

射出成型製程條件對模內裝飾成型薄膜油墨沖刷影響之研究

蘇寶林¹ 張萬欽² 郭宏賓³

¹ 中州科技大學機械與自動化工程系 sb1581@dragon.ccut.edu.tw

² 中州科技大學機械與自動化工程系 mejwc1@dragon.ccut.edu.tw

³ 中州科技大學機械與自動化工程系 hbkuo@dragon.ccut.edu.tw

摘 要

本文使用PC薄膜材料配合三種不同油墨製作不同條件的模內裝飾成型(IMD)薄膜,探討尼龍6奈米複合材料於IMD製程中的應用研究。由本研究第一階段研究結果可知,以0.125mm厚度的PC材料薄膜搭配B公司油墨是比較適當的薄膜圖案印製組合。再由第二階段研究結果得知,製程條件的料溫增加,IMD試片薄膜油墨被沖刷量亦有減少;模溫變化的效應就不如料溫明顯;保壓壓力變化對薄膜油墨被沖刷量沒有影響;射速增加,剪切應力明顯增加,IMD試片薄膜油墨被沖刷量亦有明顯增加。尼龍6奈米複合材料在IMD製程中,IMD的成型品質會比較穩定、比較好,不若尼龍6純料之薄膜油墨沖刷量很明顯地受製程條件的變化影響。

關鍵字：模內裝飾成型、尼龍6奈米複合材料、油墨沖刷

通訊作者

姓名：蘇寶林

E-mail：sb1581@dragon.ccut.edu.tw



壹、緒論

由於消費性產品市場對於更小、更輕，更精密的資訊產品、通訊產品與其他相關產品需求高速的成長，相對的使得高功能性產品變的非常重要，這一些要求也使得材料供應商、產品設計工程師、模具廠、射出廠和射出機製造商都必須面對的重要課題。對射出成型品而言，重量變輕、尺寸減少、生產時間縮短、生產速率增加、產品開發週期縮短以及成本降低都是製程上的優點，但也產生表面浮纖、收縮變形、充填不滿、縫合線等問題，此時便需利用表面裝飾技術加以掩飾、美化，而且對於和射出成型相關的國內製造業，如電腦資訊產品、行動電話通訊產品、個人 3C 產品等，可以提升的競爭性是相當大的。

在表面裝飾技術中有四種方式[1]：(1) 噴塗 (2) 網版印刷 (3) 電鍍 (4) 模內裝飾成型 (In-Mold Decoration, IMD)。其中 IMD 方式不需二次加工，可減少廢料處理成本、避免溶劑及揮發物污染，薄膜貼合具耐化性、防 EMI 等特性，使射出完成品表面擁有薄膜保護可耐磨與耐刮，文字不易剝落，對於射出成型表面缺陷問題極易解決。

在奈米科技中，高分子奈米複合材料的發展最接近日常生活領域。高分子奈米複合材料是在基材中加入奈米級的填充物，使複合材料的剛性增加，黏度、透氣性、熱膨脹性下降、耐化學腐蝕等，故有利於加工性及塑膠製品之外觀，可以取代於塑料中添加各類纖維的傳統複合材料，因此結合模內裝飾射出成型技術，將可達到提升高分子奈米複合材料塑膠產品的價值性與功能性。

本文研究分兩階段實驗，第一階段使用兩家公司的 PC 薄膜材料，將兩種薄膜厚度與三種油墨調配出六種組合條件印製薄膜圖案，使用固定一組射出成型製程條件做 IMD 製程試片，比較薄膜上油墨被沖刷情形，找出比較適合尼龍 6 純料與尼龍 6 奈米複合材料的薄膜厚度與油墨。第二階段使用適合於尼龍 6 奈米複合材料的薄膜厚度與油墨印製薄膜圖案，探討料溫、模溫、保壓與射出速度等四種製程參數對油墨被沖刷現象之影響，瞭解尼龍 6 奈米複合材料於 IMD 製程中的適用性。本研究結果有助於產業界將尼龍 6 奈米複合材料使用在 IMD 製程，而且亦可對 IMD 產品在生產設計時提供有效的參考經驗。

貳、文獻探討

IMD 技術結合了薄膜技術與射出成型技術，對於成品表面的裝飾及色彩吸引力有很大的幫助，也解決成品二次加工的製程與成本。黃仁德[1]針對 PC/TPU 薄膜做 IMD 之研究，由研究結果得知，熔膠溫度上升時，熔膠黏度與剪切力降低，使油墨沖刷現象與薄膜變形量下降，成型性提升；當模具溫度與射出速度增加時，剪切力增加，使油墨沖刷量上升；薄膜厚度減少時，抗拉強度降低，薄膜變形量將會增加。

目前 PC 薄膜在 IMD 製程使用的很普遍，PC (聚碳酸酯) 料溫可高達 290°C，但是傳統油墨熔融溫度低於 100°C，因此幾乎很少有絲網印刷油墨可抵擋射出成型製程的高料溫與剪



切應力而不被沖刷[2]，但是高料溫可以使薄膜與塑料有好的黏合性[3]。

IMD 製程分為四個階段：印刷、薄膜成型、剪裁、射出成型，最主要考量為油墨之成型性與耐久性。在許多應用上，需要對油墨做保護，那麼，第二次表面印刷是最好選擇，此種油墨是介於薄膜與熔膠之間。因此，油墨需求要件為：[4]

- (1) 高溫度阻抗，由於在成型時須面對高料溫與高剪切率。
- (2) 深度成型時要有高彈性。
- (3) 薄膜與塑料之間要有高黏著力，避免使用時被剝分開。

Y.Z. Wan[5]使用 PC 薄膜材料與 PC 塑料做手機按鍵厚度為 0.7mm 的 IMD 成型性研究，藉由 CAE 分析探討流道平衡系統與不平衡系統的澆口剪切應力，並將實際成型驗證油墨沖刷現象與 CAE 分析結果比較。由檢測澆口四周的油墨沖刷問題的研究結果得知由墨沖刷問題乃是由於剪切應力所導致。

Yang[6]將超臨界流體微發泡射出成型技術與模內裝飾成型結合做製程研究，探討超臨界流體射出成型技術對油墨沖刷之影響；由研究結果得知，將超臨界流體混入熔膠中可以降低黏性，使得剪切應力降低，而且對油墨之沖刷量較小。

Brune [7]的研究提到油墨被沖刷現象主要來自於充填時的變數與油墨不穩定性之關係，其中充填時的變數為油墨受力不均所產生的，而油墨不穩定性為油墨耐熱溫度與加工塑料的成型溫度之變化。

Wong[8]的研究中指出，當熔融塑膠於模具內與薄膜接觸時，熱量會傳遞至薄膜，造成薄膜軟化與降低剛性。當成品有大曲線之幾何形狀時，薄膜將會產生摺皺現象，造成印刷圖樣偏移，尤以 PET 薄膜更為嚴重。

許[9]在研究中談及油墨被沖刷現象是因油墨易被高溫的 PC 料溶解而導致其印刷圖樣變形，印刷在 PC film 上之油墨大約在 135°C，而充填入模穴 PC 塑料之熔點大約 280°C，油墨不穩定性受模具溫度與熔膠溫度影響。

黃[10]的研究指出，模具溫度增加時，楊氏係數下降，使薄膜變形量增加；薄膜厚度下降，降伏應力下降，使薄膜變形量增加；薄膜厚度變形率與幾何變形率成正比。

Love [11]在著作中詳細說明模內裝飾製程之特性，並提到模內轉印成型，與傳統表面裝飾比較，能節省 15% 至 35% 之塗裝成本，且指出其重要關鍵為高光澤之表面性質以及確認薄膜製程中有正確之結合層與高分子熔膠黏合，能禁得起暴露在 UV 光線與水分子環境之下。

綜合上述文獻得知，模壁厚度是很重要的，尤其是靠近澆口位置。澆口附近薄模壁有極大的剪切應力作用在印刷油墨上，導致油墨被沖刷，因此在澆口附近的厚度要盡量大。

近年來隨著奈米科技的發展，研發了許多奈米級的複合材料，奈米結構複合材料能有效的改進材料的強度與性質，從蘇[12]對尼龍 6 奈米複材在射出成型的應用研究得知，尼龍 6 奈米複材的流變性能有利於熔膠流動與提高射出速率，而且有較佳的尺寸安定性及較小的收縮翹曲行為，這種特性很適合射出成型加工，而且尼龍 6 奈米複合材料的熱安定性比尼龍 6

材料穩定。因此，本文乃在探討尼龍 6 奈米複合材料在 IMD 領域的成型性應用，期望為尼龍 6 奈米複合材料在 IMD 技術應用找到一條出路，冀望本研究成果有助於產業界將尼龍 6 奈米複合材料使用在 IMD 製程，抑或 IMD 產品在生產製造設計時可以得到有效的參考經驗。

參、研究方法

一. 實驗材料

(一) 塑膠材料

本研究使用之塑膠材料為尼洛公司(台灣)生產之尼龍 6 材料，尼龍 6 純料(編號 A2700)、尼龍 6 奈米複合材料黏土含量 2%wt (編號 NE2720) 與尼龍 6 奈米複合材料黏土含量 4%wt (編號 NE2740)，三種塑料的相對黏度值皆是 RV2.7。

(二) 薄膜材料

本研究使用之兩家公司的 PC 材料薄膜，Bayer 公司 Bayfol CR 系列 PC film 與 GE 公司 Lexan 系列 PC film，各有 0.175mm 與 0.125mm 兩種厚度。

(三) 油墨種類

本研究使用三種油墨材料，A 公司黑色油墨、B 公司黑色油墨與 C 公司黑色油墨。

(四) 架橋劑

本研究使用德國寶龍公司 NoriPress® SMK 架橋劑。

二. 試驗模具

為了探討模內貼合射出成型的製程特性，實驗中使用 100mm × 100mm × 2mm 的平板模具來進行實驗，此模具(圖一)為具有一維流動特性。在研究中藉由調整製程參數探討製程條件對 IMD 成品成型性之影響。

三. 薄膜製作

本研究薄膜厚度有 0.175mm 與 0.125mm 兩種，方形圖樣線距 2mm、線寬 0.2mm，全張圖樣尺寸為 100 mm × 100 mm；圖樣設計之目的便於測試油墨沖刷與黏著力測試，測試油墨、架橋劑與塑料結合之成型性。薄膜圖案印刷程序為調墨、架網板、對色、印刷、烘乾，油墨厚度 6~8 μ m、架橋劑厚度 8~10 μ m。

四. 射出成型機與模溫機

本研究使用震雄公司所生產的 MS-90 射出成型機，射出成型機的螺桿直徑為 36 mm，機器是使用油壓系統作為驅動單元，最高的射出率為 72 cm³/sec，最大熔膠射出量為 120 g，最大射壓為 1600 kgf/cm²，最大鎖模力為 90 ton。使用百陽公司機型 BYCW- 031410FS 冷熱水循環溫控模溫機控制模溫。



五. 實驗方法

本研究實驗分為兩階段：

(一) 第一階段實驗

使用 Bayer 與 GE 公司兩家公司的 PC 材料薄膜各有 0.175mm 與 0.125mm 兩種厚度，配合三種油墨，每種 PC 材料薄膜各有 6 組實驗配置（如表一所示）。三種塑膠材料皆在一組固定製程條件（料溫 245°C、模溫 55°C、保壓 32MPa、射速 32.4 cm³/s）下，三種塑膠與每一組薄膜的 IMD 製程都製作 10 片實驗試片，從研究中探討比較薄膜油墨被完全沖刷與被部份沖刷區域面積，從兩種 PC 材料薄膜中分別找出最適合使用在尼龍 6 純料與尼龍 6 奈米複合材料的薄膜厚度與油墨種類。

(二) 第二階段實驗

經由第一階段的實驗，得到適合尼龍 6 奈米複合材料 IMD 製程適合的薄膜條件，探討射出成型四種製程參數—料溫、模溫、保壓與射出速度等對 IMD 製程油墨被沖刷現象與黏著力之影響，製程條件規劃如表二。

三種塑膠與每一組薄膜的 IMD 製程都製作 10 片實驗試片，從研究中探討製程條件對油墨被沖刷量的影響，並從實驗中了解尼龍 6 奈米複材與尼龍 6 純料在 IMD 製程之成型性。

六. 薄膜油墨沖刷量量測方法

將每組 IMD 射出成型實驗試片掃描存檔，再使用 AutoCAD 軟體做量測分析，配合 AutoCAD 軟體功能與操作技巧量測薄膜圖案方形格被破壞區域的面積 A、油墨被完全沖刷區域的面積 B 與油墨被部分沖刷區域的面積 A-B（如圖二）。

肆、研究結果與討論

一. 第一階段實驗結果—不同薄膜條件在模內貼合製程的成型品質之探討

本研究第一階段實驗乃在找出最適合使用在尼龍 6 純料與尼龍 6 奈米複合材料（黏土含量分別為 2%wt、4%wt）的 PC 材料薄膜厚度與油墨種類，經由實驗量測 IMD 試片上薄膜圖案被破壞區域面積（A）、薄膜油墨被完全沖刷量面積（B），將圖案被破壞區域面積扣除油墨被完全沖刷量面積即是油墨被部份沖刷量面積（A-B），整個實驗結果平均數值如表三所示。

(一) 不同薄膜條件之油墨被完全沖刷區域面積之探討

如圖三所示，三種塑膠搭配 GE 公司的 PC 材料薄膜的 6 種實驗配置中，除了一組 NE2720（尼龍 6 奈米複合材料黏土含量為 2%wt）在 GJ1 試片的油墨被完全沖刷區域面積最少之外，其餘 17 組實驗配置皆以 GH1 試片的油墨被完全沖刷區域面積最少。同樣的，三種塑膠搭配 Bayer 公司的 PC 材料薄膜的 6 種實驗配置中，除了一組 A2700（尼龍 6 純料）在 BJ1 試片的

油墨被完全沖刷區域面積最少之外，其餘 17 組實驗配置皆以 BH1 試片的油墨被完全沖刷區域面積最少。

再比較圖三中薄膜厚度 0.125mm 試片與薄膜厚度 0.175mm 試片的結果可知，所有實驗組合中皆以薄膜厚度 0.125mm 試片的油墨被完全沖刷區域面積比較少。

(二) 不同薄膜條件之油墨被部分沖刷區域面積之探討

如圖四所示，三種塑料搭配 GE 公司的 PC 材料薄膜的 6 種實驗配置中，18 組實驗配置皆以 GH1 試片的油墨被部分沖刷區域面積最少。同樣的，三種塑料搭配 Bayer 公司的 PC 材料薄膜的 6 種實驗配置中，18 組實驗配置皆以 BH1 試片的油墨被部分沖刷區域面積最少。

再比較圖四中薄膜厚度 0.125mm 試片與薄膜厚度 0.175mm 試片的結果可知，所有實驗組合中皆以薄膜厚度 0.125mm 的油墨被部份沖刷區域面積比較少。

從上述實驗結果探討可知，GE 公司與 Bayer 公司的 PC 材料薄膜皆以厚度 0.125mm 搭配 A 公司黑色油墨為最適當的薄膜圖案印製組合。

二. 第二階段實驗結果—製程條件對模內貼合製程的成型性影響之探討

本研究第二階段實驗乃在研究尼龍 6 純料與尼龍 6 奈米複合材料（黏土含量分別為 2%wt、4%wt）在模內貼合製程中，料溫、模溫、保壓與射出速度等四種製程條件對薄膜油墨被沖刷現象之影響，探討尼龍 6 奈米複材與尼龍 6 純料在 IMD 製程之成型特性。

(一) 料溫對 IMD 製程成型性之影響

由圖五、圖六可知，尼龍 6 塑料在 IMD 製程的薄膜油墨被完全沖刷區域面積與被部分沖刷區域面積隨著料溫增加會明顯減少，此乃因為一般高分子熔膠隨著料溫的增加，會增加熔膠流動性，減少流動阻力，而且凝固層的產生速度減緩，會使得剪切應力降低，降低對油墨的沖刷影響。

(二) 模溫對 IMD 製程成型性之影響

由圖七、圖八可知，尼龍 6 塑料在 IMD 製程的薄膜油墨被完全沖刷區域面積與被部分沖刷區域面積隨著模溫增加會些許減少，此乃因模溫的選擇會影響成品冷卻時間，並使結晶材料內部結構結晶度及結晶形態產生變化，模溫愈高，凝固層薄，可以改善模穴內壓力傳遞，流動阻力較小，後充填階段的成型性佳，可以減少熔膠流動之剪切應力。模溫低則反之，冷卻時間短，凝固層厚。

(三) 保壓對 IMD 製程成型性之影響

由圖九、圖十可知，保壓條件變化對尼龍 6 純料與龍 6 奈米複合材料在 IMD 製程的薄膜油墨沖刷量變化沒有影響。



(四) 射速對 IMD 製程成型性之影響

由圖十一、圖十二可知，尼龍 6 純料與龍 6 奈米複合材料在 IMD 製程的薄膜油墨被完全沖刷區域面積與被部分沖刷區域面積隨著射速增加會明顯增加，此乃因射速的選擇會影響成品內部壓力變化，當射速愈快，通過澆口的剪切率提高，模壁接觸的黏滯性降低，亦即高分子鏈所受到之變形速率或剪切應力的力量較大，此會導致分子配向行為，使得凝固層的內側有很高的剪切應力，所以會增加對油墨的沖刷影響。

(五) 尼龍 6 純料與龍 6 奈米複合材料在 IMD 製程成型性之比較

從蘇[12]的研究可知，相同剪切率下，尼龍 6 奈米複材由於加入黏土補強材而改善尼龍 6 的流變性能，使得黏度比尼龍 6 純料小，有利於射出流動與提高射出速率。故由圖五至圖十二得知，尼龍 6 奈米複合材料的薄膜圖案的油墨被完全沖刷區域與被部分沖刷區域的面積都比尼龍 6 純料少，而且隨著製程條件參數水準的變化，尼龍 6 奈米複合材料的油墨沖刷量變化亦比較少，亦即尼龍 6 奈米複合材料在 IMD 製程中，IMD 薄膜圖案的成型品質會比較穩定、比較好，不若尼龍 6 純料之薄膜油墨沖刷量很明顯地受製程條件的變化影響。

(六) Bayer 公司與 GE 公司的 PC 薄膜在 IMD 製程成型性之比較

本研究使用 Bayer 公司 Bayfol CR 系列與 GE 公司 Lexan 系列的 0.125mm 厚度 PC 材料薄膜搭配 A 公司黑色油墨印製薄膜圖案組合，探討尼龍 6 奈米複材與尼龍 6 純料在 IMD 製程之成型特性。從檢視圖五、圖七、圖九、圖十一比較薄膜油墨被完全沖刷區域面積得知，在三種塑料搭配四組製程條件參數的十二組 IMD 試片中，除了一組 NE2720 (尼龍 6 奈米複合材料黏土含量為 2%wt) 在射速參數以 GE 公司 Lexan 系列的 PC 薄膜油墨被完全沖刷區域面積比較少之外，其餘十一組搭配組合的 IMD 試片皆以 Bayer 公司 Bayfol CR 系列的 PC 薄膜油墨被完全沖刷區域面積比較少。檢視圖六、圖八、圖十、圖十二比較薄膜油墨被部分沖刷區域面積得知，在三種塑料搭配四組製程條件參數的十二組 IMD 試片中，NE2740 (尼龍 6 奈米複合材料黏土含量為 4%wt) 在四組製程條件參數皆以 GE 公司 Lexan 系列的 PC 薄膜油墨被部分沖刷區域面積比較少，其餘 A2700 (純料) 與 NE2720 (尼龍 6 奈米複合材料黏土含量為 2%wt) 的各四組搭配組合的 IMD 試片皆以 Bayer 公司 Bayfol CR 系列的 PC 薄膜油墨被部分沖刷區域面積比較少。整體而言，使用 Bayer 公司 Bayfol CR 系列的 PC 薄膜印製的圖案在尼龍 6 純料與奈米複材會有比較好的 IMD 成型品質。

伍、結論

綜合上述，可以歸納以下結論：

- 一. 尼龍6奈米複合材料在IMD製程中，薄膜圖案的油墨沖刷量比尼龍6純料少，IMD的成型品質會比較穩定、比較好，不若尼龍6純料之薄膜油墨沖刷量很明顯地受製程條件的變化影響。
- 二. 製程條件料溫增加會減少對薄膜油墨的沖刷量，模溫增加對油墨被沖刷量亦有減少情形，但是降低趨勢不若料溫顯著；保壓壓力變化對薄膜油墨被沖刷量沒有明顯影響，然而充填時間（射速）的改變就有明顯影響，隨著射速增加，薄膜油墨被沖刷量亦有明顯增加。

表一 第一階段實驗規劃配置

公司	厚度	油墨	數量	編號
GE-Lexan PC film	0.125 mm	A公司	10	GH1
		B公司	10	GJ1
		C公司	10	GV1
	0.175mm	A公司	10	GH2
		B公司	10	GJ2
		C公司	10	GV2
Bayfol-CR PC film	0.125 mm	A公司	10	BH1
		B公司	10	BJ1
		C公司	10	BV1
	0.175mm	A公司	10	BH2
		B公司	10	BJ2
		C公司	10	BV2

表二 第二階段實驗製程條件

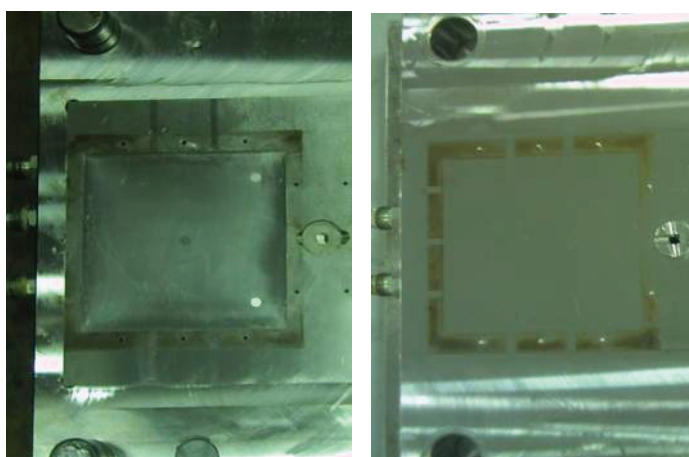
組別	料溫 (°C)	模溫 (°C)	保壓壓力 (MPa)	射速 (cm ³ /s)
1	230	55	32	32.4
2	245	55	32	32.4
3	260	55	32	32.4
4	245	40	32	32.4
5	245	55	32	32.4
6	245	70	32	32.4
7	245	55	16	32.4
8	245	55	32	32.4
9	245	55	48	32.4
10	245	55	32	21.6
11	245	55	32	32.4
12	245	55	32	43.2



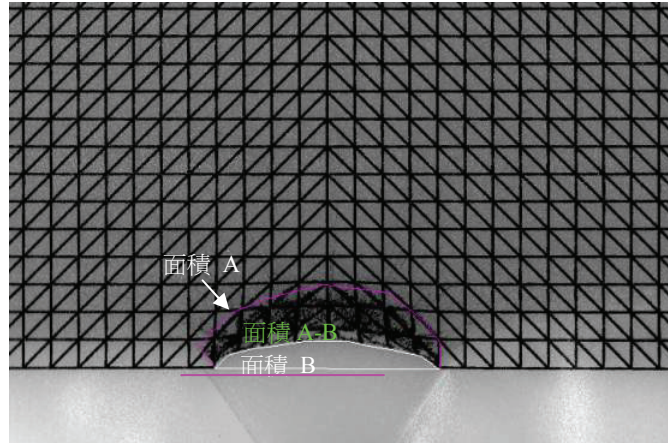
表三 第一階段實驗結果平均數值

編號	A2700			NE2720			NE2740		
	Area A	Area B	AreaA-B	Area A	Area B	AreaA-B	Area A	Area B	AreaA-B
GH1	127.2	64.46	62.74	63.05	25.48	37.57	70.44	26.29	44.15
GH2	151.6	80.40	71.15	73.12	32.88	40.24	104.08	42.63	61.45
GJ1	211.4	69.01	142.34	91.00	24.16	66.84	111.47	26.70	84.77
GJ2	250.9	82.25	168.62	112.51	27.67	84.84	151.21	38.41	112.80
GV1	231.0	82.73	148.29	107.30	28.13	79.17	131.58	34.19	97.39
GV2	303.2	126.21	177.02	137.32	32.37	104.95	165.07	46.86	118.21
BH1	145.0	73.40	71.58	57.97	23.59	34.38	70.89	31.11	39.78
BH2	178.7	102.80	75.86	94.25	42.34	51.91	122.47	58.29	64.18
BJ1	167.6	63.42	104.15	75.53	24.34	51.19	117.24	31.15	86.09
BJ2	227.5	89.10	138.40	125.49	36.96	88.53	129.29	39.45	89.84
BV1	200.2	77.89	122.31	90.98	29.25	61.73	102.91	34.88	68.03
BV2	226.9	97.35	129.54	113.76	39.35	74.41	132.72	43.56	89.16

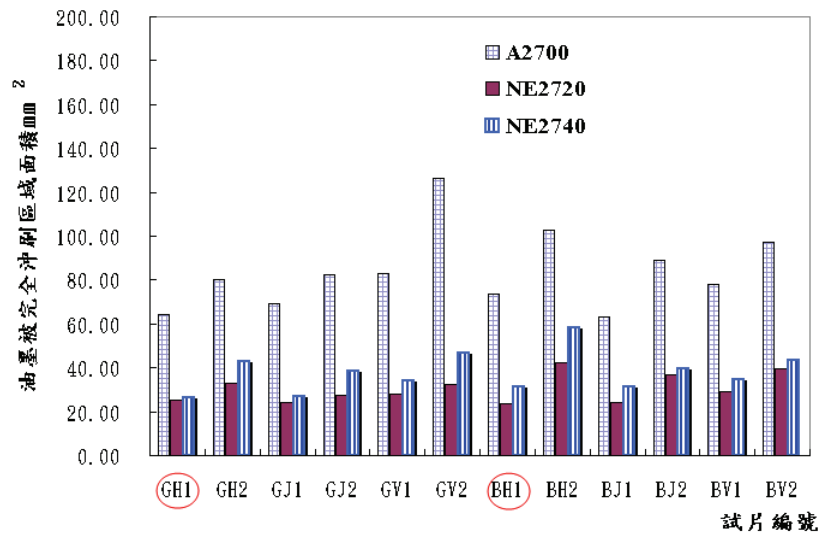
單位 mm²



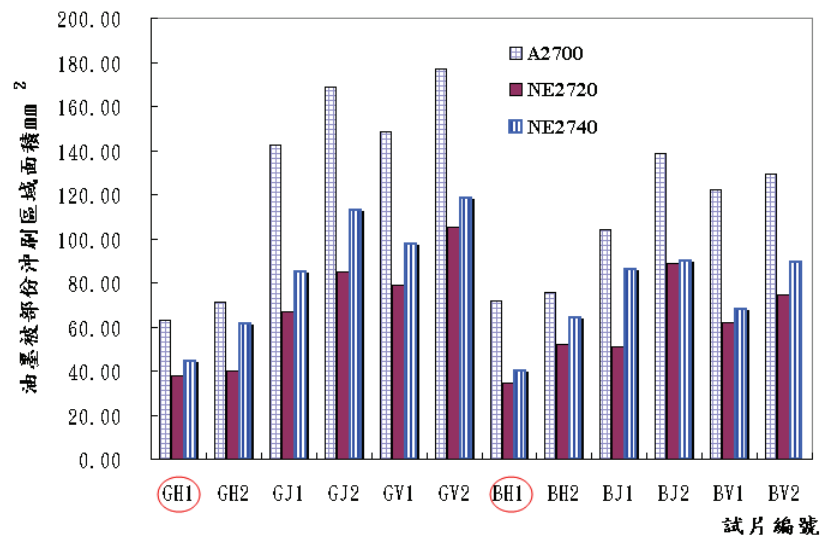
圖一 100mm×100mm×2mm 平板模具



圖二 油墨沖刷量區域面積量測

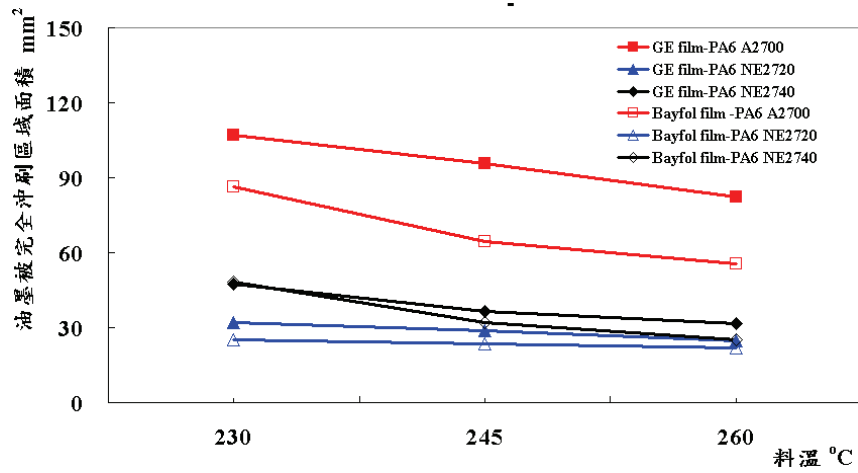


圖三 不同薄膜條件之油墨被完全沖刷區域面積之比較

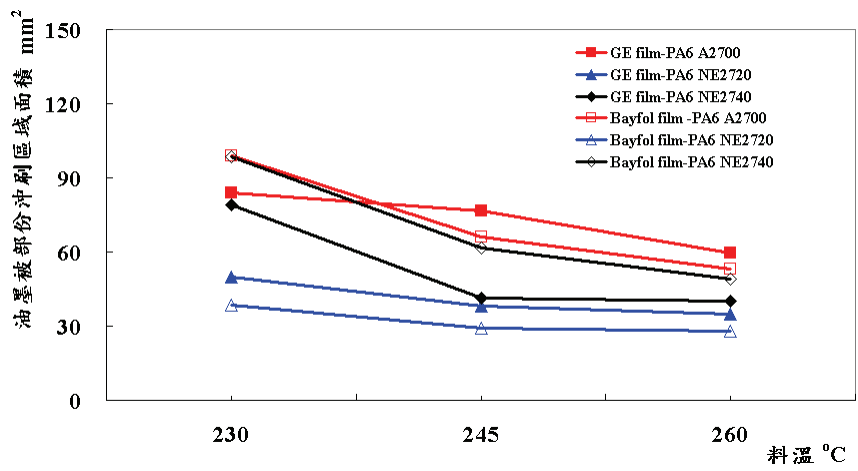


圖四 不同薄膜條件之油墨被部份沖刷區域面積之比較

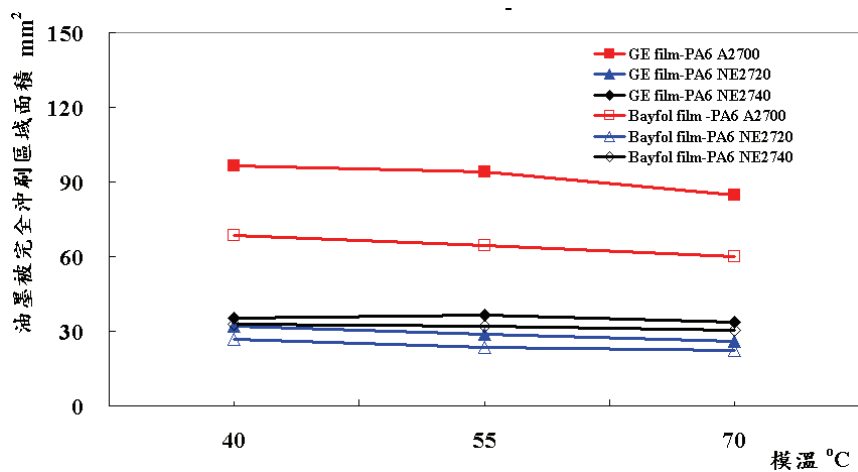




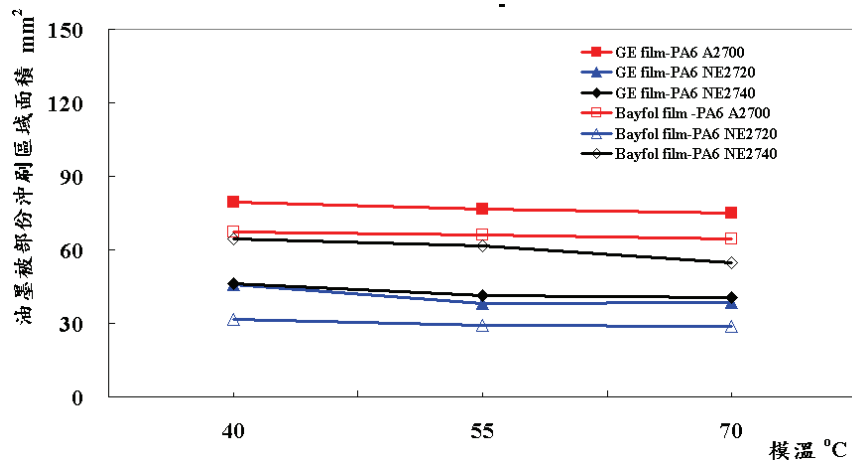
圖五 料溫變化對薄膜之油墨被完全沖刷區域面積之比較



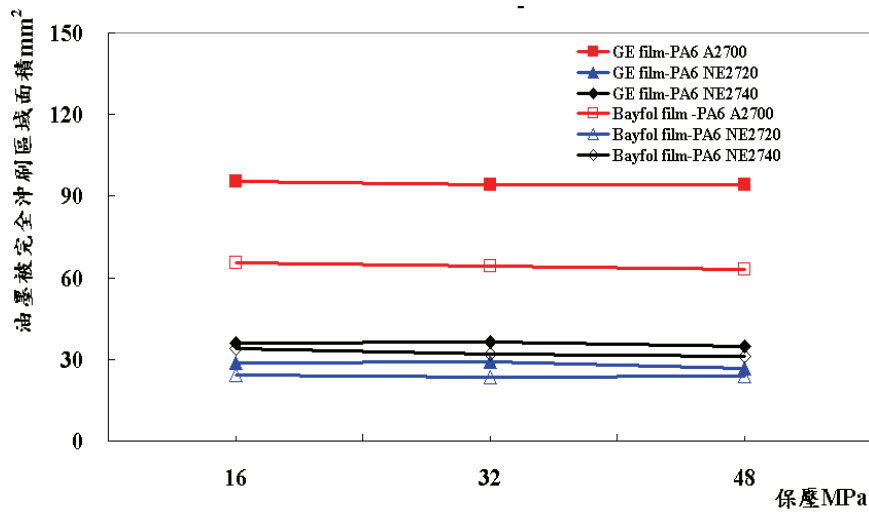
圖六 料溫變化對薄膜之油墨被部份沖刷區域面積之比較



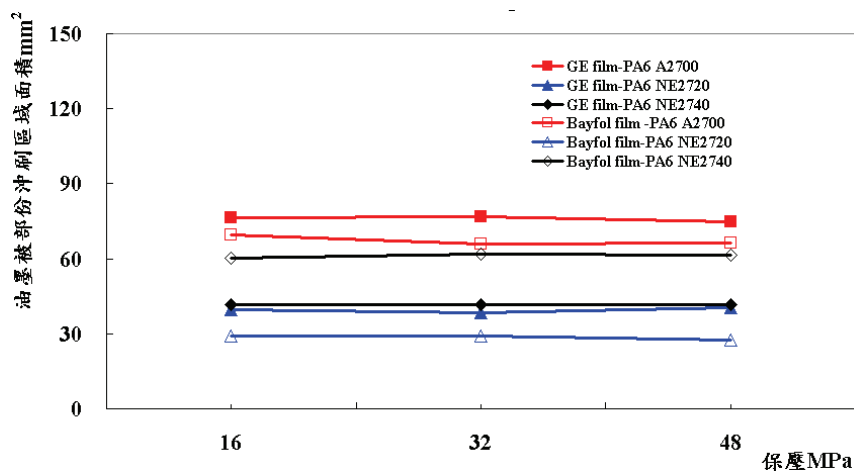
圖七 模溫變化對薄膜之油墨被完全沖刷區域面積之比較



圖八 模溫變化對薄膜之油墨被部份冲刷区域面積之比較

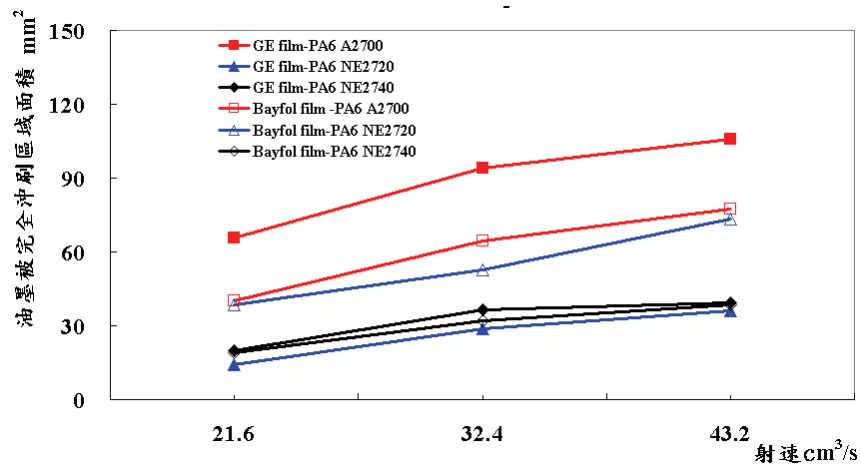


圖九 保壓變化對薄膜之油墨被完全冲刷区域面積之比較

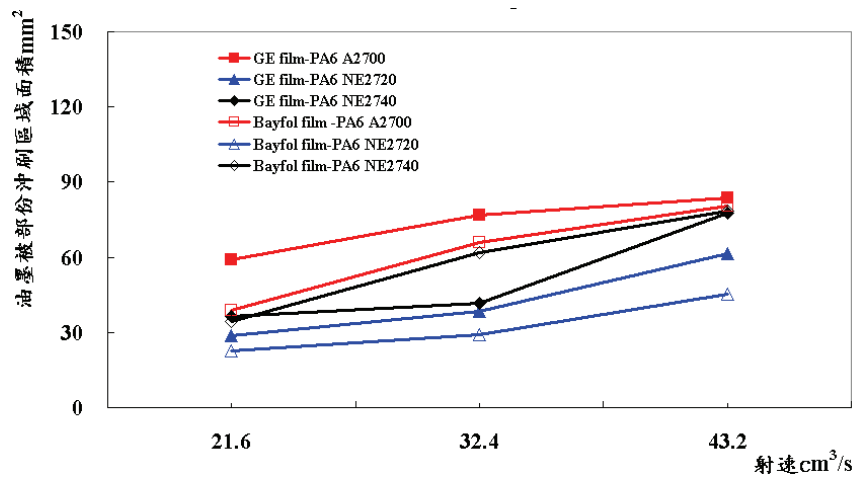


圖十 保壓變化對薄膜之油墨被部份冲刷区域面積之比較





圖十一 射速變化對薄膜之油墨被完全沖刷區域面積之比較



圖十二 射速變化對薄膜圖案油墨被部份沖刷區域面積之比較

參考文獻

1. R.D.Huang, "Study of Injection Molding Characteristics for PC/TPU In-mold Decoration", Master Thesis(in Chinese), Chung-Yuan University,(2003).
2. P. Kowalski, "Permanently Resistant High-Temperature IMD Ink System", *Kunststoffe Plast Europe*, 91, No. 7, p. 54-56, (2001).
3. GE Plastics, "GE Combines Function with Appearance", *British Plastics and Rubber*, p33, July-Aug. (2001).
4. L. S. Turng, "Special and Emerging Injection Molding Processes", *J. of Injection Molding Technology*, Vol. 5, No. 3, p. 160-179, (2001)
5. Y. Z. Wang, J. L. Ha, P. M. Hsu, H. L. Chen, S. S. Hwang, "CAE prediction of InkWash-out on Phone Keypad for In-mold Decoration", *SPE ANTEC* paper, p 615-618, (2005).
6. J.P. Yang, S.C. Chen, P.M. Hsu, and S.S. Hwang, "Ink Washout Problem of In-Mold Decoration by Mictocellular Injection Molding", *SPE ANTEC* paper, p1251-1254, (2006).
7. H.Brune, F.Litjens, "IMD for innovative product design", *Kunststoffe Plast Europe*, V. 88, No. 8, pp.35-36, (1998).
8. A.C.Wong, K.Z.Liang, "Thermal effects on the behaviour of PET films used in the in-mould-decoration process involved in plastics injection moulding", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 63, No. 1, pp. 510-513. (1997)
9. 許丕明、哈冀連、張仁安等，In-Mold Decoration 自動化定位射出成型系統，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫，NSC-90-2212-E-269-006，(2002)。
10. 黃世存，PC薄膜熱壓製程特性之研究，碩士論文，中原大學機械系研究所，(2003)。
11. J.C.Love, V.Goodship, "In-Mould decoration of plastics", *Rapra Review Report*146, Rapra Technology Limited, (2002).
12. 蘇寶林，Nylon6/氟化雲母奈米複材射出成型製程條件對成品性質影響之研究，博士論文，中原大學機械系研究所，(2004)。

