



EPDM 雨刷膠條表面被覆減摩劑之磨潤性能分析

林佑霖¹ 方治國^{2,*}

1. 國立宜蘭大學機械與機電工程學系研究生

2. 國立宜蘭大學機械與機電工程學系教授

摘要

汽車雨刷膠條的橡膠材質直接影響雨刷之耐候及磨潤特性，而三元乙丙橡膠 (Ethylene propylene diene monomer rubber, EPDM rubber) 具有良好的化學穩定性及耐候性，但其與玻璃間的摩擦係數相對較高，且由於其化學穩定性而不適用雨刷膠條常見的表面鹵化法及石墨被覆法，故無法解決高摩擦係數的問題。本研究嘗試使用電漿活化 EPDM 膠條刃部表面，再被覆減摩劑，並改變不同電漿參數以探討電漿活化對 EPDM 膠條在玻璃上之磨潤特性的改善程度，特別是觀察膠條在 800,000 次的往復掃刷過程中，摩擦係數之變化情形。結果顯示電漿處理可大幅加強 EPDM 雨刷膠條表面被覆減摩劑之附著性，並使摩擦係數明顯降低，其降低幅度可達 50 %。最佳製程參數是中電漿功率及低電漿掃瞄速度。

關鍵字：三元乙丙橡膠、磨潤、摩擦係數、電漿、雨刷膠條

***通訊作者 E-mail address:** ckfang@niu.edu.tw (方治國)



Tribological Performance of EPDM Wiper Blades Coated with Friction Reducer

Yu-Lin Lin¹, Chih-Kuo Fang^{2,*}

1. Graduate student, Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering, National Ilan University.

2. Professor, Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering, National Ilan University.

ABSTRACT

The rubber properties of automobile wiper blades have a direct impact on their resistance to weathering and tribological performance. Ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber has good chemical stability and weatherability. However, its friction coefficient on glass is relatively high, and the frequently-used friction reducing methods of wiper blades, e.g. graphite-coating and halogenation treatments, are not applicable due to the low surface energy and good chemical stability of EPDM. This study tried to use plasma to activate the surface of EPDM wiper blades, followed by the deposition of friction reducer. Plasma parameters were tuned followed by coating friction reducer to improve the tribological behaviors of EPDM wiper blades on glass. In particular, the variations of friction coefficients of these wiper blades with wiping cycles were investigated during 800,000 reciprocating sweeps. The results show that plasma treatments can significantly enhance the adhesion of friction reducer to EPDM wiper blades, and the reduction in the friction coefficient is as high as 50%. As to plasma process parameters, a low scanning speed helps to fully activate the wiper blades and thus to reduce the friction coefficient. The optimal process parameters are medium plasma power and low plasma scanning speed.

Keywords: EPDM rubber, Tribological, Friction coefficient, Plasma, Wiper blades.

***Corresponding author. E-mail address: ckfang@niu.edu.tw (Chih-Kuo Fang)**

一、緒論

汽車雨刷系統是由馬達、雨刷臂、膠條及電子控制元件所構成，其中雨刷膠條易隨著風吹、日曬、雨淋以及氣溫變化導致褪色、變色、龜裂、粉化和強度下降等老化的現象，因此耐候性（Weather fastness）是橡膠材質選用上之一大考量（江秉豪，2015）。此外雨刷膠條的磨潤特性直接影響刷拭效果。雨刷與擋風玻璃間的摩擦力如果太高會導致雨刷跳動與抖動，在此過程中還會產生尖銳的噪音（Le Rouzic et al., 2013），也會使得膠條更快速的磨損。所以改善雨刷膠條之磨潤特性可降低摩擦力與減少磨損量，除了減少刷拭時產生的噪音外，還能增長雨刷膠條的使用壽命、節能、降低摩擦熱（楊春欽，1983），並使駕駛的舒適度與安全性有所提升。

汽車雨刷膠條易受環境影響逐漸老化而影響到刷拭效果。常用於雨刷膠條之橡膠有天然橡膠(Natural rubber, NR)、氯丁膠、丁苯膠以及三元乙丙橡膠(Ethylene propylene diene monomer rubber, EPDM rubber)，其中 EPDM 之耐候性甚佳，但摩擦係數卻甚高，如果能解決其摩擦問題，EPDM 將會是雨刷膠條之絕佳材料。

汽車雨刷膠條與擋風玻璃之間的摩擦性能會受到膠條的材質、表面處理方式、按壓力、刷速、玻璃表面狀況、以及周遭環境（如溫濕度、大氣懸浮微粒及汙染物）等的影響。以下針對膠條材質與表面處理方式對膠條磨潤性能之影響作文獻回顧：

陳啟輝（2014）的實驗顯示 90%的天然橡膠混合 10%的丁苯橡膠，在法向力 18 N/m 及刷速 0.377 m/s 的條件下濕摩擦係數大約在 0.4 – 0.6 之間。陳鴻璋（2012）的實驗中使用了 4 種膠條，在按壓力 20 N/m 時濕摩擦係數分別是：台製天然橡膠 0.4 – 0.6、台製天然橡膠混合氯丁膠 0.35 – 0.6、日製天然橡膠混合氯丁膠 0.15 – 0.3、日製天然橡膠混合氯丁膠並於表面被覆石墨 0.1 – 0.25，雖然文中未明寫混合比例，但從結果中可以看出在天然橡膠中添加氯丁膠能降低摩擦係數。

兩刷膠條摩擦特性之改善可藉由表面處理，橡膠常用之表面處理的方法有：化學試劑處理法、氣體熱氧化法、火焰處理法、力化學處理、及電漿處理等（馬立群，1999）。茲針對以上處方法說明如下：

(1) 化學試劑處理法：採用化學試劑對橡膠表面進行處理，使橡膠表面分子被氧化，從而在材料表面導入極性基團。同時薄弱的界面層因溶於試劑中而被破壞，甚至分子鏈斷裂，形成密密麻麻的凹穴，增加表面粗造度，改善材料的黏附性。目前兩刷膠條較為常見的減摩方法為對膠條表面進行鹵化處理，Extrand 等人（1991）發現橡膠表面經過氯化處理後可降低其摩擦係數，並且使滑動速度及溫度對摩擦係數之影響降低；Schlögl 等人（2011）之研究團隊以氟/氧混合氣及氟/氮混合氣分別對天然橡膠進行表面氟化，以評估較佳的彈性體表層鹵化處理方式。

(2) 氣體熱氧化法：於材料表面通過溫度較高的空氣、氧氣、或是臭氧之類的氣體使其表面氧化，以改善其黏附性。Cataldo 等人（2010）以臭氧當作活化劑對橡膠碎粒引發表面氧化和表面官能化（Surface functionalisation），表面氧化的橡膠碎粒表現出酸性和親水性。

(3) 火焰處理法：採用特定配比的混合氣體，在特別的燈頭上燃燒，使火焰與橡膠表面直接接觸。火焰中含有處於激發態的 O、NO、OH 和 NH 等可以從材料表面的聚合物分子中奪取氫原子，進行表面氧化，從而將含氧極性基團引入材料表面，消除弱界面層，以改善其表面極性與黏附性。Farris 等人（2010）以及 Mazzola 等人（2011）對聚合物表面進行了火焰處理，提高了表面自由能，從而提高了塗層、膠水的潤濕性以及黏附性。

(4) 力化學處理：對塗有膠的被黏物表面進行摩擦，透過力化學作用使聚合物表面產生力降解而形成大分子自由基，與黏合劑分子可能形成一定數量的共價鍵，產生牢固的界面結合。Braga 及 Grepioni（2004）提出使用無溶劑的機械化學法像是研磨

以及揉合等方式來激活分子晶體內部或是之間的超分子鍵結。楊昱等人（2014）使用機械力化學法，利用高分子材料在應力作用下易發生力活化、力降解等特性。先通過反應釜中化學藥劑的浸潤和溶脹作用，再對廢棄橡膠施以剪切力和擠壓力，使其中發生力化學反應，來完成其目的。

（5）電漿處理：可分為高溫電漿與低溫電漿。高溫電漿主要應用於物質之燃燒及裂解，如電漿火炬應用於廢棄物處理；低溫電漿則廣泛應用於半導體製程、醫療器具處理、或材質改質等。在橡膠之電漿處理方面：吳明杰等人（2008）對聚酯梭織物進行電漿處理，以提升其對藥劑的黏附性藉以提升與橡膠之複合效果，結果顯示相較於未處理之基布其附著強度提升了 83.3 %。Hegemann 等人（2003）對聚合物表面透過不同的電漿處理（蝕刻、清潔、活化、以及交聯）進行改性，改善潤濕性能，增強電漿沉積塗層的附著力或是減少摩擦。Romero-Sánchez 及 Martín-Martínez（2006）利用大氣電漿對硫化（Sulfur-vulcanized）丁苯橡膠（Styrene-butadiene rubber, SBR）做表面改性處理，使用聚氨酯（Polyurethane, PU）膠黏劑膠合，其結果顯示電漿處理時間愈長，表面氧化（改性）的程度越高，但在膠黏時卻促使石蠟（Paraffin wax）容易向橡膠-膠黏劑界面遷移，以致 SBR 與 PU 膠之結合效果改善不多。並且過度電漿處理將使硬酯酸鋅（Zinc stearate）向橡膠-膠黏劑界面遷移之程度加劇。而石蠟或硬酯酸鋅都會污染界面並形成脆弱的邊界層，造成黏著效果大幅降低。Basak 等人（2011）用氫/氧電漿對 EPDM 膠條表面進行改性，使其與天然橡膠黏合效果變好，其結果顯示處理時間越長剝離強度越強，而其電漿功率與剝離強度關係呈現圓弧狀，其電漿功率範圍是 0 W 到 125 W，100 W 時剝離強度最強，125 W 時剝離強度略低一些。

（6）噴佈表面塗層：王惠中（2017）在橡膠製品表面被覆含有二硫化鉬的溶液，可以有效改善橡膠的表面摩擦性質。Martin 及 Vanis（1981）發現在橡膠表面被覆二硫化鉬可有效降低其摩擦係數並提高耐磨性。Bui 等人（2008）曾在 HNBR (Hydrogenated nitrile butadiene) 表面鍍上 Ti-DLC (Ti-containing diamond-like carbon) 來提高磨潤效果。此外，由於石墨具有良好的潤滑效果且耐高溫、不易氧化，故常用於雨

刷膠條之潤滑塗層。Matthews 等人 (1998) 探討不同材質表面被覆石墨對於摩擦與磨耗的影響。然而，對於 EPDM 材質之汽車雨刷膠條，石墨不易緊密附著，Theodore 等人 (1992) 曾在 EPDM 內添加石墨等減摩劑，使其具自潤效果，雖不會發生被覆層脫落而失去潤滑效果的問題，然而因摩擦現象僅發生在接觸面，整支膠條均添加減摩劑並非最經濟之作法。為解決石墨在 EPDM 膠條上結合性差的問題，江秉豪 (2015) 藉由電漿處理，加強石墨在 EPDM 膠條上的附著性、降低摩擦係數、並消除掃刷時的跳動現象。

以上處理方法大多是增加表面黏附性，其中化學處理及噴佈表面塗層可降低橡膠摩擦係數。然而 EPDM 橡膠由於具完全飽和 (Fully saturated) 之單鍵結構，屬非極性烴基彈性體 (Non-polar hydrocarbon based elastomers)，具有良好的化學穩定性及耐候性。且由於其化學穩定性，EPDM 不適用雨刷膠條常見的表面鹵化法及石墨被覆法之表面處理方式，故無法解決高摩擦係數的問題，以致 EPDM 雨刷膠條商品化程度甚低。故本研究嘗試使用電漿活化 EPDM 膠條表面，再被覆減摩劑，以解決上述問題。

然而由於橡膠中常含有石蠟及硬酯酸鋅，石蠟一般是用作橡膠之脫膜 (Mold release) 劑及抗臭氧劑 (Antiozonant agents) 以避免龜裂。而硬酯酸鋅一般是在橡膠製程中作為脫膜劑或抗氧化劑 (Antioxidant)，並且在硫化過程中，氧化鋅 (Zinc oxide) 與硬脂酸 (Stearic acid) 反應，將生成更多的硬酯酸鋅。在電漿處理過程中，已知處理時間愈長，表面氧化 (改性) 的程度固然越高-主要是生成碳-氧基 (C-O moieties)，然而前述之石蠟 (Paraffin wax) 容易向橡膠-膠黏劑界面遷移，並且過度電漿處理將使前述之硬酯酸鋅 (Zinc stearate) 向橡膠-膠黏劑界面遷移之程度加劇 (Romero-Sánchez and Martín-Martínez, 2006)。這些石蠟或硬酯酸鋅都會污染界面並形成脆弱的邊界層，可能造成減摩劑黏著效果大幅降低。若使用低壓電漿 (Low-pressure plasma) 處理，可藉由真空將此等低分子量的污染物吸走，然而在實務上，雨刷若採真空製程則成本過高且速度過慢，因此仍以大氣電漿為宜。如何調控大氣電漿的製程參數，使表面改性的程度與界面污染物之形成間取得平衡，進而使減摩劑與 EPDM 膠條間達到最佳的結

合效果從而減低摩擦係數為本研究之主要課題。

二、實驗方法

2.1 實驗目的

針對 EPDM 膠條上之減摩劑被覆層，探討電漿功率與電漿掃描速度等製程參數對摩擦係數之影響，進而找出最佳參數組合。

2.2 實驗設備及樣品

主要實驗設備為本實驗室自行開發之全尺寸雨刷膠條摩擦力檢測儀，以及雨刷膠條磨耗試驗機台。其中全尺寸雨刷膠條摩擦力檢測儀包含電動滑台及控制系統(最高速度 300 mm/s)、摩擦力量測系統、訊號擷取系統；雨刷膠條磨耗試驗機台包含往復運動系統、計數器、控制系統、盛水載盤(含玻璃)、灑水裝置等。

實驗樣品部分：首先委託橡膠廠混練 EPDM 膠料，再壓製成長度 24 吋之雨刷膠條樣品。其次使用 NEMST-Jet 2008 I 噴射式常壓(大氣)電漿清洗機對膠條表面進行清潔及活化：使用低(L)、中(M)、高(H)三種電漿功率，以及低(l)、中(m)、高(h)三種電漿掃描速度，其數值目前尚不便公開。最後於膠條刃口附近噴佈減摩劑，其中噴佈劑是使用 PU 樹脂為基材，添加 2% 減摩劑（因擬申請專利，減摩劑成份尚無法公開），並以丙酮為溶劑。被覆層厚度控制在 $8 \pm 2 \mu\text{m}$ 。各樣品膠條之參數組合如表 1，其中對照組為編號 No. 1（無被覆層，未經電漿處理）、及 No. 12（具減摩劑被覆層，但未先經電漿處理）。由於 No. 12 未經電漿處理，被覆層附著性甚差，手指觸摸即脫落，無實用價值，因此不做磨潤實驗。此外，為與傳統膠條做比較，另增加一個對照組 No. 0：天然膠經氯化處理。其餘膠條為 EPDM 母材經不同參數之電漿處理後被覆減摩劑。每一編號之受測膠條各裁切成 2 段長度為 60 mm 之樣品進行實驗，以確認實驗數據之再現性。裁切時使用精密裁刀，以確保尺寸之精準及斷面之平整。

表 1. 實驗樣品

No.	Coating	Plasma power (W)	Plasma scanning speed (mm/s)	Remark
0	/	/	/	對照組 (NR/氯化處理)
1	/	/	/	對照組 (EPDM/無鍍膜)
12	Friction reducer 2 %	/	/	不做磨潤實驗：因減摩劑無法附著
13		L	l	
14			m	
15			h	
16		M	l	
17			m	
18			h	
19		H	l	
20			m	
21			h	

註：No. 12 – No. 21 為實驗組，母材為 EPDM，鍍膜厚度為 $8 \pm 2 \mu\text{m}$ 。

2.3 實驗參數

- (1) 製程參數：
1. 被覆層材質：基材 PU 樹脂添加減摩劑 (2%)，溶劑為丙酮
 2. 被覆層厚度： $8 \pm 2 \mu\text{m}$
 3. 電漿功率：低(L)、中(M)、高(H)
 4. 電漿掃描速度：低(l)、中(m)、高(h)
- (2) 測試環境因子：
1. 環境溫度： 25°C
 2. 環境濕度：70 % R.H.
- (3) 磨耗測試參數：
1. 膠條長度：60 mm
 2. 膠條下押力：16 gw/cm
 3. 灑水量：34 ml/min
 4. 掃刷行程：來回各 100 mm
 5. 掃刷頻率：2.77 次/秒
 6. 掃刷次數：80 萬次
- (4) 摩擦力測量參數：
1. 膠條長度：60 mm
 2. 膠條下押力：16 gw/cm
 3. 液面高度：玻璃面以上 1 mm
 4. 掃刷行程：400 mm

5. 掃刷速度：10 mm/s
6. 重複測試次數：4 次

2.4 實驗步驟

實驗前使用專用裁刀將兩刷膠條裁切成長度 60 mm 之樣品。為確保實驗之再現性，每一編號的樣品切取兩段，分別命名為「樣品編號-1」及「樣品編號-2」，例如編號 No. 1 的兩樣品分別標示「No. 1-1」及「No. 1-2」。若兩個樣品之再現性佳，則取其平均數據；反之則另切取兩個樣品重做實驗。由於膠條含水量會影響摩擦係數，因此實驗前樣品須預先浸泡於清水 30 分鐘使其吸水飽和後取出立即進行實驗。

由於玻璃表面狀況會嚴重影響摩擦係數量測之準確性，因此實驗前須經過嚴格之清潔處理：全尺寸兩刷膠條摩擦力檢測儀之玻璃於量測前使用沙拉脫清潔表面並以清水沖洗後，置入清水中超音波清洗器震洗 10 分鐘。若該玻璃係初次使用或長時間（一個月以上）未使用，則須再使用海綿沾 CeO_2 (52 g/L 水溶液) (Koenenand and Sanon, 2007) 對玻璃表面進行拋光，經清水沖洗後置入超音波清洗器震洗 30 分鐘。最後將玻璃安裝於全尺寸兩刷膠條摩擦力檢測儀。至於兩刷膠條摩耗試驗機台之玻璃則於實驗前先使用沙拉脫清潔表面並以清水沖洗後，置於 50 °C 之 5 % 沙拉脫水溶液中，以超音波震洗 3 分鐘後，以清水沖洗表面，再使用海綿沾 CeO_2 對玻璃表面進行拋光，經清水沖洗後再置於 50 °C 之 5 % 沙拉脫水溶液中，以超音波震洗 3 分鐘，最後再以清水沖洗，置入兩刷膠條摩耗試驗機台中。

首先針對每一編號的兩個樣品測量摩擦係數：將樣品安裝於全尺寸兩刷膠條摩擦力檢測儀，施予 96 gw 之按壓力，啟動電動滑台，以 10 mm/s 之速度掃刷 400 mm，同時記錄摩擦力隨時間之變化，每一樣品重複測試 4 次取平均值。接著將同一編號的兩個樣品移至兩刷膠條摩耗試驗機台，隨即進行往復 20,000 次之磨耗試驗。在此期間，同時將全尺寸兩刷膠條摩擦力檢測儀之玻璃取出置於清水中以超音波震洗 20 分鐘後放回。待 20,000 次之摩耗試驗完成後，將樣品裝回全尺寸兩刷膠條摩擦力檢測儀再次測量摩擦力。如此交替進行試驗，直至摩耗試驗往復掃刷總數累積達 80 萬次，再量測最

後一次摩擦係數即完成該組樣品之磨潤實驗。

三、結果與討論

本研究針 EPDM 膠條（被覆減摩劑）及傳統之 NR 膠條（經氯化處理）進行磨潤實驗，紀錄其在室溫環境下摩擦係數隨掃刷次數（或時間）變化之情形以探討其磨潤特性並找出最佳製程參數。

3.1 原始 EPDM 膠條與市售天然橡膠膠條比較

圖 1 之兩條曲線分別是無電漿處理、無被覆層之原始膠條 (No. 1) 以及市售天然橡膠膠條 (經氯化處理) (No. 0)。可以看出市售經氯化處理之天然膠條在 80 萬次掃刷過程中，摩擦係數只有輕微爬升，平均在 0.2 左右；EPDM 膠條若不經過處理，其摩擦係數一開始雖然並不遜色，但隨著掃刷次數迅速爬升，很快就遠高於市售經氯化處理之天然膠條，這是 EPDM 膠條以往不適用於製作雨刷膠條的原因。因此 EPDM 膠條若不經過處理，即便有優異之耐候性，亦無法為雨刷市場所接受。

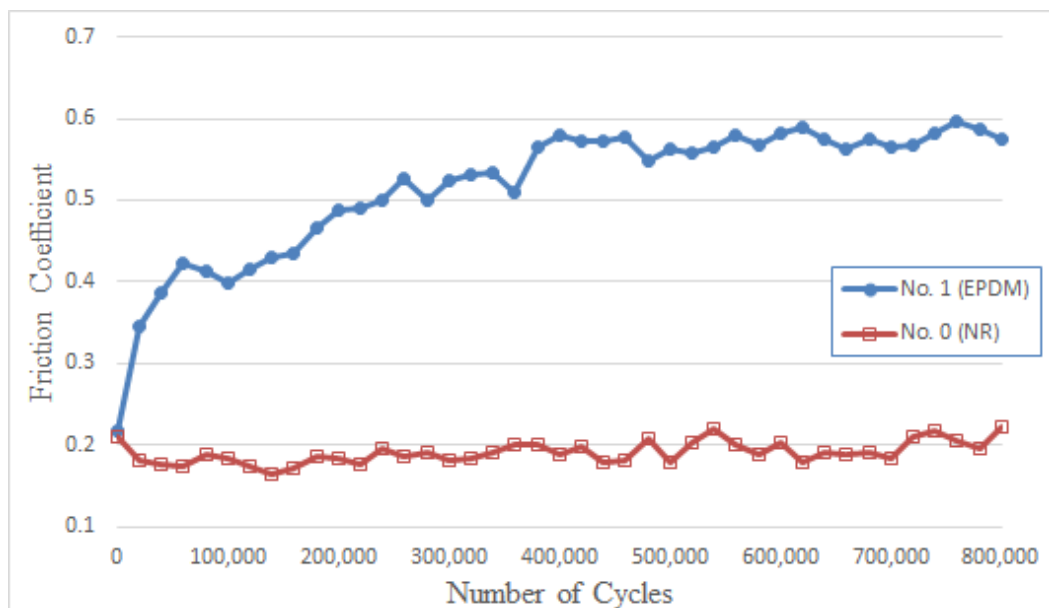


圖 1. 市售天然橡膠膠條樣品(No. 0)與原始 EPDM 膠條樣品(No. 1)之摩擦係數與掃刷次數關係圖

3.2 經低功率電漿處理並被覆減摩劑之 EPDM 膠條

圖 2 是針對低功率但不同掃瞄速度之電漿處理，紀錄有減摩劑被覆層之 EPDM 膠條之摩擦係數變化並加入原始膠條（對照組）之摩擦係數曲線。該圖顯示電漿處理並被覆減摩劑之減摩效果顯著，初期摩擦係數約為 0.15–0.21（略低於 No. 1 原始膠條之 0.22），其後緩慢增加，此與被覆層之逐漸脫落有關，掃刷 80 萬次後摩擦係數爬升到 0.3 至 0.42 之間。其中，中速電漿掃瞄之減摩效果最佳，在 18 萬次前，摩擦係數均能保持在 0.2 以下，80 萬次後摩擦係數也僅爬升到 0.3 左右，其摩擦係數之減小率均能達到 50 % 左右（相較於無被覆層之原始 EPDM 膠條）。理論上掃刷速度愈慢則表面活化程度愈完全，被覆層愈不易脫落，然而圖 2 顯示最低速電漿掃瞄樣品之摩擦係數並非最低，可能是由於較慢的電漿掃速造成石蠟（Paraffin wax）或硬酯酸鋅（Zinc stearate）大量向界面遷移較而污染界面，以致在膠條與 PU 黏合劑間形成脆弱的邊界層，造成黏著效果之降低（Romero-Sánchez and Martín-Martínez, 2006），因此所被覆之減摩劑較易脫落。

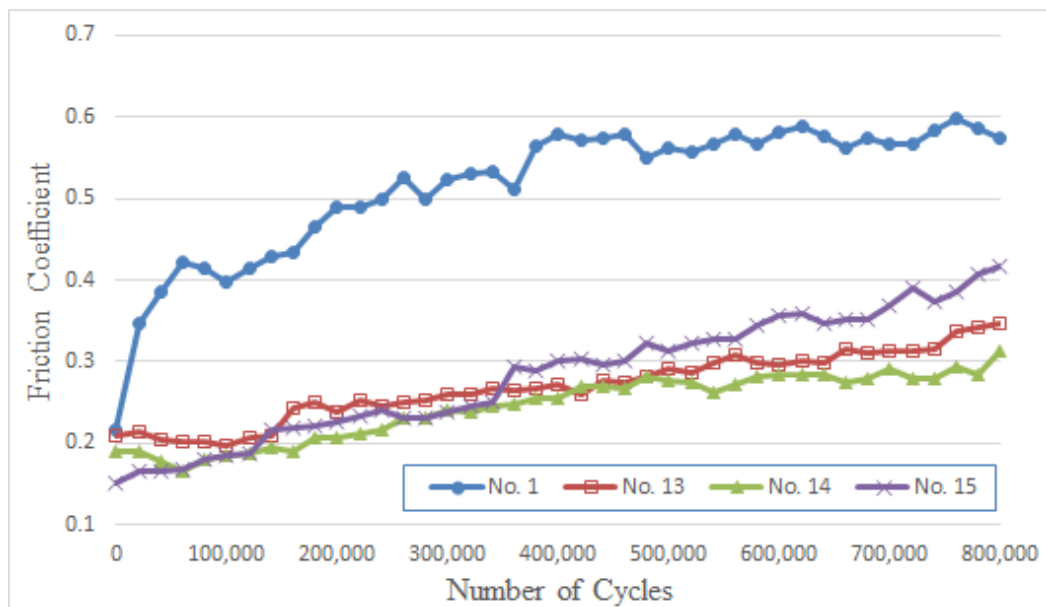


圖 2. 經低功率電漿處理後被覆減摩劑之 EPDM 膠條樣品 (No. 13–No. 15) 與原始 EPDM 膠條樣品 (No. 1) 之摩擦係數與掃刷次數關係圖。電漿掃瞄速度：No. 13: 低; No. 14: 中 mm/s; No. 15: 高。

3.3 經中功率電漿處理並被覆減摩劑之 EPDM 膠條

圖 3 是針對中等功率但不同掃瞄速度之電漿處理，紀錄有減摩劑被覆層之 EPDM 膠條之摩擦係數變化並加入原始膠條（對照組）之摩擦係數曲線。該圖顯示電漿處理並被覆減摩劑之減摩效果顯著。初期摩擦係數約 0.11 – 0.19，其後緩慢增加，此與被覆層之逐漸脫落有關，掃刷 80 萬次後摩擦係數爬升到 0.3 左右。其中低、中速電漿掃瞄膠條之減摩效果接近，但以低速電漿掃瞄之膠條摩擦係數變化較為穩定且斜率最低。高速電漿掃瞄之膠條初期摩擦係數雖甚低（0.11），但其後快速爬升，28 萬次後開始有明顯振盪，至終摩擦係數超過低、中速電漿掃瞄之膠條。整體而言，在整個 80 萬次的掃刷過程中，減摩劑之減摩效果約在 50 % 左右（相較於無被覆層之原始 EPDM 膠條）。

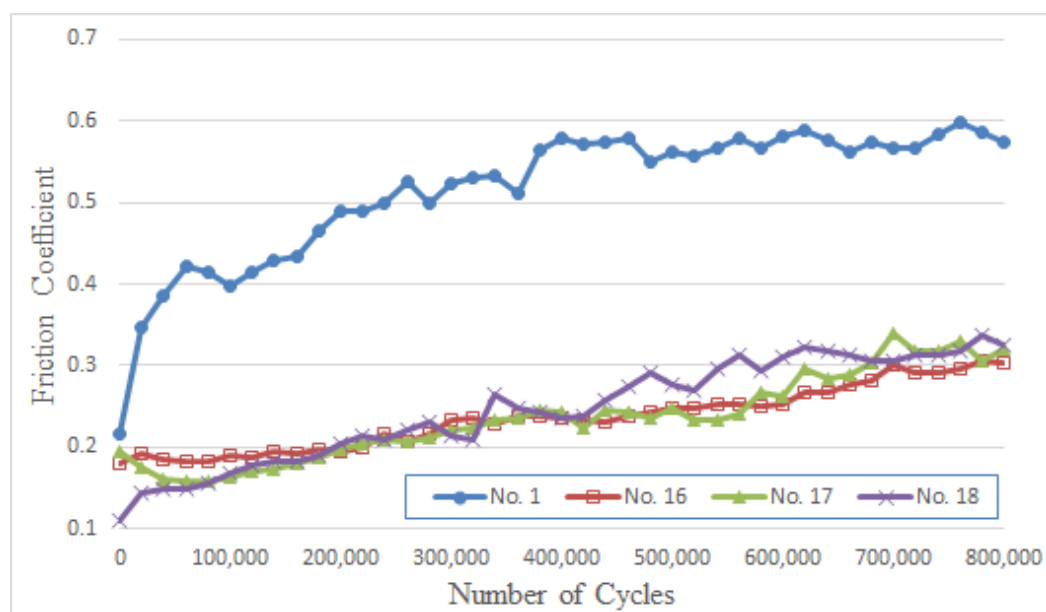


圖 3. 經中功率電漿處理後被覆減摩劑之 EPDM 膠條樣品(No. 16 – No. 18)與原始 EPDM 膠條樣品(No. 1)之摩擦係數與掃刷次數關係圖。電漿掃瞄速度：No. 16:低; No. 17:中; No. 18:高。

3.4 經高功率電漿處理並被覆減摩劑之 EPDM 膠條

圖 4 是針對高功率但不同掃瞄速度之電漿處理，紀錄有減摩劑被覆層之 EPDM 膠條之摩擦係數變化並加入原始膠條（對照組）之摩擦係數曲線。該圖顯示高功率電漿

處理之減摩效果略遜於先前之低、中功率。初期摩擦係數 0.2 – 0.28，其後逐漸增加，並且數據振盪較大（相較於低、中功率）。整體而言，在整個 80 萬次的掃刷過程中，以低速電漿掃瞄膠條摩擦係數最小，因其活化程度較完全，其減摩效果約在 50 % 左右（相較於無被覆層之原始 EPDM 膠條）。

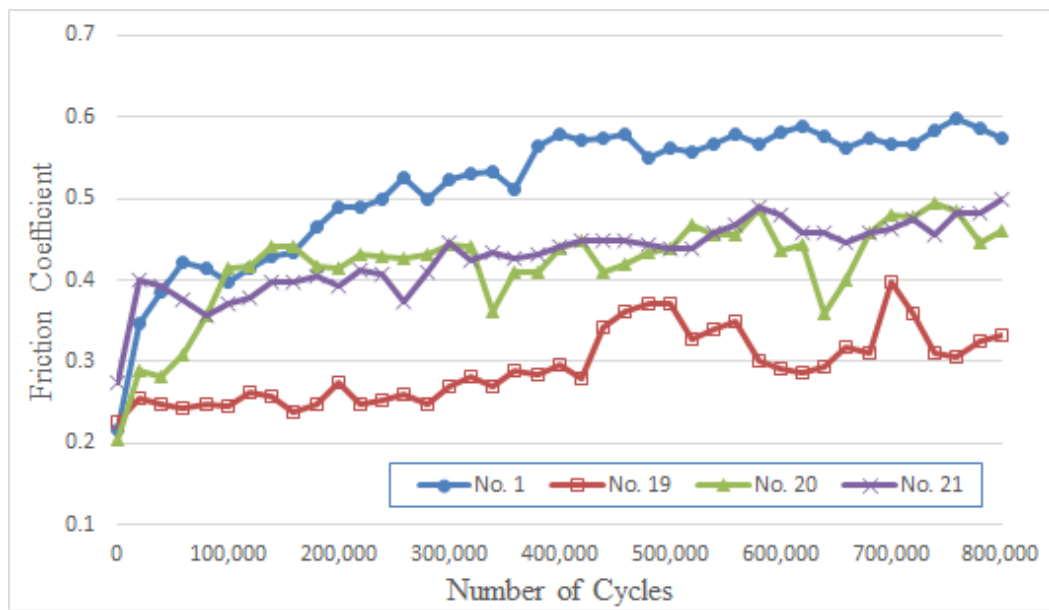


圖 4. 經高功率電漿處理後被覆減摩劑之 EPDM 膠條樣品(No. 19 – No. 21)與原始 EPDM 膠條樣品(No. 1)之摩擦係數與掃刷次數關係圖。電漿掃瞄速度：No. 19:低; No. 20:中; No. 21:高。

3.5 最佳製程參數

本單元根據摩擦係數與掃刷次數關係圖找出最佳的製程參數。圖 5 顯示經不同製程參數之電漿處理後被覆減摩劑之 EPDM 膠條之摩擦係數變化。9 條曲線亦可群聚成 2 組，摩擦係數較高的一組有 2 條曲線 (No. 20 and 21)，均是屬高電漿功率；摩擦係數較低的一組有 7 條曲線，在 40 萬次掃刷以前，最低的 2 條 (No. 17 and 18) 是屬中電漿功率，在 40 – 64 萬次之間最低的 2 條 (No. 16 and 17) 亦屬中電漿功率，而在 64 – 80 萬次之間最低的 2 條 (No. 14 and 16) 則分屬低、中電漿功率。因此整體而言，以 No. 16 及 No. 17 較優，二者均屬中電漿功率，其中又以 No. 16 略勝一籌，因其在 80 萬次掃刷過程中，摩擦係數之變化較為穩定。所以就被覆減摩劑而言，最佳製程參數是中電漿功率及低電漿掃瞄速度。

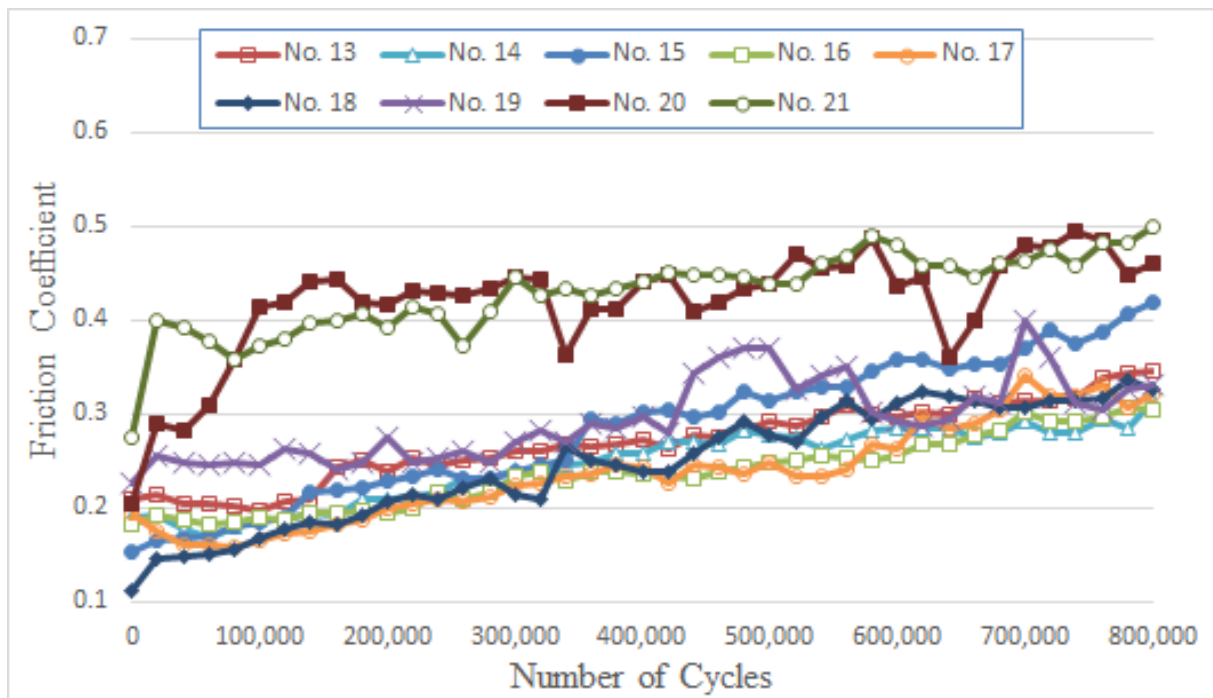


圖 5. 被覆減摩劑之 EPDM 膠條之摩擦係數與掃刷次數關係圖。電漿功率-電漿掃描速度：No. 13: L-l; No. 14: L-m; No. 15: L-h; No. 16: M-l; No. 17: M-m; No. 18: M-h; No. 19: H-l; No. 20: H-m; No. 21: H-h。

四、結論

本研究針對經過電漿處理並被覆減摩劑之 EPDM 兩刷膠條，以實驗探討常溫環境下，電漿功率與電漿掃描速度等製程參數對膠條摩擦及磨耗之影響，主要結論如下：

1. 減摩效果：與原始膠條相比，只要有經過電漿處理並被覆減摩劑，摩擦係數就會明顯降低。
2. 電漿掃描速度：固定電漿功率不同電漿掃速的實驗結果顯示，較低的電漿掃速一般可得較低之摩擦係數。
3. 電漿功率：固定電漿掃速不同電漿功率的實驗結果顯示，並非瓦數愈高愈好，中功率較佳，其對應之膠條摩擦係數一般都是最低。
4. 最佳製程參數：被覆減摩劑的最佳電漿製程參數的組合是：中電漿功率，低電

漿掃描速度。

5. 使用最佳之電漿製程參數，於 EPDM 膠條刃部被覆減摩劑，可使其摩擦係數逼近目前之主流產品—天然膠經氯化處理。一方面提高雨刷膠條之耐候性，另一方面可省去化學性之氯化處理，降低成本及污染，具有市場競爭性及環保性。

參考文獻

- 王惠中，2017，二硫化鉬對丁腈橡膠的聚酰胺包覆層摩擦性能的影響，**世界橡膠工業**，2017 年，第 1 期，第 22–24 頁。
- 江秉豪，2015，以電漿活化改善汽車雨刷 EPDM 膠條之摩擦性能，國立宜蘭大學機械與機電工程學系碩士論文。
- 吳明杰、邢文灝、林明正、阮榮進，2008 年，聚酯輸送帶基布經氧氣電漿處理後與橡膠黏結效果及微細構造之研究，**華岡紡織期刊**，第 15 卷，第 2 期，第 137–145 頁。
- 馬立群，1999，難黏高分子材料的表面處理技術，**化學與黏合**，第 1 期，第 23–26 頁。
- 陳啟輝，2013，環境因子對汽車雨刷膠條磨潤性質之影響，國立宜蘭大學綠色科技學程碩士在職專班碩士論文。
- 陳鴻璋，2012，汽車雨刷膠條與玻璃之磨潤行為，國立宜蘭大學機械與機電工程學系碩士論文。
- 楊春欽譯，1984，**摩擦與磨耗**，科技圖書股份有限公司。
- 楊罡、趙西坡、楊貽婷、高若峰、彭少賢，2014 年，力化學法再生廢舊橡膠的研究，**2014 年全國高分子材料科學與工程研討會學術論文集（下冊）**，第 516–517 頁。
- Basak, G.C., Bandyopadhyay, A., Neogi, S., Bhowmick, A.K., 2011, Surface modification of argon/oxygen plasma treated vulcanized ethylene propylene diene polymethylene surfaces for improved adhesion with natural rubber, *Applied Surface Science*, Vol. 257, Issue 7, pp. 2891–2904.
- Braga, D. and Grepioni, F., 2004, Reactions between or within molecular crystals, *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 43, Issue 31, pp. 4002–4011.

- Bui, X., Pei, Y., and Hosson, J.D., 2008, Magnetron reactively sputtered Ti-DLC coatings on HNBR rubber: The influence of substrate bias, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 202, Issue 20, 15 July 2008, pp. 4939–4944.
- Cataldo, F., Ursini, O., and Angelini, G., 2010, Surface oxidation of rubber crumb with ozone, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 95, Issue 5, 2010, pp. 803–810.
- Extrand, C. W., Gent, A. N., and Kaang, S. Y., 1991, Friction of a rubber wedge sliding on glass, *Rubber Chemistry and Technology: March 1991*, Vol. 64, No. 1, pp. 108–117.
- Farris, S., Pozzoli, S., Biagioni, P., Duó, L., Mancinelli, S., and Piergiovanni, L., 2010, The fundamentals of flame treatment for the surface activation of polyolefin polymers – A review, *Polymer*, Vol. 51, Issue 16, 2010, pp. 3591–3605.
- Hegemann, D., Brunner, H., and Oehr, C., 2003, Plasma treatment of polymers for surface and adhesion improvement, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 208, pp. 281–286.
- Martin, B. P. and Vanis, V. V., 1981, Slide surface compound for track-driven vehicle, *U. S. Patent* No. US 4279449 A.
- Matthews, A., Leyland, A., Holmberg, K., and Ronkainen, H., 1998, Design aspects for advanced tribological surface coatings, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 100–101, pp. 1–6.
- Mazzola, L., Bemporad, E., and Carassiti, F., 2011, Flame treatment on plastic: A new surface free energy statistical prediction model and characterization of treated surfaces, *Applied Surface Science*, Vol. 257, Issue 6, pp. 2148–2158.
- Romero-Sánchez, M.D. and Martín-Martínez, J.M., 2006, Surface modifications of vulcanized SBR rubber by treatment with atmospheric pressure plasma torch, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 26, Issue 5, pp. 345–354.
- Rouzic, J. L., Bot, A.L., Perret-Liaudet, J., Guibert, M., Rusanov, A., Douminge, L., Bretagnol, F., and Mazuyer, D., 2013, Friction-Induced Vibration by Stribeck's Law: Application to Wiper Blade Squeal Noise, *Tribology Letters*, Vol. 49, pp. pp 563–572.
- Schlögl, S., Rebecca, K., Lenko, D., Schröttner, H., Schaller, R., Holzner, A., and Kern, W., 2011, Fluorination of elastomer materials, *European Polymer Journal*, Vol. 47, Issue 12, pp. 2321–2330.
- Theodore, A., Samus, M., Jr., K., and P.C., 1992, Environmentally durable elastomer materials for windshield wiper blades, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 31, No. 12, pp. 2759–2764.