

ファインセラミックス研削加工技術研究

一窒化珪素の研削加工

佐川 克雄* 朝日 洋**

1. 緒 言

セラミックスの研削加工は、主にダイヤモンド砥石が使われている。ここで重要なことは、破壊の起源となる加工表面の亀裂等の欠陥をなるべく発生させずに、加工を済ませることである。そこで本研究は、窒化珪素の研削による傷を小さくできる最適研削加工条件を検討することとした。ここで傷を検討するには、表面粗さと異なり相当ばらつきが大きいと考えられる。そこで、ばらつきについて評価する品質工学のパラメータ設計¹⁾の手法を用いて推定し、その結果を確認したので報告する。

2. 実験方法

実験計画は、試料の R_{max} に対して制御できる要因を内側因子として L18 直交表に割り付け、制御できないものもしくは工程上制御することが困難なものを誤差要因として、表1に示すように直積形の実験を行った¹⁾²⁾。

本実験は、傷を小さくすることを目的とするため R_{max} の測定長さを 20mm として、0 より大きく小さければ小さいほど良いときに用いる望小特性の SN 比¹⁾を使った。測定は、研削方向と垂直 4ヶ所とした。 R_{max} の測定において、明らかに脱落砥粒によるとみられる傷については、その発生頻度が非常に少ないことから無視することとした。なお R_{max} の測定長さを 20mm としたので便宜上表面粗さと区別するため R_{max20} と表す。

加工の繰り返し数は、アルミナの場合の必要データ数が 72 個くらいであった³⁾ので、今回はとりあえず繰り返し 3 回を外側要因として取り上げたが、窒化珪素の場合はアル

表1 実験方法

L18直交表に割付

内 側 因 子 (制御因子)	水 準		
	1	2	3
クーラント流量	大	小	—
切込み量 d μm	0.5	5	10
砥 石 ($\phi 300$ B20)	SD 140J100V	SD 200N100V	SDC200N100B
周 速 V_s m/min	942	1414	1885
テーブル速度 v m/min	5	10	15
加工深さ g mm	0	1	2
テーブルクロス送り量 f mm/pass	2	5	8

内 側 因 子 (制御因子)	水 準		
	1	2	3
砥石累積研削量 mm^3/mm	0	400	800
加工の繰り返しは、3回とするが実験の途中で再検討後、1回とする。 測定の繰り返しは、研削方向と垂直4ヶ所とする。			

* 新技術応用部 ** (株)朝日精機製作所

ミナに比べてばらつきが少ないと思われる。そこで、最初の 4 実験を完了したところで必要な繰返し数を検討した。

誤差要因としては、砥石の表面状態の変化（砥石消耗の影響）を取り上げる。これの代用特性として砥石累積研削量を誤差因子とした。ここで、実験用のセラミックスを用い、各実験番号の加工条件で累積研削量まで加工することが考えられるが、ここでは制御因子の効果を見極めるのが主たる目的であるので、砥石の表面状態は誤差因子の各水準について常に一定となるように計画した。砥石の表面状態を一定の条件とするには、物性の異なる窒化珪素を用いて、砥石周速 1414m/min 、砥石切込み量 $10\mu\text{m}$ 、テーブル速度 10m/min 、クロス送り 8mm/pass として所定の累積研削量まで研削することとした。

使用した研削盤の諸元を表 2 に、窒化珪素の物性値を表 3 に示す。

表 2 研削盤諸元

平面研削盤（セラミックス用）	
主軸電動機	7.5KW4P
主軸静剛性	$49\text{N}/\mu\text{m}$
テーブル作業面積	605×300

表 3 窒化珪素の物性値

試料	Si_3N_3 (実験用)	Si_3N_3 (累積研削用)
比重	3.2	3.2
熱膨張係数 $10^{-6}/\text{deg}$	2.5	2.6
熱伝導率 $\text{W/m}\cdot\text{k}$	29	17
ロックウエル硬さ (A スケール)	92	91
曲げ強さ (R.T.) MPa	981	588
縦弾性係 E (R.T.) GPa	304	294
ポアソン比 ν (R.T.)	0.27	0.28
破壊靱性値 (圧痕法) $\text{MPa}(\text{m})^{1/2}$	7.0	5.7

他の条件は以下に示す。

- 1) ツルイーニング、ドレッシング条件は、ブレイキツルア（ツルイーニング用砥石：C60K）を用いダイヤモンド砥石周速 471m/min 、砥石切込み 1 回当たり $5\mu\text{m}$ として合計 $70\sim 100\mu\text{m}$ 位切込む。最後に不安定な結合状態にあるダイヤモンド砥粒を除くために、WA 220G スティックを用いてドレッシングを行う。
- 2) 研削液は、JIS W2 - 2（ソリュブル）を 50 倍に希釈したものを使用した。
- 3) スパークアウトは、行わない。
- 4) 研削方向は試料（ $50\text{L}\times 25\text{W}\times 10\text{t}$ ）の長辺方向とし、測定は触針式表面粗さ計（ダイヤモンド触針先端半径 $3\mu\text{m}$ ）を用い測定長さを 20mm として、研削方向と垂直方向 4 ヶ所の R_{max} を測定した。

5) 評価の特性値は、望小特性の SN 比として、以下のように計算する。

$$\eta = -10 \cdot \log V_T \quad V_T = \sum X_i^2 / n \quad (1)$$

3. 実験結果

3.1 繰り返し数の検討

加工の繰り返しは、検討した結果効果が無いことがわかった。従って加工の繰り返し3回のデータよりの SN 比と繰り返し1回のデータよりの SN 比を、それぞれ作り検討を行っても良いことになる。○そこで以降は、そのように取り扱うこととした²⁾。

3.2 最適加工条件の推定

累積研削量（表面状態）の効果を分離した場合と、累積研削量をまとめて SN 比を作った場合の分散分析の結果は同様になり、最適加工条件は、砥石として SDC200N100B を用い砥石切込み量： $d=0.5\mu\text{m}$ 、砥石周速： $V_s=1885\text{m/min}$ 、テーブル速度： $v=5\text{m/min}$ 、テーブルクロス送り量： $f=2\text{mm/Pass}$ であった。累積研削量を分離した場合の効果のある要因を、図1に示す。累積研削量を分けない場合の $R_{\text{max}20}$ の推定値は、 $-10 \pm 1.05\text{dB}$ 真数に直すと $3.2\mu\text{m}$ を中心として $2.8\mu\text{m} \sim 3.6\mu\text{m}$ となる。この真数の値は、式(1)に示す計算方法のため一般的表面粗さと異なり、2乗平均の平方根になっている。研削液流量及びセラミックスの焼結表面よりの深さは、影響を与えない。

累積研削量の影響は、ツルイーイング、ドレッシング直後が良いということになる。一般に、砥石が消耗して砥粒突き出し量が揃ってくると仕上げ面粗さが良くなると考えられる。しかし、砥石表面をアクリル板に転写し表面粗さ計で形状を観察したところ、今回のような累積研削量では、砥石表面の形状がかなり悪化しており、そのため $R_{\text{max}20}$ が大きくなることが考えられる。

なお、砥石周速と累積研削量間には、交互作用が認められた。

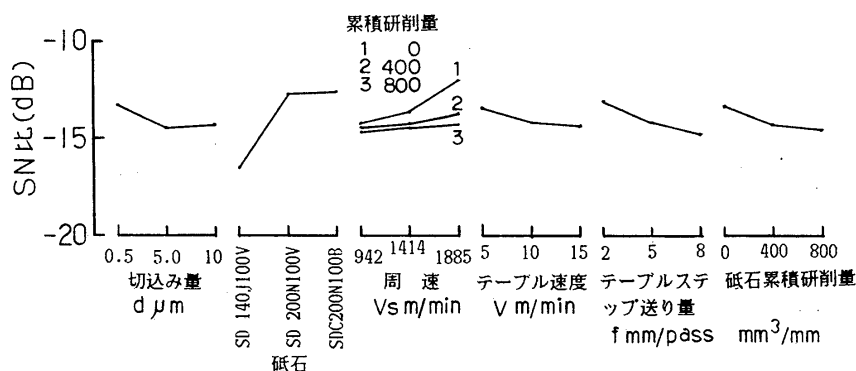


図1 要因の硬化と SN 比の関係（累積研削量を分離）

3.3 確認実験

確認実験は、最適加工条件と一般的な加工条件（砥石 SDC200NI00B，切込み $d=5\mu\text{m}$ ，砥石周速： $V_s=1414\text{m/min}$ 、テーブル速度： $v=10\text{m/min}$ ，テーブルクロス送り量： $f=5\text{mm/Pass}$ ）の SN 比の差が重要であるので、両方について行った。その結果から、誤差因子をまとめて一つの SN 比を作ったものが表 4 である。

表 4 確認実験結果

	最適条件 (dB)	一般条件 (dB)	利得 (dB)
確認実験値	-9.89	-12.14	2.25
推定値	-10.00	-13.47	3.47

最適加工条件での確認実験の各累積研削量に対する値は、 $0\text{mm}^3/\text{mm}$ で -7.8dB ， $400\text{mm}^3/\text{mm}$ で -10.2dB ， $800\text{mm}^3/\text{mm}$ で -11.1dB となり、推定結果と良く一致する。

次に、砥石消耗に用いた窒化珪素を上記の一般的な加工条件と最適加工条件で、ドレッシング後と $800\text{mm}^3/\text{mm}$ 後の $R_{\text{max}20}$ を測定した結果 SN 比は、表 5 に示すようになり、同様に SN 比が向上することが確認できる。

表 5 消耗用窒化珪素での SN 比の確認

累積研削量	最適条件 (dB)	一般条件 (dB)	利得 (dB)
区別しないとき	-10.14	-12.74	2.60
$0\text{mm}^3/\text{mm}$	-8.82	-12.11	3.29
$800\text{mm}^3/\text{mm}$	-11.15	-13.29	2.14

4. 考 察

以上のことより研削液流量は、今回の実験範囲では影響がなく、砥石としては砥粒径の小さしルジソポンド砥石が良く、砥石周速度は大きく、その他のものは小さければ小さいほど良いということになり、アルミナの場合の結果 3) と異なる。また $R_{\text{max}20}$ の値もアルミナに較べて小さくなっている（推定値 A_{1203} ：約 $12\mu\text{m}$ ）。このことは、窒化珪素では塑性流動形の研削加工に近いため砥石切込み量及びテーブル速度の効果が現れるが、アルミナは主に脆性破壊形の研削となるためと考えられる。研削加工の状況の違いは、SEM による観察から確認できた。実験回数をアルミナに較べて減らすことが出来たのは、加工形態がアルミナのような脆性破壊形でないために剥離や傷が小さく、かつ突発的な傷や剥離の発生が少ないため、測定回数を増やして傷を検出しなくても良いためと考えられる。

5. 結 言

- 1) 窒化珪素研削面の傷を小さくするには、粒度の大きい砥石を用いるのが最も効果的であるが、その他の加工条件としては、砥石のツルイーイングドレッシング後で、切込み、テーブル速度、テーブルクロス送り量は小さいほど良く、砥石周速は実験範囲内では一番大きい条件が良い。
- 2) 砥石周速が大きい場合は、傷に対する砥石表面状態の効果が大きい。（交互作用あり）
- 3) 窒化珪素は、アルミナに較べて傷が小さくなる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、データ数の検討を御教示頂いた工業技術院計量研究所の松田次郎氏に、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 田口玄一，品質工学講座（4）品質設計のための実験計画法，（財）日本規格協会（1988）11
- 2) 朝日洋，佐川克雄，平成2年度技術パイオニア養成事業 ORT 事業研修生研究報告書，茨城県工業技術センター，（1991）3
- 3) 佐川克雄，松田次郎，セラミックス研削面の最適加工条件，機械の研究，43 - 6（1991），683