



有機/無機複合鍍層做為模具離型膜之研究

Study of Organic/Inorganic Composite Coatings as Mold Release Films

黃柏勛^{1*}、賴亭妤¹、郭兆渝²、郭俞麟¹

¹ 國立台灣科技大學 機械工程系

² 淡江大學 機械與機電工程學系

*E-mail: fuicha@fuicha.com

摘要

常壓電壓噴射束(Atmospheric Pressure Plasma Jet, APPJ)搭配前驅物，於金屬表面沉積四乙氧基矽烷(Tetraethoxysilane, TEOS)，並塗佈全氟辛基三乙氧基矽烷(Triethoxy-1H, 1H, 2H, 2H-Tridecafluoron-octylsilane, FAS-13) 與AF抗汗藥劑(Anti-Fingerprint agent)，於金屬表面製備一有機/無機之複合鍍層作為離型膜應用於模具上供脫膜離型之用，與傳統功能性膜層之製程相比，本研究可適用於多種金屬以及優良重複加工性，並減少藥劑直接吸入人體之危害產生。

本研究當中所選用之實驗底材為SUS 316L不鏽鋼，SUS 316L因其成分含有鉻、鎳、鉬元素而具有良好耐腐蝕性，其經常應用在具有腐蝕性之聚氯乙烯(PVC, Polyvinyl Chloride)的塑膠射出成型模鋼材，主要因為PVC射出成型成品在生產端需藉由離型劑搭配機械手臂才能有效完成脫膜作業。因此本研究中選擇使用氧化矽膜層沉積於表面提高其親水性性能，其表面能高達70 mN/m，後續於氧化矽表面具有高能量情況下進行塗佈FAS-13及AF抗汗藥劑，FAS及AF在及316L水接觸角表現分別高達126°以及136°上，而氧化矽膜層與FAS-13藥劑有較佳之鍵結性能(附著測試達ASTM 5B等級)。透過其他研究分析指出，接觸角與磨耗試驗下，FAS-13功能性膜層具有疏水性及疏油性，並具有比傳統氟素離型劑(MO-600)更佳的耐磨耗性，於此實驗結果顯示出氧化矽作為中間層，除與基材有良好之附著性之外，亦能與FAS-13產生鍵結，進而給予膜層提高附著性、疏水性以及疏油性之性能。透過此項之新技術取代離型劑之噴灑，可降低每一次針對模具噴灑離形劑之製程時間，增加製程效率，且可降低於噴灑過程中吸入藥劑產生人體危害之影響。

關鍵詞：PVC射出成型鋼、常壓電漿噴射束、複合鍍層、接觸角試驗、磨耗試驗



Abstract

The Atmospheric Pressure Plasma Jet (APPJ) technique, combined with precursors, is employed to deposit Tetraethoxysilane (TEOS) on metal surfaces, and coat them with Triethoxy-1H, 1H, 2H, 2H-Tridecafluorooctylsilane (FAS-13) and Anti-Fingerprint (AF) agents. This process creates an organic/inorganic composite coating on the metal surface, serving as a release film for demolding injection-molded products from molds. Compared to traditional functional film processes, this study can be applied to various metals, offers excellent reprocessability, and reduces the risk of direct inhalation of chemicals into the human body.

The experimental substrate chosen for this study is SUS 316L stainless steel. SUS 316L, due to its composition containing chromium, nickel, and molybdenum, exhibits excellent corrosion resistance and is frequently used in PVC (Polyvinyl Chloride) plastic injection molding dies. This is mainly because PVC injection molded products require release agents and robotic arms for effective demolding during production. Therefore, in this study, a silica film is deposited on the surface to enhance its hydrophilic properties, with a surface energy reaching 70 mN/m. Subsequently, FAS-13 and AF anti-fouling agents are applied to the high-energy silica surface. The water contact angles for FAS-13 and AF on 316L are as high as 126° and 136°, respectively, with the silica film layer and FAS-13 exhibiting superior bonding performance (adhesion test reaching ASTM 5B level).

Other studies have indicated that under contact angle and friction tests, the FAS-13 functional film layer possesses hydrophobic and oleophobic properties and better wear resistance compared to traditional fluorinated release agents. The experimental results show that silica, as an intermediate layer, not only has good adhesion to the substrate but also bonds with FAS-13, thereby enhancing the film's adhesion, hydrophobicity, and oleophobicity. By replacing the spraying of release agents with this new technology, the process time for each mold spraying can be reduced, increasing production efficiency and minimizing the health hazards from inhaling the agents during the spraying process.

Keywords: PVC Injection Molding Steel, Atmospheric Pressure Plasma Jet (APPJ), composite coatings, Contact Angle Test, Wear Test

1. 前言

隨著工業技術之演進，除了材料本體的改質外，於表面鍍上功能性膜層之技術與應用，逐漸受到重視，此種製程可以保有材料原始特性，也能滿足應用之需求，因此透過常壓電漿噴射系統(Atmospheric Pressure Plasma Jet, APPJ)，進行表面處理技術，此製程無需在真空環境下操作，技術便利且製程時間短，適用於大面積及幾何形狀工件，相較於傳統製程更具優勢。SUS 316L不鏽鋼之材料特性擁有優異的耐腐蝕性、高強度和易加工性，廣泛應用於聚氯乙烷(PVC, Polyvinyl Chloride)之塑膠射出成型模具。然而，PVC射出成型過程中需使用離型劑輔助脫膜，而一般常用之氟素離型劑其時效性根據製造商提供資料所示，噴塗於模具表面後，經過30次射出生產便失去脫模效果，因此須經常性噴灑藥劑，對於操作人員有大量吸入藥品之健康疑慮。

根據C.L. Ko等學者所提出^[1]利用常壓電漿噴射束搭配霧化瓶沉積四乙氧基矽烷(Tetraethoxysilane, TEOS)於鎂合金AZ91D上塗佈抗指紋藥劑(Anti-Fingerprint agent, AF)，具有優異之鍵結性與附著性表現。因此本研究探討使模具表面具有疏水性、疏油性及更佳耐耗損兼時效性拉長之特性研究，以達到減少甚至替代離型劑之使用，具有重要及迫切之意義。將透過常壓電漿系統結合前驅物TEOS沉積技術，並塗佈全氟辛基三乙氧基矽烷(Triethoxy-1H, 1H, 2H, 2H-Tridecafluoron-octylsilane, FAS-13)和AF藥劑，探討在SUS 316L不鏽鋼上製備高功能性薄膜之可行性，並且與氟素離型劑(MO-600)相互比較其磨耗壽命之表現。

2. 實驗方法與步驟

2.1 試片製備

本研究以SUS 316L不鏽鋼作為實驗基材，向倍昇工業有限公司採購，基材尺寸為 $\varnothing 15$ mm \times 6 mm，廠商提供之化學元素成份表如表1所示，將試片利用碳化矽水砂紙依序由80號研磨至2500號，研磨後之試片使用1 μ m與0.3 μ m氧化鋁粉末拋光液進行拋光直到表面呈現鏡面，再以丙酮及酒精利用超音波震盪機分別進行15分鐘的清洗，並於烘箱中烘乾，完成試片之製備。

表1 SUS 316L化學成分表。

316L (wt.%)								
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N
0.02	0.63	1.58	0.03	0.002	10.09	16.76	2.05	0.16

2.2 常壓電漿搭配前驅物製備鍍膜樣品

本研究使用淞耀公司(Click Sun-Shine Corp.)生產之常壓電漿鍍膜系統並搭配壓縮乾燥空氣(Compressed dry air, CDA)為工作氣體，氬氣(Ar)作為前驅物之載氣體，實驗流程如圖1所示，氣體流量與電漿功率等實驗參數依序為，電漿功率500W，頻率28kHz，主氣體流量30slm，載氣體流量1200sccm，霧化瓶震盪之藥劑為TEOS，實驗所用之設備如圖2所示，研究所用到TEOS、FAS-13、AF之化學式分別如圖3與圖4所示，實驗流程到材料與應用分析，分別將製備完成之樣品在材料分析上進行了X射線光電子能譜儀(X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS)的樣品表面之化合物分析，場發射掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)樣品表面微觀結構分析，接觸角量測儀(Contact Angle, CA)測量樣品表面在滴上不同液體下親疏性分析，並藉由極性與非極性的兩種液體與樣品表面測量之接觸角計算其表面自由能(Surface Free Energy, SFE)，雷射共軛焦顯微鏡(Laser Scanning Confocal Microscopy, LSCM)藉由光學將樣品表面做漸進式之深度連續掃描，完成表面粗糙度分析，在應用層面做百格刀(Adhesive Cross-Cut Test, ACCT)在樣品表面劃分出等間距之100格進行附著性分析，及往復式磨耗分析(Wear test)將樣品固定於往復式磨耗機上並依設定之距離進行磨耗，搭配CA分析膜層的磨損程度，這些分析用到之儀器介紹與原理將在下一節做進一步解釋。

根據文獻^[1]中TEOS沉積後與AF藥劑之鍵結機制如圖5所示，經由APPJ搭配霧化瓶乘載前驅物TEOS藉由載氣帶動霧化瓶震盪之霧氣，進入噴嘴與主氣體一併導引至電漿生成區域，最終在試片表面沉積氧化矽膜層，因此沉積出TEOS膜層有高表面自由能(Surface Free Energy, SFE)以及極性羥基生成於氧化矽膜表面，促進AF藥劑與氧化矽膜層產生水解反應，因而有優越之附著性。

在氧化矽膜層製備完成後，使用旋轉塗佈機設定以每分鐘1500轉之速度，將FAS以及AF藥劑滴至試片表面，以旋轉塗佈方式將藥劑均勻塗覆上TEOS表層，如圖6所示，樣品膜層製備呈現方式如圖7，後續放入烘箱乾燥，將殘留水分以及多餘之藥劑蒸發，完成樣品之製備。

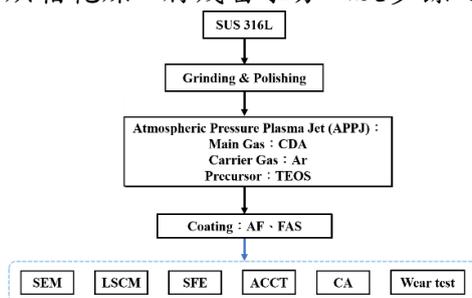


圖1 實驗流程圖。

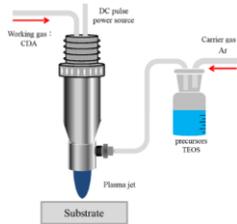


圖2 常壓電漿鍍膜設備。

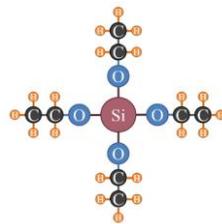


圖3 TEOS化學式。

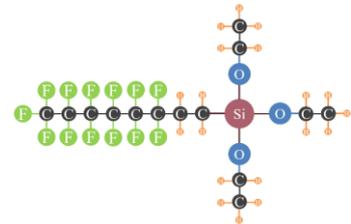


圖4 FAS化學式。

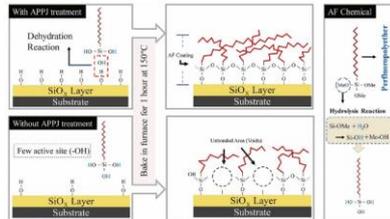


圖5 鍵結機制圖。

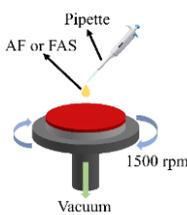


圖6 旋轉塗佈示意圖。

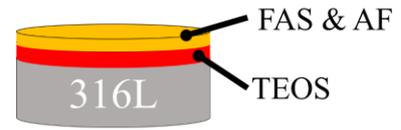


圖7 膜層示意圖。

3. 材料與應用分析方法

3.1 X射線光電子能譜儀(X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS)/化合物分析

本研究使用X射線光電子能譜儀，又稱為化學分析電子能譜儀，藉由X光照射於樣品，若X光能量大於內層Z軌域電子束縛能，則Z電子游離成光電子(Photoelectron)^[2]，而因為不同元素其電子束縛能不同，因此可用以鑑別元素種類及化學鍵結，同時以光電子能譜圖進行元素分析，且利用訊號強度分析其元素含量，藉由全譜圖分析各樣品表面所含有之化合物種類。

3.2 場發射掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)/表面微觀結構分析

本研究使用場發射式(Field Emission)掃描式電子顯微鏡，型號為JEOL / FESEM 6500F，進行材料表面形貌觀測以及膜層厚度量測，這種技術利用電子束與樣品撞擊產生彈性碰撞及非彈性碰撞產生各式電子訊號，如二次電子(Secondary electron)和反射之背向散射電子(Backscattering electron)來成像，藉由散射的二次電子影像觀察樣品之表面形貌。

3.3 接觸角量測儀(Contact Angle, CA)/液體親疏性分析

本研究利用接觸角量測儀(Mode 100 SB, Sindatek)檢測液體與表面之接觸角度，使用移液器分別汲取2 μ l的去離子水、二碘甲烷、甘油滴於樣品表面，藉由角度計算軟體測量液滴邊緣切線與樣品表面的夾角，不同液體之接觸角結果用於判斷材料表面對於各式液體的親疏水等級，以及定義出不同角度與等級的關係，如圖8所示^[3]，並且使用 Owens-Wendt-Rabel-Kaelble公式，計算SFE證明樣品表面與液體間的分散力與極性力關係，在此研究中將以樣品與傳統氟素離型劑比較三者與去離子水、二碘甲烷及甘油的親疏性和表面自由能之差異。

3.4 往復式磨耗分析(Wear test)

為了模擬樣品在產線上的磨耗行為，本研究使用往復式磨耗試驗機其設備示意圖，如圖9所示，根據磨耗 ASTM G133-05 之規範^[4]，橡皮依據 MIL-E-12397 之規範^[5]，試片在無潤滑狀態下以橡皮作為磨材進行模擬，並使用砝碼施加荷重，搭配計數器紀錄往復次數達到固定的移動距離。此研究中分別以 50 m、100 m、150 m，三種磨耗距離參數，觀察其磨耗後表面的水接觸角之變化，分析其膜層的耗損及壽命。

3.5 雷射共軛焦顯微鏡/表面粗糙度分析(Laser Scanning Confocal Microscopy, LSCM)

雷射共軛焦顯微鏡為藉由針孔光圈(Pinhole)排除非距焦面之光源，並同時將樣品從表面

至一定深度做漸進式深度之連續掃描，再藉由軟體進行 3D 重建及量測分析，相比光學顯微鏡有較佳的螢光檢測訊噪比、解析度且影像對比度也有所提升，可清晰觀察表面微結構。本研究使用基恩斯(KEYENCE)公司的 VK-X300 系列形狀分析雷射共軛焦，搭配上 5 倍、10 倍、20 倍、50 倍等不同倍率之物鏡，對樣品表面測量其算術平均粗糙度(Arithmetic mean deviation, Ra)及測量膜層之平坦度。

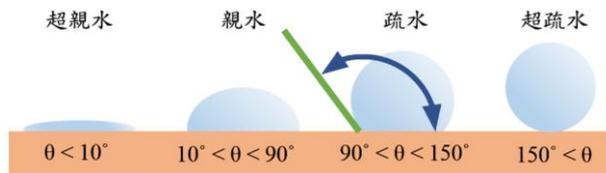


圖 8 接觸角親疏水性判別[3]。

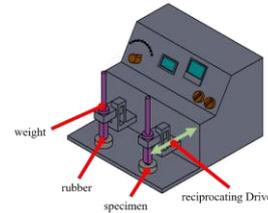


圖 9 往復式磨耗機設備示意圖。

3.6 百格刀(Adhesive Cross-Cut Test, ACCT) /附著性分析

在鍍上薄膜後其附著性為一項評判鍍膜品質的重要指標，本研究使用百格刀裝置對膜層進行檢測(SISI-600, JUN ZHUN Technology Co., Ltd.)，測試方法是根據ASTM D3359-23方法B(Cross-cut)^[6]為標準，利用百格刀在清潔後的薄膜上以每1 mm為間格分別以垂直跟水平各劃出等間距的100格後，貼上專用的3M膠帶(3MTM Scotch[®] 600)，推擠出氣泡後靜置60秒，隨後以反方向快速撕掉膠帶，再以 ASTM D3359-23規範^[6]進行比對，等級由薄膜大面積剝落的0B到完全沒有剝落的5B，其對照如表2所示。

表2 ASTM D3359-23規範表^[6]。

ASTM 等級	ISO 等級	外觀概述	表層剝落示意圖
5B	0	切口邊緣光滑，且切線處的薄膜無脫落。	
4B	1	切口交叉處之膜層有些微脫落，整體方格內剝落 ≤ 5%。	
3B	2	切口邊緣與交叉處，有較明顯之剝離，剝落面積介於5%~15%。	
2B	3	切口邊緣及方格內，有部分或完整膜層剝離，脫落面積介於15%~35%。	
1B	4	切口處與方格內膜層有大面積脫落，脫落面積介於35%~65%。	
0B	5	膜層近乎完全脫落，其脫落面積 > 65%。	

4. 結果與討論

4.1 XPS表面元素分析

樣品之XPS全圖譜，掃描範圍介於0到1100 eV，探測到樣品之表面有碳(C)、氟(F)、氧(O)以及矽(Si)的特徵峰，發現之元素種類與前驅物及藥劑之化學式的元素相同，為了進一步分析表面有機雜化矽膠的化學狀態，將鍍膜沉積在預處理的SUS 316L試片，由圖10所示之XPS全圖譜，探測出TEOS薄膜中含有結合能(BE)之C 1s、Si 2s、Si 2p、O 1s和O KLL的能階光譜，又因為此製程在大氣環境下進行，且主氣體為CDA，所以O的峰值強度相較於其他探測出之元素更加強烈，在塗佈FAS-13與AF藥劑之樣品探測出之結合能(BE)多了F 2s能階的光譜，且Si 2s和Si 2p峰值強度低於只有沉積TEOS的樣品，由此可以佐證藥劑與TEOS中間層產生優良之鍵結性與附著性，覆蓋於氧化矽膜層之上。

4.2 SEM表面微觀結構分析

根據表3表面微觀變化表所示，從TEOS的不同倍率下之氧化矽膜層顆粒直徑大小約落在200 nm，並且觀察到在更深層之顆粒有團聚，且逐漸形成大面積的片狀結構，由此可得知TEOS作為FAS-13與AF的中間層，與原材316L有著優良之附著性。在塗佈FAS-13與AF後，可以觀察到氧化矽膜層顆粒外層有被塗佈之藥劑包覆，塗佈FAS-13的樣品其顆粒從粒粒分明的型貌轉變成果凍狀且更加密集，處理的樣品有助於形成緻密的結構，且形態預期結果成為較疏水之狀態，有利於材料性能的改善；而塗佈AF的樣品，可以觀察到顆粒的型貌更加不明顯，且不同顆粒彼此間有團聚成面的跡象，由此可得出塗佈之藥劑與TEOS如文獻^[1]所述有產生優良之鍵結性，並且與TEOS有好的附著性，使樣品有均勻之元素氟(F)接枝於表面，符合上一節圖10所示，氟(F)於XPS有明顯之峰值訊號強度，加上氟(F)本身具有疏水性^[7]，此部分將在後續接觸角分析補充說明。為瞭解TEOS經由常壓電漿系統鍍膜之膜層厚度表現，透過FE-SEM進行拍攝與測量薄膜厚度，以此觀察出製程鍍出之氧化矽膜層厚度約為 10 ± 0.1 μm 左右。

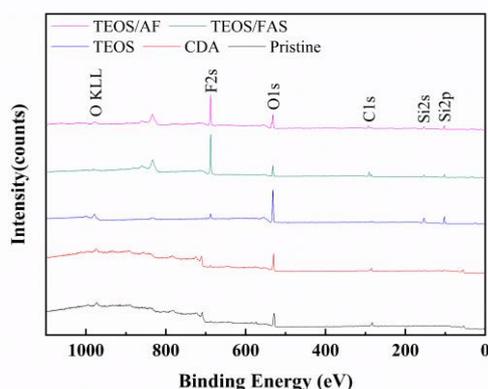
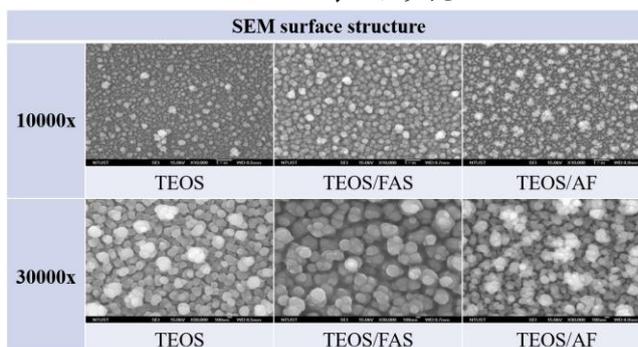


圖10 XPS 全圖譜。

表3 TEOS、TEOS/FAS、TEOS/AF沉積於SUS 316L之SEM表面形貌。



4.3 接觸角分析

在接觸角分析中會先探討在316L試片噴塗MO-600後，分別在滴上去離子水、二碘甲烷和甘油後，測量其親疏水性、親疏油性及表面自由能，整理出原材、MO-600、TEOS/FAS和TEOS/AF的水接觸角與甘油接觸角如圖11所示，原材測出水接觸角與甘油接觸角，分別為 67.0° 以及 76.9° ，而在MO-600則分別是 93.3° 和 93.0° ，依據上一節所示接觸角親疏水性判別圖，得知在噴塗MO-600後之樣品具有疏水性及疏油性，而本研究之常壓電漿鍍膜技術TEOS/FAS、TEOS/AF，接觸角量測結果分別為TEOS/FAS的去離子水為 135.9° ，甘油為 132.0° ；TEOS/AF

則是去離子水為 126.1° ，甘油為 142.4° ；相較MO-600，在本研究之技術在疏水性和疏油性上有更佳優異之表現；在表面自由能(SFE)分析，如圖12所示，三種藥劑皆有極低之極性力，分別為 0.41 mN/m 、 0.83 mN/m 以及 1.3 mN/m ，可以對應三者的去離子水與甘油之接觸角皆有優於原材之疏水性，而此部分之疏水與疏油性由前述之XPS分析，可推斷是由氟的化學官能基所給予。

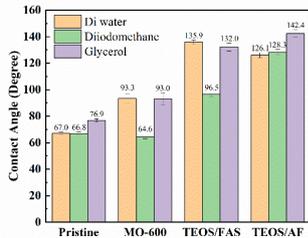


圖11 接觸角分析圖。

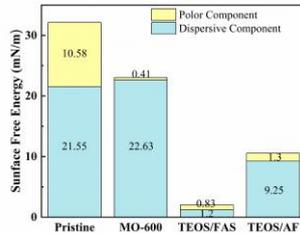
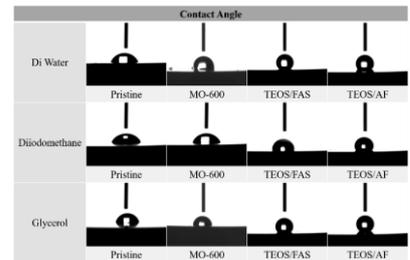


圖12 表面能分析圖。

表4 試片與不同藥劑接觸角圖表。



4.4 往復式磨耗分析(Wear test)

磨耗分析設備設定之參數為1N荷重分別進行50、100以及150 m往復式磨耗試驗，在磨耗趨勢圖中，依據測試液體之不同分別為圖13、圖14、圖15，在塗佈 MO-600的樣品可以明顯觀察到，其磨耗距離從0 m到50 m後，透過去離子水、二碘甲烷以及甘油進行測量後驗證，其接觸角下滑至接近基材之表現，在接續的100 m以及150 m可看到接觸角分別為，去離子水100 m為 69.2° ，150 m為 68.9° ，甘油100 m為 70.8° ，150 m為 66.4° 與上一節原材接觸角近乎相同，可推斷膜層已磨損殆盡，由此可佐證，其功能時效性如供應商所提供之30次橡膠射出生產週期後即無脫膜力之結果雷同。

TEOS/FAS在磨耗測試中，去離子水接觸角依序為，50 m為 103.0° 、100 m為 98.8° 、150 m為 90.8° ，甘油接觸角依序為，50 m為 112.0° 、100 m為 97.5° 、150 m為 91.2° ；TEOS/AF在磨耗測試中，去離子水接觸角依序為，50 m為 118.6° 、100 m為 107.7° 、150 m為 83.9° ，甘油接觸角依序為，50 m為 121.2° 、100 m為 103.9° 、150 m為 91.4° ；相較於MO-600，可以明顯觀察本研究之TEOS/FAS和TEOS/AF具有更好之磨耗接觸角表現，且兩者在磨耗150 m後在去離子水接觸角，分別為 90.8° 和 83.9° ，甘油接觸角分別為， 91.2° 和 91.4° ，仍大於上一節原材之接觸角，由此得出TEOS/FAS和TEOS/AF兩者皆有比MO-600更加優秀之耐磨耗性以及推斷應用在模具可以有更優異之脫模能力的時效性。

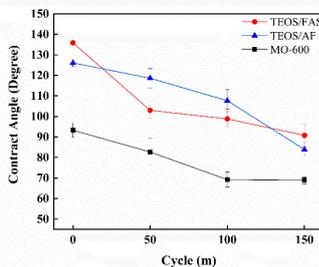


圖13 磨耗後去離子水接觸角趨勢圖。

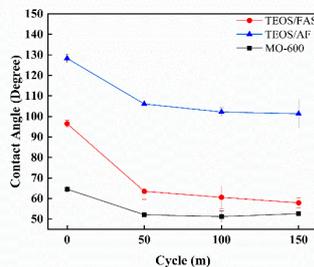


圖14 磨耗後二碘甲烷接觸角趨勢圖。

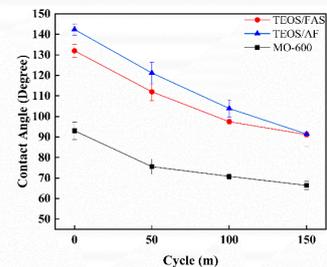
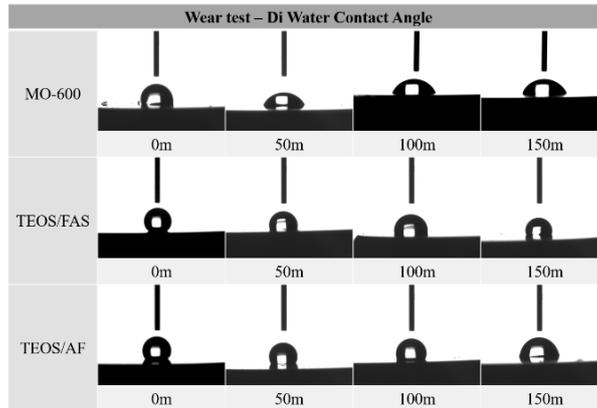


圖15 磨耗後甘油磨耗趨勢圖。

表5 磨耗後去離子水接觸角趨勢圖表



4.5 雷射共軛焦顯微鏡/表面粗糙度分析(Laser Scanning Confocal Microscopy, LSCM)

本研究之表面粗糙度由雷射共軛焦顯微鏡，進行測量，其結果如表6所示，在樣品表面鍍膜分別為TEOS/FAS及TEOS/AF與TEOS相互比較，可以觀察到在算術平均粗糙度(Ra)上有塗佈藥劑的值皆提高了50~100 nm的粗糙度提升，可對應到在前述之SEM分析中樣品表面沉積氧化矽膜層，與塗佈之FAS-13及AF產生鍵結後被氟(F)所覆蓋，所產生之粗糙度微量上升，而根據前面接觸角分析結果，可得出粗糙度微量的上升，並不影響樣品表面之疏水性及疏油性。

4.6 附著性分析

本研究之附著性依據上一節分析方法所提及之ASTM D3359-23規範進行測試，檢測成果如表7所示，在樣品膜層經過百格刀切割，並且貼上專用膠帶靜置60秒撕開後，膜層整體脫落面積無觀察到脫落行為產生，膜層脫落情形與表2交叉比對後，得出附著性達到5B等級，與試片有良好之附著性。

表6 表面粗糙度比較表

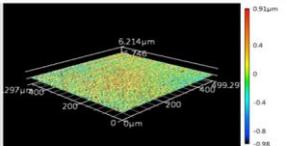
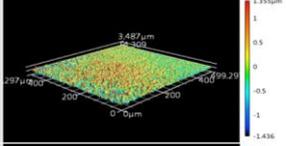
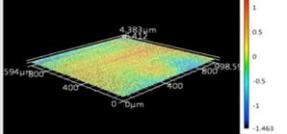
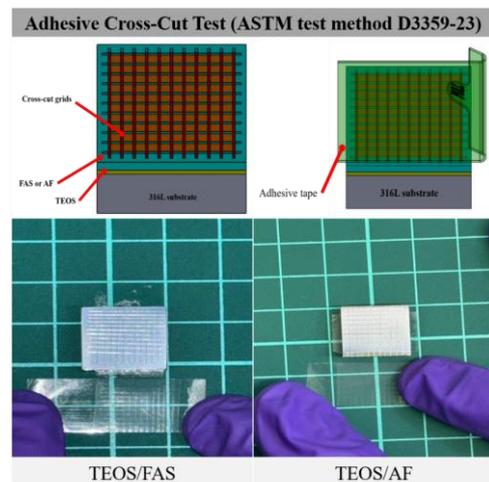
Surface Roughness	
TEOS	 Ra:0.218 μ m Rz:2.566 μ m
TEOS/FAS	 Ra:0.320 μ m Rz:2.948 μ m
TEOS/AF	 Ra:0.262 μ m Rz:2.374 μ m

表7 ACCT 測試圖表。





5. 結論

- (1) 從XPS及SEM分析結果來看，FAS-13與AF塗佈於試片與用TEOS沉積之氧化矽模之中間層具有良好之鍵結性與附著性，且TEOS與基材也有好的沉積附著性，而附著性之表現也可磨耗表現相互佐證。
- (2) 此製程之鍍膜厚度落在 $10\pm 0.1 \mu\text{m}$ ，應用在射出模具時對於其產品在設計尺寸及原料縮水率所產生之精度誤差較無影響，因此在模具產業上具有良好的發展潛力。
- (3) 在接觸角及磨耗分析之結果所示，在與傳統製程使用之氟素離型劑相比之下，本研究具有更佳之疏水性及疏油性，而在磨耗後之樣品也具有更好的接觸角下降趨勢，其磨耗性比傳統製程提升3倍以上，由此可推斷本研究之功能性膜層在模具應用上將有更長之時效性。
- (4) 在表面粗糙度分析之結果所示，在塗佈FAS-13與AF後因藥劑與中間層TEOS產生鍵結，附著於樣品表面，可觀察到算術粗糙度有些微上升之表現，且由XPS結果交叉佐證可推斷為氟化物附著所產生。
- (5) 在附著性分析之結果進一步佐證，本研究之FAS-13及AF與TEOS有良好之鍵結性與附著性，在塗佈後之樣品經由百格刀測試兩者皆達到ASTM D3359-23規範之5B等級(無脫落產生)，也佐證磨耗測試有優異表現之原因。

6. 誌謝

本論文由淞耀企業股份有限公司(Click Sun-Shine Corp.)之常壓電漿設備技術支援，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

7. 參考文獻

- [1] C.L. Ko, Y.L. Kuo, W.J. Lee, H.J. Sheng, J.Y. Guo, The Enhanced Abrasion Resistance of an Anti-Fingerprint Coating on Chrome-Plated Brass Substrate by Integrating Sputtering and Atmospheric Pressure Plasma Jet Technologies, *Appl Surf Sci* 448 (2018) 88–94. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2018.04.075>.
- [2] F.A. Stevie, C.L. Donley, Introduction to X-ray Photoelectron Spectroscopy, *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* 38 (2020) 63204. <https://doi.org/10.1116/6.0000412/1024200>.
- [3] 王彥捷，透過陽極氧化技術改善濺鍍鋁膜AZ91D鎂合金之抗腐蝕性質，碩士論文，台灣科技大學，2016。
- [4] ASTM G133-05(2010) - Standard Test Method for Linearly Reciprocating Pin-on-Flat Sliding Wear, (n.d.). <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmg133052016> (accessed June 6, 2024).
- [5] NPFC - MIL-E-12397 - Eraser, Rubber-Pumice (for Testing Coated Optical Elements) | GlobalSpec, (2013). <https://standards.globalspec.com/std/1607445/mil-e-12397> (accessed June 6, 2024).
- [6] Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test, (n.d.). <https://doi.org/10.1520/D3359-09E02>.
- [7] Ö. Kesmez, N. Tamsü Selli, A. Tunalı, E. Akarsu, M. Akarsu, E. Arpaç, Fingerprint Resistant Coatings for Stainless Steel Substrates, *Prog Org Coat* 112 (2017) 51–56. <https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2017.07.003>.