- 2) Y. Fujiki, Y. Komatsu and N. Ohta, *Chem. Lett.*, **1980**, 1023-26.
- 3) Y. Komatsu and Y. Fujiki, *ibid.*, **1980**, 1525-38.
- 4) T. Sasaki, Y. Komatsu and Y. Fujiki, *ibid.*, **1981**, 957-60.
- 5) K.L. Berry et al., *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **14**, 231-39 (1960).
- 6) 斎藤 肇, 田草川信雄, 北大工学部研究報告, **37**, 19-25 (1965).
- 7) Y. Fujiki and N. Ohta, *Yogyo-Kyokai-Shi*, **87**, 58-59 (1979).
- 8) 藤木良規, 太田進啓, 窯協, **88**, 111-16 (1980).
- 9) 清水紀夫, 橋本甲四郎, 柳田博明, 窯協, **83**, 305-11 (1975).
- 10) 武藤文夫, 国富 稔, 工業化学, **65**, 1755-79 (1963).
- 11) 清水紀夫, 柳田博明, 橋本甲四郎, 窯協, **86**, 339-44 (1978).
- 12) 清水紀夫, 柳田博明, 橋本甲四郎, 西川泰男, **88**, 84-91 (1980).
- 13) 藤木良規, 大坂俊明, 窯協, **90**, 19-23 (1982).
- 14) Y. Fujiki, *Yogyo-Kyokai-Shi*, **90**, 624-26 (1982).
- 15) S. Andersson and A.D. Wadsley, *Nature*, **187**, 499-500 (1960).
- 16) H. Cid-Dresdner and M.J. Buerger, *Z. Kristalogr.*, **117**, 411-30 (1962).
- 17) M. Dion, Y. Piffard and M. Tournoux, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **40**, 917-18 (1978).

ノート・Note

ガラスびんの表面傷の深さと耐内圧強度の 関係について

横 倉 修 一・吉 田 明 輝

(麒麟麦酒(株) 麦酒科学研究所)

(1982 年 10 月 12 日受付)

Surface Crack Depth-Bursting Strength Relation of Glass Containers

Shuichi YOKOKURA and Akiteru YOSHIDA

(Brewing Science Laboratory, Kirin Brewery Co., Ltd.)
(3, Miyahara-cho, Takasaki-shi 370-12)

[Received October 12, 1982]

Key-words : Glass container, Bursting strength, Surface crack,
Critical stress intensity factor

1. 緒 言

ガラスびんに発生する傷について、その深さを知ることとはびんの強度特性を検討するうえで重要であることは周知であるが、この傷の深さの測定方法についてはほとんど文献が見当たらないのが現状である。

著者らはこれまでに超音波探傷法、蛍光探傷法、アコースティック・エミッション法等について検討を行ったが、いずれも定性的知見を得るにとどまった。

本報告では、比較的簡単な装置でかつ精度の高い傷の深さの定量方法を見出したので紹介し、また傷の深さとガラスびんの耐内圧強度の関係についても述べる。

2. 試験及び実験方法

2.1 傷の深さの定量方法

(1) 試験 供試試験は市場で繰り返し使用されたりターナブル(回収, 再使用可能)のガラスびん(胴径 75 mm, 高さ 290 mm, 平均肉厚 4 mm, 内容積 658 cm³)からダイヤモンド・カッターで厚さ約 10 mm のリング状に切り出したもの。ガラスびんの胴上部及び胴下部の外表面に傷が集中的に発生しており、その部分を切り出した。リング状の試料片の切断面を初め 200 メッシュ程度の研磨材で厚さとして約 2 mm 程度を磨減させ、引き続き 600 メッシュ程度で研磨し、最終的に 800~1000 メッシュで仕上げ、輪切り加工時に切断面近くに発生す

Fig. 1. Optical micrographs of surface cracks of bottles.

る傷の影響を取り除く。

(2) 深さの定量 研磨した試験片をシャーレに入れ、屈折率がびんガラスに近い液体、例えばモノクロル・ベンゼン、フタル酸ジブチル、アニソールなどに浸漬し、試験片外表面の光線反射を防ぐ。次に実体顕微鏡でシャーレ中の試験片の端部（びんの外表面に対応する）に焦点を当て観察する（図1参照）。この場合傷の先端がより鮮明に浮び上がるように実体顕微鏡の回転鏡体を調整し、最も観察しやすい回転角度に設定することが肝要である。

2.2 ガラスびんの傷の深さと耐内圧強度

(1) 試験 充てん工場のびん詰めコンベア・ライン上を所定回数、繰り返し送びんして外表面に傷を発生させたびんを試験として調製した。一部を耐内圧強度測定用に、残りを傷の深さの測定に用いた。

(2) 耐内圧強度の測定 試験びんに水圧を加え破壊する際の圧力を測定するべく、Increment Pressure Tester (American Glass Research 社製) による耐内圧強度試験を行った。なお内圧による破裂オリジンは胴上部外表面に集中していた。

(3) 深さの測定 傷が集中的に発生しており、かつ破裂オリジンになっている胴上部をリング状に切り出し、2.1 節の方法で測定した。

Fig. 2. Bursting strength-time of recycling relation of bottles.

Points show average values and bars show standard deviations ($n=30$).

Fig. 3. Time of recycling-surface crack depth relation of bottles.

●—● : Measured values,
○—○ : Calculated values.

Measured values show average of five samples.

3. 結果及び考察

傷の深さの観察例を図1に示す。傷の先端が鮮明に分る。

次にびんの耐内圧強度の測定結果を図2に示す。送びん回数が増すに従って強度の低下していることが分る。

また、図3には傷の深さと送びん回数の関係を示す。実測値は顕微鏡観察により求めた深さであり、計算値は次のように求めた。

びんガラスの組成に相当するソーダ石灰ガラスにおい

て、モード I (開口型) での応力拡大係数 $K_{Ic}^{1)}$ は

$$K_{Ic} = \sigma_f \sqrt{\pi \cdot c} \cdot Y \quad (1)$$

で表される.

ここで σ_f : 破裂時の引っ張り応力, c : 傷の深さ, Y :

1.1 (定数)

また, びんが破裂する際の引っ張り応力 $\sigma_f^{2)}$ は

$$\sigma_f = \frac{2 r_i^2 \cdot P}{r_o^2 - r_i^2} \quad (2)$$

で求まる.

ここで r_o : びんの外半径, r_i : びんの内半径, P : 破裂時の内圧

$K_{Ic} = 7.5 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3/2}$ ³⁾ を用い, (1), (2) 式から傷の深さ c を求めた.

図 3 から明らかなように実測値と破壊力学から算出した計算値とはかなりよい一致がみられ, 本測定方法が精度の高いものであることが分る.

更に実測値と計算値が一致するところから, 本実験に用いたびんの耐内圧強度と傷の深さの関係はグリフィスの関係式を満足していることが分る.

文 献

- 1) 岡村弘元, “線形破壊力学入門”, 培風館 (1976) p. 217.
- 2) 例えば, 野原石松, “压力容器”, 共立出版(株)(1972) p. 122.
- 3) S.M. Wiederhorn, *J. Am. Ceram. Soc.*, **52**, 99 (1969).