高温ダイスを用いたガラス薄板のパンチレスパンチング

野島武敏・杉山文子

京都大学大学院工学研究科航空宇宙工学教室, 606-01 京都市左京区吉田本町

Punchless Punching of Thin Glass Plate by Using a Hot Die

Taketoshi NOJIMA and Fumiko SUGIYAMA

Division of Aeronautics and Astronautics, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi 606-01

[Received April 20, 1995; Accepted June 16 1995]

A new punching method of thin glass plates ($t=0.15\text{--}0.20\text{ mm}$) was developed by using a hot die in a punchless punching technique. The present simple punching technique realizes the formation of holes ($1\text{--}15\text{ mm}$ in diameter) as well as the formation of many holes by a single operation.

Key-words : *Punching, Punchless, Glass, Many holes, Hot die, Press-working*

1. 緒 言

ガラスやセラミックスの穴明け加工はダイヤモンドビットや超音波加工によって行われてきた。近年これらの穴明けをプレス加工のような、より簡便な加工によって行う試みがなされるようになった。黒崎らは粘弾性ポリマーを圧力媒体として用い、薄いガラスの微細穴明け法を報告している¹⁾。著者らは硬脆材料板に予圧縮を与えたのち、擬丸ポンチを用いて中央から陥没穴を形成しながら穴明け加工を行う方法を提案し、曲げ強度が1000 MPa 以上の実用セラミックス板の穴明けや薄いアルミナ板のサブミリサイズの同時多数個の穴明けに成功している^{2),3)}。しかしながらこれらの穴明け法はいまだ改良すべき部分も多く、特に強度に乏しい薄いガラス板の大径の穴明け加工は困難であった。

本論文は、金属材料板の穴明け加工に用いられてきたパンチレスパンチング法を、脆性材料薄板の穴明け用に改良して得た実験結果及びこの簡便穴明け法の成形能について記述したものである。

2. 実験の方法, 原理及び実験材料

図1に穴明け加工に用いた実験治具を示す。所要の寸法のダイス穴を有する高温ダイス上にガラス板、ガラス板より少し寸法の大きなビニールシート（厚さ $V_t=0.5\text{ mm}$, あるいは 0.3 mm ）をセットしたのち、平面アンビルで圧縮負荷し、加工を行った。本実験においては溶融したビニールが高温のガラスに付着するのを避けるため、ガラス板とビニールシート間に厚さ 0.1 mm の紙を挿入して用いた。 150°C 以上の高温下においては圧縮されたビニールシートは流動化し、図2(a)のような形状となる。それゆえ、この穴明けの問題を、円形の周辺で固定された平板が

静水圧力 σ_P を受けるとする力学モデルで近似する（図2(b)）。静水圧 σ_P を平均圧縮力 P/S (S : ガラス板の面積) で与えられるとすると最大応力 $\sigma_{\max}$ は周辺 ($r=D/2$, D : 穴直径) で生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_{\max} = (3/16) D^2 \sigma_P / t^2 \quad (1)$$

t : ガラスの厚さ, $D/t=AR$ (AR : 穴のアスペクト比) を定義すると(1)式より $\sigma_P=P/S$ を用いて

$$\log(P/S) = \log(16 \sigma_{\max}/3) - 2 \log(AR) \quad (2)$$

を得る。すなわち、 $\sigma_{\max}$ を材料定数と考え、穴明けのための荷重を P^* とすると、(2)式より $\log(P^*/S)$ と $\log(AR)$ は $\log\text{--}\log$ 図上で傾き -2 の関係で与えられる

Fig. 1. Set-up for punchless punching by using a hot die.

Fig. 2. Deformation of softened vinyl sheet (a), and model of the punching operation (b).

Fig. 3. Thermal stress field (negative tangential stress σ_θ) opposing initiation of radial cracks.

ことが分かる。

硬脆材料板のプレスによる穴明け加工における問題点は、図3に見られるように、特別の工夫なしには常に放射線状の割れが生じることであり、この割れをいかに抑えるかがプレス穴明け時には極めて重要である。本実験のように高温ダイスを用いて穴まわりの部分を加熱することにより、穴の外周部（図3のハッチ外部）での σ_θ が負値となる⁴⁾。すなわち、本実験で高温ダイスを用いる目的は、ビニールを流動化させることのみならず、 σ_θ を負値にして放射線状割れを抑えることの2点にある。

穴明け加工に用いたガラス板は $t=0.15$ mm ($S=18 \times 18$ mm) 及び $t=0.20$ mm ($S=24 \times 24$ mm) のスライドカバーガラス（ホウケイ酸ガラス）である。

3. 実験結果

図4に220°Cを上限として行った実験によって得た P^* とダイス温度 T^* の関係を穴径 D をパラメーターとして示す ($t=0.15$ mm)。図中黒ぬりの記号は放射線状の割れを伴う、穴明け加工としては不成功のものを示す。穴明け加工はいずれの D についてもダイス温度が160~200°Cで良

Fig. 4. Relations between punching load and die temperature.

好になされる（矢印右側：良好な穴明け可）。図5は図4より得られる (P^*/S) 値と (AR) 値を、ダイス温度が180°Cのものについて(2)式に従ってlog-log図上にプロットしたものである。供試材のガラスの3点曲げ強度（幅4 mm, スパン長12 mm）は6個の平均値で240 MPa, 周辺固定（直径10 mm）下で環状負荷（直径2 mm）したときの等二軸下の曲げ強度は10個の平均値で360 MPaであった。これらの値を(2)式に用いて $(P^*/S)-(AR)$ 関係を図示したものが図5の破線であり穴明け結果と比較的良好な一致を見た。

図6(a)~(e)に本実験によって得た穴明け結果を示す。図6(a)は $t=0.2$ mm板に $D=2$ mmの穴明け加工を行ったとき、ガラス板を突き破って突出したビニール塊を示す。図6(b), 図6(c)はそれぞれ $D=2$ 及び6 mm ($t=0.15$ mm)の穴明け結果で D が大きくなるほど良好な穴明け加工が可能となる。図6(d)は $D=1$ mmの穴を9個同時に穿孔したもの（ピッチ3 mm）、図6(e)は 18×18 mm板に直径15 mmの穴明けを行ったものである。

Fig. 5. Relations between average pressure for punching and aspect ratio ($AR=D/t$).

Fig. 6. Extruded softened vinyl through punched hole (from die side) (a), and punched holes (b)–(e); (b) $D=2$ mm, $T^*=180^\circ\text{C}$, (c) $D=6$ mm, $T^*=180^\circ\text{C}$, (d) $D=1$ mm, pitch 3 mm, (e) $D=15$ mm in 18×18 mm plate, $V_t=0.5$ mm for (b), (c) and (e), and $V_t=0.3$ mm for (d).

4. 結 論

ガラス薄板を高温ダイスを用いて穿孔するパンチレスパンチング法を提案した。本穴明け法は種々の高分子製膜を用いて行うことが可能であり、改良を加えることによって穿孔可能な領域が広がることが期待され、簡便加工法として汎用化される可能性が大きい。

文 献

- 1) 黒崎 靖, 安田匡宏, 加藤達夫, 塑性加工学会春季講演会論文集, 日本塑性加工学会 (1989) pp. 49-52.
- 2) 野島武敏, 日本機械学会論文集 (C編), 60, 2146-50 (1994).
- 3) 野島武敏, 阪口健一, 杉山文子, 日本機械学会論文集 (C編), 61, 1697-702 (1995).
- 4) 野島武敏, 阪口健一, 杉山文子, 日本機械学会論文集 (C編) 1995年 8 月号掲載予定.