



《塑料制品及设计》

# 塑料成形基础

材料科学与工程学院

主讲教师：段献宝

邮箱：[witxbduan@qq.com](mailto:witxbduan@qq.com)

网站：<http://www.xbduan.net>





# 内容简介

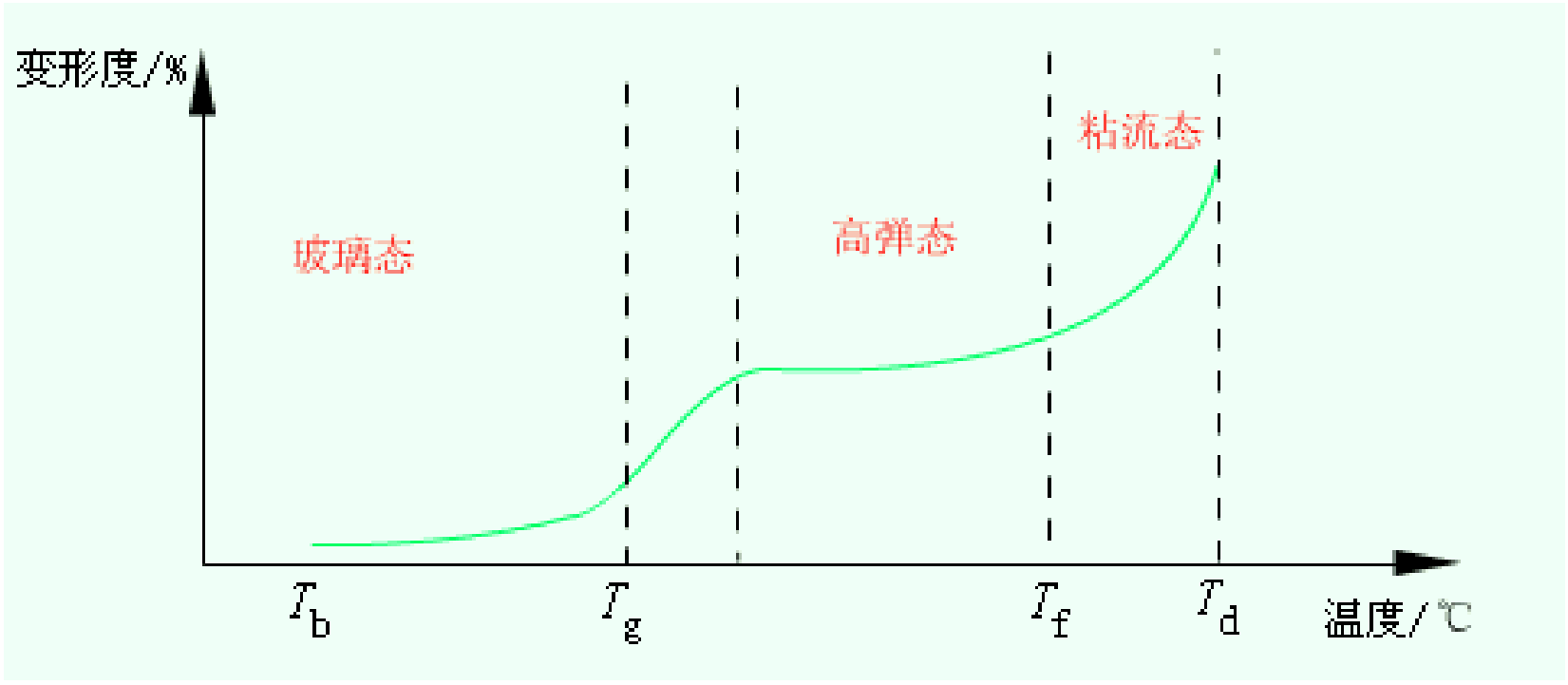
---

- ❖ 可挤压性
  - ❖ 可模塑性
  - ❖ 结晶性
  - ❖ 收缩性
  - ❖ 流动性
-



# 塑料成形的工艺特性

温度对塑料的加工有着重要的影响。随着加工温度的逐渐升高，塑料将经历玻璃态、高弹态、粘流态直至分解。处于各状态下塑料表现出不同的性能，这些性能在很大程度上决定了塑料对加工的适应性。





# 塑料成形的工艺特性

- ❖ **玻璃态**：处于玻璃化温度以下的塑料为坚硬的固体。由于弹性模量高、形变率小，所以在玻璃态时塑料不宜进行大变形加工。可进行车、铣、刨、钻等机械切削加工。
- ❖ **高弹态**：塑料的弹性模量显著减小，形变能力大增强。可进行真空成形、压力成形、压延和弯曲成形等。
- ❖ **粘流态**：塑料此时通常称为熔体，塑料的弹性模量降低到最低值，较小的外力就能引起熔体宏观流动。可以进行压延、挤出、吹塑、注射、吹塑等加工。



# 塑料的可挤压性

**可挤压性**：指塑料在受到挤压作用时获得形状和保持这种形状的能力。

- ❖ 塑料处于**粘流态**时才能借助于挤压获得宏观的形变。在挤压过程中，塑料熔体主要受到剪切作用，故塑料的可挤压性主要取决于熔体的**剪切黏度**。
- ❖ **熔融指数**是评价热塑性塑料可挤压性的一种简单而实用的指标。



# 塑料的可挤压性

## 熔融指数 Melt Rate (或熔体流动指数 Melt Flow

Rate)

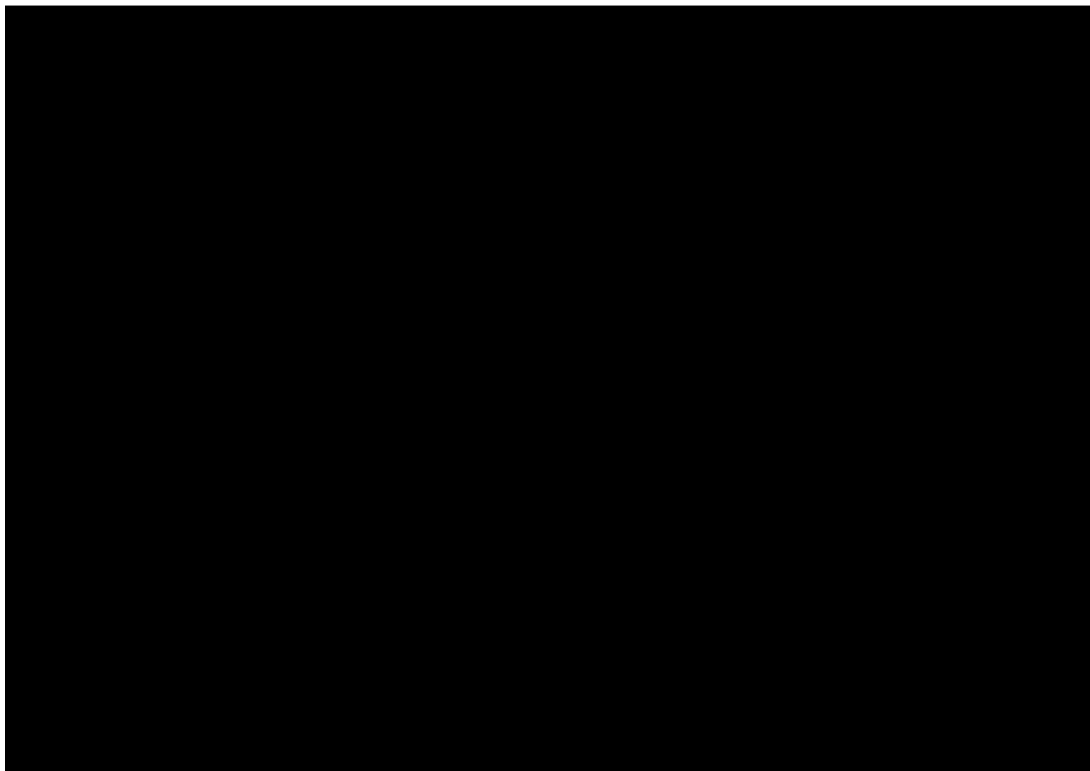
**定义:** 让塑料粒在一定时间 (10分钟) 内、一定温度及压力 (各种材料标准不同) 下, 融化成塑料流体, 然后通过一直径为2.095mm圆管所流出的克 (g) 数, 简写为MR或MFR, 单位: g/10min。其值越大, 表示该塑料材料的加工流动性越佳, 反之则越差。

由于实测的熔体剪切速率仅为  $10^{-2} \sim 10 \text{ s}^{-1}$ , 远比实际注射或挤出成形中通常的剪切速率  $10^2 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$  要低得多, 因此熔融指数不能说明实际成形时聚合物的流动情况。但由于这种方法简便易行, 对成形塑料的选择和适用性有参考价值。



# 塑料的可挤压性

## 熔融指数仪





# 塑料的可挤压性

## 剪切黏度



蜂蜜



花生酱





# 塑料的可挤压性

## ■ 剪切速率 Shear rate (velocity)

A ratio of velocity and distance.

$$\text{Shear Rate} = \frac{\text{Velocity (v)}}{\text{Height (h)}} \quad \frac{\partial u}{\partial y}$$

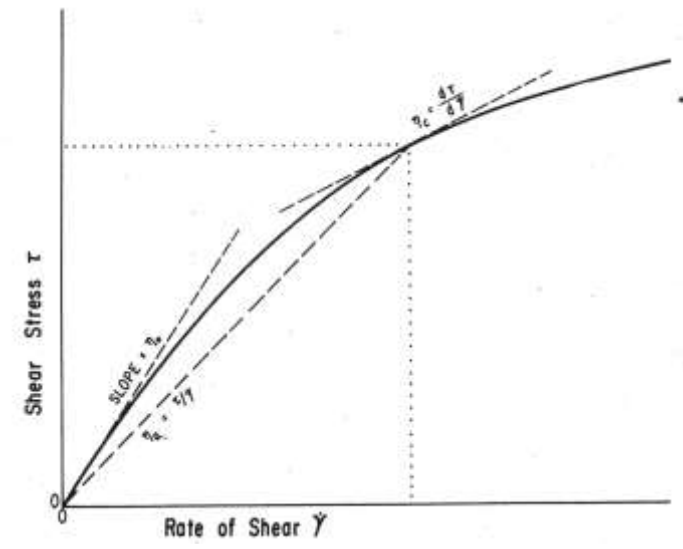
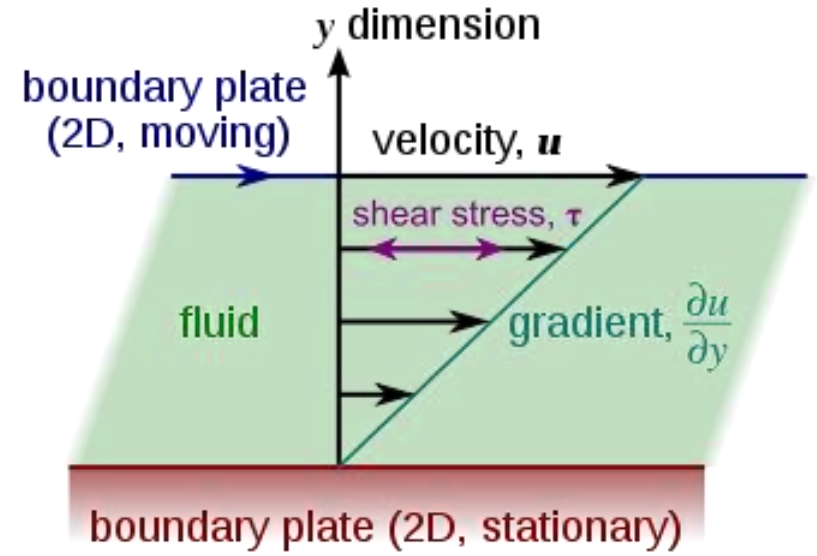
## ■ 剪切应力 Shear stress

Proportional to shear rate with a viscosity constant. (Newtonian fluid)

$$\text{Shear Stress} = \frac{\text{Force (F)}}{\text{Area (A)}} \quad \tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

## ■ 剪切黏度 Viscosity

$$\text{Viscosity} = \frac{\text{Shear Stress}}{\text{Shear Rate}}$$

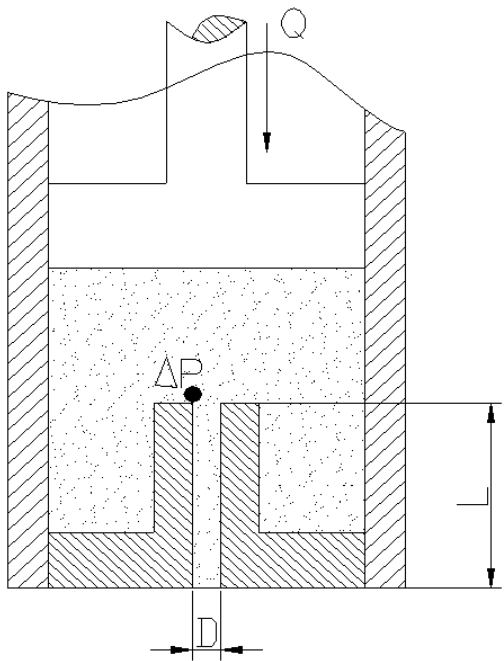




# 塑料的可挤压性

## 黏度的测量

熔体在流变仪料筒里保持恒温并被挤入内径为 $D$ 长为 $L$ 的毛细管内，通过测量流量 $Q$ 和压力降 $\Delta P$ 值即可得到剪切黏度。



毛细管流变仪工作原理图



德国HAAKE 高性能流变测试仪，测试塑料流变参数



# 塑料的可模塑性

**可模塑性**是指在一定的温度和压力作用下塑料在模具中模塑成形的能力。具有可模塑性的材料可通过注射、压缩和挤出等成形方法制得各种形状模塑制品。

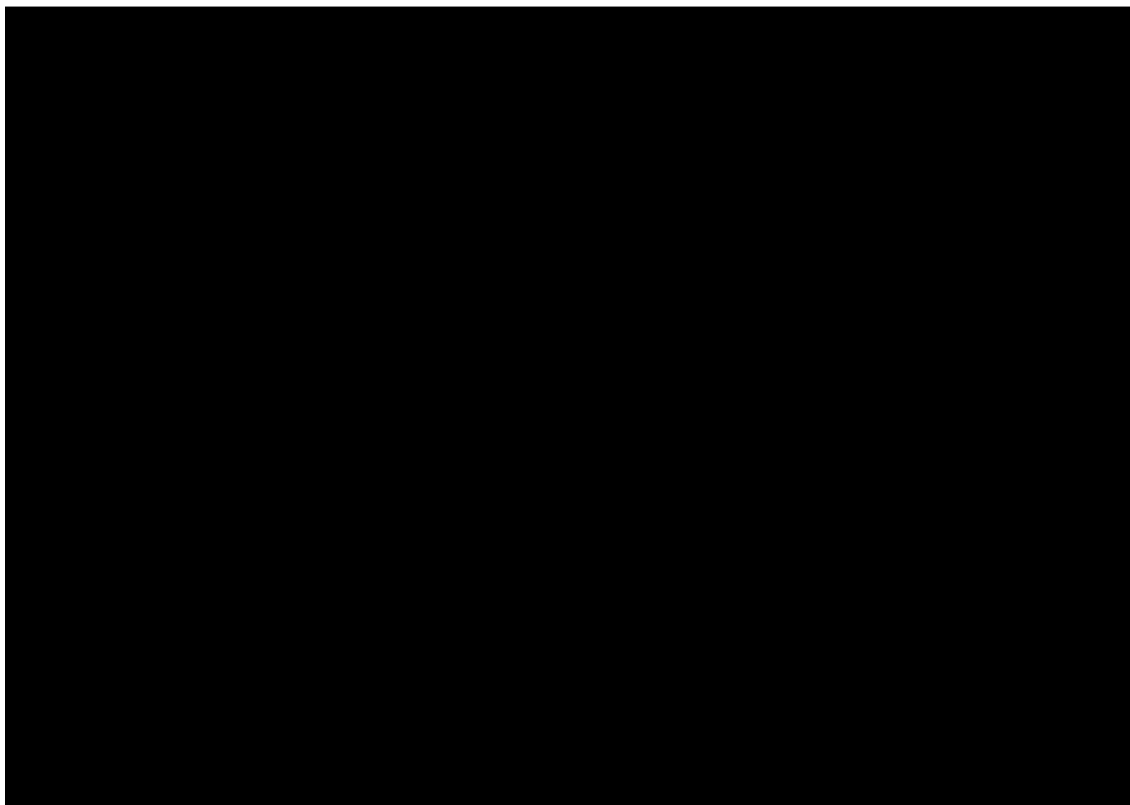
可模塑性主要取决于塑料的流变性、热性质和其它物理力学性质等，热固性塑料的可模塑性还与聚合物的化学反应性有关。

- ❖ **螺旋流动试验**在生产中广泛用于评价聚合物的可模塑性的好坏。
- ❖ 模塑条件对塑料可模塑性的影响：**工艺窗口**。



# 螺旋流动试验

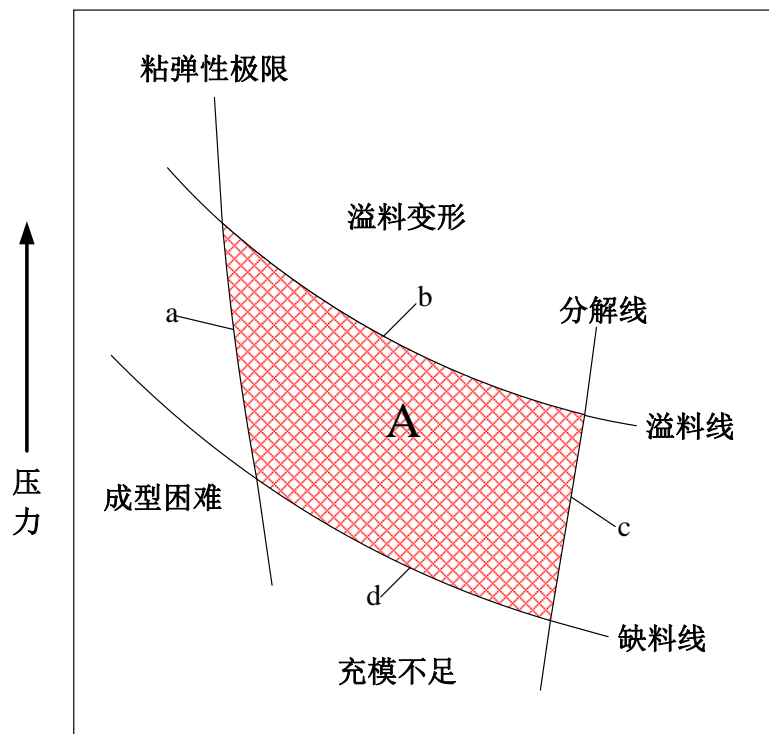
聚合物熔体在注射压力作用下，由阿基米德螺旋形槽的模具的中部进入，经流动而逐渐冷却硬化为螺旋线，以螺旋线的长度来判断聚物流动性的优劣。





# 工艺窗口

工艺窗口即为注射生产时合理的工艺区域，图中的红色区域为可成形区域。



A——成型区域    a——表面不良线  
b——溢料线    c——分解线    d——缺料线



# 塑料的结晶性

热塑性塑料按其冷凝时无出现结晶现象可划分为**结晶形塑料**与**非结晶形（又称无定形）塑料**两大类。

所谓**结晶现象**即塑料由熔融状态到冷凝状态时，分子由独立移动，完全处于无序状态，变成分子停止自由运动，按略微固定的位置，并有一个使分子排列成为正规模型的倾向的一种现象。

聚合物结晶速度慢、结晶不完全、晶体不整齐，通常用结晶度来表示，由于聚合物达到完全结晶所需时间太长，有的需要几年甚至于几十年的时间。因此通常将结晶度达到50%的时间的倒数作为评定各种聚合物结晶速度的标准。



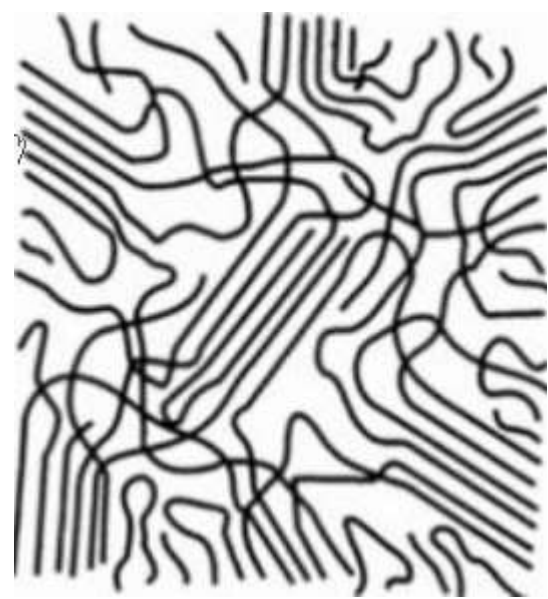
# 塑料的结晶性



晶态



部分晶态



非晶态



# 塑料的结晶性

## 结晶形塑料在注射成形时的主要特点

- ❖ 结晶形塑料必须要加热至熔点温度以上才能达到软化的状态。由于结晶熔解需要热量，结晶形塑料达到成形温度要比无定形塑料达到成形温度需要更多的热量。
- ❖ 塑料制品在模内冷却时，结晶形塑料要比无定形塑料放出更多的热量，因此结晶形塑料制品在模具内冷却时需要较长的冷却时间。
- ❖ 结晶形塑料固态的密度与熔融时的密度相差较大，因此结晶形塑料的成形收缩率较大，达到0.5~3.0%，而无定形塑料的成形收缩率一般为0.4~0.6%。
- ❖ 结晶形塑料各向异性显著，内应力大，脱模后制品内未结晶的分子有继续结晶的倾向，易使制品变形。





# 塑料的收缩性

塑料的**收缩性**是指塑料制品从模具中取出后发生尺寸收缩的特性。

- ❖ 塑料制品的收缩不仅与塑料本身的热胀冷缩性质有关，而且还与模具结构及成形工艺条件等因素有关。
- ❖ 通常所指的塑料的收缩性实际上是指塑料制品的成形收缩性能。



# 塑料的收缩性

塑料的收缩性可用塑料制品的**收缩率**表示：

**收缩率**定义：
$$S = \frac{L_m - L}{L_m} \times 100\%$$

- S为塑料的收缩率（%）
- $L_m$ 为模具型腔尺寸（mm）
- L为收缩后塑料制品的尺寸（mm）

反过来，给定塑料制品尺寸L和收缩率S，即可计算模具型腔的尺寸：

$$L_m = L / (1-S)$$



# 塑料的收缩性

## 影响塑料制品收缩率的主要因素

- ① 塑料品种
- ② 塑料制品结构
- ③ 模具的结构
- ④ 成型工艺参数



# 塑料的收缩性

## ① 塑料品种

- ❖ 塑料品种不同，其成形收缩值迥异。
- ❖ 同一品种塑料，由于其分子量、填料及其配比的不同，则其收缩值及其各向异性的程度也不相同。
- ❖ 热塑性塑料的收缩值比热固性塑料大，且收缩范围宽、方向性更明显。
- ❖ 结晶形热塑性塑料，因结晶过程引起体积的缩小，内应力增强，分子取向倾向增大，导致其收缩方向性差别增加。
- ❖ 成形后的收缩、退火或调湿处理后的收缩，结晶形塑料均一般比无定形塑料大。



# 塑料的收缩性

## ② 塑料制品结构

- ❖ 制品壁厚增大，收缩率增大，同一制品壁厚较大部位的收缩率总是大于壁厚较小部位。
- ❖ 制品收缩受到阻碍方向的收缩率总比无阻碍方向要小，例如带通孔制品的孔方向收缩要小于其轴向收缩，靠近嵌件部位的收缩要小于远离嵌件部位的收缩。
- ❖ 形状复杂制品的收缩要小于形状简单制品的收缩。
- ❖ 流动方向收缩率大于垂直于流动方向的收缩率。



# 塑料的收缩性

## ③ 模具的结构

- ❖ 进料口形式、尺寸、分布这些因素直接影响料流方向、密度分布、保压补缩作用及成形时间。
- ❖ 直接进料口、进料口截面大（尤其截面较厚的）则收缩小但方向性大，进料口宽及长度短的则方向性小。
- ❖ 距进料口近的或与料流方向平行的则收缩大。



# 塑料的收缩性

## ④ 成形工艺参数

- ❖ 成形工艺参数中影响最大的因素当属成形压力，提高压力可以导致塑料制品密度增加，使收缩率减小。
- ❖ 提高塑料温度，会使制品体积膨胀而使压入型腔的物料减少，使收缩率增大，但物料温度的升高使黏度减小却有利于向型腔内传递压力，又使收缩率减小，最终收缩率的大小取决于这两种效应的综合影响。
- ❖ 提高模具温度，一般会使收缩率增大，特别是对结晶形塑料。
- ❖ 延长保压时间，可使收缩率减小。但是一旦浇口封闭，再延长保压时间便不再会对收缩率有影响。



# 塑料的流动性

所有塑料都是在熔融状态下加工成形的，**流动性**是塑料成形过程中应具备的基本特性和标志。流动性好的塑料容易充满复杂的型腔并获得精确的形状。

- ❖ 热塑性塑料流动性大小，一般可从分子量的大小、熔融指数、阿基米德螺旋线流动长度、表观黏度及流动比等一系列指数进行分析。
- ❖ 分子量小，分子量分布宽，分子结构规整性差，熔融指数高、流动长度长、表现黏度小，流动比大的则流动性好。





# 塑料的流动性

## 常用塑料的流动性

- ❖ 流动性好：聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、尼龙、醋酸纤维素等。
- ❖ 流动性中等：有机玻璃、聚甲醛、改性聚苯乙烯（ABS、AS、HIPS）以及氯化聚醚等。
- ❖ 流动性差：聚碳酸酯、硬聚氯乙烯、聚砷、聚芳砷、聚苯醚等。



# 塑料的流动性

## 流动性影响因素：温度

- ❖ 塑料温度高则流动性增大，但不同塑料也各有差异，聚苯乙烯、聚丙烯、尼龙、有机玻璃、改性聚苯乙烯、聚碳酸酯、醋酸纤维素等塑料的流动性随温度变化较大。
- ❖ 对于聚乙烯、聚甲醛等，温度增减对其流动性影响较小。
- ❖ 所以前者在成形时宜调节温度来控制流动性，对于那些表观粘度对温度不太敏感的塑料，仅凭增加加工温度来提高这些熔体的流动性是不恰当的，而且温度过高会引起熔体降解。



# 塑料的流动性

## 流动性影响因素：压力

- ❖ 注塑压力增大则熔融料受剪切作用大，流动性也增大，特别是聚乙烯、聚甲醛较为敏感，所以成形时宜调节注塑压力来控制流动性。
- ❖ 在压力作用下，塑料熔体因受到压缩而减小体积，分子间作用力的增加使粘度也随之增大。增压引起粘度增加这一事实说明，单纯通过增大压力来提高塑料熔体的流量是不恰当的，过大的压力还造成设备功率消耗过大以及设备的过度磨损。
- ❖ 在生产过程中通过改变压力或温度都能获得相同的粘度变化效应，被称为压力—温度的等效性。



# 塑料的其它工艺性能

- ❖ **热敏性**：是指某些塑料（如硬聚氯乙烯、聚甲醛等）对热较为敏感，物料温度升高易发生变色和降解的倾向。成形时必须严格控制成形温度、模具温度、加热时间。
- ❖ **水敏性**：是指某些塑料（如聚碳酸酯等）即使只含有少量水分，在高温和高压下也容易分解。因此，在成形前必须加热干燥。
- ❖ **应力敏感性**：是指某些塑料对应力敏感，成形时质脆易开裂。除了成形时加入添加剂提高抗裂性外，还应合理地设计制品和模具，选择有利的成形条件，以减少内应力。
- ❖ **粒度**：是指塑料粒料的细度和均匀度。根据技术要求，各种塑料应有一定的技术指标。
- ❖ **热性能指标**：指塑料的比热容、导热系数、热变形温度等。



# 本章小结

- ❖ **名词解释：** 玻璃态；高弹态；粘流态；可挤压性；熔融指数；可模塑性。
  
- ❖ **简答：**
  - ◆ 结晶形塑料在注射成形时的特点。
  - ◆ 影响塑料收缩率的因素。
  - ◆ 影响塑料流动性的因素。