



ふっ化物光ファイバを用いた赤外線輻射温度計 による常圧焼結 Si_3N_4 の研削温度測定*

上 田 隆 司** 山 田 啓 司*** 杉 田 忠 彰**

Key words: grinding temperature, ceramic grinding, silicon nitride, fluoride optical fiber, infrared radiation pyrometer

1. 緒 言

構造用セラミックスをダイヤモンド砥石で研削加工しようとするとき、砥粒切れ刃温度や加工物表面層の温度分布に関する情報は材料除去機構をはじめ、砥石寿命、加工材料の仕上面性状、材料強度への影響などを検討するうえで極めて重要である。しかしながら、一般に電気的不良導体であるセラミックスに熱電対を用いた測定方法を適用することは難しく、セラミックスの研削温度測定法の確立が望まれている。

前報¹⁾では石英光ファイバを用いた赤外線輻射温度計を用いて常圧焼結 Si_3N_4 の研削温度の測定を試みた。その結果、切削時のダイヤモンド砥粒切れ刃温度を測定することには成功したが、加工物内の温度分布に関しては満足いく結果が得られなかった。切りくず生成機構の違い、セラミックスの熱伝導の悪さ、ダイヤモンド砥粒の熱伝導の良さなどのため、加工物内の温度は金属加工の場合ほど上昇せず、 400°C 以下の温度測定が難しい石英光ファイバ型赤外線輻射温度計では測定できないためであった。

そこで、本研究では石英光ファイバの代わりに長波長の赤外線を送ることができるふっ化物光ファイバを用いて温度計の改善を試みた。ふっ化物光ファイバを用いれば約 100°C 以上の温度を測定できることはすでに確かめているが²⁾、当時ファイバの強度が低いため研削温度の測定に適用することがむずかしかった。その後、強度や伝送損失が大きく改善されたことから³⁾、この新しいふっ化物光ファイバと高速光電変換素子 InSb を組み合わせた赤外線輻射温度計により、常圧焼結 Si_3N_4 内の研削温度の測定を試みた。

2. 研究 方 法

2.1 温度 計

基本的構造は前報と同じであり、光ファイバとして石英より長波長の赤外線を送ることができるふっ化物光ファイバを用いている。図 1 は伝送損失を石英光ファイバと比較しているが、石英光ファイバが $\lambda=2.0\ \mu\text{m}$ から急激に損失が大きくなるのに対し、ふっ化物光ファイバでは波長 $3.5\ \mu\text{m}$ 程度の赤外線まで伝送することができる。図 2 にふっ化物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

既知の温度に加熱された Si_3N_4 から輻射される赤外線を送ることができるふっ化物光ファイバで受光し、温度計の出力電圧を測定した結果が図 3 である。石英光ファイバを用いた場合（前報図 3）に比べると大きく改善されてお

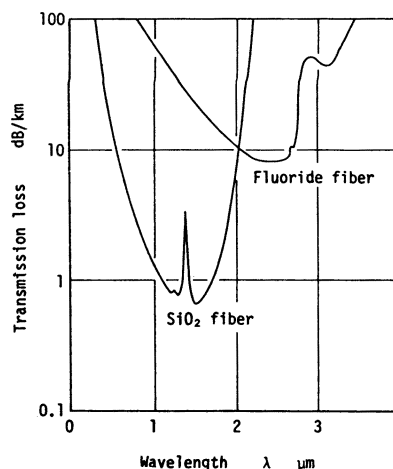


Fig. 1 Spectral transmission loss of fluoride fiber and SiO_2 fiber

* 原稿受付 平成 2 年 1 月 20 日

** 正 会 員 金沢大学工学部 (金沢市小立野 2-40-20)

*** 学 生 会 員 金沢大学工学部

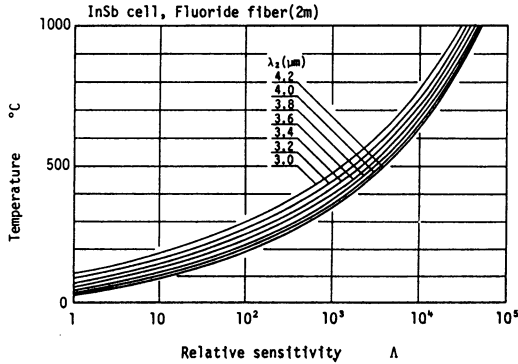


Fig. 2 Theoretical relative sensitivity of InSb-I. R. P. with fluoride fiber

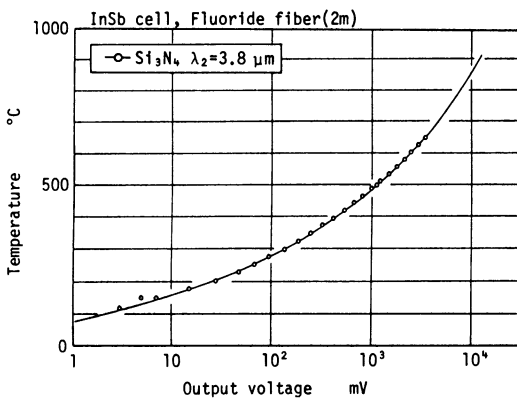


Fig. 3 Calibration curve for Si₃N₄ specimen

り、本温度計では 100°C 以上の温度を測定することができる。また、図中の実線は図 2 の理論曲線で最もよく実験結果と合う $\lambda_2 = 3.8 \mu\text{m}$ の曲線を当てはめたものであり、ふっ化物光ファイバがほぼこの波長領域までの赤外線を透過していることがわかる。

2.3 実験方法

実験装置の概略図を図 4 に示す。実験は砥石周速度 $V = 1570 \text{ m/min}$ 、テーブル速度 $v = 12 \text{ m/min}$ 、切込み深さ $t = 20 \mu\text{m}$ のもとで、乾式上向きワンパス平面研削を行い、Si₃N₄ 内の温度分布、および研削抵抗を測定した。加工物の底面から研削表面近傍まであけた直径 0.8 mm の小穴に長さ約 2 m のふっ化物光ファイバ³⁾ (多モードステップ型、クラッド径 125 μm 、コア径 50 μm 、NA=0.26) 1 本を受光面が小穴の底面と接する位置まで挿入する。砥石が小穴の上を通過するとき、小穴の底面から輻射される赤外線がふっ化物光ファイバで受光し、InSb セルへ伝送して電気信号に変換する。測定信号はサンプリング間隔 1 μs でデジタルメモリーに記録した後、パーソナルコン

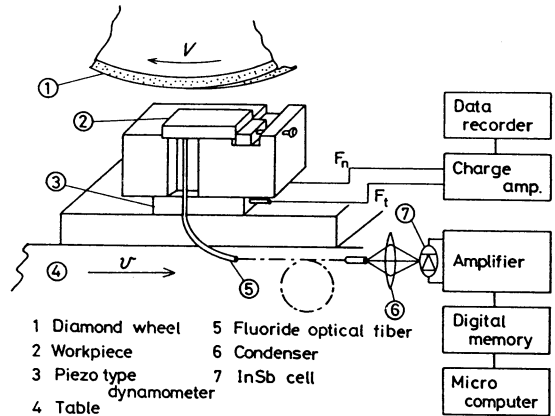


Fig. 4 Schematic illustration of experimental arrangement

Table 1 Characteristics of Si₃N₄

Density	g/cm ³	3.23
Bending strength	MPa	970
Fracture toughness K_{Ic}	MPa $\sqrt{\text{m}}$	5.33
Hardness	HRA	92.5
Elastic modulus	GPa	307
Thermal conductivity	W/mK	13-29

ピュータで処理する。小穴が研削表面に貫通するまで測定を繰り返す。

研削抵抗は、圧電素子型動力計 (KISTLER Piezo-Instrumentation) 上に加工物を取り付け、水平分力、垂直分力を測定した。このタイプの動力計を使用することで、弾性八角リングを使用した前報に比べ切残し量を大幅に改善している。

2.4 実験材料

加工材料には常圧焼結した Si₃N₄ (研削面形状: 25 × 8 mm) を用いた。Si₃N₄ の特性値を表 1 に示す。砥石はレジソボンドダイヤモンド砥石 (形状 $\phi 200 \times 10 \text{ mm}$ 、集中度: 80、砥粒: # 60/80, CSGII) である。

3. 実験結果

測定結果を図 5, 6 に示す。加工物の研削表面から内部への深さを Z としている。図 5 は $Z = 40, 20 \mu\text{m}$ における測定波形である。多数のパルス状の出力が測定されているが、これらにレベルを合わせているため、加工物の温度上昇はよくわからない。そこで、図 5 を拡大した図が図 6 である。加工物内の温度上昇に対する出力に無数のパルス状の出力が加え合わされた波形となっている。パルス状の出力は砥粒切れ刃が小穴上部の加工物を切削するとき生じる熱によるものと考えられる。ところが、研削表面下 $Z = 700 \mu\text{m}$ におい

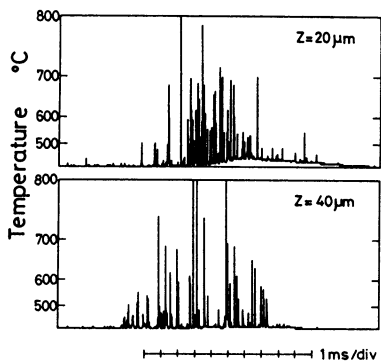


Fig. 5 Output waves of grinding temperature in surface layer of workpiece Si_3N_4

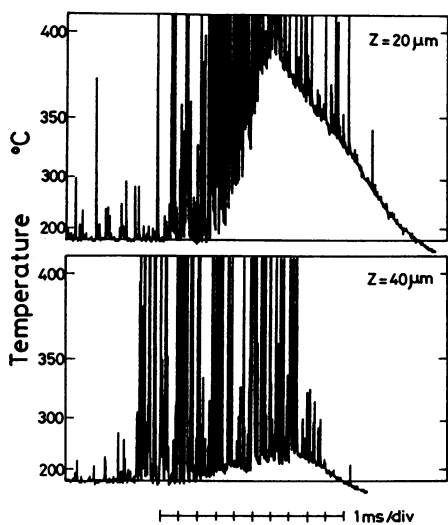


Fig. 6 Magnified output waves of Fig. 5

ても、出力は小さいが図5と同様の多数のパルスが測定されている。 Si_3N_4 は表1にみるように熱伝導率が小さく、この深さまで熱がパルスの状態で伝導されるとは考えにくい。

そこで、赤外線透過する性質を持つ Al_2O_3 (HIP焼結)⁴⁾を同じ条件で研削加工し、加工物内の温度を測定してみた。図7はその $Z=200 \mu\text{m}$ における測定波形であるが、図5と同様のパルスが広い範囲にわたって測定されている。したがって、パルス状の出力は高温状態にある砥粒切れ刃が小穴の上部を通過するとき、その砥粒から放射された赤外線が材料中を透過して小穴底面に到達し、その赤外線を光ファイバが受光するためと考えることができる。

図5,6における多数のパルスは加工物内を透過してきた赤外線であることがわかったが、この中には小穴底面の温度上昇に伴う出力も含まれている可能性があ

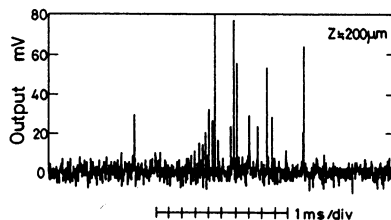


Fig. 7 Output wave of grinding temperature of Al_2O_3 at about $200 \mu\text{m}$ depth below the ground surface

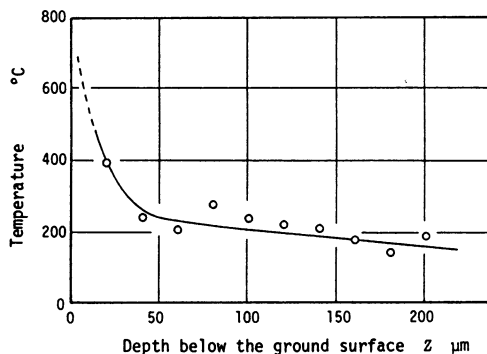


Fig. 8 Temperature distribution in surface layer of workpiece Si_3N_4
 $V=1570 \text{ m/min}$, $v=12 \text{ m/min}$, $t=20 \mu\text{m}$, $F_n=178 \text{ N}$, $F_t=25.4 \text{ N}$

り、今後さらに検討しなければならない。また、図6の加工物温度と考えられる出力に、研削表面($Z=0 \mu\text{m}$)の高温部から放射される赤外線エネルギーの影響が加わっている可能性もある。この場合は温度を過大評価することになるため注意する必要があるが、仮に、研削表面からの赤外線の影響で受光エネルギーが2倍になったとしても、 $300\sim 400^\circ\text{C}$ の温度範囲では高々 50°C 程度の誤差である。

図6などの結果より、加工物内の温度分布を求めた結果が図8である。表面温度は前報のダイヤモンド砥粒切れ刃の平均温度や、図5のパルス温度などから少なくとも 800°C 近くはあるものと推定できることから、わずか $20 \mu\text{m}$ の深さで 400°C 近くの温度差を生じてことになる。熱伝導のよい鋼の研削では $20 \mu\text{m}$ で高々 100°C 程度の温度差しか生じなかったことと比較すると大きな違いである⁵⁾。 $Z=50 \mu\text{m}$ 以上になると温度の低下は小さく、 $Z=100 \mu\text{m}$ でも 200°C 近い温度となっている。

4. 結 言

セラミックスの研削温度測定法の確立を目的として、石英光ファイバより長波長の赤外線を伝送できる

ふっ化物光ファイバと高速光電変換素子 InSb を組み合わせた赤外線輻射温度計によって、常圧焼結 Si₃N₄ の研削温度測定を試みたところ、研削表面層の温度分布を測定することに十分適用できることがわかった。

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

参 考 文 献

1) 上田隆司, 鳥居明人, 中村 示, 杉田忠彰: 光ファイバ

- を用いた赤外線輻射温度計による常圧焼結 Si₃N₄ の研削温度測定, 精密工学会誌, 55, 12 (1989) 2273.
- 2) 上田隆司, 細川 晃: 光ファイバを用いた赤外線輻射温度計の開発, 材料, 36, 403 (1987) 404.
- 3) S. Sakaguchi and S. Takahashi: Low-Loss Fluoride Optical Fiber for Midinfrared Optical Communication, IEEE, LT-5, 9, (1987) 1221.
- 4) Y. S. Touloukian and C. Y. Ho: Thermophysical Properties of Matter, Plenum, 8, (1972) 169.
- 5) T. Ueda, A. Hosokawa and A. Yamamoto: Measurement of Grinding Temperature Using Infrared Radiation Pyrometer with Optical Fiber, ASME, J. Engg. Ind., 108, (1986) 247.



科技政策研, 表彰制度からみた科学技術史

国の表彰制度が取り上げた研究開発成果を分析することで 1960 年代から今までの自主技術開発の歩みを探るというユニークな調査報告「表彰制度からみたわが国の科学技術動向」を科学技術庁科学技術政策研究所がまとめた。

それによると、60 年代には重化学工業型科学技術が発展した重厚長大の時代、70 年代にはエレクトロニクス関連科学技術が台頭、家庭にまで電子化の波が及んだ軽薄短小の時代、80 年代には化学関連技術が退潮し、それに代わって次世代技術が台頭した融合化、緻密化、高機能化の時代と分析している。

この調査が対象とした表彰制度は、科学技術長官賞の一つである科学技術功労者表彰である。

研究成果が実用化され、社会・経済や国民生活の向上に寄与し始めた早い段階で表彰するなど、技術の実現と受賞の時点が近いことが同賞を取り上げた理由である。具体的には 59 年度から 89 年度までの 31 年間に受賞した科学技術成果 637 件、受賞者 893 名を対象とした。

調査では、まず受賞技術 637 件の中から日本の科学技術の向上や経済・国民生活の発展に大きな役割を果たした 10 テーマの技術を選び紹介している。選考は調査担当グループが行った技術内容や波及効果に関する考案をもとにしており、① 座席予約用電子計算装置の研究と実用化 (MARS, 開発・実用化 60 年), ② 国産中型輸送機の完成 (YS-11, 62 年), ③ 超高速鉄道技術の開発 (新幹線, 64 年), ④ 超高層ビルの耐震構造とその建築工法の開発 (霞ヶ関ビル, 68 年), ⑤ 単電子銃三ビーム方式広角度カラー受像管の開発 (トリニトロン, 68 年), ⑥ 人工皮革スエードの開発 (エクセース, 70 年), ⑦ 炭素繊維製造法の開発 (71 年), ⑧ 複合渦流調速燃焼方式によるエンジンの開発 (CVCC, 72 年), ⑨ 家庭用 VTR の開発 (76 年), ⑩ オートフォーカス一眼レフカメラの開発 (αシステム, 85 年) で、これがいわば受賞技術のベストテンである。

受賞技術を年代別にみると、60 年代の特徴は機械や化学が中心で、いわゆる重厚長大型である。

先端的な科学技術をとってみても、まだ電子計算機や半導体の占める割合は比較的小さい。

次いで 70 年代は公害問題が深刻化し、軽薄短小型への過渡期の時代である。件数で電気が化学を抜いて 2 位になった。

70 年代の受賞技術の合計は 154 件で、1 位が機械 42 件、電気 39 件、化学 32 件と続く。

80 年代は宇宙関係の液酸・液水ロケットエンジンや海洋関係の深海潜水調査船「しんかい 2000」が受賞するなど、先端科学技術が台頭した。

エレクトロニクスやバイオテクノロジー、ファイブセラミックス、原子力などの開発も活発化した。

31 年間の受賞技術 637 件を技術分野別にみると、機械が 187 件 (29.4%) と最も多く、以下電気 152 件 (23.9%), 化学 126 件 (19.8%), その他 101 件 (15.8%), 金属 71 件 (11.1%) となっている。

また、受賞者 893 名を産・官・学別にみると、「産」689 名 (77.2%), 「官」160 名 (17.9%), 「学」44 名 (4.9%) の順である。

さらに研究投資がどれだけ受賞に結びついたかを調べる尺度として受賞件数比率を研究費比率で除した数値を使用しているが、それによると「金属」「その他」「機械」「化学」「電気」の順に効率的な受賞をしていることが分かった。

マンパワーと受賞の関連を調べる尺度としては、受賞件数比率を研究者数比率で除した数値によっているが、これは「金属」「機械」「化学」「その他」「電気」の順である。

研究費および研究者数を総合して技術分野別にみると、最も受賞指数の高いのが「金属」、次いで「機械」「その他」「化学」「電気」の順になっている。

(p. 1506 へ続く)