

塑膠材料 選擇指南

山口章三郎 今泉勝吉
佐倉武久 松原 清 編著

賴耿陽 譯

塑膠材料 選擇指南

山口章三郎 今泉勝吉
佐倉武久 松原 清 編著
賴耿陽 譯

復文書局

塑膠材料選擇指南

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻印必究

中華民國六十九年六月初版發行
中華民國七十四年正月再版發行

全冊平裝 120 元 全冊精裝 150 元

著 作 者： 山口章三郎 今泉勝吉
佐倉武久 松原 清 編著
編 譯 者： 賴 耿 陽
發 行 者： 吳 主 承

發 行 所： 復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

門市：台南市林森路二段63號

電話：(06)2370003·2386937

郵政劃撥帳戶 0032104 - 6號

No. 28, LANE 421 DONG-MEN
ROAD TAINAN TAIWAN REPUBLIC
OF CHINA

TEL: (06)2370003·2386937

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

序

以賽路路爲前鋒的塑膠經 106 年歷史，現已有 40 多種實用化，日本年產額約 600 萬噸，容積約達鐵鋼的 $1/3$ 。在 25 年以前只限於電絕緣部與家庭用品等的用途，也因強化塑膠或複合塑膠的開發而用於船舶、構造物、建築物材料，最近的工程塑膠更用於齒輪、軸承、利車等滑動部，一般機器材料、電用品材料，利用範圍日漸擴大。

但現在活躍於現場的機械、電氣、建築設計技術者對塑膠材料的專門知識貧乏，選用它爲設計素材時，難免困惑。

本書特爲用塑膠材料設計的人員，指示選擇要點，闡明現場設計技術者痛感需要的資料。但就塑膠材料的利用而言，機械設計技術者、電氣機器設計者、建築設計技術者都有同樣的期望。

本書以對塑膠無專門知識的現場設計技術者爲中心，爲材料技術者、銷售工程師、研究者、學生等、解說塑膠材料的大要，指引如何從衆多塑膠種類中、選擇適合目的的材料。

本書內容包括塑膠的一般解說、機械材料、電氣材料、建築材料的設計資料與解說，指示各設計部門選擇塑膠材料的重點，內容豐富，很有啓發性。

1979 年 5 月

編者

塑膠材料選擇指南 / 目次

1. 總論	1
1.1 塑膠的生產與用途	1
1.1.1 何謂塑膠	1
1.1.2 塑膠的生產	1
1.1.3 塑膠的用途	6
1.2 塑膠的分類	7
1.2.1 熱硬化性塑膠與可塑性塑膠	7
1.2.2 結晶性塑膠與非晶塑膠	15
1.2.3 單獨聚合物與共聚合物	18
1.2.4 其他的化學分類	20
1.2.5 充填材與塑膠複合材料	22
1.3 塑膠的加工法與特色	23
1.3.1 塑膠的製造與加工工程	23
1.3.2 壓縮成形法與移成形法	25
1.3.3 射出成形法	27
1.3.4 押出成形法	32
1.3.5 其他的一次加工法	33
1.3.6 二次加工法	36
1.4 塑膠的物性	37
1.4.1 一般物理性質	37
1.4.2 光學性質	40
1.4.3 熱性質	43
1.4.4 電氣性質	46

1.4.5	機械性性質	50
1.4.6	化學性質	67
1.4.7	耐久性	71
1.4.8	成形加工性	74
1.5	選擇重點	74
1.5.1	用途重點	74
1.5.2	物性重點	77
1.5.3	經濟重點	79
1.5.4	安全重點	80
1.5.5	廢物問題	82
2	機械材料	83
2.1	機械材料的特色	83
2.2	機械性性質	83
2.3	動力學性質	89
2.3.1	彎曲剛性 (stiffness in flexure)	89
2.3.2	動性扭曲試驗	90
2.3.3	阻尼 Q^{-1} 的求法	97
2.3.4	制振能	99
2.3.5	遲滯常數	100
2.4	摩擦	100
2.4.1	異於金屬之處	100
2.4.2	摩擦的荷重依存性	101
2.4.3	摩擦的速度及溫度依存性	102
2.4.4	摩擦試驗法	107
2.5	摩擦	109
2.5.1	平面間的摩擦	110
2.5.2	粗澀摩擦	114
2.5.3	摩擦試驗機	116
2.6	強度及測定法	120
2.6.1	拉張試驗機的發展	120
2.6.2	負荷速度對機械性強度的影響	121

2.7	金屬與塑膠的接着及粉體塗裝	124
2.7.1	金屬與塑膠的接着	124
2.7.2	粉體塗裝	125
2.8	對機械零件的應用	129
2.8.1	齒輪	130
2.8.2	滑動軸承	134
2.8.3	滾動軸承	145
3.	電機材料	156
3.1	前言	156
3.2	塑膠的電氣性質與耐熱區分	158
3.2.1	絕緣電阻與絕緣破壞	158
3.2.2	介質常數與介質損失	160
3.2.3	耐弧性、耐導電路性	161
3.2.4	各絕緣材料的耐熱區分	164
3.3	JIS 分類與用途別主要規格	164
3.3.1	試驗方法	164
3.3.2	絕緣材料的種類與記號、試驗項目與規格值	165
3.4	各用途的材料與主要特性	180
4.	建築材料	182
4.1	最近建築材料的動向與塑膠材料	182
4.2	建築材料、零件、零件材料要求的性能	183
4.2.1	建築的性能組合例	183
4.2.2	要求的性能	188
4.2.3	安全性、居住性、耐久性、生產性的要求條件與要求性能	188
4.2.4	材料、零件材在性能上的選擇重點	189

4.3 各部位、各用途的塑膠材料	190
4.3.1 概要	190
4.3.2 地板	191
4.3.3 內壁	196
4.3.4 外壁	200
4.3.5 天花板	201
4.3.6 屋頂	203
4.3.7 構造材	206
4.3.8 噴塗材料	208
4.3.9 塗裝材 JIS K5516 等	211
4.3.10 接着劑	212
4.3.11 補修材	214
4.3.12 斷熱材料 JIS A9511、A9513、A9514	215
4.3.13 防水材料	216
4.3.14 防火材料	226
4.3.15 塑膠合浸材料	228
4.3.16 設備用零件、零件材	230
4.3.17 塑膠製建築物(構造物)	231
4.3.18 室內外零件	235
4.4 結語	236
塑膠性能表	238

1 總論

1.1 塑膠的生產與用途

1.1.1 何謂塑膠

JIS K 6900-1971 (日本工業規格)對塑膠(plastics)定義如下：

“以高分子物質(合成樹脂占大部份)為主原料，以人工成形為有用形狀的固體。但纖維、橡膠、塗料、接著劑等除外。”

亦即①塑膠的素材為高分子物質(hiopolymeric material)，②其形狀乃人工成形為有用的形狀，③在常態為固體，共有三條件。

高分子物質是由分子量10000以上的高分子形成的物質，又稱樹脂(resin)。樹脂有從針葉樹等滲出的天然樹脂，將纖維素化學處理再配列的再生高分子物質及天然原料以人工方法化學合成、聚合的合成樹脂；以它們為原料者都滿足上述的塑膠第一條件，但目前以第三的合成樹脂占大部份；限定第二條件成形為有用形狀者表示同素材的無定形者單稱樹脂，藉成形加工而有某形狀後，才稱為塑膠。第三條件在常態為固體是指液狀者即使為高分子物質，也不是塑膠，而是樹脂。素材同為高分子物質的纖維、橡膠、塗料、接著劑也有別於塑膠。

1.1.2 塑膠的生產

1845年Schönbein(瑞士)開發腈纖維素(nitrile cell-

ulose) 的工業製法, 1869 年 Wyatt (美國) 發明賽璐珞 (celluloid), 出現由再生高分子形成的塑膠。1907 年 Bakeland 從合成高分子作成酚樹脂 (電木, Bakelite), 1974 年的塑膠世界年產量為 4600 萬噸。

表 1.1.1 為 1951 年 ~ 1974 年世界各國的塑膠年產量, 日本在 1968 年以來保持世界第 2 位的生產量, 在 1974 年占世界年產量的 14.2 %。

表 1-1-1 世界主要國家塑膠生產量推移 單位 1,000 t

國別 年度	美 國	日 本	西 德	蘇一俄	法 國	義大利	英 國	其 他	合 計
1951	915	28	170	—	44	0	148	—	1,305
1955	1,415	101	421	—	96	94	324	—	2,431
1960	2,827	554	981	293	347	329	559	—	5,597
1965	5,123	1,601	1,921	728	677	844	943	2,325	14,162
1970	8,820	5,128	4,326	1,553	1,515	1,740	1,458	5,487	30,027
1971	9,473	5,187	4,760	1,860	1,650	1,890	1,580	6,347	32,747
1972	9,968	5,674	5,514	2,040	2,100	2,124	1,608	7,384	36,415
1973	10,973	6,536	6,436	2,295	2,540	2,300	1,866	8,800	41,741
1974	13,350	6,686	(6,630)	(3,260)	2,616	(2,356)	(2,084)	9,802	46,724

表 1-1-2 世界主要國家的主要塑膠生產量構成比 (1973年度) 單位 %

	美 國	日 本	西 德	法 國	義大利	英 國	合 計
酚樹脂	5.7	4.8	3.1	3.3	4.6	3.0	4.5
尿素三聚氰胺	4.3	11.6	2.4	7.6	8.9	8.2	6.3
氯乙烯	18.7	20.2	17.6	25.7	31.3	21.7	20.5
聚乙烯	34.6	25.6	21.3	30.6	28.7	26.2	28.6
聚丙烯	8.9	10.6	2.8	1.9	7.0	7.8	7
聚苯乙烯	20.6	13.1	9.9	11.2	11.3	13.6	14.9
	7.2	14.1	42.9	19.7	8.2	19.5	18.0

表 1-1-3 各國每人塑膠消費量 (1973年度) 單位 kg

國 名	消費量 kg/人	國 別	消費量 kg/人	國 別	消費量 kg/人
西 德	88.0	挪 威	47.5	西 班 牙	27.8
芬 蘭	76.4	法 國	45.8	以 色 列	22.0
瑞 典	70.6	比 利 時	38.9	捷 克	19.3
美 國	62.7	荷 蘭	37.6	南 牙 利	17.7
瑞 士	56.8	英 國	37.0	葡 萄 牙	15.8
丹 麥	54.9	澳 洲	35.3	希 臘	13.8
奧 地 利	53.6	東 德	31.7	加 拿 大	13.3
日 本	52.6	英 國	29.4	全世界平均	11.0

表1-1-4 日本的树脂生産量推移

分類	樹脂名	年 度	1950 (10 ⁴)					1974				
			生産量 (10 ⁴)	増減率 (%)	1950 (10 ⁴)	1960 (10 ⁴)	1965 (10 ⁴)	1970 (10 ⁴)	1972 (10 ⁴)	生産量 (10 ⁴)	増減率 (%)	生産量 (10 ⁴)
熱 硬 性	酚樹脂	PF	4.89	—	42.80	41.17	366.2	1,304.7	1,490.2	1,897.0	26.3	294,557
	呋喃樹脂	UF	5.92	—	127.90	21.90	126.4	669.4	795.7	883.4	12.7	173,365
	氨基樹脂	MP	0.034	—	11.52	—	57.5	581.0	617.5	791.6	11.8	123,836
	不飽和樹脂	UP	—	—	14.42	—	—	—	20.5	25.6	0.3	3,238
	三聚氰胺樹脂	ALK	0.236	—	18.91	—	51.2	94.5	59.0	63.8	0.9	6,892
化 性	環氧樹脂	EP	—	—	—	—	2.5	—	1,079.6	1,466.8	21.9	192,162
	丙烯酸樹脂	SI	—	—	1.41	—	39.6	85.5	99.6	106.3	1.5	32,531
	聚氨酯樹脂	PUR	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚酰胺樹脂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚碳酸酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
熱 塑 性	聚乙烯	PE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚丙烯	PP	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚丁烯	PB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚氯乙烯	PVC	1.02	—	258.06	—	482.9	1,161.4	1,079.6	1,466.8	21.9	192,162
	聚乙炔樹脂	PVAL	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚乙炔樹脂	PVFM	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚乙炔樹脂	PVB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚乙炔樹脂	PVDC	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚乙炔樹脂	PMMA	0.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚乙炔樹脂	PA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚乙炔樹脂	PC	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚乙炔樹脂	PFE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
熱 塑 性	聚苯乙烯	CA	0.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚碳酸酯	CAP	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	聚酰胺樹脂	CN	4.4	—	4.69	—	3.86	3.0	—	59.2	8.8	33,228
	聚酰胺樹脂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
合 計			37.10	—	554.3	1,601.2	5,030.0	5,687.0	6,686	100	—	1,254,699

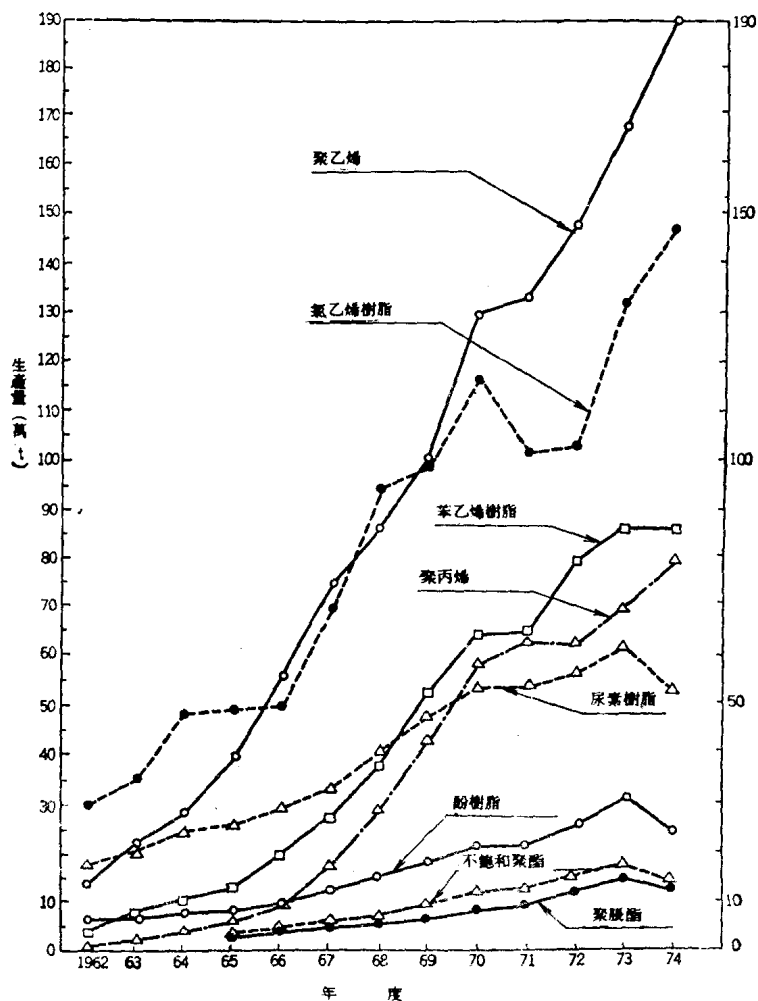


圖1-1-1 日本主要塑膠年產量推移

表1-1-5 塑膠一覽表

分類	塑膠材料名	略稱	主要用途	成形材料價格 圖/kg
A 硬 化 性	酚樹脂 (木粉充填)	PF	電氣機器, 化粧板, 一般電絕材料, 較模, 接著劑	380~820
	尿素樹脂 (α -纖維素充填)	UF	接著劑, 纖維加工, 食器, 機械零件, 蓋子, 雜貨	320~350
	聚氰胺樹脂 (α -纖維素充填)	MF	化粧板, 塗料, 纖維加工, 成形材料, 紙加工	340~460
	不飽和聚酯樹脂	UP	FRP成形品, 塗料, 鋁箔, 化粧板, 平波板, 注塑	350~700
	酰胺-丙烯酸樹脂 (纖維充填)	PDAP	化粧板, 成形材料, 積層品, 變性用	1250~1900
	環氧樹脂	EP	接著劑, 塗料, 電氣絕緣材料, 構造用材	560~700
	矽樹脂 (玻璃纖維充填)	SI	電氣, 電子零件, 塗覆	
	醇酸樹脂	ALK	塗料, 膠合成形材料	
	聚醚亞胺	—	耐熱膜, 凡立水, 接著劑, 滑動部材料	
	醯素樹脂	—	接著劑	
B 非 晶 可 明 性	呋喃樹脂	—	耐蝕, 積層成形品	
	脲醛樹脂	PUR	發泡體	
	氯乙烯樹脂	PVC	管, 波板, 電線, 軟片, 聚合材料	160~200
	醋酸乙烯樹脂	PVAC	接著劑, 塗料結合劑, 紙加工劑, 纖維加工	
	聚乙烯醇	PVAL	經糊劑, 紙加工劑, 接著劑, 結合劑, 軟片	
	聚乙烯丁醇	PVB	安全玻璃中間膜用, 印刷配線用, 接著劑	
	聚苯乙烯	PS	射出成形品, 雜貨, 弱電機器, 共聚合用, 板	250~290
	ABS樹脂	ABS	電氣器具, 雜貨, 車輛, 機械零件	300~370
	聚甲基丙烯酸	PMMA	板, 看板用, 照明, 建材, 共聚合用機械零件, 雜貨	350~520
	甲酯 (亞克力)	PPO	汽車零件, 耐熱性製品, 電氣電子零件, 事務零件, 給水零件	
	聚次苯氧化物 (Noryl)	PUR	(硬, 軟均有拋, 發泡體, 汽車內裝, 機械零件, 合成木材	
	聚醯胺	—	射出成形品, 容器	
	離子聚合物樹脂 (Surllyn A)	—	射出成形品, 容器	
結 晶 性	纖維素系塑膠	—	塗料, 膜, 成形用	醋酸塩 585
	聚乙烯 (高密度)	PE (HD)	射出成形材料, 雜貨, 工業零件, 發泡材, 管, 中空成形品	190~220 特
	聚乙烯 (低密度)	PE (LD)	膜, 與醋酸乙烯的共聚合材料, 塗料, 積層品	400~500 173~330
	聚丙烯	PP	射出成形品, 膜, 袋, 容器	180~230

表 1.1.2 為 1973 年各國的生產量，6 國都以聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯為三大主要塑膠。

表 1.1.3 為 1973 年各國每人每年塑膠消費量的前 23 國，平均 12.5 kg，全世界平均 11.0，約為日本的 1/5。

表 1.1.4 為日本 1950 年以後各種塑膠的年生產量，1974 年總量 668 萬噸有餘，總金額為 1 兆 2546 億日圓有餘，鐵鋼年產 1 億 2000 萬噸，比重 1 : 6，兩者的生產容積比約為 1 : 3。

日本 1962 年以後 8 種主要塑膠的生產量推移如圖 1.1.1 所示，熱硬化性樹脂與熱可塑性樹脂的生產比率是 1950 年 2 : 1，1974 年反成 1 : 4，熱可塑性樹脂所占的比率甚高。

1.1.3 塑膠的用途

賽璐珞、電木等塑膠首先用於玩具、家庭用品及電絕緣材料，實用範圍有限，後來，新塑膠的開發、改良是配合大量生產的低價化，開拓很多用途，現在實用的熱硬化性塑膠 12 種與熱可塑性塑膠 21 種的主要用途如表 1.1.5 所示，該表右欄為 1975 年 8 月 4 日各成形材料的市場價格（日圓/kg）。

表 1-1-5 (續前)

分類	塑膠材料名	略稱	主要用途	成形材料價格 日圓/kg
熱 可 塑 性	聚醯胺 (耐隆)	PA	機械零件、電氣通信零件、輸送機械零件、升降機械、運動用品	650~750 (6)
	聚碳酸酯	PC	電氣電子零件、醫療、食品用零、雜貨、瓶	780~830
	聚縮醛 (聚甲醛)	POM	射出成形品、機械零件、滑動部材料、管、板、雜貨	690~720
	聚大苯硫化合物	PPS	耐熱、耐藥品材料、滑動部材料	(3000~4000)
	氯亞乙烯樹脂	PVDC	纖維、濾布、網、膜、乳劑	—
	聚醯酸乙烯	PETP	射出成形、押出成形、電線包圍管、發泡材	(900~1000)
	氟素樹脂 (四氟乙烯)	PTFE	化學裝置用零件、電氣材料、滑動零件、襯裝用、密封材	3500~5600

• 摘自 1975 年 8 月 4 日號 Plastic times · 1394 號

1.2 塑膠的分類

現已實用的塑膠種類很多，依據Modern plastics Encyclopedia (1972) 的資料，加充填材者等不算在內，總數也達58種，有必要適當分類、區別，才便於選擇，在此大別分為5類如下。

1.2.1 熱硬化性塑膠與熱可塑性塑膠

塑膠可分為熱硬化性塑膠 (thermosetting plastics) 與熱可塑性塑膠 (thermoplastics)，在分子構造上，前者為網狀高分子 (network polymer) 或三次元高分子，後者為線狀高分子 (linear or chain polymer) 或一次元高分子。前者加熱時，一旦架橋、聚合或高分子而固化，再加熱也不成流動狀態，硬化為固體。後者可藉加熱與冷卻而可逆性改變流動狀態與固體狀態。

(1) 熱硬化性塑膠

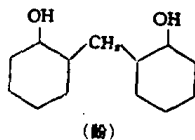
熱硬化塑膠通常在成形材料狀態為分子量較小的初期聚合物，若再加架橋劑等而加熱，最初雖隨溫度上昇而成流動狀態，却加熱促進架橋、聚合，成為巨大的三次元高分子，拘束分子的運動，在高溫狀態也固化。一旦架橋硬化 (cure) 後，再加熱也不成為流動狀，所以溫度對機械性強度的影響顯著減小，也無法再成流動狀進行各種加工。

現用的熱硬化性塑膠有表1.1.5的12種，可區分為下示兩大類。

(a) 以福馬林為一方之原料者

① 酚樹脂 (phenol resin, phenolic resin, phenolics)

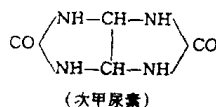
這是酚類與甲醛縮合所得聚合物為主體的樹脂之總稱，酚中以甲酚或二甲酚為主原料者稱為甲酚樹脂 (cresol resin) 或二甲酚樹脂 (xynol resin)。又稱為酚-甲醛樹脂 (phenol-formaldehyde resin)，簡稱PF，有上示的分子構造，大都混加



木粉、石棉等各種充填材而供實用。

② 尿素樹脂 (urea resin)

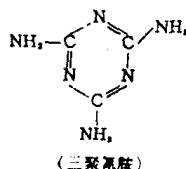
這是氨基樹脂的一種，以尿素與甲醛縮合所得聚合物為主體的樹脂總稱。簡稱 UF。也有以三聚氰胺、硫脲將尿素的一部份變性的共縮合物。



。單獨使用尿素的樹脂稱為尿素甲醛樹脂，使用硫脲的樹脂稱為硫脲甲醛樹脂。此塑膠加 α 纖維素（紙漿）等充填材而實用化。樹脂常用為接着劑。

③ 三聚氰胺樹脂 (melamine resin)

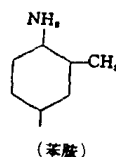
氨基樹脂的一種，指以三聚氰胺與甲醛縮合而得的聚合物為主體的樹脂。



簡稱 MF。也有以尿素、胍胺 (guanamine) 將三聚氰胺一部份變性的共縮合物，此樹脂也充填 α 纖維素等而成實用塑膠。

④ 苯胺樹脂 (aniline resin)

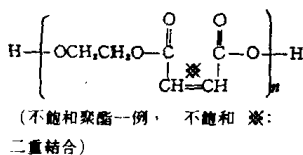
苯胺與甲醛縮合而得的樹脂，通常併用其他樹脂。



(b) 其他的熱硬化性塑膠

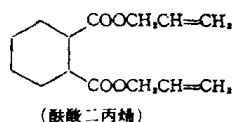
① 不飽和聚酯 (unsaturated polyester resin)

如構造式所示，為一種聚酯 $(-C-O-O-)_n$ ，聚合物主鏈有不飽和基的不飽和聚酯中溶解與之聚合的單量體（一般為 vinyl 單體）的樹脂，簡稱 UP，塑膠是充填催化劑 (BPO) 等與玻璃纖維及碳酸鈣，以常溫或加熱成形，常用為強化塑膠的母材。



② 酞酸二丙烯樹脂 (diallyl phthalate resin)

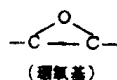
以有丙烯基 ($CH_2=CHCH_2$) 的單體為



主體的聚合物丙烯樹脂 (allyl resin) 的一種，簡稱 DAP (或 PDAP)，充填玻璃纖維等而為實用塑膠，有高耐熱性。

③ 環氧樹脂 (epoxy resin)

末端有環氧基的聚合物，會因胺、酸等而硬化，有環氧化合物與二酚類或多價醇反應所得的樹脂，以過酸將不飽和基環氧化的樹脂；簡稱 EP，接着力很強，近年也加各種充填材而成塑膠。

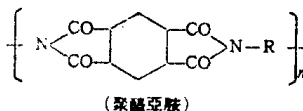


④ 醇酸樹脂 (alkyd resin)

多鹽基酸 (acid) 與多價醇 (alcohol) 縮合而得者，故有此名，但不包括 polyethylene terephthalate 及不飽和聚酯。用酞酸為多鹽基酸，用甘油為多價醇者稱為酞酸樹脂，常變性而用於塗料，少量用為塑膠。

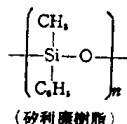
⑤ 聚醯亞胺 (polyimide)

1959 年杜邦公司開發者，耐熱性高、抗拉強度也大，用為耐熱絕緣材料、特殊滑動部、凡立水、接着劑、膜及成形品。



⑥ 矽利康樹脂 (silicone)

矽利康橡膠較早實用化，日本在 1955 年起生產，化學上為有機矽化物的高縮合物，簡稱 SI，耐熱、耐寒性優良，有耐藥品性、耐水性、化學性安定，用於電氣零件等。



(2) 熱可塑性塑膠

熱可塑性塑膠由線狀高分子組成，高溫時呈流動狀，低溫時固化，有可逆性，也可有中間狀態的成形加工，現已實用化的此種塑膠超過 40 種，實用度較高的可分為下示 4 種分類。

(a) 廣義的乙烯系塑膠

有右示構造式者稱為乙烯 (vinyl) 系高分子，其中 $R_1 = R_2$ 者稱為亞乙烯 (vinylidene) 系。

