有限元素法應用於保護玻璃之破損行為模擬

彭聖倫，李明德，張維展
緯創資通股份有限公司

摘要

目前市售智慧型手機均採用觸控面板，其表面會貼覆一層保護玻璃。近幾年甚至有廠商推出3D 曲面玻璃之手持式裝置，可見保護玻璃對手持式裝置占有一定份量之重要性。為了模擬使用者不慎將手持式裝置掉落地面，因此會進行落下試驗。由於保護玻璃為一脆性材料，若無高速攝影機輔助，往往很難判斷玻璃破裂原因，僅能透過保護玻璃破裂情形猜測實際發生狀況。本文將探討保護玻璃之強度，取得保護玻璃破壞強度後透過 ABAQUS 模擬手持式裝置於落摔時保護玻璃破損情形並與實際產品做一比較。

關鍵字：保護玻璃

ABSTRACT

A touch panel is an input device normally layered on the top of an electronic visual display of an information processing system. The Touch panels are common in portable device such as tablet computers, smartwatches, PDAs and smartphones. In general, the drop test is to simulate accidental dropping of unpackaged portable device products. The purpose of this research is to evaluate the touch panel damage behavior on a portable device by drop test.

Keywords: Touch panel

一、緒論

由於玻璃具有透明、高硬度、耐刮等特性，被廣泛應用於手持式裝置如智慧型手機、平板、智慧型手錶等電子產品。唯一缺點是玻璃為脆性材料，使用者若不慎將手持式裝置摔落地面，很容易造成保護玻璃破裂，因此，在設計時均會依據需求做特定高度之落摔試驗，了解手持式裝置破壞情形。

本文將針對保護玻璃種類、成型方法、強化與強度測試方法、保護玻璃加工對強度影響分別逐一探討，最後透過 ABAQUS 軟體模擬手持式裝置保戶玻璃破損情形。

二、保護玻璃

2.1 玻璃種類

一般保護玻璃主要以鈉鈣玻璃(Soda Lime)與鋁矽鹽酸玻璃(Alumino-Silicate)兩種材質，其主要成分以二氧化矽(SiO_2)為主，成分如表 1 所示。由於鈉鈣玻璃強化深度不深，因此其強度一般較鋁矽鹽酸玻璃弱，使得目前常用之保護玻璃種類以鋁矽酸鹽玻璃為主。

鈉鈣玻璃		鋁矽酸鹽玻璃	
SiO_2	70-77%	SiO_2	63-70%
Na_2O	13-15%	Na_2O	11-18%
CaO	11-12%	CaO	0-1%
MgO	1-4.5%	MgO	0.1-6%
Al_2O_3	1-1.9%	Al_2O_3	8-13%
Fe_2O_3	0.08-0.14%	K_2O	0.1-6%

表 1 保護玻璃組成分子[1]

2.2 玻璃成型方式

保護玻璃成型方法主要有浮式法與溢流熔融法兩種。茲分別介紹如下：

浮式法主要是將熔融玻璃以水平拉曳成板狀玻璃，其製程如圖 1 所示。優點是適用於大板型量產之玻璃板製造、製程簡單、產量大。缺點是表面會有裂痕及錫汙，須經拋光處理，且廠房面積大。一般鈉鈣玻璃均採用此製程。

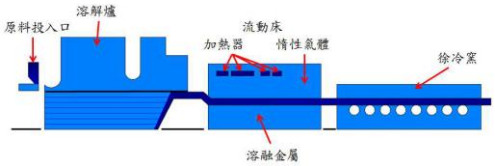


圖 1 浮式法[2]

溢流熔融法主要是將溶融玻璃於兩個垂直方向流下，而形成平板狀的玻璃，其製程如圖 2 所示。優點是廠房面積小、熱安定性與熱收縮性佳，表面不需額外進行研磨拋光。缺點是技術難度高，生產成本高。目前康寧 Gorilla 玻璃即採用此一製程。

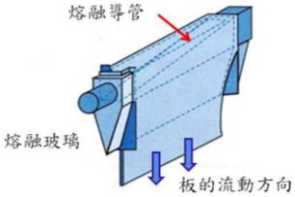


圖 2 溢流熔融法[2]

2.3 玻璃強化方法與強度試驗

玻璃常見強化方法分為物理強化與化學化，茲介紹如下：

物理強化是將玻璃加熱至略低於玻璃軟化溫度(約 650℃~700℃)，之後再使表面快速冷卻，使得玻璃表面產生壓應力，內部產生拉應力。當玻璃受到外力破壞時，整片玻璃會碎裂成許多小顆粒。圖 3 為物理強化時玻璃厚度方向應力分佈情形。

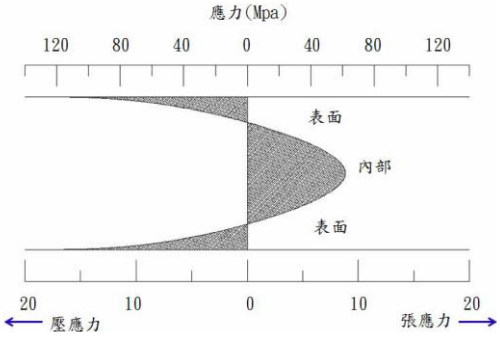


圖 3 物理強化玻璃厚度方向應力分佈[1]

化學強化主要以離子交換法進行強化，將需強化的玻璃，浸入熔融的硝酸鉀溶液中，使其中的 Na+及 K+離子進行置換，由於原先 Na+離子所佔有的空間被 K+離子所撐開，因此在其表面會形成一層應力層，可提高玻璃耐撞擊及耐衝擊能力。其較物理強化玻璃之優勢為易於加工，不受形狀限制，可應用於較薄的產品上。且表面有較高的壓縮應力。圖 4 為化學強化示意圖。

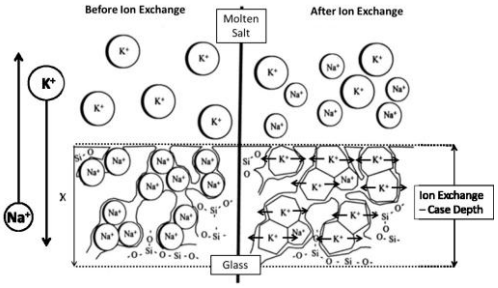


圖 4 化學強化示意圖[3]

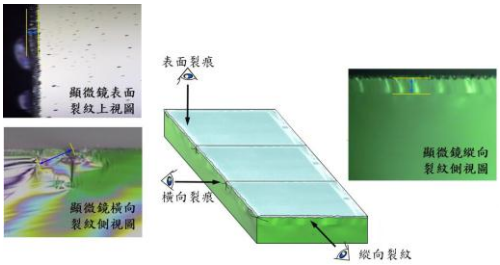
由於化學強化後強度較物理強化強度高許多，目前保護玻璃多用化學強化方式對玻璃進行強化。

當玻璃進行化學強化後，強化深度(Depth of Layer, DOL)與表面應力(Compressive Stress, CS)為影響玻璃強度主要因素。強化深度主要為玻璃表面到內應力(壓縮應力)為零之深度，可增加玻璃表面耐刮及抗衝擊能力。但與玻璃強度非正相關。只有適當的強化深度可達到玻璃最大強度。而表面應力大小與玻璃強度成正相關。

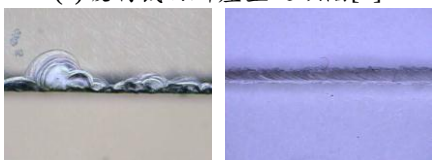
由於玻璃為脆性材料，一般強度試驗以彎曲試驗和 ROR(Ring on Ring)為主。彎曲試驗主要判斷保護玻璃切斷面強度。ROR 主要判斷玻璃表面是否有刮傷或裂痕。

2.4 玻璃加工缺陷與研磨

由於玻璃為一脆性材料，在進行玻璃裁切時，均會產生些許缺陷，使得玻璃強度大幅下降，為了減少裂紋缺陷，可透過研磨方式減少裂紋，由於研磨仍屬於物理切削，若操作不慎，可能會產生新的裂紋於研磨面，反而造成強度下降。因此，不同廠商所生產之玻璃強度會有很大差異性。圖 5 為玻璃加工與研磨產生之缺陷。



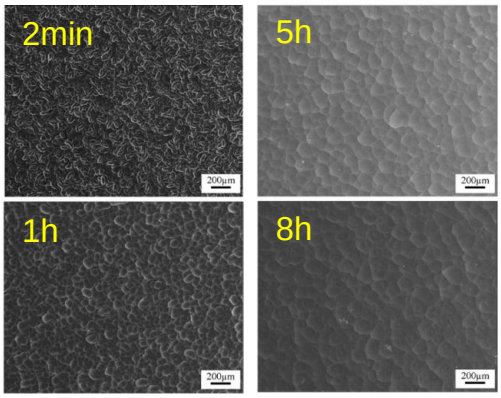
(a)玻璃裁切所產生之缺陷[4]



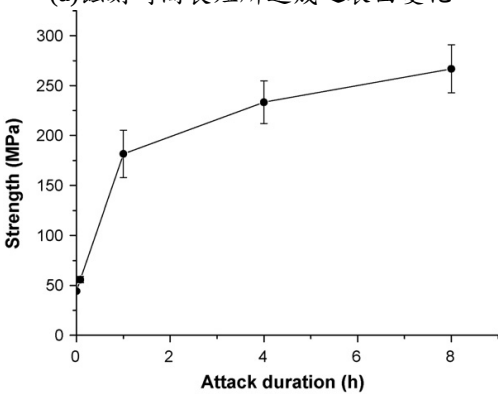
(b)玻璃研磨所產生之缺陷[5]

圖 5 玻璃裁切與研磨產生之缺陷

為了有效減少裂紋，並提高玻璃強度，還可透過氫氟酸蝕刻方式降低裂紋，隨著蝕刻時間的拉長，蝕刻表面也越為平滑，裂紋亦大幅減少，可大為提高玻璃強度。圖 6 為氫氟酸蝕刻時間與強度關係。



(a)蝕刻時間長短所造成之表面變化



(b)蝕刻時間對強度變化之影響

圖 6 氫氟酸蝕刻表面與強度之變化[6]

2.4 玻璃強度與韋伯分佈(Weibull distribution)

由於玻璃為一脆性材料，其主要強度決定於切斷面上裂紋分佈情形。因此其破壞強度不如金屬材料般穩定。一般會使用韋伯分佈了解玻璃生產品質。當韋伯分部之斜率越大，代表其破壞強度範圍比較集中，也代表廠商生產品質比較穩定，圖 7 為兩種不同材質玻璃所做的韋伯分佈圖。由圖中可知 Gorilla 3 玻璃強度介於 643-753MPa。鈉鈣玻璃強度介於 147-410MPa。

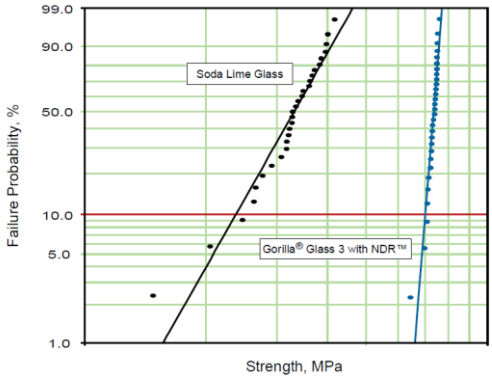


圖 7 玻璃韋伯分佈[7]

三、手持式產品落下試驗與模擬

3.1 落下試驗

為了模擬使用者不慎將手持式裝置掉落地面，因此一般均會做落下試驗(Drop Test)，以測試產品耐用度。落下試驗時如果夾頭於預定高度放開，使產品以自由落體方式掉落。若要透過肉眼判斷撞擊點將是非常困難的。因此往往玻璃破損時將很難判斷實際撞擊位置，因此。本文將透過有限元模擬方式，判斷玻璃破壞情形，並和實際情形做一比較。

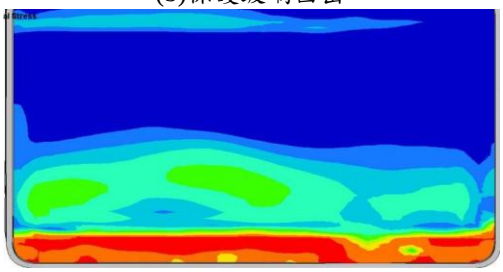
圖 8 落下試驗[8]

3.1 手持式裝置落下與數值分析比較

圖 9 為數值模擬與實際產品於落下試驗時破壞情形。手持式裝置於保護玻璃靠近下面處玻璃產生破損。經由 ABAQUS 軟件模擬，可觀察到左右兩邊玻璃局部凸出，使得保護玻璃撞擊地面時，該處應力較大，超出玻璃破壞應力。

(a)落下試驗保護玻璃破裂

(b)保護玻璃凸出



(c)保護玻璃應力分佈圖

圖 9 手持式裝置模擬與實際破壞模式比較

四、結論

透過 ABAQUS 軟體模擬手持式裝置於手持式裝置落摔時，可準確模擬保護玻璃破損行為。之後若透過玻璃破損情形，可推估手持式裝置撞擊情形。

五、參考文獻

[1] 連志賢, “單層感應玻璃表面加工模擬與家工強度分析”, 國立中興大學, 2013
[2] 曾毓洋, “加工製程對觸控面板之單層感應玻璃之強度影響研究”,國立中興大學,2012
[3] Arun K. Varshneya, “Chemical Strengthening of Glass: Lessons Learned and Yet To Be Learned”, International Journal of Applied Glass Science, 2010
[4] 黃振勛, “單片玻璃基板以刀輪切割後之彎曲破壞行為”, 國立交通大學, 2014
[5] 蔡建南, “玻璃螢幕面板高轉速加工之研究”, 逢甲大學, 2009
[6] M. Kolli, M. Hamidouche, N. Bouaouadja, G. Fantozzi, “HF etching effect on sandblasted soda-lime glass properties”, Journal of the European Ceramic Society, 2009
[7] Corning Incorporated, www.corning.com
[8] Samsact, www.samsact.com