, 山本 明: 光ファイバを用いた赤外線放射温度計による研削温度の測定, 精密機械, 50, 12 (1984) 1896.
- 2) 上田隆司, 細川 晃: 光ファイバを用いた赤外線放射温度計の開発, 材料, 36, 403 (1987) 404.
- 3) T. Ueda, A. Hosokawa & A. Yamamoto: Measurement of Grinding Temperature Using Infrared Radiation Pyrometer with Optical Fiber, ASME, J. Engg. Ind., 108, (1986) 247.
- 4) 上田隆司, 岡田公之, 鳥居明人: 光ファイバを用いた赤外線放射温度計による研削機構の研究, 日本機械学会論文集, C編, 55, 516 (1989) 2251.

1) 上田隆司, 細川 晃, 山本 明: 光ファイバを用いた赤



会

報

1989 年度第 3 回理事会議事

日時 平成元年 9 月 12 日 (火), 17 時 30 分~21 時 30 分

場所 サンパークホテル会議室

- 議事
1. 前回議事録確認および 1989 年度第 2 回総務委員会議事報告の件
 2. 1989 年度 (第 9 回) 精密工学会技術賞受賞決定の件
 3. 1989 年度 (第 1 回) 精密工学会蓮沼記念

賞受賞決定の件

4. 1990 年度論文賞関係審査委員会設置の件
5. 1990 年度役員選出委員会設置の件
6. JSPE-ISON に関する件
7. 支部講演会役員派遣の件
8. 専門委員会, 分科会設置の件
9. 報告事項

+

編 集 後 記

精密工学の分野において、振動現象が主要な研究対象であることは周知のとおりです。そこでは振動の利用技術もさることながら、むしろ振動の発生、存在による弊害に悩まされ、この克服が最大の研究・技術課題になって来たと言えます。特に昨今、半導体工業や計測技術で代表されるように、機器に対し極限状態に近い極めて高い精度と性能が要求されるようになるにつれ、従来無視できた微小振動の抑制・絶縁技術に多大な関心が向けられ始めております。すなわち、いわゆるハイテク先端技術の分野では、この微小振動の存在いかんによって機器性能、製品品質が直接敏感に左右されることとなり、その対象とする微小振動もサブミクロンメートルから時にはナノメートルオーダーになることも決して珍しくないのが現状です。そして、このような微小振動を絶縁するには、従来の振動理論や防振技術の延長だけでは必ずしも対処し切れないことが指摘されるなど、こ

の微小振動問題に対する関心が高まっております。そこでこの微小振動問題の現状と技術的問題点、更には今後の展望などについて議論を交わすには今が丁度時宜を得ているものと考え、本小特集を企画致しました。特に従来精密工学の分野では、この種の問題に対して振動現象やその抑制のための具体的技術に対する関心が高いと思われませんが、本小特集ではそのような話題に加えて、微小振動の絶縁という観点では最も本質となる減衰のメカニズムという視点からの言及にも心掛けたつもりです。なお振動の抑制を意味する用語は思いつくだけでも、例えば“制振”“防振”“除振”“免震”“振動遮蔽”“振動絶縁”などがあげられます。これらの用語の意味には技術的にそれぞれ微妙なニュアンスの相違があり、慣例に従って使い分けられているものの、厳密な定義という面では多少の曖昧さが残っているようです。本小特集の中でもこれらの用語が統一されておらず、一見無秩序に用いられているかの印象を受けるかも知れませんが、この辺の事情を念頭においてお読み頂きたいと思ひます。(柴田順二)