

科學圖書大庫

工程塑膠之特性及其加工

譯者 謝淵清

3 台

徐氏基金會出版
世界圖書出版公司

TQ322.3 - 925194
3433

TQ322.3
3433

科學圖書大庫

工程塑膠之特性及其加工

譯者 謝淵清

徐氏基金會出版
世界圖書出版公司

工程塑胶之特性及其加工
谢渊清 译

徐氏基金会（台） 出版
世界图书出版公司
(北京朝内大街137号)
北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1990年3月第一版 开本：850×1168 1/32
1990年3月第一次印刷 印张：8.5

ISBN 7-5062-0668-4

定价：4.80元

经徐氏基金会允许，世界图书出版公司重印，1990
限国内发行

序 言

產業界面臨高度資訊化的時代，在產技術方面也面臨一個大的轉換期，從鈦合金、陶瓷材料及工程塑膠的例子來看，由於高性能材料的抬頭可以生產高性能機械器具，使得新材料的開發、改良及加工技術的高度化逐漸在改變，這種趨勢愈來愈明朗而且需要程度增大。

本書就新工業材料之一的工程塑膠敘述其開發及實用化的演進，針對其特性及成形加工，將現階段實用的材料加以綜合整理，簡單明瞭地敘述實際使用時所必備的基礎及應用技術。

本書裏的術語儘量採用JIS規格，重力單位必要時也使用SI單位，術語也加以解說使初學者易於了解。

本書裏所安排的基礎及應用系列對這個領域學有專精的人、對希望開發新產生品的人及大學、工業專門學校的學生都有所裨益，希望各方人士加以講授或閱讀。

在這個領域的進步日新月異，今日的新技術變成明日的黃花，進步神速的高技術時代裏學習一些基礎的知識仍是必須的涵養。

本書以新材料為主題，已出版的書大多不足，因此參考廠商的目錄加以整理敘述，文中寶貴的數據大多根據目錄。本書能順利脫稿很感謝森地出版部的各位先生及各公司的厚愛。

昭和60年9月 新宿、矢來

大 柳 康

目 錄

序 言	I
1. 緒 論	1
1.1 開發其及歷史背景	1
1.2 材料特性概要	3
1.3 種類和分類	5
2. E.P. 成形材料特性和成形加工法	8
2.1 材料分類及其特徵	8
2.2 成形加工法的種類及特徵	14
2.3 主要成形加工法的概要	18
2.4 E.P. 材料的各種特性值	30
2.5 射出成形加工條件及其效果	49
2.6 特殊射出成形加工法	59
3. 成形加工的基本特性及一般加工技術	66
3.1 一般熔化塑膠的流動性	66
3.2 入料口流動及其特性	88

3.3	填充材複合效應	101
3.4	狀態變化特性	106
3.5	成形品的殘留應變	113
3.6	成形品內部的結晶化和球晶組織	118
3.7	射出成形加工的CAE	122
3.8	自動化機器	128
4.	現用E.P.的各種特性	131
4.1	聚縮醛 (Polyacetal, POM)	131
4.2	聚醯胺 (Polyamide, PA)	140
4.3	聚碳酸酯 (Polycarbonate, PC)	145
4.4	Polybutyleneterephthalate, PBTP	150
4.5	Polyethyleneterephthalate, PETP	156
4.6	FR-AS樹脂 (FR-AS)	159
4.7	FR-ABS樹脂 (FR-ABS)	162
4.8	Polyphenyleneoxide, PPO	166
4.9	Polyphenylenesulfide, PPS	171
4.10.	聚噻吩 (Polysulfone, PSF)	176
4.11	聚醚噻吩 (Polyethersulfone, PESF)	180
4.12	Polyetheretherketon, PEEK	184
4.13	聚芳基化物 (Polyarylate, PAR, U Polymer)	189
4.14	Polyoxybenzylene, POB, Echnol	193
4.15	氟系樹脂 (PTFE 等)	198
4.16	聚亞胺 (Polyimide, PI)	207
4.17	聚亞醯胺亞胺 (Polyamideimide, PAI)	211
4.18	Polyaminobismaleimide, PABI, PABM	216

4.19 聚亞醯 (Polyetherimide, PEI)	218
4.20 矽樹脂 (Silicone resin, SI)	223
4.21 Polybismaleimide-triazine, BT resin	226
4.22 Olefin-vinyl alcohol copolymer, GL resin	230
4.23 聚甲基戊烯 (Polymethylpentene, TPX)	234
4.24 超高分子量聚乙烯 (Ultrahighmolecularweight polyethylene, UHMW - PE)	237
4.25 纖維強化聚丙烯 (Fiber reinforced polypropyl- ene, FR - PP)	242
4.26 反應射模用材 (Reaction injection molding, RIM)	245
4.27 可塑性板材料 (Stampable sheet)	247
5. 現用 E.P. 的總合性能比較	251
5.1 物理性質	251
5.2 流動特性和成形性	259
5.3 機械性質	259
參考文獻	265
索引	266

1. 緒 論

工程塑膠 (Engineering Plastics , 簡稱 E.P.) 是塑膠之中，尤其是能用於工業用零件及構造用材料的高強度、高性能或高機能材料的總稱，現在已實用化的有 30 種以上。目前在開發之中的大多用於超大型積體電路 (VLSI) 零件、汽車等的輕量化及電子化、光通信、辦公室自動化等的最先端技術的新素材。

本章探討工程塑膠開發的歷史背景及概述其種類及特性。

1.1 開發其及歷史背景

從最早的賽璐珞 (celluloid) 的發明繼而有酚醛樹脂 (phenolic resin) 的出現 (1900 年代初) 至今已有 $\frac{3}{4}$ 個世紀，日本的塑膠年產量約有 900 萬噸 (1985)，和粗鋼的年產量一萬噸比較約占其體積的二分之一以上。

回顧塑膠材料的發展過程，則大戰後日常生活中開始被塑膠所滲透、物質缺乏的時代、耐龍鞋的出現、寒冷時硬梆梆的 PVC 皮包、色彩豐富的尿素樹脂所作的杯子等等會浮現在我們的腦海中。在美國早期塑膠材料是爲了軍事目的而開發使用的，當時矽樹脂及氟素樹脂用於電線、電機零件可在被擊落的 B29 殘骸中發現，不燃燒的電線及零件令人驚奇。

2 工程塑膠之特性及其加工

當初所謂塑膠是指酚醛樹脂、尿素樹脂及美耐皿 (malamine) 等的熱硬化性材料，應用於日用品及電氣絕緣體，容易破裂，而且有很多的代用品存在。酚醛樹脂、尿素樹脂用於餐具在熱湯中會溶出，在衛生安全上有很大的問題，此後美耐皿樹脂專用於餐具。

熱可塑性材料如聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯、耐龍逐漸出現，應用於包裝袋、鞋子及扣環 (polyethylene buket) 類等。當時的扣環的材料特性及成形技術層次並不怎麼高，使用之中底部入料口附近會有破裂產生成為當時的問題。透明美麗的聚苯乙烯製杯子也有問題，當時的成品碰到熱水會變形，缺陷製品多，形象大大受損。

以後世界的經濟的成長加速，種種新材料的出現，既有材料的改質、成形技術的改進、加工機械及模具製作技術的發展，同時材料本身材質及量也大有進展。

最近光通信有關機械、O A等電子機器的發展、汽車產業的需要增加，因應這種新的趨勢需尋求適合的材料以祈帶動技術革新，進而獨享高性能塑膠材料的應用技術。

塑膠是石油產業的一支，多少受到第一及第二次石油危機的影響，故年產量每年有變動、用途及性能方面也多樣化，新穎高性能材料的發展也頗有成就。

最近塑膠材料的強度及耐熱性有顯著的進步，也有不少的新素材以新面孔出現，選擇最適當的材料及最適當的加工條件，每年都有快速的進步。

回顧過去發展過程以材料別表示於圖 1.1，由圖所示可知受到第一次及第二次石油危機及美蘇太空競爭的刺激是促進新材料的開發及進一步發展加工技術的要因。

因此今後年年將有新材料的增加。

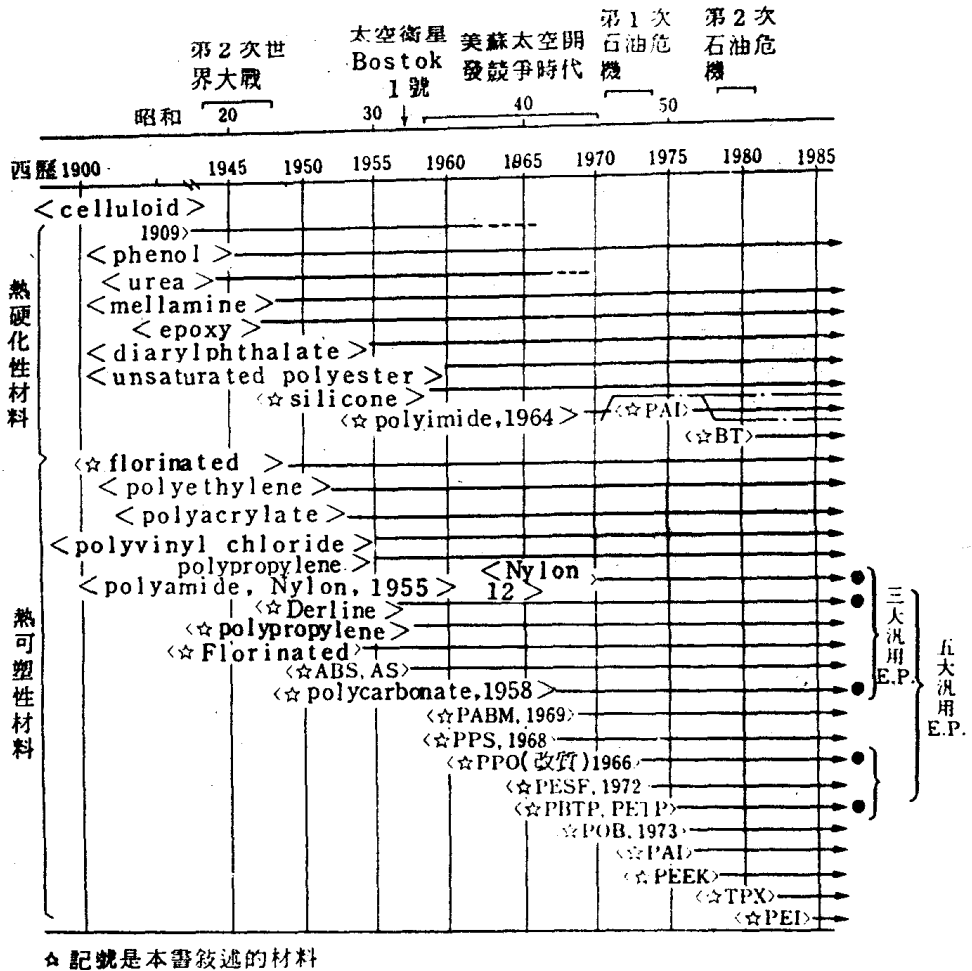


圖 1.1 各種 E. P. 的開發年代概略

1.2 材料特性概要

工程塑膠爾後在本書裏以 E. P. 統一表示，工業用塑膠或一般通用 E. P. 材料是指至少具有一件下列所舉的條件：

- (1) 機械強度高而且要有適當的平衡（參照圖 1.2）。
- (2) 耐熱性耐久性高，能保持某程度的長壽命、長時間運轉狀態下

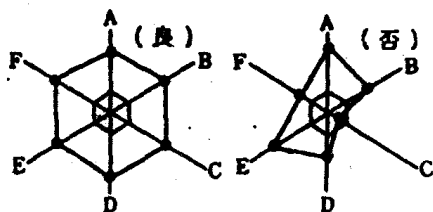
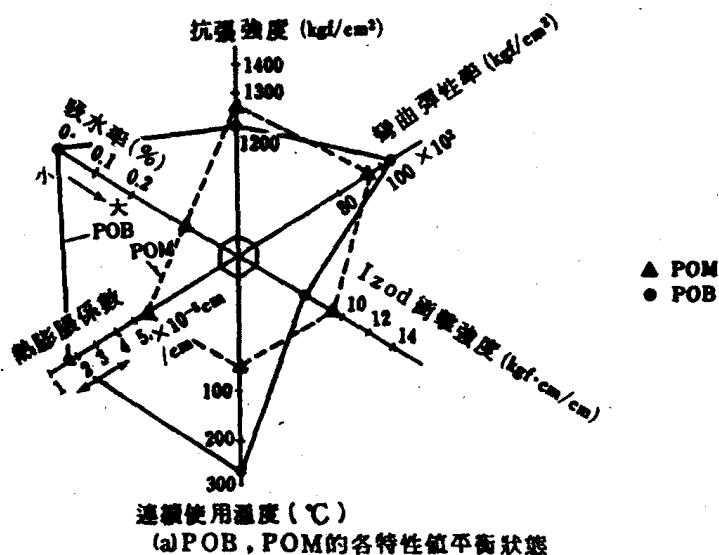


圖 1.2 材料特性值平衡

不會產生異常。

(3) 具特殊機能 (例如轉動特性等)。

這些條件適用於機械、電氣、化學機械零件或構造品，但一般的工業用素材 (例如 PVC 管及接著劑不包含在此範圍內)。

美國的汎用 E.P. 所具備的條件還加上下述的項目。

(4) 在經濟上盡可能是廉價性高而且具有工程上的高性能。

(5) 不必用特別的手段，一般的加工性優良。

(6) 年產 100 萬磅 (美國國內) 以上的總消費量。

1.3 種類和分類

表 1.1 是現用塑膠材料的種類，其中被當作 E.P. 的可大別為汎用 E.P. 和特殊 E.P. (Super Engineering Plastics)，舉例於下：

E. P. {	汎用 E.P. (三大汎用 E.P. Polyamide (PA) , Polyacetal (POM) , Polycarbonat (PC))
	特殊 E.P. (例如氟素樹脂 , Polyethersulfone (PESF) , Polyoxybenzylene (POB) 等)

三大汎用 E.P. 加上 Polyphenylene oxide (PPO) 和 Polybutylene-terephthalate (PBTP) 稱為五大汎用 E.P. 。

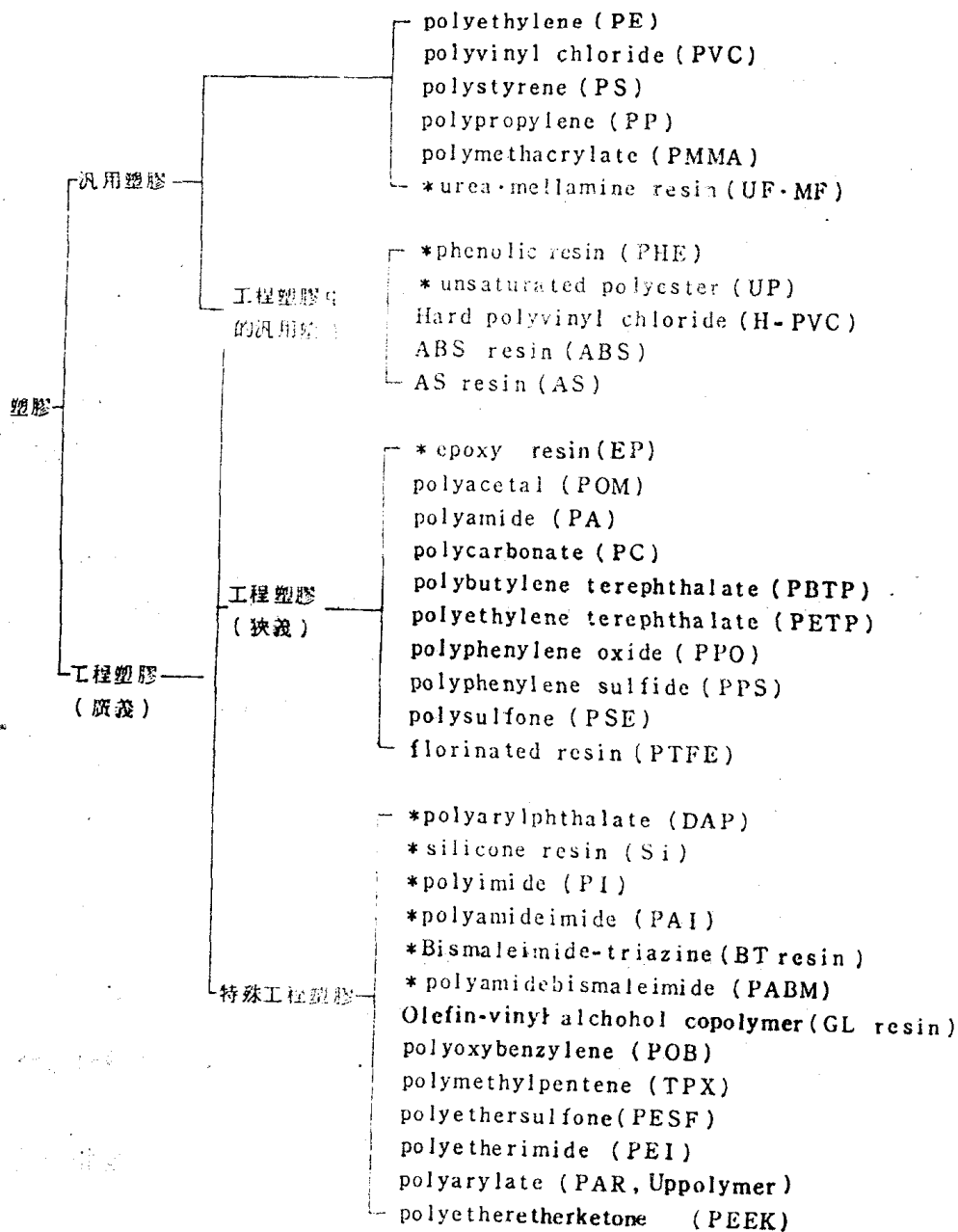
在美國滿 1.2 節中的 (4)~(6) 三個條件的材料例舉於下。

- ① Nylon 系列材料 (PA-6, 66, 11, 12, 610) 。
- ② Polycarbonate (PC) 。
- ③ Polyphenylene oxide (PPO) 。
- ④ Polyacetal (POM) 。
- ⑤ 工業用 ABS 樹脂 。
- ⑥ 熱可塑性聚酯 (PBTP, PETP) 。
- ⑦ Polyphenylene sulfide (PPS) 。

這些現用材料的種類及分類會因今後材料特性的改質及開發新規格材料的增加而有變化。

在本書中所敘述的 E.P. 材料有現用的 27 種材料，其名稱和簡稱例於表 1.2 。

表 1.1 各種塑膠的分類



* 記號是熱硬化性樹脂

表 1.2 本書所敘述的工程塑膠一覽表

* 記號是熱硬化性材料

材 料 名	記 號	記載章節
polyacetal	POM	4.1
polyamide (Nylon)	PA	4.2
polycarbonate	PC	4.3
polybutylene terephthalate	PBTB	4.4
polyethylene terephthalate	PETP	4.5
styrene-acrylonitrile copolymer	FR-AS	4.6
Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	FR-ABS	4.7
polyphenylene oxide (Noryl)	PPO	4.8
polyphenylsulfide	PPS	4.9
polysulfone	PSF	4.10
polyether sulfone	PESF	4.11
polyetheretherketone	PEEK	4.12
polyarylate	PAR	4.13
polyoxybenzylene	POB	4.14
Fluorinated resin	PTFE 及其他	4.15
* polyimide	PI	4.16
(*)polyamide	PAI	4.17
* polyaminobismaleimide	PABM	4.18
polyetherimide	PEI	4.19
* Silicone resin	Si 樹脂	4.20
* Bismaleimide-triazine	BT 樹脂	4.21
olefin-vinyl alcohol copolymer	GL 樹脂	4.22
methylpentene	TPX	4.23
ultra high molecular weight polyethylene	UHMW PE	4.24
Reinforced polypropylene	FR-PP	4.25
(*)RIM 用材	(RIM)	4.26
Stampable-sheet	(Stamp.S.)	4.27

2. E.P.成形材料特性和成形加工法

一般塑膠成形必須對使用材料、加工法、加工特性等具有某種程度的了解，處理E.P.成形材料之際尤其重要。本章就包括汎用材料在內的基本成形加工、材料特性、成形加工法的種類和物性、E.P.成形品物性的種類以及最近加工成形法的發展趨勢加以說明。

2.1 材料分類及其特徵

(1) 聚合體構造的分類

(a) 熱硬化性材料和熱可塑性材料 一般塑膠材料可區分為熱硬化材料 (thermosetting plastics) 和熱可塑性材料 (thermoplastics) 等二大類，就像人類分為男與女，是基本的分類法，熱硬化性材料有酚、尿素、不飽和酯、環氧等樹脂，其最終製品狀態的分子構造都是網狀聚合體 (network polymer) 或三次元聚合體，熱可塑性材料有聚乙烯、聚縮醛 (polyacetal)、聚碳酸酯等的線狀聚合體 (linear or chain polymer)。熱硬化性材料的特徵是成形加工時由外部加熱使分子構造結合成網狀，一旦結合成網狀聚合體，即使再加熱也不能軟化，顯出所謂的非可逆變化，是分子構造變化 (化學變化) 所致。

熱可塑性材料運用加熱及冷卻，使其產生可逆變化的流動狀態和固化狀態，是所謂的物理變化。

用一般的流動試驗，加壓使材料從細孔流出，可顯示出熱硬化性及熱塑性的不同流動行為，其例如圖 2.1 所示，熱硬化性材料由外部加熱產生軟化流動過程（A B）及化學變化的硬化過程（B C），結果產生山形的流出量曲線；熱可塑性材料運用溫度及壓力條件產生軟化流動，流出量達到一定的平衡值而呈現水平線，此顯著不同的流動行為造成成形加工法的根本不同（參照 2.3 項）。

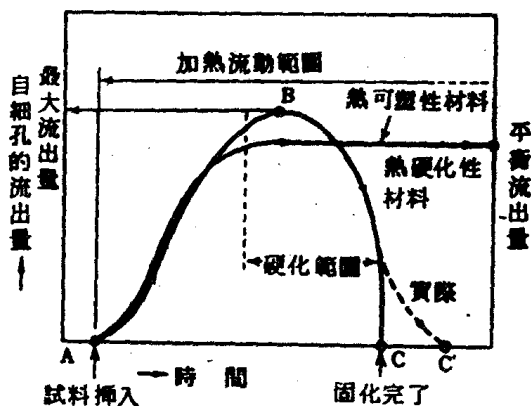


圖 2.1 熱硬化性材料和可塑性材的流出量和時間關係。

(b) 結晶性材料和非結晶性材料 熱硬性材料呈現網狀聚合體構造，分子相互間規則排列困難故不能產生結晶化，熱可塑性材料是線狀分子結構，配列容易故顯示出結晶性。產生結晶化的材料稱為結晶性材料（crystalline polymer），無此性質的稱為非晶性材料（amorphous polymer）。

結晶性和非晶性材料明顯特徵之一如圖 2.2 所示，其溫度和比容的

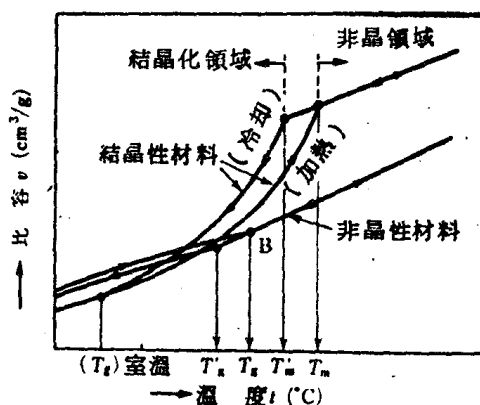


圖 2.2 熱可塑性材料的結晶性及非結晶性材料的比容—溫度關係說明圖

關係曲線不同，也就是結晶性材料從室溫逐漸升溫，結晶構造漸漸破壞，達到某一溫度（熔點、melting point, T_m ），結晶構造完全破壞，變成非晶狀態（熔化狀態，結晶破壞的同時容積增大（結晶熔化膨脹）。與上述相反，從熔化狀態逐漸降溫的冷卻固化過程中在比 T_m 稍低的 T_m' 溫度（凝固點或結晶化開始點）以下漸漸進行結晶化同時容積減少（結晶收縮）。相對之下，非結晶性材料不因結晶化而產生容積變化，只有熱膨脹現象（大致呈直線變化），沒有一個很清楚的熔點存在。

非結晶性材料因分子運動的不同而產生玻璃轉移點（glass transition point T_g ），在這個溫度附近比容溫度曲線會產生轉折點（B點）。 T_g 在冷卻過程中會產生稍低的 T_g' ，和前述的 T_m 和 T_m' 的關係一樣， T_g 和 T_g' 本質上不是物性的差別， T_m 和 T_m' 及 T_g 和 T_g' 的溫度差會因加熱速度或冷卻速度的增加而增向。結晶性材料的玻璃轉移點因為一般是在室溫以下，故和成形加工較無關連，不像非結晶性材料的 T_g 那樣重要。結晶性材料的 T_m (T_m')、非結晶性材料的 T_g (T_g') 是成形加工上重要的特性值，非結晶性材料有時候以高於 T_g 20~30°C 為易流