

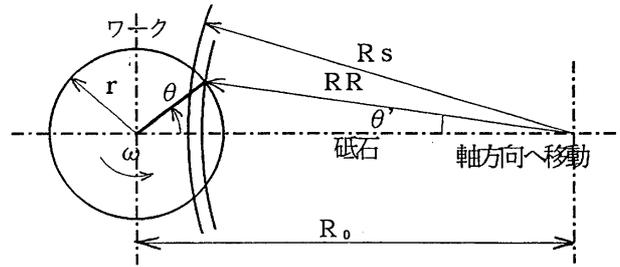
# 硬脆材料の加工技術研究

## 硝子雄ねじの加工

佐川 克雄\*

### 1. 緒言

合成石英硝子は、超純水を用いる IC 製造の洗浄配管等に用いられる。現状は硝子同士を直接接合して用いられているが、保守の関係からねじ接合が望まれている。また、分析装置配管のような小径の場合は、テフロン等のナットを用いて接合されているが、不純物の混入等を考えると硝子ねじによる接合が望まれる。そこで、第一段階として硝子の円筒研削及び雄ねじの研削加工が行える研削装置を試作し、加工実験を行い研削装置の性能と合成石英硝子雄ねじの加工特性を検討した。なお、研削装置は、平成 4 年度の共同研究において設計を行ったものである。



\* 新技術応用部

図 1 ネジ加工モデル

### 2. 実験装置の試作

研削装置は、円筒研削に対応するために主軸と砥石軸を平行にした。このようにして雄ねじ加工を実施する場合のねじ山の角度は、砥石の先端角度と異なると考えられることから、図 1 のように考えて、以下の式により砥石先端角度を検討した。ワーク軸を含む面の時間経過による軸方向座標 Y は、

$$\text{進行方向 (右側)} Y_R = YH + v \cdot t \quad (1)$$

$$\text{反対方向 (左側)} Y_L = -YH + v \cdot t \quad (2)$$

YH: V=0 の時の軸方向座標 Y

$$YH = (R_s - R_R) \tan(\theta / 6)$$

$$R_R = \{R_0^2 + r^2 - 2 \cdot R_0 \cdot r \cdot \cos(\omega \cdot t)\}^{1/2}$$

t : 時間

v : ねじピッチに合わせた軸方向砥石移動速度

度

ω : 工作物の角速度

工作物外周の半径  $r_0$  と、内側の  $r_0'$  の半径部分を考え、t の変化による Y 方向位置の最大値の差と半径方向の差よりフランクと軸線のなす角度  $\theta$  を求め、次に  $1 - \theta/31 < 0.0001$  となるような砥石の先端角度を求めた。その結果を表 1 に示す。表 1 より砥石先端角を  $60^\circ$  とした場合ねじ山の角度はやや小さくなるが、ねじの有効径に及ぼす寸法差は JIS に決められた公差より小さいので、雄ねじ加工実験では砥石先端角を  $60^\circ$  とした。

研削装置は、図 2 に示すように XY テーブル上に主軸と砥石軸が平行になるように砥石軸を取り付け、ワークに対して切込み及び送りを与える構造とした。円筒研削の場合の制御は、パソコンより XY テーブルのステッピングモータに直接パルス信号を逸出することにより行った。工作物周速度は、主軸にパルス発生器より任意の速度のパルスを送出することにより制御した。このことから、研削装置は簡易な NC 円筒研削盤としても使用できる。雄ネジの加工は、主軸のハーモニックギア付きステッピングモータにもパソコンよりパルス信号を逸出することにより 3 軸の制御を行った。研削液は、水道水<sup>1)</sup>とした。なお円筒研削はアップカット、雄ねじ研削は加工時間を考慮してクリープフィード研削とし、研削液の供給を考慮してダウンカットとした。

ねじ	フランクと軸のなす角 砥石先端角(60°の時)		補正した砥石先端角
	進行方向	反対方向	
M 8	60.11527	60.11527	60.21772
M10	60.10358	60.10358	60.19481
M12	60.09828	60.09828	60.19481
M16	60.06925	60.06925	60.13751
M20	60.06925	60.06925	60.13751
M24	60.06925	60.06925	60.13751

表 1 砥石先端角度

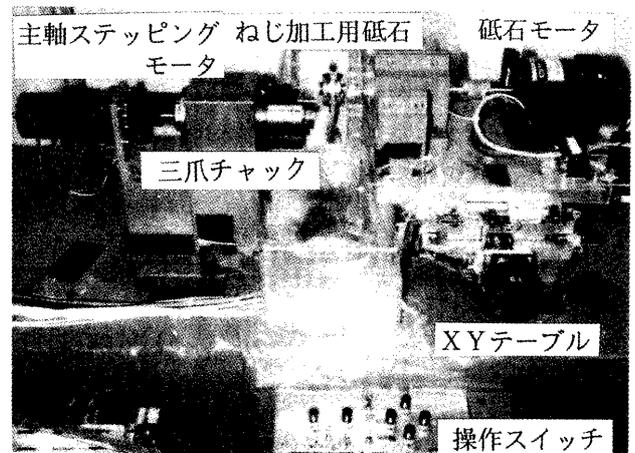


図 2 研削装置

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 円筒研削による装置の評価及び研削特性

研削装置の評価は、合成石英硝子 M8 を図 3 に示す形状に第一回目に砥石原点を設定して連続で 5 回加工することにより行った。その結果を図 4 に示す。図 4 より、一回ごとの加工精度は、砥石の摩耗等の影響を考慮して誤差の平均値を考えてばらつきを判断すると、 $\pm 0.005\text{mm}$  となる。加工回数が増えるにつれて、砥石摩耗の影響で径が大きくなる傾向が認められる。繰り返し 5 回の加工で考えた場合は、#400

の電着砥石のために砥石形直しができないので、砥石形状の影響を受けない部分（出ている部分）の測定値を用い、原点セット作業中にも砥石形状の影響が入るので、その分を考慮して誤差を求めると最大0.009mm、最小-0.005mmとなり、±0.01mm程度の誤差を考えれば十分であることがわかった。このことから、実用機として十分に使える装置であることが確認できた。

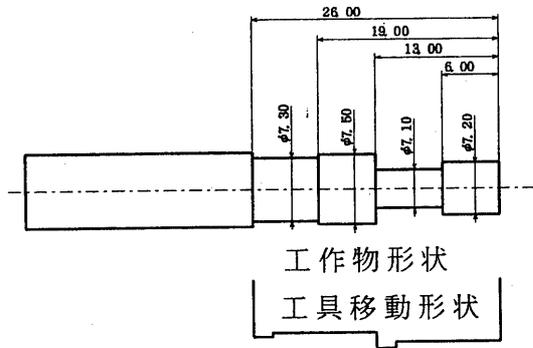


図3 加工形状

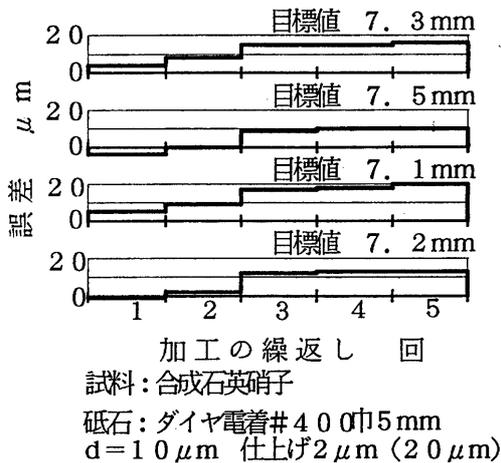


図4 加工精度

研削加工面は、セラミックス（ここでは  $ZrO_2$  を用いた）と合成石英硝子の研削特性の違いを確認するために、走査型電子顕微鏡（SEM）観察により検討した。実験は、合成石英硝子及びジルコニアをダイヤモンド電着砥石を用いて、円筒研削することとした。加工条件は、砥石#400 巾 100 巾 5mm、砥石周速度 817m/min、工作物周速度 0.6m/min である。

これらの研削面を SEV にて観測した結果を、図 5 に示す。図 5 よりジルコニアの研削面は、明瞭な研削条痕が観察され塑性流動型研削面に近くなっている。しかし、合成石英硝子の研削面は、ジルコニアと異なりほとんど研削条痕がなく割れの集積によってのみ形成されており、ほぼ完全な脆性破壊型研削面である。このことから合成石英硝子は、微少な砥石切込量としても脆性破壊型の研削面に改善しにくいと推察できる。

### 3.2 合成石英硝子の雄ねじ加工

加工実験を行う前に、砥粒切込量の変化を確認す

るために、以下のように考えて検討した。

仮定として、砥右周速度  $\omega$ 、工作物周速度  $\omega_w$  であり、連続切れ刃間隔  $a^2$  が小さいので砥粒切込量を求めるには、工作物周方向は平面と考えることとした。なお添え字の  $R, L$  は、加工進行方向、反対方向を示す。

・加工点の位置ベクトル  

$$L_R^T = (r \cdot t, Y_R), L_L^T = (r \cdot t, Y_L) \quad (3)$$

図1の  $t =$

・加工部の形状ベクトル  

$$KY_R^T = (r \cdot K, YH), KY_L^T = (r \cdot K, -YH) \quad (4)$$

ここで  $K =$

・加工部の円周方向との傾き角度  $K, L$   

$$\tan K = X/r \text{ として}$$

$$\tan L = X / (X \cdot (-YH))$$

(5)

・ねじ山の頂き線に垂直な砥石切込速度  $Vy_R, Vy_L$   

$$(Vy_R, Vy_L \text{ は } V_R', V_L' \text{ の切り込み方向速度成分})$$

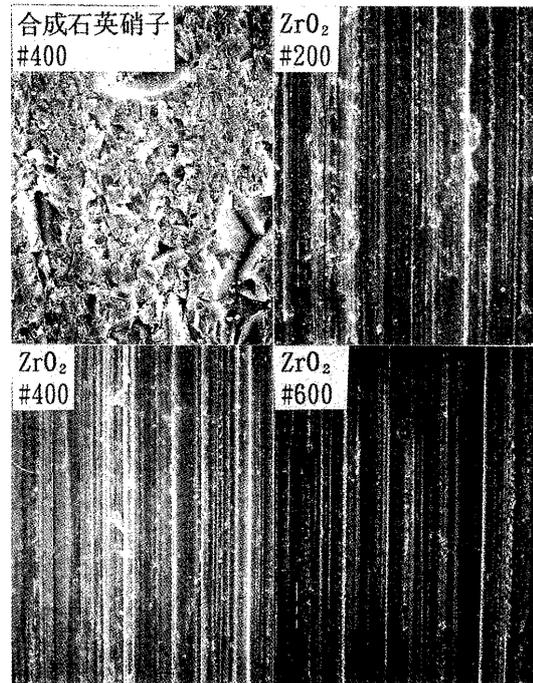
$$V_R' = T \cdot V_R, V_L' = T \cdot V_L \quad (6)$$

$$V_R = \omega \cdot t \cdot (I_R), V_L = \omega \cdot t \cdot (I_L)$$

T: に対する座標変換マトリックス

・砥粒切込量  $d_R, d_L$  は、先行砥粒が作用した後続砥粒が作用するまでの時間  $t'$ 、ねじ山面の山の頂き線に直角な傾き角度  $\theta_R, \theta_L$  とすると、  

$$d_R = Vy_R \cdot t' \cdot \sin \theta_R, d_L = Vy_L \cdot t' \cdot \sin \theta_L \quad (7)$$



$$t' = a / (RR \cdot \omega_s), \omega_s: \text{砥石角速度}$$

図5 研削面のSEM像

以上のことより、 $\omega = 9.8 \times 10^{-3} S^{-1}, \omega_s = 43 S^{-1}, a = 1mm$  として砥粒切込量と  $\theta$  の関係を示したのが図6である。図6より  $r$  が小さい場合には、傾きが小さいことがわかる。これは、先行砥粒の欠陥に対する後続砥粒の影響が小さいことを示している。このことよりねじの谷付近では、割れ等の欠陥が小さいことが

推察される。

合成石英硝子雄ねじの研削面は、前記のことから微細な割れの集積により形成されているため、加工後に酸素・水素バーナを用いて微細な割れを修復する必要がある。この操作により微細な割れによる硝子ねじの強度低下は、防止できると考えられる。そこで問題となるのは、修復困難なねじ山の頂き部に発生する大きな欠けである。このようなことから雄ねじ加工は、ねじ山の頂き部の欠けと加工条件の関係を検討した。

雄ねじ加工実験は、合成石英硝子丸棒（ $\phi 8$ ，研削加工なし）に試作装置を用いてM8のねじを、1パスのダウンカットで加工した。実験条件を表2に示す。実験に使用した棒は真直度が良くないが、芯出し加工を省略し振れ廻りを発生させ、ねじ山の頂き巾の変化と欠けの関係を、光学顕微鏡にて観察した。加工条件と欠け発生部のねじ山の頂き巾の関係を図7に示す。図8には欠け発生部を示し、図9には砥石による加工先端部の写真を示す。図7より欠けは、砥粒径及びワーク回転数に関係し、JISの中級ねじの場合は最小でも0.244mmの山の頂き巾であるので、

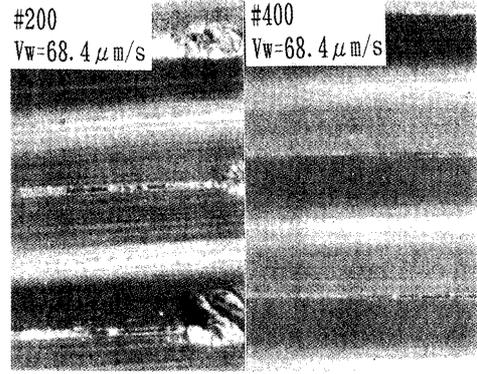


図6 砥粒切込量と角度の関係

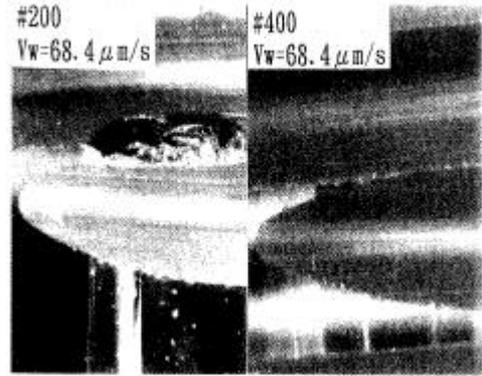


表2 実験条件

図7 欠けと工作物回転数の関係

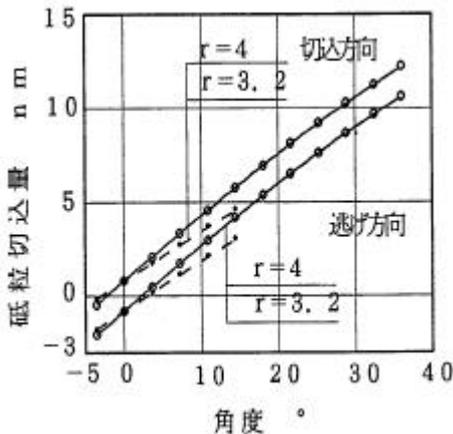


図8 ねじ山頂き部の写真

図9 ねじ加工部分の写真

#400の砥石でワーク回転数  $10^{-2} \text{S}^{-1}$  以下の加工条件ならば、欠けのないねじ山形状が得られると推察でき

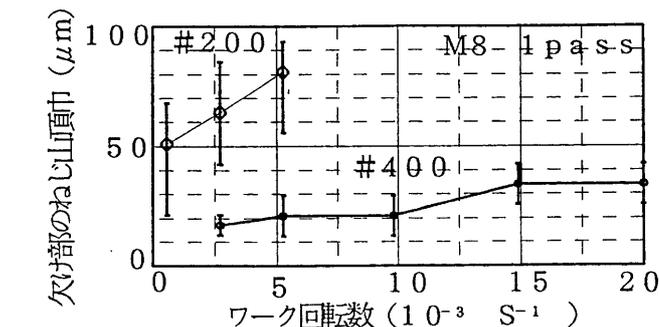
砥石 $\phi 100$ 先端角度 $60^\circ$	ダイヤモンド電着 #200, #400
砥石周速度 m/s	13.6
ワーク回転数 $\text{ms}^{-1}$	0.58 2.72 5.27 9.80 14.9 20.0
加工条件	M8 1パス ダウンカット
研削液	水道水

#400の砥石の場合は  $1.5 \times 10^{-2} \text{S}^{-1}$  以上の回転数で加工進行方向砥石作用部の中間付近に欠けが発生している。しかし、図7を考慮すると#200の砥石では大きな加工欠陥が存在していると考えられる。このことと図8の欠けの形状より、加工進行方向に発生した加工欠陥に次のねじ山加工時の進行方向と反対側の砥石面が作用することにより、始めの欠陥が成長して大きな欠けとなることがわかった。

#### 4. 結 言

試作した装置の性能評価、及びその装置を用いて合成石英硝子にM8のねじ加工を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 試作した装置は、実際に使用できる性能を示した。
- 2) 合成石英硝子の研削面は、微細な割れの集積により形成されているので、微細な割れを修復する必要がある。
- 3) ねじ山の頂き部に発生する欠けは、ねじ加工進行方向部分で発生した加工欠陥が、進行方向反対側で研削されるときに成長して大きな欠けとなる。
- 4) M8の場合は、#400のダイヤモンド砥石を用いてワーク回転数  $10^{-2} \text{S}^{-1}$  以下の速度で加工することにより、大きな欠けの発生を防げる。



る。図9より#200の砥石の場合はワークの回転数が低いためか、未加工部分での欠け発生が認められず、

最後に、研究を遂行するにあたり御協力頂いた水戸旭ファイン硝子（株）の白井貢氏に深く感謝いた

します。

参考文献

- 1) 谷口, ナノテクノロジーの基礎と応用(1988)95
- 2) 精密工学会編, 研削工学(1987)13