

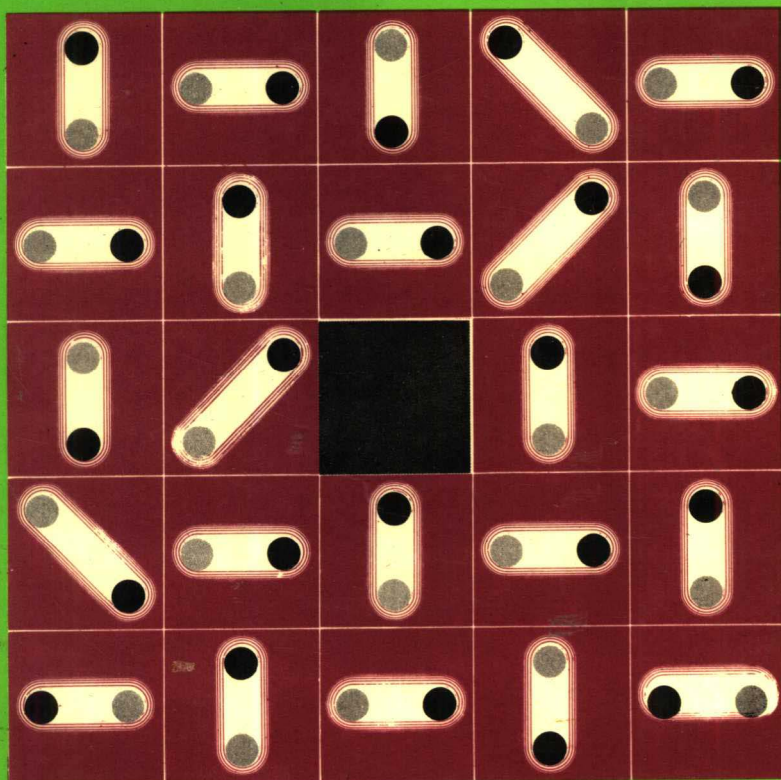
科技用書

塑膠材料潤滑性質

現代工業材料尖端領域
實用材料研究設計參考
理論實務應用案頭必備

復漢出版社印行

陳世春・劉守一編著



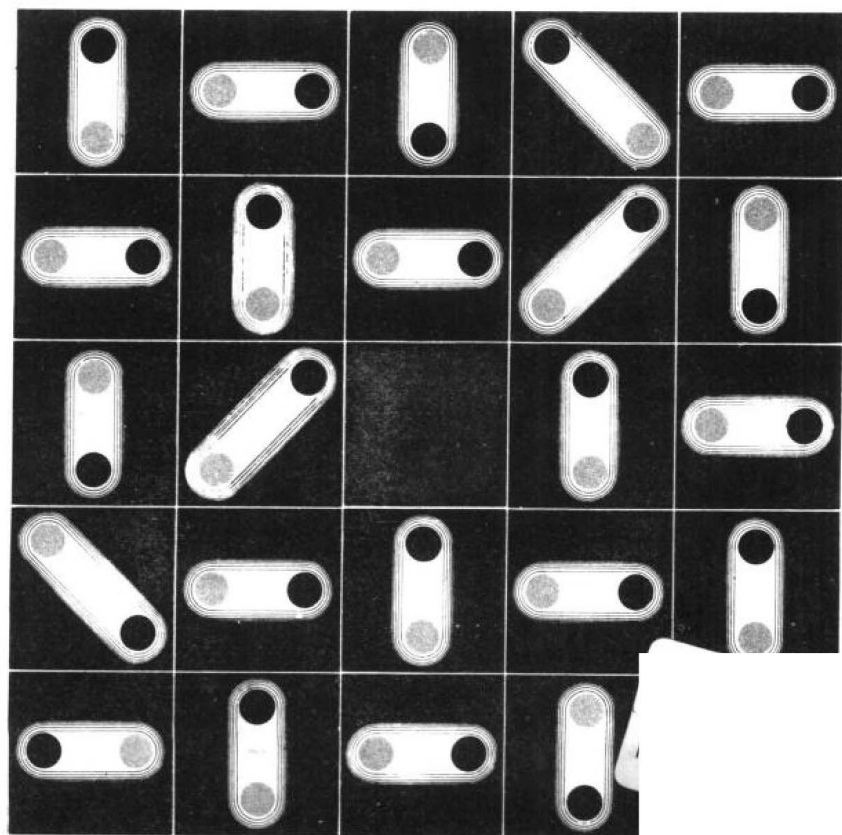
科技用書

塑膠材料潤滑性質

現代工業材料尖端領域
實用材料研究設計參考
理論實務應用案頭必備

復漢出版社印行

陳世春・劉守一編著



CHINESE BOOK CO., LTD.

九月出版

塑膠材料潤滑性質

著者：陳世春·劉守一

出版者：復漢出版社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥〇〇三一五九一—三號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

版權所有
翻印必究

平裝 二八〇元
精裝 三二〇元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

塑膠材料的輕量性、電絕緣性、耐蝕性、緩衝、吸振性、絕熱性、色彩性、成形加工性、經濟性等優秀，又可藉共聚合、複合化改質，所以廣用於玩具、家庭用品、工業用品、機械零件。

另有自體潤滑性，酚醛樹脂早就用為水潤滑的滑動軸承材，重疊板狀的電木齒輪有良好的吸振性和潤滑性。近年活用熱可塑性塑膠——特別是四氟化乙烯樹脂、聚縮醛等結晶性樹脂在無潤滑劑狀態有高潤滑性（自體潤滑性），適用為乾燥狀態的軸承、齒輪、剎車、密封等滑動構件。

對塑膠滑動特性（摩擦與摩耗特性）的研究已經有許多年的歷史，但因新塑膠陸續問世，使用條件又複雜，尚未確立此種特性的確定性理論或集成整合的實驗實例資料。不過，實際利用時，總需要一些參考或實驗資料。

本書介紹塑膠材料的摩擦與摩耗理論、這些特性複合化所致的改質特性實驗例、對各種滑動零件的應用實驗例。

但願本書提供的現有資料可成為讀者在設計上的參考南針，若能在這領域的學問、技術上確立新里程碑，更屬望外之喜。

1988年5月

編者

1.8 用爲工業材料的塑膠·····	36
1.9 塑膠的性能·····	42
1.10 ISO 塑膠名稱略號 ·····	44

第2章 摩擦與摩耗及潤滑····· 45

2.1 摩擦與摩耗·····	45
2.1.1 金屬的摩擦與摩耗·····	45
2.1.2 塑膠的摩擦與摩耗·····	54
2.2 潤滑理論·····	64
2.2.1 流體潤滑·····	64
2.2.2 邊界潤滑·····	69
2.2.3 固體潤滑·····	78
2.2.4 多孔質軸承的流體潤滑·····	88
2.2.5 塑膠的潤滑·····	93

第3章 摩擦特性····· 96

3.1 滑動摩擦的理論與實驗檢討·····	96
3.1.1 滑動摩擦的理論·····	96
3.1.2 滑動摩擦理論的實驗檢討·····	100
3.2 滾動摩擦的理論·····	104
3.2.1 利用遲滯損失的滾動摩擦理論·····	104
3.2.2 粘彈性理論與其實驗檢討·····	107
3.3 摩擦特性的測定法·····	110
3.3.1 靜摩擦係數測定法·····	110
3.3.2 動摩擦係數測定法·····	111
3.3.3 塑膠摩擦係數測定法的各國規格·····	112
3.4 摩擦特性與塑膠的內部構造·····	112
3.4.1 分子構造的影響·····	113
3.4.2 結晶化度及分子鏈配列的影響·····	119
3.4.3 共聚合或混合的成分效果·····	128
3.5 摩擦的實情·····	130

3.5.1 靜摩擦係數	131
3.5.2 動摩擦係數	134
3.6 界限 μ 值與溫濕度依存性	142
3.6.1 界限 μ 值的意義	142
3.6.2 界限 μ 值的理論考察	143
3.6.3 界限 μ 值的實驗檢討	144
3.6.4 摩擦係數的溫度或濕度依存性	149

第4章 摩擦特性..... 153

4.1 摩擦的意義與種類	153
4.1.1 依接觸面形狀的組合分類	153
4.1.2 依有無面間磨料的分類	153
4.1.3 依相對運動分類	154
4.1.4 依有無潤滑劑分類	154
4.1.5 依與對象材的組合分類	154
4.2 滑動摩擦特性	155
4.2.1 滑動摩擦的試驗方法	155
4.2.2 滑動摩擦特性與其表示方法	156
4.3 擦傷摩擦特性	169
4.3.1 擦傷摩擦的意義與種類	169
4.3.2 擦傷摩擦的理論	169
4.3.3 擦傷摩擦試驗方法	172
4.3.4 擦傷摩擦特性與其表示法	174

第5章 藉複合化改良潤滑性..... 181

5.1 DAP 樹脂複合材料	181
5.2 環氧樹脂及不飽和聚酯複合材料	184
5.3 酚醛樹脂及 DAP 樹脂複合材料	185
5.4 聚醯亞胺複合材料	187
5.5 在聚縮醛充填碳纖維與四氟化樹脂的複合材料	191
5.6 PVC 複合材料	192

第 1 章 總 論

1-1 前 言

不論動物或植物，所有生物體的基本成分為蛋白質、纖維質等高分子物質。本世紀才能以適當的化學反應作成高分子物質。

以 1939～1945 年的二次大戰為契機，此合成化學工業顯著發達，技術上、數量上都持續強力成長，出現塑膠時代。合成高分子物是完全異於天然高分子的新化合物，有新性格，且有天然高分子物的長處，容易成形加工，輕，透明，耐水，不腐，不通電，不通熱，大有助於改善吾人的生活，從電子機器到家庭用品，從塗料、接着劑到建材、包裝材，無一不用塑膠。

最早的塑膠是賽璐珞（celluloid），這是以硝酸把天然纖維素變成硝基纖維素，再加樟腦而成形。首由美國的海雅特在 1870 年作成。但這是從天然高分子衍生而成。最早從低分子物作成的是貝克蘭博士作成的酚（phenol）樹脂，他使酚與福馬林反應，形成松脂狀粘稠物，將之成形，稱為 Bakelite（電木），這是塑膠的誕生。此樹脂為熱硬化性，有耐熱性，富電絕緣性，主要用於插頭、絕緣性積層板等電氣零件，二次大戰後才正式發展。

塑膠原料是 1957 年改用石油，以石油精（naphtha）分解開始生產乙烯（ethylene），其後主要塑膠的生產量如圖 1.1 所示，日本塑膠總生產量在 1965 年約 190 萬噸，1974 年為世界第 2 位的 670 萬噸，此期間每年成長 15%（圖 1.2），但石油危機的漲價超越量產技術，動搖日本工業體制的根本，全世界認真反省能源問題與大量消費對環境的污染，生產趨向變動。

其一是高機能樹脂（工程塑膠）的發展，利用複合技術改良，開發有特殊機能的塑膠。

當水分，置入爐內燒成不變形，其次繪圖上釉，再進爐中燒成，工程長，需要熟練和人手。若以塑膠為原料，混合顏料，用射出成形機擠入碗形模具，以 10 秒 / 個的速度大量生產，可作成透明形、多色彩、或自動在表面畫圖或印刷。

塑膠的英文 *plastics* 即表示其容易成形的可塑性，其希臘語源 *plastikos* 有「生長」「成形」「發達」等意義。

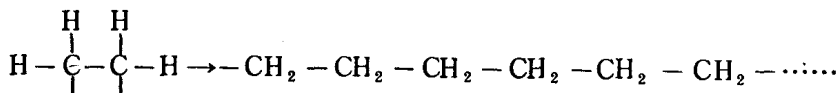
粘土或麵粉調水後，用手指按下，就成一凹形。瀝青、松脂等加溫也可變成各種形態，此即可塑性，但不屬於塑膠。

何謂塑膠？答案是「塑膠是指由有非常大分子量的有機化合物組成，或以它為基本成分的一群材料的總稱。最終狀態為固體，但途中可藉熱、壓力等流動而成形」。塑膠是在某種適當條件下，引起塑性流動，可成形為所望形狀的合成高分子材料及其成形品的總稱。

1.2.1 高分子化合物（聚合物）

分子量非常大的化合物稱為高分子化合物，高分子化合物又是什麼，分子量增大時，會形成何種性質。

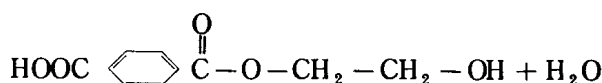
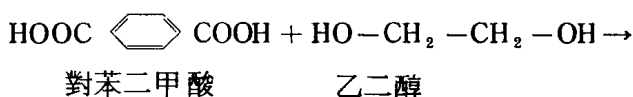
最近的食品以各種包裝材料包裝得很漂亮，大量使用拉張就伸長某種程度的透明薄膜。這是低密度聚乙烯，日本的生產量現在約 100 萬噸，以分解石油生成的乙烯氣體為基礎，乙烯的構造式為 $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ，聚乙烯是 1000 ~ 2000 個乙烯連結而成。乙烷為 $\text{CH}_3 - \text{CH}_3$ ，由此除去 2 氫原子，即成乙烯。因除去 2 氫原子，C 的四支手中有一手空著，彼此相握，成為 $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ，此相握的手若有機會，就與相鄰的乙烯如下握手，欲解開此種交握的手時，使用熱、光、放射線、添加劑（聚合開始劑）等即可。



也可把它寫成 $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)$ ， $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ 之類成為高分子基礎的低分子化合物稱為單體（*monomer*），使之成為高分子的反應或操作稱為聚合（*polymerization*），聚合而成者稱為聚合物（*polymer*）。單體聚合的數（*n*）稱為聚合度。

另一例是吾人所穿的襯衫或內衣等，以前大都為棉製品，目前大都

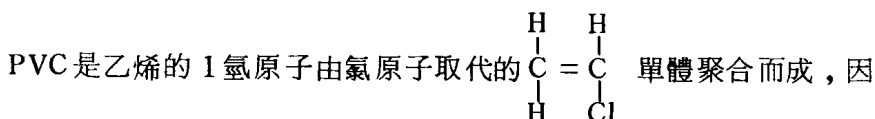
是合成纖維與棉混紡。只以合成纖維織成者會帶電，無吸水性，穿起來不舒服，所以常混紡，合成纖維也常用特多隆（Tetoron）纖維，因它耐摩耗，抗拉強度也大，特多隆是乙二醇與對苯二甲酸反應而成，最初失去1分子水而成為酯。



如此2個或更多個分子分離水或 NH_3 之類較小分子，成為較大分子的反應稱為縮合（condensation），但此酯（ester）兩端也有反應的手，放出水而聚合成長線狀高分子物（特多隆）。如此，低分子化合物放出水等簡單的化合物而結合生成高分子的反應稱為縮聚合（縮合），宛如有行李的人放下行李而彼此手拉手排成長列。現設單體聚合成線狀，設單體分子的大小為1 cm的豆粒，則聚合度1000的分子為長10 m的念珠狀。如此長而大的分子集成聚合物，會糾纏、結塊，不易活動。因是長線狀，聚合物間相拉伸，相糾纏而不易活動，因而加相當的熱，增大分子的熱運動，再加壓力，才能簡單互滑流動，加形時的加熱會使分子的熱運動變激烈而易活動，對之加壓力而押出，作成各種形狀。

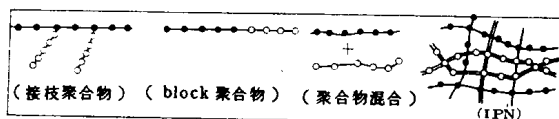
1.2.2 共聚合物與聚合物合金

日本生產量最多的另一種塑膠為氯乙烯樹脂（poly vinyl chloride，PVC），產量約100萬噸，將之加熱成形時，非常難流，若一直加熱，會分解變黑。



有Cl，所以極性增強，聚合物間的相拉伸強，因而難動難流。受熱時，因Cl的結合力弱，會放出HCl而分解，為防止熱分解，添加各種金屬

物合金（此處的合金非金屬之合）。



前述 4 種共聚合物中，①交替共聚合物②隨意共聚合物為多成分系，成分以單體混合，不屬此分類。③接枝共聚合物④團塊共聚合物是聚合物混合的多成分系，屬於聚合物合金。

IPN (Interpenetrating polymer network) 是形成網目構造的異種聚合物間彼此交織，高度相纏的聚合物，兩聚合物不成化學結合，却如奧運五環相扣，兩聚合物不能分離，例如以 B 單體使聚合架橋的 A 聚合物網目膨潤而聚合架橋，或聚合架橋反應形式完全不同的 2 種單體分別連同聚合劑、架橋劑混合，同時聚合架橋（例如環氧與亞克力）。IPN 化時，相溶性差的聚合物間也可成相溶性良好的材料。聚合物合金在物性、價格上都可填補泛用塑膠與高機能樹脂的中空部份，新設備不需巨額投資，既存設備大都可利用，可得單一聚合物達不到的優秀特性。

1-3 塑膠的種類

現在大量市售的塑膠大約有 40 種類，大別可分為熱可塑性樹脂 (thermoplastic resin) 與熱硬化性樹脂 (thermosetting resin)。熱可塑性樹脂遇熱會變軟，這是由於聚合物分子相互滑移轉位，亦即線狀聚合物間糾纏時，分子間有凝着力，分子運動却因熱而變激烈、易動而變軟。形成熱硬化樹脂的單體除了 2 支手（官能基）外，尚有內部的手，彼此交握成網狀構造 (net-work)，無法熱軟化，成形前，只一部份交握，或最多只 2 支交握，其餘的手空著，但在加壓加熱的同時，多餘的手也全部交握而不動，亦即變硬，此狀態稱為硬化 (cure)。

就成形法而言，熱硬化性樹脂藉成形中的加壓加熱起化學反應而變硬，比加熱也不反應（手不交握者）的樹脂不易成形。

熱硬化性樹脂以酚樹脂、尿素樹脂、三聚氰胺 (melamine) 樹脂

等的消費量最多，都以福馬林引起次甲基（methylene）結合（ $-\text{CH}_2-$ ），形成網狀構造，總稱為福馬林樹脂。另有利用酯結合的不飽和聚酯樹脂、利用環氧開環結合的環氧樹脂等。熱可塑性樹脂為線狀高分子，表1.3為這些線狀高分子骨架的分類。最大量使用的是(1) $-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-$ 構造的聚烯屬烴、polyvinyl 化合物。但此構造也有很多種類，如下分類，較易記憶。

表 1-3 線狀高分子主鏈骨架

編號	化 學 構 造	名 稱	例
1	$---\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}---$	聚烯屬烴 polyvinyl 化合物	聚乙烯，聚丙烯 PVC, PS
2	$---\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}-\text{C}=\text{C}---$	聚二烯屬烴	聚丁二烯
3	$---\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{C}---$	聚醚	聚縮醛（delrin）
4	$---\text{C}-\text{C}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{C}-\text{C}---$	飽和聚酯	PET, PBT
5	$---\text{C}-\text{C}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{NH}-\text{C}-\text{C}---$	聚脲酯	聚脲酯樹脂
6	$---\text{C}-\text{C}-\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{C}-\text{C}---$	聚醯胺	耐隆
7	$---\text{C}-\text{C}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{C}---$	聚碳酸酯	聚碳酸酯
8	$---\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}---$	polysiloxan	矽樹脂

polyvinyl 化合物的單體骨架為 $\text{CH}_2 = \underset{\text{R}}{\text{CH}}$ ，置換基 R 變動時，性

能變動。

例如 R 被 H， CH_3 之類原子或分子置換時，成為聚乙烯、聚丙烯之類聚烯屬烴聚合物，構造都類似烷屬烴（paraffins），親油性而易燃，絕緣性良好。R 以 OH 或 OCOCH_3 （醋酸基）置換者為親水性，易溶於水，OH 置換者為聚乙烯醇（PVA），醋酸基置換者為聚醋酸乙烯，用於紡絲原料、接着劑原料。

以鹵素置換時，成為難性或不燃性聚合物，這是由於鹵素氣體本身不燃，可用為難燃劑原料。以 Cl 置換者為 PVC，為最大量使用的塑膠

。再置換 1 個 Cl 的 $-\text{CH}_2-\overset{\text{Cl}}{\underset{\text{Cl}}{\text{C}}}-$ 形聚合物稱為聚氯亞乙烯（poly

