555 ガラスの機械加工における高電圧付与効果

Effect of high voltage on glass machining

正 白樫 高洋 (東京電機大)

○学 渡辺 亮 (東京電機大)

Takahiro SHIRAKASHI, Tokyo Denki University, 2-2Kandamisiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

Ryo WATANABE, Tokyo Denki University, 2-2Kandamisiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

Key Words: glass, machining, crack, metal plating, high voltage field

1. 序論

先進材料, 例えば多種のセラミック, 半導体材料, 先進ガラス等々は, これらはその優れた性質の為, 電気, 光学的にその使用が期待されている. これらの製品の実現には適切な加工法が必要である. しかしながらこれらの材料のほとんどは非常に硬く脆い, 硬脆材料であり, 機械加工により制御不能の亀裂が簡単に生成され, そして, 最終的な破断にいたる. そのため亀裂の発生を抑制するか, 亀裂の大きさを最小にすることは非常に重要である. 現在は, 研作加工やラッピング等の砥粒加工により微小な脆性破壊を生じさせこの破壊規模を砥粒の大きさを変えることにより徐々に減少させる方法を用いている. しかしながら, これらの方法では加工形状が非常に制限されてしまう問題がある. また, 加工効率も機械加工ほど高くない. 亀裂の発生が抑制されている無欠陥機械加工が実現できるとすれば, 加工形状の自由度から機械加工が適していると予想できる.

無欠陥切削を実現させるために, 亀裂発生が重要となる. 亀裂の発生は材料の表面エネルギーに依存している. 表面エネルギーが小さいと亀裂が簡単に発生・伝播し最終的に破断する. 一般的に硬脆材料の表面エネルギーは金属のそれより小さい.

本論分では, 典型的な均質硬脆材料であるガラスを対象に表面エネルギーの増加法として高電圧付与の効果の検討を行い, 実際に機械加工を行った.

2. 破壊靱性に及ぼす切削油剤の影響

破壊は試料の亀裂から始まると考えられることは知られている. そして脆性材料の表面エネルギーや破壊応力は表面エネルギーや破壊靱性に非常に影響される. そのため切削油剤が破壊靱性に与える影響について検討した.

破壊靱性 K_{Ic} は Lawn によって提案された式 (1) を用いて評価した. ⁽¹⁾

$$K_{Ic} = 0.028 E^{0.5} H_v^{0.5} a^2 / c^{1.5} \quad (1)$$

E , H_v , a , c はヤング定数, ヴィッカース硬さ, 対角寸法, 亀裂長さである.

(a)

(b)

Fig.1 Effects of Cutting fluids on K_{Ic}

Fig.1 (b) に大気中, 水中スピンドルオイル中での破壊靱性の結果を示した. 水中の破壊靱性は対角寸法にほとんど依存しない. しかしながら, 対角寸法が小さいとき, スピンドルオイル中では破壊靱性は大きくなった.

これは亀裂の発生・伝播が環境に非常に影響される事を示している. そして, 特に水中よりスピンドルオイル中でより制限される事を示している.

以上のことより少なくとも亀裂の発生は切削油剤の選択により制御できる. よって, 無欠陥機械加工のでは切削油剤としてスピンドルオイルを用いることにより, 水を用いた場合より切込み深さを大きくできると予想される.

これは亀裂先端に OH^- が付着する事により表面エネルギーが減少したためと考えられる.

3. 破壊靱性の改善

亀裂の発生とその伝播を制限するには破壊靱性及び破壊応力の増加, または表面エネルギーの減少を制御しなければならない.

そこで本項ではガラスの表面に金属 (金) を付着させることによりガラス表面に金属イオンを付着させ表面エネルギーを制御する方法を試みた.

Fig.2 Effects of Cutting fluids on K_{Ic}

Fig.2 に金属付着による破壊靱性の影響を示した。

金属付着したガラスの破壊靱性は他の条件より大きな圧痕の対角寸法でも増加している。これより金属付着が破壊靱性を増加させるために有益であると結論できる。

次に、4 点曲げ試験を用いて破壊応力への影響を検討した。脆性材料の破壊応力は確率的性質を示すので、破壊応力を測定し、式に示されるようなワイブル確率分布より評価した。

$$G(\sigma) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m V\right\} \quad (2)$$

σ , V , m , σ_0 は破壊応力, 試料体積, ワイブル定数, ワイブル分布の次元係数である。

Fig.3 にガラス棒の破壊応力と金属付着の結果を示した。

Fig.3 Effect of metal coating on fracture stress

金属付着したものはワイブル定数が大きくなった。しかしながら、破壊応力は金属付着を行わなかったものと比較して増加しなかった。

金属イオンをより深く拡散させるために金属付着したものに Fig.4 (a) に示した方法で高電場を付加した。

Fig.4 (b) 高電場を付加した結果を示した。

(a)

(b)

Fig.4 Effect of high voltage on K_{Ic}

破壊靱性はそれほど大きくならなかった。しかしながら、対角寸法は他のものより大きくなった。

4. ガラスの旋削試験と電場付与の効果

ガラス表面に金属(金)をコーティングすることにより破壊靱性が向上、さらにこれに電場を付与することにより、表面に限らずより深い領域にわたり、破壊靱性を向上させることが判明した。これらの結果は硬脆材料を切削加工する時、破壊靱性が向上した部分のみを除去する場合には有効であっても、これを越える部分の切削には効果がない。切削中に常にこれにかかわる部分の破壊靱性を向上させる方法として、Fig.5 に示す要領で切削中に工具近傍に設置した金属とガラスの間に高電場を付与し、この金属のイオンを常にガラス表面に吸着させることを試みた。

Fig.5 Out line of cutting with high electric field

Fig.6 に切削後に 4 点曲げ試験によって測定したガラス丸棒の破壊応力のワイブル分布への電場を付与した効果を示す。図示のように電場、特にガラスをマイナスとした時、破壊応力そのものの向上は見られないものの、電場を付与せずに大気中で切削したものに比して、その勾配が大となることからわかる。この傾向は、Fig.2 に示した表面に金コーティングを施した場合と同じであり、電場を付与することにより、連続的にコーティングをすると同等の効果が得られることがわかる。

Fig.6 Fracture stress of machined glass with electric field

5. 結論

本研究はガラスのような硬脆材料を欠陥を発生しないで機械加工する方法を検討したものである。このためには加工に関与する部分の破壊靱性を低下させないこと、さらに積極的にはこれを向上させる必要させることが肝要であり、このためには環境の選択、金属イオンの吸着が有効である。このイオンの吸着を積極的に進めるため切削中に高電場の付与が有効である。さらに今後これらの方法が有効な加工条件の設定、電場の大きさ金属イオンの種類等についての検討が不可欠である。

6. 参考文献

- (1) Marshal D.B, Lawn B.R, Evans A.G: Elastic/Plastic Indentation Damage in Ceramics, J. Amer. Cer., 1982, 65(11)561~566.