

科技用書

塑膠物性入門

成型加工技術參考

廣 惠 章 利 著
本 吉 正 信



陳世春 譯著

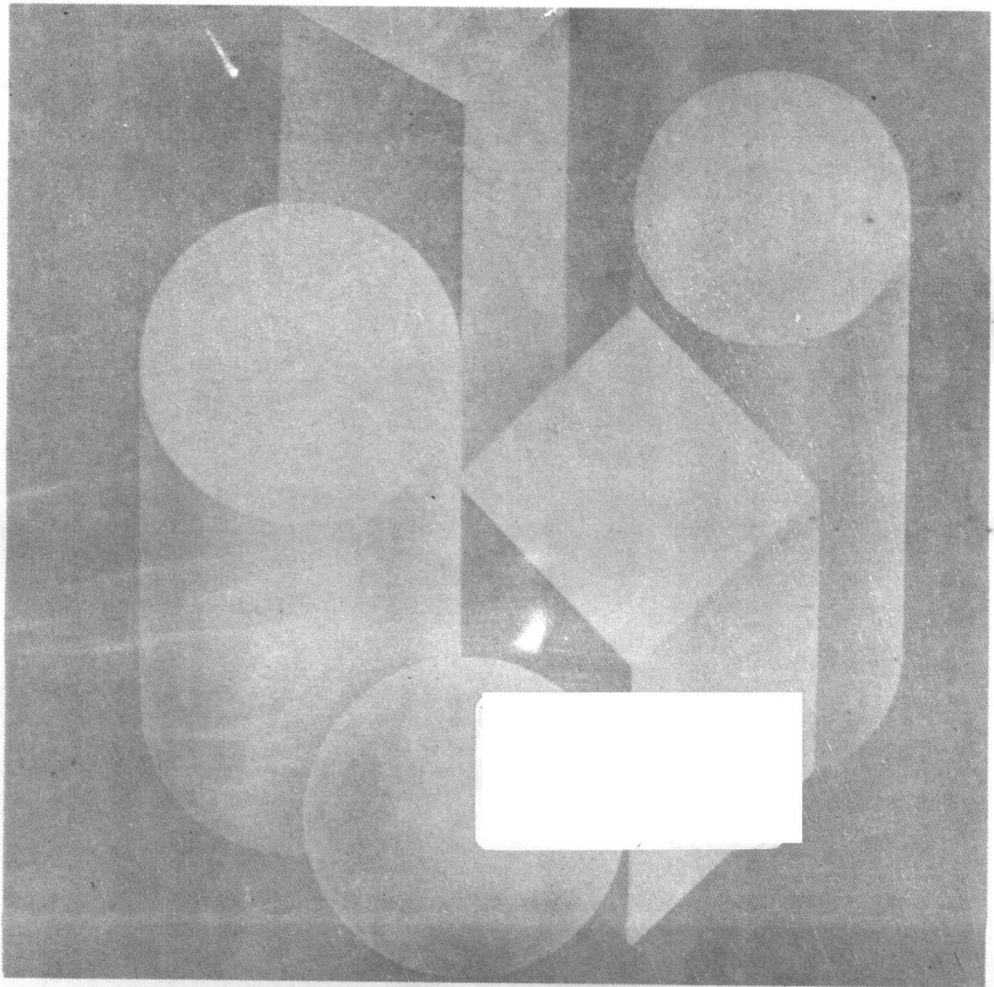
復漢出版社印行

科技用書

塑膠物性入門

成型加工技術參考

廣 惠 章 利
本 吉 正 信 著



陳世春 譯著

復漢出版社印行

中華民國七十三年八月一日出版

塑膠物性入門

原著者：廣惠章利·本吉正信

譯著者：陳世春

出版者：復漢出版社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

版權所有
翻印必究

平裝 二四〇元
精裝 二八〇元

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

任何生產工業的生產技術基礎都須從所用原材料的技術問題出發，塑膠的成形加工也完全同樣。

爲有效達成塑膠的成形加工，合理應用各種塑膠材料，須充分瞭解材料的各種固有性質——亦即物性。

材料的物性函蓋機械性性質、電氣性質、化學性質，範圍極廣，令人畏縮，特別塑膠的各種材料特性常互相關連，更加麻煩。

本書站在成形加工技術者的立場，平易解說塑膠的物性。化學式、數學式盡量省略，收容很多實用的圖表。也以不少篇幅討論塑膠各種物性與實際成形加工條件的關連。

本書爲過去 10 年每年再版的暢銷書修訂版，改訂增補重點如下：

1 考慮新塑膠材料——特別是聚合物合金或各種複合塑膠等新型高機能樹脂（工程塑膠）的問世，再檢討內容。

2 考慮 UL 規格的普及、電氣用品取締法的改訂等，強化耐熱性及耐燃性的解說。

3 配合有關塑膠物性試驗方法的 JIS 規格。

4 加強解說塑膠的粘彈性性質，供塑膠製品保證長期品質的參考。

1984 年 5 月
編者

著者略歴

- 廣 惠 章 利** (ひろえ あきとし)
大正 5 年 東京都に生れる
昭和 13 年 福井高等工業学校 (現 福井大学) 機械科卒
昭和 13 年 住友金属工業(株)入社
昭和 20 年 住友化工材工業(株)入社
(現 住友ベークライト)
昭和 42 年 東京化成工業(株)入社
昭和 53 年 同上退職 (常務取締役 技術部長)
現 在 全日本プラスチック成形工業連合会技術顧問
神奈川県プラスチック工業会技術顧問
廣惠プラスチックコンサルタント事務所所長
- 本 吉 正 信** (もとよし まさのぶ)
大正 2 年 宮城県に生れる
昭和 9 年 米沢高等工業学校 (現 山形大学) 応用化学
科卒
昭和 9 年 住友化学工業(株)入社
昭和 21 年 米沢工業専門学校応用化学科講師, 教授
昭和 25 年 住友ベークライト(株)入社, 研究部長, 工務
部長, 工場長代理
昭和 42 年 共同薬品(株)入社
昭和 50 年 技師長, 研究部長, 開発室長を経て退職
現 在 技術士, 本吉技術士事務所所長, 日精樹脂工
業技術顧問

有成書業公司

¥\$69.00

塑膠物性入門／目次

第1章 總 論	1
1.1 前言	1
1.2 何謂塑膠	3
1.2.1 高分子化合物(聚合物)	4
1.2.2 共聚合物與聚合物合金	5
1.3 塑膠的種類	8
1.4 相同的聚合物也各有特色	11
1.4.1 分子的大小	11
1.4.2 分子量的分佈	13
1.4.3 分子的排列法	13
1.4.4 配向(orientation)	14
1.5 改善聚合物的性質	16
1.5.1 預防聚合物的熱分解	16
1.5.2 難燃化	17
1.5.3 軟化	18
1.5.4 減輕、加重	19
1.5.5 增硬、增強	21
1.6 成型加工法的種類	22
1.7 變形與流動的科學	28
1.7.1 熔化——加熱	28
1.7.2 流動	31
1.7.3 凝固	34
1.8 用爲工業材料的塑膠	36
第2章 光學性質	42
2.1 色	42
2.1.1 色的3要素	42
2.1.2 測色	43
2.1.3 着色	44
2.1.4 色彩學	45
2.2 光澤	45

2.3 透明性	46
2.3.1 光線透過率	46
2.3.2 模糊值	47
2.3.3 透明性的改良	48
2.4 折射率	48
2.5 光彈性	51

第3章 機械性性質 52

3.1 機械性性質	52
3.2 外力的施加法與時間性條件	52
3.3 應力與應變	53
3.4 材料對外力呈現的基本性質	54
3.5 機械性特性質的讀法	56
3.6 拉伸特性	58
3.6.1 何謂拉伸特性	58
3.6.2 拉伸特性的測定方法（拉伸試驗）	59
3.6.3 拉伸應力與應變	
3.6.4 拉伸特性的表示法	64
3.6.5 溫度、濕度條件對拉伸特性的影響	67
3.7 壓縮特性	69
3.7.1 壓縮特性的測定方法（壓縮試驗）	69
3.7.2 塑膠壓縮特性的特色	70
3.8 剪斷特性	71
3.8.1 何謂剪斷特性	71
3.8.2 剛性（橫彈性率）	72
3.9 彎曲特性	72
3.9.1 何謂彎曲特性	72
3.9.2 彎曲特性的測定方法及表示法	74
3.9.3 溫度、濕度條件對彎曲特性的影響	75
3.10 硬度	76
3.10.1 何謂硬度	76
3.10.2 硬度的測定方法	78
3.10.3 勃氏硬度	80
3.10.4 洛氏硬度	80

3.10.5 Durometer 硬 度	81	3.10.6 Barcol 硬度 ...	81
3.11 衝擊特性	82		
3.11.1 何謂衝擊特性 ...	82	法 (落錘衝擊試驗 方法)	85
3.11.2 Charpy 衝擊試 驗方法	83	3.11.6 溫度、濕度條件對 衝擊特性的影響 ...	86
3.11.3 Izod 衝擊試驗 方法	84	3.11.7 各種衝擊試驗值的 關連性	88
3.11.4 Dynstat 衝擊試 驗方法	85	3.11.8 凹口效果	89
3.11.5 落球衝擊試驗方			
3.12 潛變特性與應力緩和	89		
3.12.1 何謂潛變	89	3.12.4 應力緩和	95
3.12.2 各種塑膠的潛變 特性	93	3.12.5 考慮潛變或應力緩 和的長時間機械性 性質	97
3.12.3 潛變破壞	94		
3.13 疲勞特性	98		
3.14 摩擦及摩耗特性	100		
3.14.1 摩擦與摩耗	100	3.14.3 摩耗量的測定方法	102
3.14.2 靜摩擦與動摩擦	100		
3.15 成型加工條件與機械性性質的關係	104		
3.15.1 一般的事項	104	3.15.4 殘留應力及熱處理	111
3.15.2 與成形方式及成 形條件的關係 ...	104	3.15.5 使用再生材料所致 物性的變化	113
3.15.3 配向性的影響 ...	108		
3.16 配合充填材或他種塑膠改良機械性性質	115		
3.16.1 用充填材 (強化 材) 改良	115	3.16.2 混合他種材料的改 良法	119
3.16.2 混合他種材料的改 良法	119		

第 4 章 熱性質

4.1 何謂熱性質	120
-----------------	-----

4.2 熱物性.....	120
4.2.1 比熱	122
4.2.2 熱傳導	122
4.2.3 比容 (比容積)、 熱膨脹	123
4.3 轉移.....	125
4.4 耐熱性.....	126
4.4.1 由外觀判定的耐 熱性	126
4.4.2 耐熱變形性 (耐 熱溫度)	127
4.4.3 荷重撓曲溫度 (耐 熱變形溫度) ...	127
4.4.4 Vicat 軟化溫度 (Vicat 軟化點) ...	131
4.4.5 Clash-Berg 柔軟 溫度	133
4.4.6 長時間連續使用時 的耐熱溫度 (常用 耐熱溫度).....	133
4.4.7 濕度變化所致機械 性性質的變化.....	137
4.5 耐燃性.....	137

第 5 章 電氣性質.....141

5.1 前言.....	141
5.2 電氣絕緣性.....	143
5.2.1 絕緣電阻、表面 電阻、體積電阻	143
5.2.2 絕緣破壞、絕緣耐 力、耐電壓	145
5.3 電介質特性	147
5.3.1 塑膠的極性	147
5.3.2 電介質常數、電 介質正切 (功率因 數).....	149
5.4 電氣性質的劣化.....	151
5.4.1 耐弧性	151
5.4.2 氧化、吸濕、溫 升所致的劣化 ...	153
5.5 帶電性.....	154
5.5.1 塑膠與易帶電性	154
5.5.2 帶電現象的測定	156
5.5.3 防止帶電的方法...	156
5.6 電氣性質與成形條件的關係.....	157

第 6 章 化學性質.....159

6.1 何謂化學性質	159
6.2 耐藥品性	159
6.2.1 耐藥品性的試驗方法	159
6.2.2 各種塑膠的耐藥品	176
6.2.3 在應力負荷狀態的耐藥品性	160
6.3 吸濕(吸水)性	178
6.4 透過性	178

第7章 耐候性.....184

7.1 何謂耐候性	184
7.2 環境條件的影響(劣化要因)	184
7.2.1 紫外線	184
7.2.2 溫度	186
7.2.3 濕度	186
7.2.4 外力或應力	186
7.2.5 臭氧、NO ₂ 等	186
7.3 各種塑膠的耐候性	186
7.4 耐候性的試驗方法	190
7.4.1 促進試驗	191
7.4.2 屋外曝露試驗	192
7.5 防止光劣化的方法	193

第8章 成形特性.....196

8.1 何謂成形特性	196
8.2 流動特性的一般傾向	196
8.2.1 熱可塑性樹脂的流動特性	196
8.2.2 熱硬化性樹脂的流動特性	199
8.3 流動特性的主要測定方法	200
8.3.1 流動試驗方法的種類	200
8.3.2 用熔融流動指數計的方法	200
8.3.3 高化式流動試驗	206
8.3.4 用押出式流動試驗模具的方法	205
8.3.5 用渦旋流動模具的方法	206
8.4 流動特性與其他物性的關係	206

8.4.1 熱可塑性樹脂	207	8.4.2 熱硬化性樹脂	208
--------------	-----	--------------	-----

第9章 尺寸特性.....209

9.1 何謂尺寸特性	209
9.2 成形品發生尺寸誤差的要因	209
9.2.1 成形品尺寸精度	210
與模具構造的關係	209
9.2.2 成形收縮的發生	
9.2.3 影響成形收縮的要因	217
9.3 經時尺寸變化	230
9.3.1 發生尺寸變化的要因	230
9.3.2 內應力所致的尺寸變化	230
9.3.3 硬化反應、結晶化所致的尺寸變	
9.3.4 溫度、濕度、外力影響所致的尺寸變化	231
9.3.5 藉後處理改良尺寸安定性	236
9.4 塑膠成形品的尺寸精度	241

附錄1 ISO塑膠名稱略號.....245

附錄2 塑膠的性能.....246

附錄3 SI單位與換算表.....248

3.1 國際單位系 (SI)	248
3.2 單位的寫法	249
3.3 SI單位的換算表	250

附錄4 塑膠的主要JIS規格及物性的試驗方法.....253

4.1 材料規格	253
4.2 物性的試驗方法	254
4.3 色的表示方法	255

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。

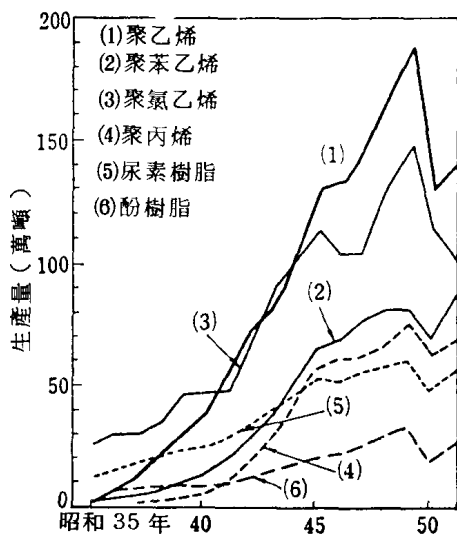


圖 1-1 塑膠生產量的推移 (日本)
(日本化學會編“日本的化學”)

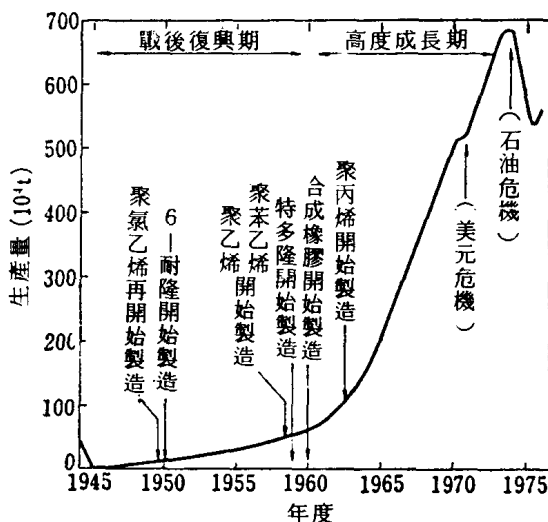


圖 1-2 日本戰後的塑膠生產量

現在日本前 6 名實用塑膠為圖 1.1 的 6 種，占全生產量的 80 % 以上，用途多端，稱為泛用塑膠。另有聚醯胺、聚碳酸酯、聚縮醛、飽和聚酯、PPO 等，它們的耐熱性、耐久性優秀，可取代金屬材料用於機械構件，稱為高機能樹脂或工程塑膠，年成長率約 15 %。與橡膠狀高分子物質或高剛性纖維複合，可顯著改良耐衝擊性、剛性、耐用溫度等，與異種材料的複合技術進步，產生磁性材、防音材、半導體、電磁波遮蔽材等特殊複合塑膠。另積極研究開發特殊機能的塑膠，諸如 polyimide、polyether ketone 等超耐熱性樹脂、感光性導電性高分子、醫用高分子、機能接近生體膜的聚合物等。

表 1.1 為最近 10 年間世界塑膠產量實績，年成長率約 6 %，美國 Predicasts 公司預測今後 15 年間的成長率為 5 % / 年 (表 1.2)，今後應提升技術，轉向附加價值高的精密塑膠。

塑膠具有無限的可能性，可一舉成形複雜形狀的最終製品，顯著減少能量消費，這也是戰後取代木材、金屬、玻璃材料，顯著發展的理由。若加上各種機能性，若能納入自然的再循環過程，無疑是優秀的素材。

。應用開發上的關鍵在塑膠的物性改良，物性的解析也是要點之一。

表 1-1 世界塑膠生產量 (單位：1000 噸)

年 \ 國名	美	日本	西德	蘇	法	義	英	其他	合計
昭									
1971(46)	8893	5216	4786	1860	1650	1890	1580	6379	32254
1975(50)	9626	5167	5046	2800	2030	2150	1968	9975	38762
1979(54)	18859	8209	7240	3504	3348	2860	2067	17032	63119
1980(55)	16079	7518	6738	(3550)	3252	2710	1813	17495	59155

表 1-2 塑膠生產量將來的推定

(單位：1000 噸)

	人口 (100萬 人)	消費 (kg/人)	TS	TP	PE	PP	PVC	PS	其他	總計
昭										
1980(55)	4384	13.4	13,488	47,384	17,125	4,833	11,152	5,634	8,640	60,872
昭										
1995(70)	5710	22.5	23,420	107,880	41,530	13,500	22,380	13,825	16,645	131,300
每年成長 預測(%)	1.8	3.5	3.7	5.6	6.1	7.1	4.8	6.2	4.5	5.3

(注) TS：熱硬化性樹脂，TP：熱可塑性樹脂

(Predicasts 公司)

1.2 何謂塑膠

塑膠的特色如下：

- ①容易加工，容易製造→可簡單成形→成形性
- ②可自由着色，可成透明體→透明性，着色性
- ③輕而牢固→輕量性
- ④不吸水→耐水性
- ⑤不通電→電絕緣性
- ⑥不通熱→絕熱性
- ⑦不被各種藥品或溶劑侵蝕→耐藥品性、耐腐蝕性

其中特別重要的是可簡單成形。作成複雜形狀需要流入模具各角落的性質。塑膠工業發展的原因很多，但第1原因在此材料會流動（flow），以碗等的作法為例，先以粘土為原料，將之粉碎、調合，加水調練，使成適當的軟度，其次在旋盤上作成碗形（成形），風乾，乾燥到適

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。

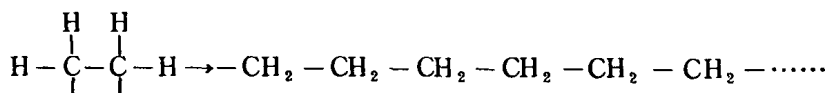
粘土或麵粉調水後，用手指按下，就成一凹形。澱青、松脂等加溫也可變成各種形態，此即可塑性，但不屬於塑膠。

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。

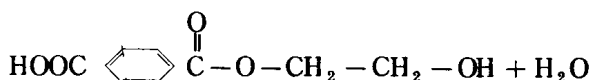
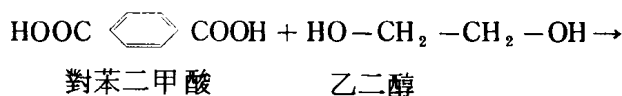
最近的食物以各種包裝材料包裝得很漂亮，大量使用拉張就伸長某種程度的透明薄膜。這是低密度聚乙烯，日本的生產量現在約 100 萬噸，以分解石油生成的乙烯氣體為基礎，乙烯的構造式為 $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ，聚乙烯是 1000 ~ 2000 個乙烯連結而成。乙烷為 $\text{CH}_3 - \text{CH}_3$ ，由此除去 2 氫原子，即成乙烯。因除去 2 氫原子，C 的四支手中有一手空著，彼此相握，成為 $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ，此相握的手若有機會，就與相鄰的乙烯如下握手，欲解開此種交握的手時，使用熱、光、放射線、添加劑（聚合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

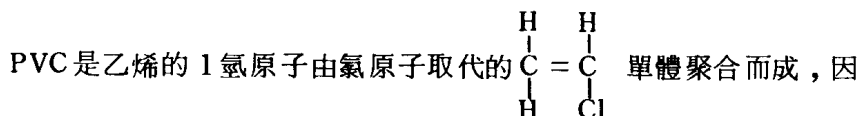
是合成纖維與棉混紡。只以合成纖維織成者會帶電，無吸水性，穿起來不舒服，所以常混紡，合成纖維也常用特多隆（Tetoron）纖維，因它耐摩耗，抗拉強度也大，特多隆是乙二醇與對苯二甲酸反應而成，最初失去 1 分子水而成為酯。



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 的結合弱，會放出 HCl 而分解，為防止熱分解，添加各種金屬

塩組成的安定劑即可。爲使之易流動，若加油性可塑劑，可塑劑介入 PVC 分子間，有潤滑的功能，易流而易成形，但是，隨著可塑劑量的增加，會漸變軟，在常溫也軟軟的，用於合成皮革或包巾雖很適合，但用於受力處就不好，此時就不用可塑劑，此稱硬質 PVC。加可塑劑而作成軟性者稱爲軟質 PVC。成形硬質 PVC 時，爲改善流動加工性，可用醋酸基取代 Cl 的醋酸乙烯單體與氯乙烯單體混合而聚合成的聚合物混入 PVC 中加工。2 種或更多種單體聚合成的聚合物稱爲共聚合物 (copolymer)。3 種不同的單體作成時，稱爲三元聚合物 (terpolymer)。單一聚合物聚合者稱爲單獨聚合物 (homopolymer)。共聚物的性質因單體的種類和比率而異。聚合物的性質也因共聚合物中的單體排列而異，排列方式如下：

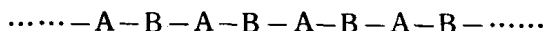
①交替共聚合物 (Alternating copolymer)

②隨意共聚合物 (random copolymer)

③接枝共聚合物 (graft copolymer)

④團塊共聚合物 (block copolymer)

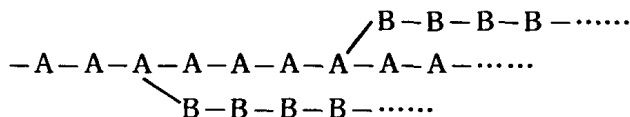
①是 A 單體與 B 單體共聚合時，如下有規則地結合，



②是完全雜亂隨意 (random) 結合如下，



這些共聚物的物性由 A 聚合物與 B 聚合物雙方性質重合而成，帶有接近機械性混合物的性格。③是先使 A 單體聚合，再加 B 單體而聚合。宛如在樹幹 (A 聚合物) 接上其他樹枝 (B 聚合物)，故稱接枝共聚合物 (graft copolymer)。



例如 A 聚合物爲親油性 (易與油性物親和的性質)，B 聚合物爲親水性 (易與水親和的性質，性質與親油性相反)。擬用 A 聚合物，却因親油性而與染料的吸着性差，纖維不易染色時，若適當接枝親水性聚合物，就不會染成不均勻。④是 A 單體或 B 單體成塊結合的聚合物。

