

揭阳职业技术学院

Jieyang Vocational & Technical College

教 案

系（部）： 化学工程系

讲授课程： 高分子材料加工工艺

任课教师： 刘月颖

专业班级： 应用化工技术 241、242、(3+) 241、(自主) 241

授课学期： 2025-2026 学年第二学期

揭阳职业技术学院化工系

2026 年 3 月

授课日期	第 1-3 周		教案编号	1
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料加工工艺			
授课题目	课题一 绪论			
授课学时	2 节 () ; 3 节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()			
教学目的	1. 掌握高分子材料各种主要性能的宏观规律、物理本质和工程意义 2. 了解影响高分子材料性能的主要因素 3. 掌握改善或提高高分子材料性能指标主要途径 4. 了解高分子材料性能测试的原理、方法及相关仪器设备			
教学重点	1. 掌握改善或提高高分子材料性能指标主要途径 2. 了解高分子材料性能测试的原理、方法及相关仪器设备			
教学难点	了解高分子材料性能测试的原理、方法及相关仪器设备			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()			
教学过程 时间安排	1.1 力学性能的基本指标 (45min) 1.2 高分子材料的分子运动和力学状态转变 (90min) 1.3 高分子材料的拉伸行为 (45min) 1.4 高分子材料的屈服与银纹化 (45min)			
思 考 题	材料的四要素?			
作 业	简单描述高分子检测的主要方法有哪些?			

课题一 绪论

引言 —— 2W 1H 1R

Why? —— 为什么要学这门课程

What? —— 什么是高分子材料成型加工，包含那些内容

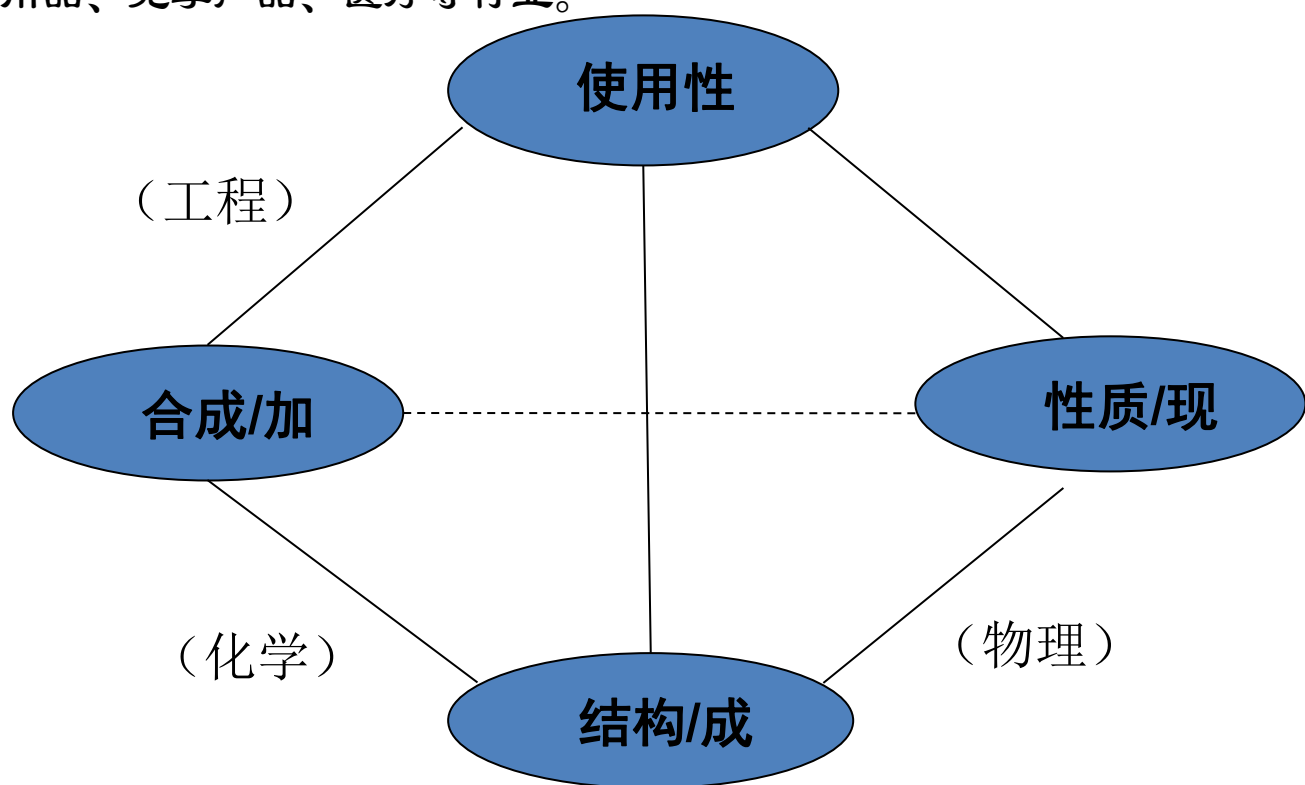
How? —— 如何学习高分子材料成型加工

Requirement? —— 授课要求

1. 从社会需求看

目前，高分子制品被广泛应用于各行各业：

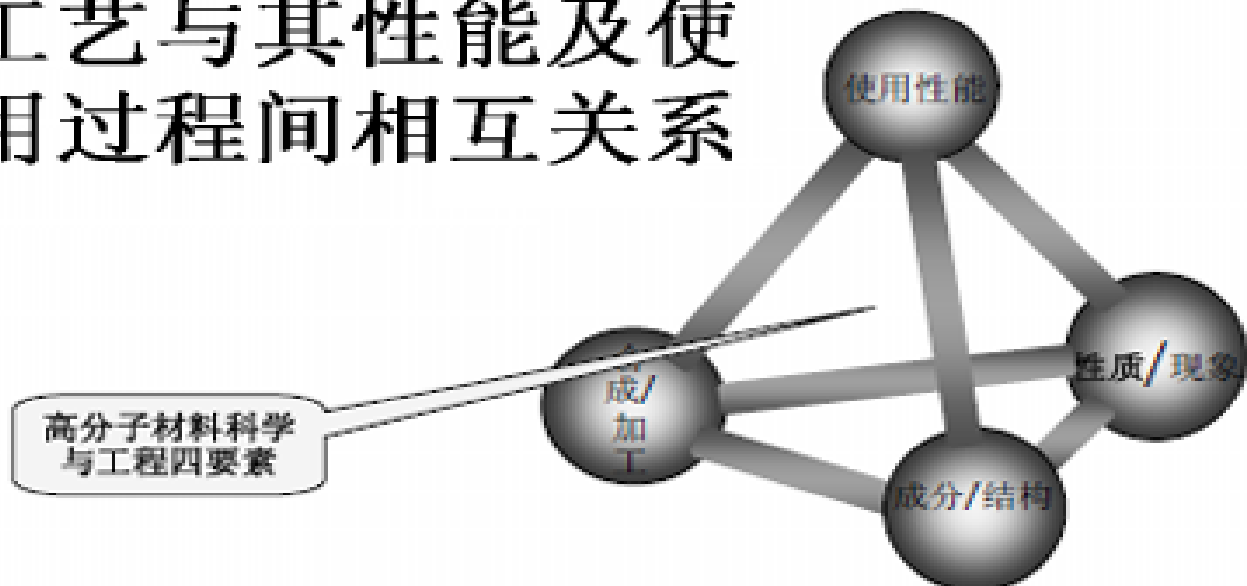
如：建筑、农牧渔业、电信、家电、汽车、电子、食品包装、日用品、光学产品、医疗等行业。



材料四要素

高分子材料科学与工程

“关于高分子材料组成、结构、制备工艺与其性能及使用过程间相互关系



3. 从工程能力培养看

理论与实践紧密结合

多学科彼此交叉与渗透

知识涵盖面比较宽广

授课内容

绪论

- ◆ 高分子材料学加工流变学
- ◆ 高分子材料加工中的热行为
- ◆ 常用高分子材料
- ◆ 高分子材料的配方设计
- ◆ 高分子材料的混合与设备
- ◆ 压制成型

- ◆ 挤出成型
- ◆ 注射成型
- ◆ 压延成型
- ◆ 泡沫塑料加工工艺
- ◆ 塑料模压成型
- ◆ 橡胶加工工艺
- ◆ 其它成型方法

课程特点：

- ◆ 内容多（多门课程集一体）
- ◆ 领域宽（多学科知识基础）
- ◆ 实践性强（与生产实际结合紧密）

教学方法：

- ◆ 教师讲授与学生自学相结合
- ◆ 理论推导与实际应用相结合
- ◆ 电脑演示与黑板板书相结合

（多媒体课件：图片、动画、录象）

教材与参考资料

教材：

《高分子材料基本加工工艺》，王加龙主编，
化学工业出版社

主要参考书：

① 《高分子材料成型加工原理》，王贵恒主编，化学工业出

版社

② 《高分子材料成型加工》，周达飞编，中国轻工业出版社

③ 《聚合物加工原理》，Z. 塔德莫尔编，化学工业出版社

授课日期

第 4-5 周

教案编号

2

课程名称	高分子材料基本加工工艺	专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺		
授课题目	课题二 高分子材料学		
授课学时	2 节 ()； 3 节 ()； 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)		
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>)； 实验 ()； 见习 ()； 实训 ()； 其它 ()		
教学目的	1. 掌握高分子材料在相同条件下的燃烧特性 2. 了解影响高分子材料性能的主要因素 3. 掌握高分子燃烧试验和显色反应的操作方法		
教学重点	1. 掌握高分子燃烧试验和显色反应的操作方法		
教学难点	1. 掌握高分子材料在相同条件下的燃烧特性		
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>)； 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>)； 指导 ()； 示教 ()； 其它 ()		
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint ()； Author ware ()； 其它 ()	
	无 ()		
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>)； 模型 ()； 标本 ()； 实物 ()； 音像 ()； 其它 ()		
教学过程 时间安排	1.1 高分子材料的综合鉴别 (45min) 1.2 高分子材料的显色鉴别 (45min)		
思 考 题	橡胶的显色鉴别？		
作 业	燃烧反应要注意哪些事项？		

第二章 高分子材料加工中的热行为

第一节 高分子材料的热物理特性

一、热膨胀

1. 胀缩性

温度的升降而使材料体积发生膨缩的现象

2. 线膨胀系数

温度改变 1°C 时材料长度的变化和它在原温度时长度的比值

3. 体胀系数

温度改变 1°C 时材料体积的变化和它在原温度时体积的比值

4. 高分子材料的热膨胀与制品性能

作为结构材料使用时应该考虑材料的胀缩

高分子材料的热胀冷缩与高分子材料的自由体积及分子链段的柔顺性有关

可以通过玻璃纤维增强或者添加填料的方法来减小材料的热膨胀

二、热容

1. 热容

材料的温度提高 1°C 所需的能量，单位为 $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ （或 J/K ）。

2. 比热容

将单位质量材料的温度提高 1°C 所需的能量，单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。比热容可表示为比定压热容 C_p 或比定容热容 C_v

第二节 高分子材料加工中的热传导

一、传热基本概念

1. 传热的基本方式

热量由高温物体或者物体的高温部分传给低温物体或者物体的低温部分。

传导：通过分子或原子的不规则热振动

对流：通过质点的位移和混合

自然对流；强制对流

辐射：通过电磁波的发射和吸收

2. 高分子材料加工中的传热特性

普遍存在于材料加工中的加热和冷却过程

高分子材料传热速度普遍较慢

例 1：热量不易散发导致高分子材料的降解

例 2：传热慢且不均导致产品的变形及内应力

例 3：设备升温过程的时间要求和不均匀现象

材料加工中由于剪切产生的热量也不可忽视

二、高分子材料加工中的热传导

1. 傅立叶定律

$$Q = \lambda A (T_{w1} - T_{w2}) / \delta$$

Q—单位时间内通过平壁的导热热量，即导热速率，W；

ΔT —平壁两侧表面的温差， $^{\circ}\text{C}$ ；

A—垂直于导热方向的截面积， m^2 ；

δ —平壁的厚度，m；

λ —高分子材料导热系数， $\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

2. 导热系数

$$\lambda = Q / [(T_{w1} - T_{w2}) A / \delta]$$

导热系数在数值上等于一个厚度为 1m、表面积为 1m^2 的平壁两侧维持 1°C 温度差时，每单位时间通过该平壁的热量

热系数是物质的一种物理性质，它表示物质导热能力的大小

各种物质导热系数的比较

1. 金属的导热系数最大，非金属的固体次之且其导热系数随温度的升高而增大；

2. 液体的导热系数一般远较固体的为小（绝热材料除外），液体的导热系数随温度的升高而减小；

3. 气体的导热系数较液体小，气体在大气压下的导热系数随温度的升高而增大，

4. 压强变化不大时，气体的导热系数与压强无关、除非气体的压强过高[大于

2000atm (大气压)]或过低 (小于 20mmHg) 时

- 1.热塑性塑料热导系数偏低, 影响加工过程
- 2.塑料材料的物态转变时, 导热系数发生变化
- 3.塑料材料的导热系数随温度升高而增大
- 4.塑料材料的导热系数随压力升高而增大

三、热扩散系数 (导温系数)

决定高分子材料在温度场中温度变化情况

$$\alpha = \lambda / (\rho \cdot C_p)$$

α ——热扩散系数, $10^{-2} \text{cm}^2 / \text{s}$;

λ ——导热系数, $\text{W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$;

ρ ——密度, g / cm^3 ;

C_p ——定压比热, $\text{J} / (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

1. 物理意义

描述高分子材料在温度场中温度变化速率

2. 热扩散系数的影响因素

随温度的升高热导率增加, 则热扩散系数也增加 (和液体相反);

随温度的升高密度下降, 热扩散系数上升;

高分子材料的比热容随温度的变化趋热较复杂, 则其对热扩散系数的影响也较复杂

第二节 高分子材料加工过程中的生成热

加工过程中生成热的来源

1. 高混机中的物料、设备内壁间的磨擦
2. 挤出、注射中的剪切
3. 橡胶塑炼或混炼中的剪切、拉伸
4. 交变应力作用于材料时内耗
5. 加工过程中的化学反应, 如发泡、交联等

一、高分子熔体因摩擦而生成的热量

Q ——剪切摩擦的热流量, $\text{J} / \text{cm}^3\text{s}$;

J——热功当量， $9.6 \times 10^{-2} \text{J} / \text{kg} \cdot \text{cm}$;

γ ——剪切速率， s^{-1} ;

η_a ——表观粘度， $\text{kg} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$

摩擦生热在聚合物材料加工中的应用

1. 利用剪切生热升温来塑化高分子材料
2. 利用剪切生热来降低熔体的黏度（注射）

ΔT ——熔体通过喷嘴时的温升值， K ;

ΔP ——通过喷嘴时的压力降， N / m^2 ;

ρ ——熔体密度， kg / m^3 ;

C_p ——定压比热， $\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

二、在周期应力作用下由内耗所引起的温升

1. 外力作用频率和材料弹性的关系

高分子链段的松弛时间决定作用频率和材料弹性间的关系

随着外力作用频率的增加，原本弹性好的材料可能变得越来越僵硬

提高外力作用频率相当于降低材料的温度

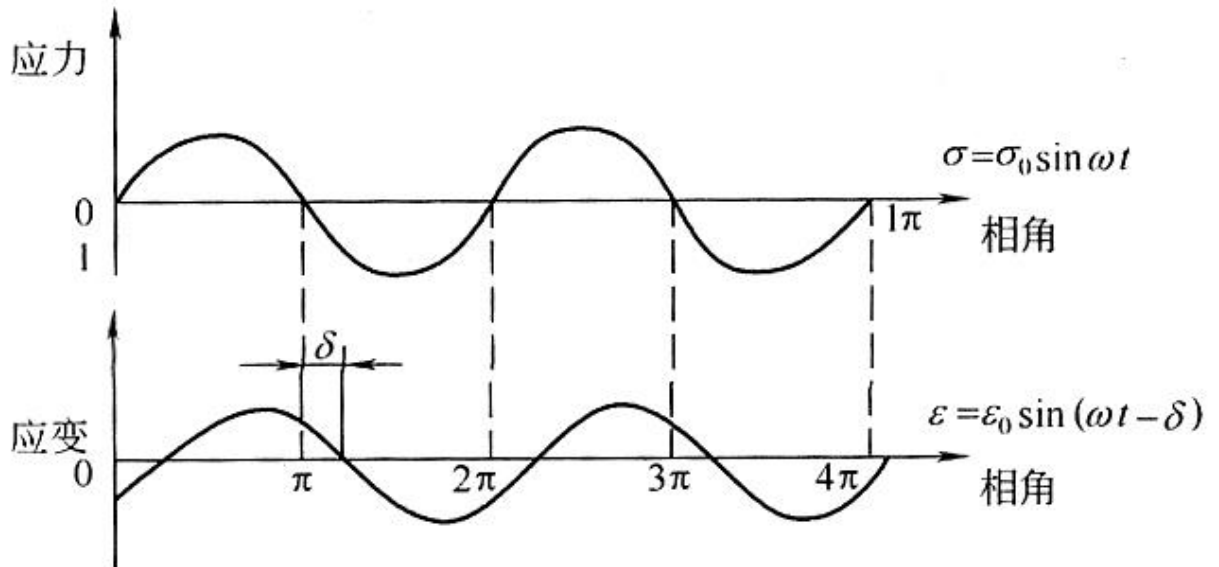


图 2-12 应力与应变的相位

课日期

第6-7周

教案编号

3

名称	高分子材料基本加工工艺	专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺		
授课题目	课题三 高分子材料加工流变学概论		
授课学时	2节 () ; 3节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)		
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()		
教学目的	1. 掌握高分子材料流变学概念 2. 了解高分子材料的流变学原理 3. 掌握高分子材料加工过程特点		
教学重点	1. 了解高分子材料的流变学原理		
教学难点	1. 掌握高分子材料加工过程特点		
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>); 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()		
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()	
	无 ()		
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>); 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()		
教学过程 时间安排	第一节 高分子材料流体的剪切流动 第二节 高分子材料流体的拉伸流动 第三节 高分子熔体的黏性流动与弹性 第四节 高分子熔体在简单截面导管中的流动 第五节 高分子材料加工中的聚集态		
思考题	什么是流变?		
作 业	介绍高分子材料加工过程有哪些特点		

基本概念

流变学：研究材料流动和形变的科学，是流体力学

学与固体力学的有机结合，其重点是研究

稳态流动随时间变化的形变过程。

高分子材料加工过程特点

1.加热熔融、受力流动变形、冷却定型

2.熔体或溶液流动过程中的黏性和弹性

第一节 高分子流体的剪切流动

几个概念

1.剪应力： $\tau = F/S$

2.剪切应变（速度梯度）：

$$\gamma = \Delta V / \Delta Y$$

$$\text{或 } \gamma = dv/dy$$

3.粘性、

内摩擦力、黏性摩擦力

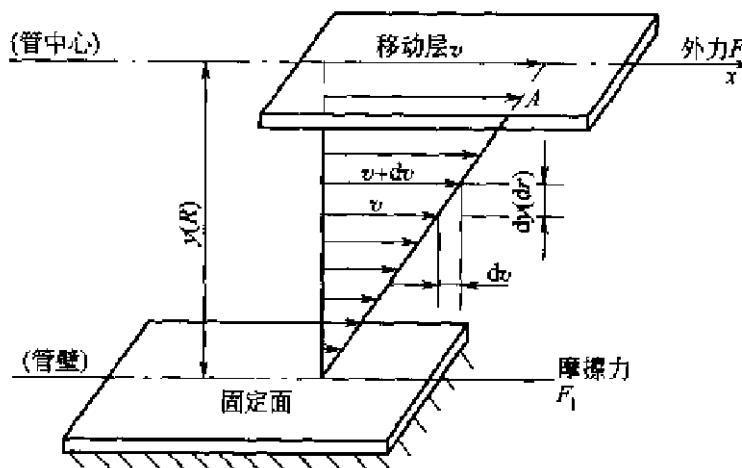


图 2-1 稳态的简单剪切流动

流体的种类

区分方法：以 τ 对 γ 作图，看曲线的形状

牛顿流体

非牛顿流体

和时间无关的流体：假塑性流体；胀塑性流体；
宾汉流体

和时间有关的流体：触变性流体；流凝性流体
牛顿流体

特点

如右图所示，剪切应力对剪切应变作图为通过原点的直线。

定量关系

$$F = \eta S \Delta V / \Delta Y$$

$$F/S = \eta \Delta V / \Delta Y$$

$$\tau = \eta \gamma$$

η ：黏滞系数或动力黏度，简称为黏度

关于黏度的讨论

1) 物理意义：促使流体产生单位速度梯度的剪切力

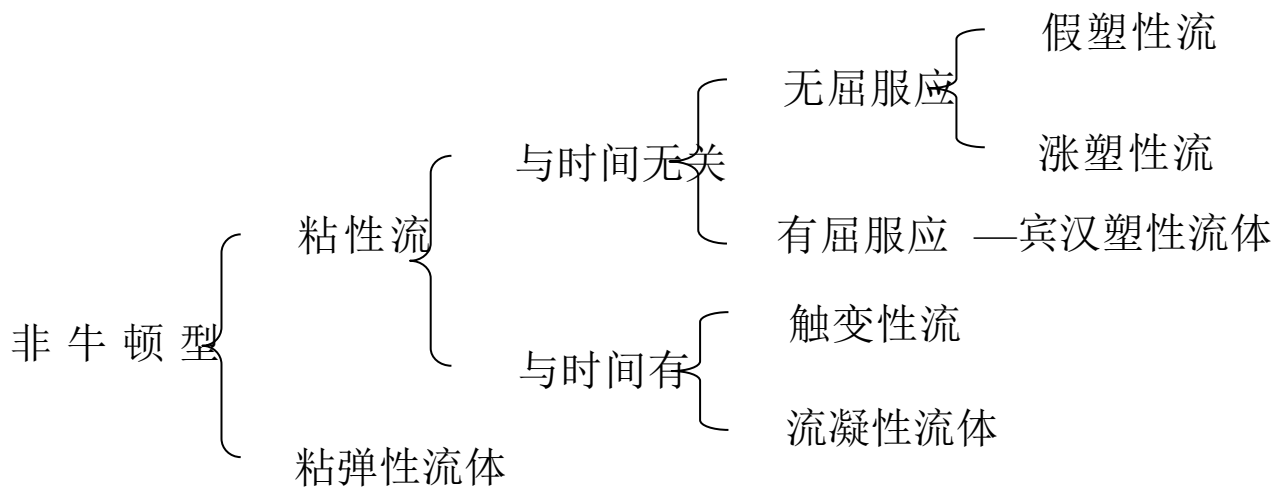
2) 黏度的影响因素

流体本身的性质：如流体的结构、组成等

温度：温度上升导致黏度下降

压力：压力增加导致黏度增加

四、非牛顿液体的流动



（一）与时间无关的流体

τ 对 $\dot{\gamma}$ 关系曲线或是通过原点的曲线，或是不通过原点的直线

对与时间无关的黏性流体来说，黏度一词便失去意义。但是，这些关系曲线在任一特定点上也有一定的斜率，故与时间无关的黏性流体在指定的剪切速率下，有一个相应的表观黏度 η_a 值，即

（1）假塑性流体

特点：

流体的表观黏度随剪切速率的增大而减小，剪切应力对剪切应变作图为向下弯曲的曲线，如图所示

（二）与时间有关的流体

特点：

在一定剪切速率下，非牛顿型流体表观黏度随剪切力作用时间的延长而降低或升高的流体，则为与时间有关的黏性流体。

类型

摇溶性流体

震凝性流体

1) 摇溶性（触变性）流体

特点：表观黏度随剪切力作用时间的延长而降低 解释：在持续剪切过程中，有某种结构

的破坏，使黏度随时间减少举例：

高分子化合物溶液、某些流质食品和油漆

授课日期	第 8-9 周		教案编号	4
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺			
授课题目	课题四 成型用物料的配制			
授课学时	2 节 () ; 3 节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()			
教学目的	1. 了解物料的混合原理和效果评价 2. 掌握粉料的混合认识相关混合机械 3. 掌握粒料的混合和混合机械 4. 了解溶液的制备及分散体系的配制。			
教学重点	1、掌握混合原理			
教学难点	1. 粉料粒料溶液混合的不同机理。			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>); 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>); 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()			
教学过程 时间安排	混合原理和效果评价。 粉料的混合 粒料混合 溶液配制及分散体系配制			
思 考 题	塑料挤出成型的特点是什么？			
作 业	p92 2,3			

课题四 成型用物料的配制

一、概述

成型用的物料有粒状、粉状、液状和分散体，在这些物料中，除了有高分子聚合物树脂外，还有其它的组分，如稳定剂、增塑剂、着色剂、填料等，是多组分的。这些添加剂加入的目的是：改善成型工艺性能；改善制品的使用性能和降低成本。

加入的多组分要混合均匀，且根据成型过程的需要，配成粉状和液状，有的还要制成粒状。

粉料及粒料

在生产中用的较多的是粉料和粒料，粉料和粒料的主体都是聚合物+助剂。

粉料——将树脂和助剂混合分散均匀，只要简单的混合，又叫干混料。

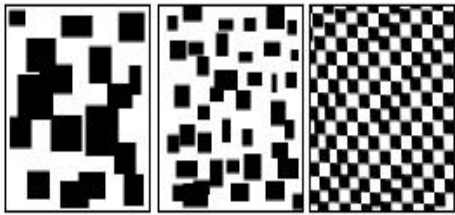
粒料——将粉料通过塑炼(混炼)或挤出作业，使之进一步塑化而制成粒子。

粒料在加工过程中可以减少对成型过程的要求，从而使成型易操作。但是，随着生产技术的提高和设备的改进，目前已有相当多的制品工艺直接用粉料，免去了造粒工序。

二、混合原理和效果评定

- 1、混合理论分析
 - (1).扩散
 - (2).对流
 - (3).剪切
- 2、混合效果的评定
 - (1) 均匀程度；
 - (2) 分散程度。

两组分混合程度相同，分散程度不同

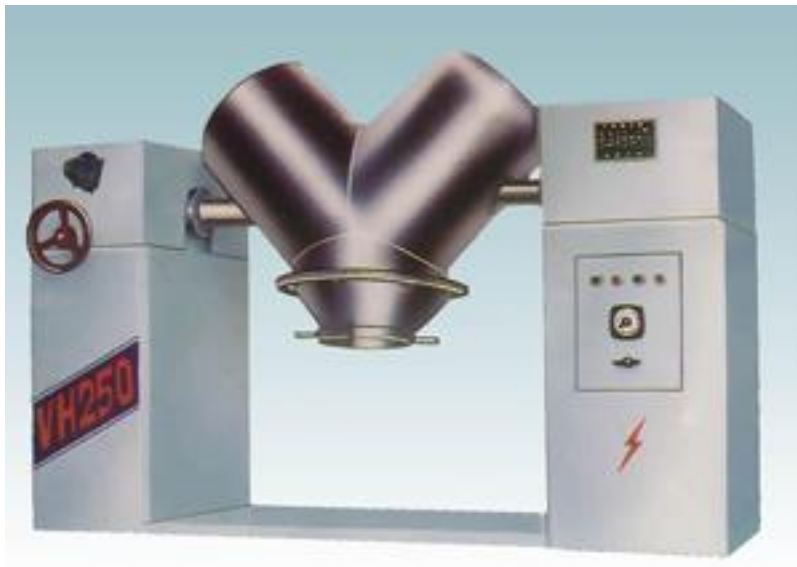


固体物料的混合情况

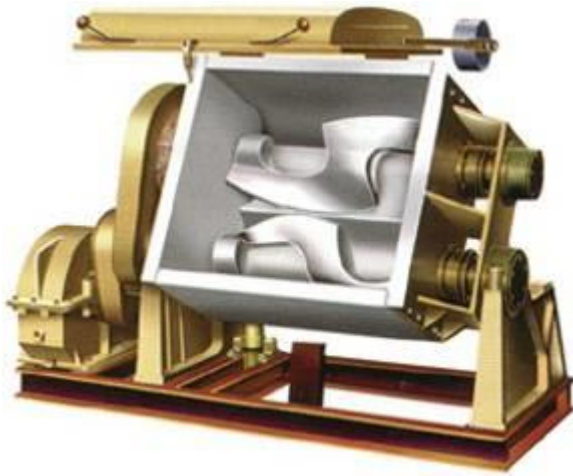
三、粉料的混合

- 1、原料的准备：
 - 树脂的干燥，称量，固体助剂的研磨等。
- 2、原料的混合：
 - (1) 混合设备
 - ①转鼓式混合机，靠混合室的转动来完成。用于非润性物料的混合
 - ②螺带式混合机，多用在高速捏合后物料的冷却上，也叫冷混合机
 - ③捏合机，混合时间长，均匀性差，效率较前两者高
 - ④高速捏合机

3、粉料混合用机械



捏合机





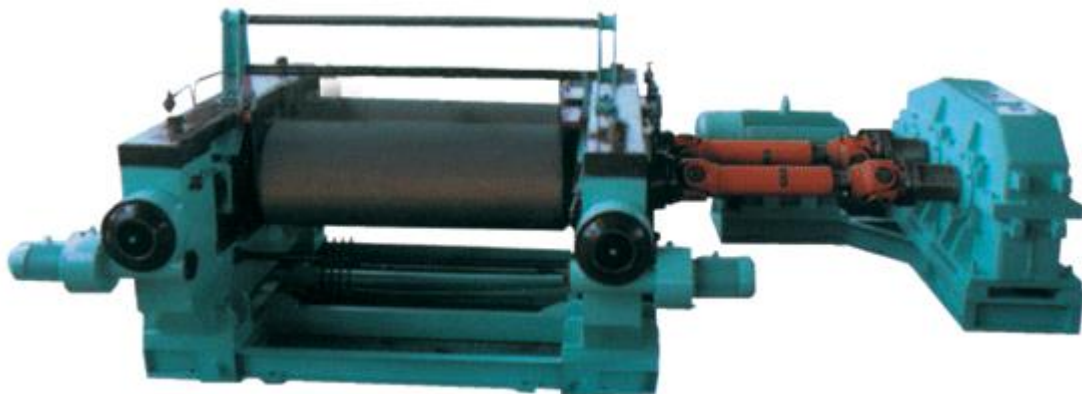
高速混合机

四、粒料

- 选用粒料的原因：
 - 混匀程度高；提高物料的塑性；缩短成型时的塑化时间；成型工艺性能得以提高。
- 1、配制步骤：
 - 粉料制备→塑化→成粒
- 2、塑炼机械：

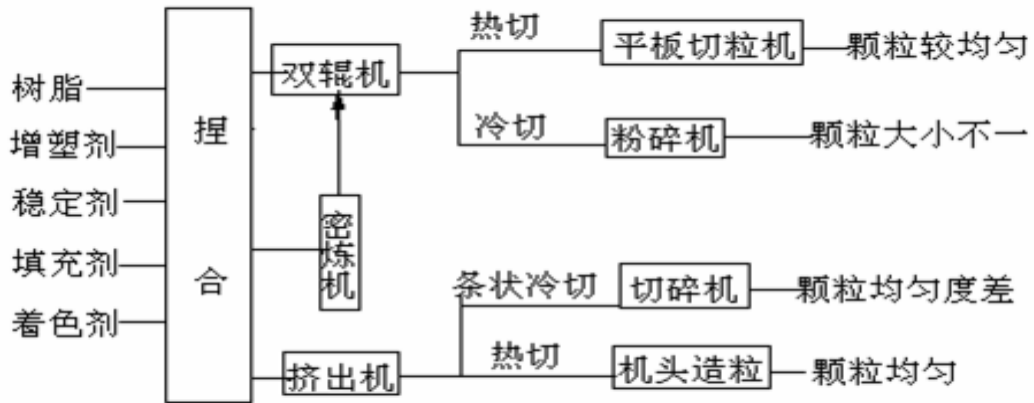
双辊炼塑机、挤出机、密炼机

- 塑炼机械图（双辊炼塑机、挤出机、密炼机）



3、造粒方法：

- (1) 冷切（拉片冷切、挤片冷切、挤条冷切）
- (2) 热切（干热切、空中热切、水下热切）



电线覆盖用PVC配制到造粒工艺流程

挤出造粒



五、 溶液的制备

• 简介：

成型中所用的聚合物溶液，有些是在合成聚合物时特意制成的，如酚醛树脂和聚酯等的溶液。而另一些则需在用时配制，如乙酸纤维素和氯乙烯-乙酸乙烯酯共聚物的溶液等。

• 设备：

配制溶液所用的设备，一般都用附有强力搅拌和加热夹套的釜。为便于将聚合物结块撕裂和加强搅拌作用，也有在釜内加设各式挡板的。

六、分散体的配制

- 分散体又称塑料糊，它是常温下可以流动的固液混合物，主要应用于人造

革、地板革的生产。

- 1、分散体的组成和分类

- (1) 组成:

树脂+非水液体+助剂

- (2) 分类:

塑性胶和有机胶之分→前者为软产品，后者为硬产品。

- 2、制备过程

搅拌→研磨→脱泡

注意：搅拌不能太猛，温度低于 30 度。



行星轮式搅拌器

第一节 物料的初加工与配料

一、物料的预处理

1. 物料的细化

(1) 粉碎

(2) 筛析

(3) 研磨

2. 物料的干燥

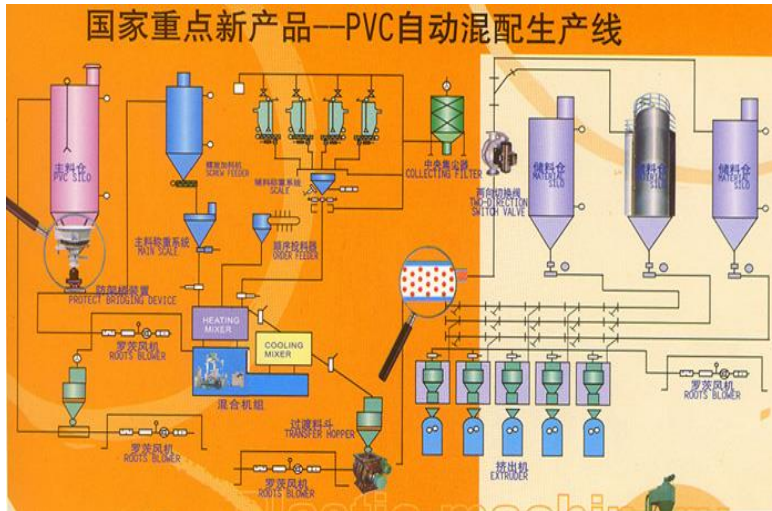
(1) 树脂与添加组分的吸湿性

(2) 干燥设备

(3) 影响干燥的因素

(4) 干燥条件

二、物料的输送与计量



三、塑料分散体及其制备

1. 塑料分散体及其分类

- (1) 塑性溶胶
- (2) 有机溶胶
- (3) 塑性凝胶
- (4) 有机凝胶

2. 分散体的组分及其作用

(1) 聚合物（树脂）

聚合物是塑料的主要成分，它决定了制品的基本性能。

成型用的聚合物有二十多种，每一种又有不同的牌号，适合不同的制品性能，选择聚合物时要根据制品的要求检验选取。在一些手册都有论述。用时可查。

常用来进行配料的聚合物主要是聚氯乙烯(PVC)。根据分子量大小可将PVC分为不同型号。

分子量偏高、颗粒结构紧密、与增塑剂和溶剂作用较难的，配制时所需的温度高、较高的外作用力和较长的作用时间。

部分 pvc 树脂型号及用途

型号	(K值) 平均聚合度	用途
SG1	(77-75)	高级电绝缘材料
SG2	(74-73)	电绝缘材料、薄膜、软制品
SG3	1350-1250	电绝缘材料、农用薄膜、人造革表面膜、全塑凉鞋
SG4	1250-1150	工业和民用薄膜、软管、人造革、高强度管材
SG5	1100-1000	透明制品、硬管、硬片、单丝、套管、型材
SG6	950-850	唱片、透明片、硬板、焊条、纤维
SG7	850-750	瓶子、透明片、硬质注射管件、过氯乙烯树脂

(2) .分散剂：包括增塑剂 和挥发性溶剂

增塑剂——降低塑料的软化温度范围、提高其加工性、柔韧性或延展性而加入的一类低挥发性、对热和化学试剂都很稳定的有机液体，较少数是低熔点的固体。

(3) .热稳定剂

根据制品的原料、加工和使用要求,加入的稳定剂类型不同。比如在聚氯乙烯中必须加入热稳定剂,来抑制加热过程中的降解；PE、PP 等加入抗氧剂;在户外使用的制品加入光稳定剂（紫外线吸收剂、光屏蔽剂）等。稳定剂的用量一般为 1%-2%最多不超过 5%。

(4) 稀释剂

(5) 胶凝剂

(6) 填料

作用：降低成本、提高强度、改善加工性能或赋予制品某些新的性能。加入的填料常用粉状，也有纤维状和片状。如玻璃布可以增强、石棉可以耐热等。它的用量一般在 40%以内，但有的已加到 200%，如钙塑代木制品。常用有碳酸钙、碳黑、白碳黑、高岭土、硫酸钡、石膏、滑石粉、木粉等。

(7) 表面活性剂

(8) 其他助剂

3. 分散体的制备

- 球磨机

4. 分散体的黏度

- 作业

p92 2, 3

授课日期	第 10-11 周		教案编号	5
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺			
授课题目	课题五 高分子熔体在模内的流动行为			
授课学时	2 节 () ; 3 节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()			
教学目的	1. 了解高分子溶体在在模具内的各种流动行为			
教学重点	1. 牛顿流体和非牛顿流体的流动特性			
教学难点	1. 掌握非牛顿流体的特性			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()			
教学过程 时间安排	末端效应 入口效应 离膜效应 流体特性			
思 考 题	高分子溶体在模内的流动行为有哪些			
作 业				

高分子熔体在模内的流动行为

端末效应

注射成型时，聚合物熔体经常需要通过截面大小不同的浇口和流道，当熔体经过流道截面变化的部位时，将会因界面的影响发生弹性收敛或膨胀运动，这些运动统称为端末效应。

端末效应对于制品质量的危害

可导致制品变形扭曲、尺寸不稳定、内应力过大和力学性能降低等。

端末效应种类：入口效应和离模膨胀效应。

1. 入口效应

聚合物熔体在管道入口端因出现收敛流动，使压力降突然增大的现象。

如图所示，熔体从大直径管道进入小直径管道，需经一定距离 L_e 后方能稳态流动

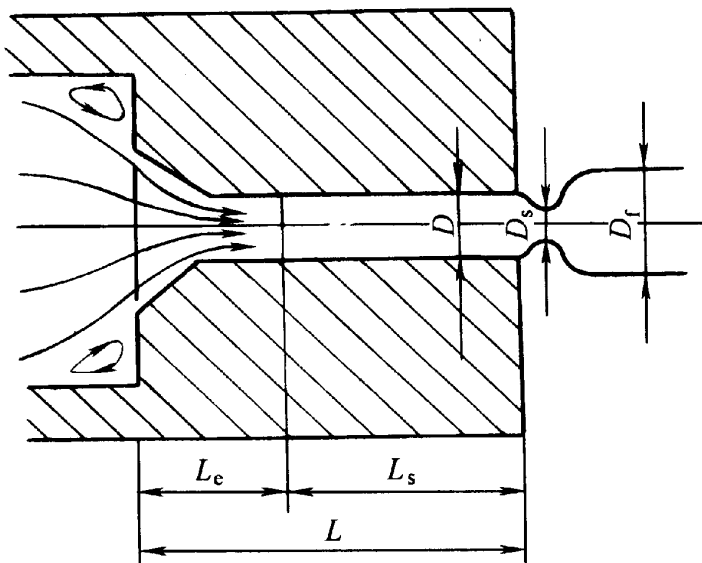


图 2-23 聚合物液体在管道入口区域和出口区域的流动

入口区压力降突增的原因：

① 聚合物以收敛方式进入小直径管时，为保持体积流率不变，如果管壁处的流速仍保持为零就只有增大熔体内的速度梯度，才能满足调整流速的要求，为此只有消耗适当的能量才能增大速度梯度，加之随流速的增大，流动的动能也相应增大，这也使能量的消耗增多；

②熔体内的剪切速率增大，迫使聚合物大分子更大和更快的变形，而这种具有高弹性特征的形变，需克服分子内和分子间的作用力，也要消耗一定的能量。

2. 离模膨胀效应

什么是离模膨胀效应？

当聚合物熔体流出流道或浇口时，熔流发生体积膨胀的现象叫做离模膨胀效应。

离模膨胀的原因：聚合物熔体从流道中流出后，周围压力大大减小，聚合物内的大分子突然变得自由，流动变形中已经伸展开的大分子链重新恢复蜷曲，各分子链的间距随之增大，熔体在流道中形成的取向结构也将重新恢复到无序的平衡状态，导致聚合物内自由空间增大，于是体积相应发生膨胀。

影响离模膨胀的因素：

(1) 黏度大和非牛顿性强的聚合物熔体在流动过程中容易产生较大的弹性变形，故离模膨胀效应严重。

(2) 增大流道直径和流道的长径比，以及减小流道入口处的收敛角，都能减小熔体流动过程中的弹性变形，从而减轻离模膨胀效应。

(3) 增大切应力和剪切速率(不能超过极限值)时，聚合物熔体在流动过程中的弹性变形随着增加，离模膨胀效应加剧。

(4) 在中等剪切速率范围内，降低温度不仅会增大入口效应和延长松弛时间，同时还会因此而加剧离模膨胀效应。但当剪切速率超过稳定流动允许的极限剪切速率后，离模膨胀反而会随剪切速率增大而减小。

高分子熔体在长圆管中的流动

假设：聚合物流体（熔体或分散体）在圆管内作压力流动、层流，且在等温条件下稳态流动。

▪ 取一液柱进行分析推导可以得出任意半径 r 处的流层所受到的剪切应力为：

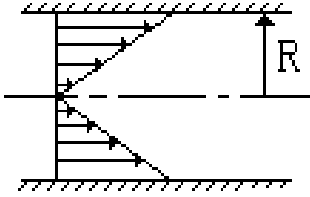
$$\tau = \frac{r\Delta P}{2L}$$

P 为圆管两端的压力降、 L 为管长。从式中可知，

管壁处剪切应力最大，中心处为零；

剪切应力与流动性无关；

剪切应力在液体中的分布与半径成正比，并呈直线关系；如图：



1、牛顿流体

剪切应力与剪切速率的关系是直线

剪切速率就是流体速度沿半径方向的变化速率（速度梯度），把剪切应力关系式带入积分得任意半径速度关系式

得圆管中的层流流动的速度分布为一椭圆函数

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

2、非牛顿流体

剪切应力与剪切速率是非直线的

同理可得任意半径处速度分布得公式 1-29

$$\tau = K \left(\frac{dv}{dr} \right) = K \dot{\gamma}^n$$

由此看出，速度分布与流动指数有关，在中心处流速最大，管壁处为零。在管径方向的分布可用图表示

在资料上所查的流动曲线大多数是用牛顿流体的剪切速率作出的，将非牛顿流体的剪切速率看作牛顿流体时的剪切速率，即所谓的表观剪切速率（又叫牛顿剪切速率）。

$$\dot{\gamma}' = \frac{4Q}{\pi R^3}$$

真实剪切速率与表观剪切速率的关系

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{3n+1}{4n} \right) \dot{\gamma}'$$

为非牛顿流体的拉宾罗维奇（Rabinowitsch）改正。

同样也可以用流动常数 K 来修正，引入一个表观流动

$$K = \left(\frac{3n+1}{4n} \right) K'$$

在工程上，处理非牛顿流体时，就可以先作为牛顿流体看待，然后在进行修正，使结果更真实。

授课日期	第 12-14 周		教案编号	6
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺			
授课题目	课题六 常用高分子材料			
授课学时	2 节 () ; 3 节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()			
教学目的	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握各种常用树脂、橡胶的名称 2. 掌握各种常见高分子和合成单元及合成条件 3. 了解各种高分子的用途 			
教学重点	1. 常用高分子的名称及合成单元和用途			
教学难点	1. 常用高分子的合成单元及合成条件			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()			
教学过程 时间安排	<ol style="list-style-type: none"> 1、常用树脂 2、常用树脂的合成 3、常用橡胶 4、常用橡胶的合成 			
思 考 题	请说出有哪些常用树脂			
作 业				

课题五 常用高分子材料

第一节 常用树脂

一、热固性树脂

1. 定义

在制造或加工的某个阶段是可以溶解或熔化的固态，或可以流动的液态，通过加热、催化或其它方法（如紫外线等射线的作用）发生化学变化后交联成既不能溶解也不能受热熔化的三维体形结构树脂。

2. 常见热固性树脂的种类

- ✓ 酚醛树脂
- ✓ 不饱和聚酯
- ✓ 氨基塑料
- ✓ 聚氨酯
- ✓ 环氧树脂

1. 酚醛树脂

• 原料

①酚类——苯酚；甲酚；二甲酚；对苯二酚

②醛类——甲醛；康醛

③最常用苯酚和甲醛制备树脂

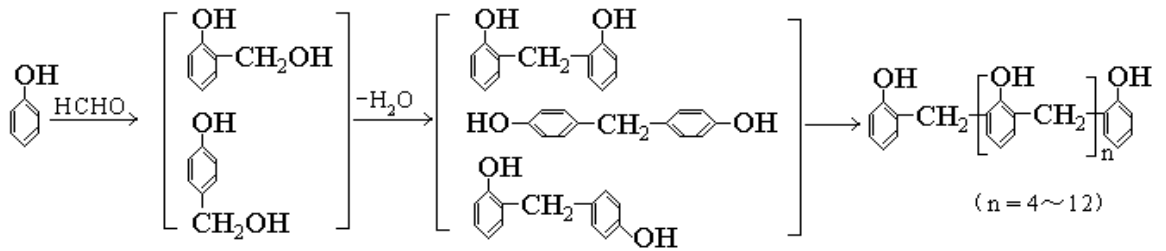
酚醛树脂的制备

- 酸法酚醛树脂——热塑性的，可反复加热冷却，必须加入固化剂固化交联
- 碱法酚醛树脂——热固性的，加热后即反生化学交联反应而固化，不可再重新加热熔化

酸法酚醛树脂的合成

- 催化剂——酸
 - 原料——苯酚和甲醛
 - 投料比——摩尔比 1:0.8
 - 产品种类——和反应体系的 pH 值有关
- 1) pH<3 以酚的邻对位均参预反应
 - 2) pH=4~7 以邻位为主

酸法酚醛树脂的合成

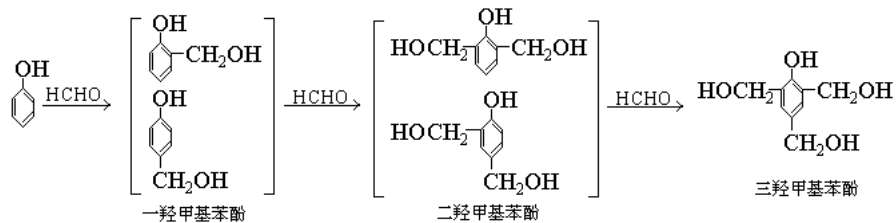


碱法酚醛树脂的合成

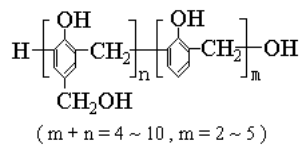
- 催化剂——碱：氢氧化钠、氨水和氢氧化钡
- 原料——苯酚和甲醛
- 投料比——摩尔比 1~1.5，甲醛过量
- 合成步骤
 - 1) 甲醛与苯酚加成，生成多羟基苯酚
 - 2) 各种羟甲基酚间的缩聚反应，得热固性

含羟甲基的酚醛树脂产品

第一步 多羟甲基苯酚的合成



第二步 羟甲基苯酚间的缩聚



酚醛塑料

• 定义

以 PF 树脂为基料，加入各种添加剂后所制成的材料统称 PF 塑料

• 种类

1) 酚醛模压塑料

2) 酚醛层压塑料

酚醛模压塑料

- 主要成份

1. 热塑性酚醛树脂
2. 固化剂：六亚甲基四胺
3. 固化促进剂：氧化镁
4. 填料：木粉、石棉粉、云母粉、石英粉
5. 润滑剂：硬脂酸及其盐
6. 着色剂：以黑、棕等色为主
7. 配制方法

- 1) 干法

混合——熔融混炼——冷却、粉碎、过筛

- 2) 湿法

采用较少

- 制备方法

第一步：用甲阶树脂浸渍片状材料

第二步：经烘干得增强的酚醛塑料预浸料

第三步：模压或缠绕成型得制品

- 性能

力学性能：硬度高；耐腐蚀；耐燃；耐热；

电绝缘性能：尺寸稳定；

- 应用

电绝缘材料——电木

碳纤维增强——用于飞机、汽车及烧蚀材料

2. 不饱和聚酯

定义：主链中含有不饱和双键的一类聚酯

主要原料

- ① 不饱和二元酸或酐：顺丁烯二酸或酐，反丁烯二酸，
- ② 饱和二元酸：邻或间苯二甲酸（调节性能）
- ③ 醇：乙二醇、丙二醇、丙三醇
- ④ 交联剂、引发剂和促进剂：用于交联

⑤玻璃纤维：用于增强

• 性能

玻璃纤维增强不饱和聚酯

密度轻，强度好，可常温常压固化

• 应用

结构材料：大型、异型壳体

建筑材料、防腐材料

3. 氨基塑料

• 定义：以氨基树脂为基本组分的塑料

• 原料

①含氨基官能团的单体：尿素或三聚氰胺

②醛类

• 主要品种

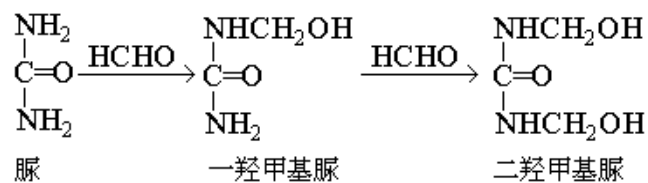
①脲-甲醛

②三聚氰胺（蜜胺）甲醛树脂

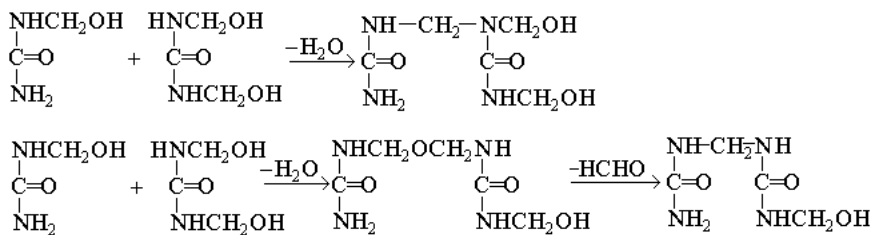
③脲-三聚氰胺甲醛树脂

氨基树脂的合成

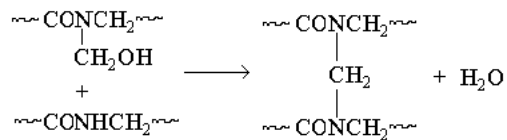
• 第一步：羟甲基脲的合成



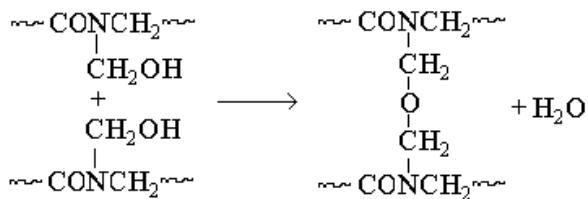
• 第二步：羟甲基与尿素或羟甲基间的缩合



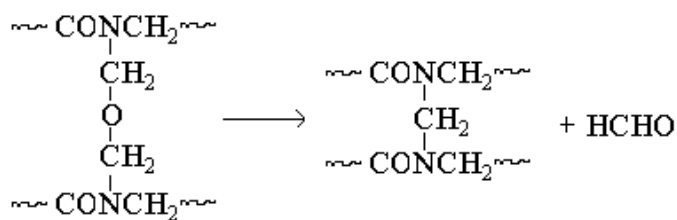
• 第三步：缩合 1（羟甲基和活泼氢间反应）



- 第三步：缩合 2（羟甲基间反应生成醚键）



- 第四步：脱甲醛



氨基塑料

- 组成

①氨基树脂

②填料：纤维素；木粉；纸浆；云母；石棉

③固化剂：草酸；磷酸三甲酯

④稳定剂：六亚甲基四胺

⑤润滑剂：

⑥着色剂

⑦压塑粉的制备

第一步：羟甲基脲的水溶液与添加剂捏合

第二步：干燥

第三步：粉碎等氨基压塑粉（电玉粉）

第四步：模压成型得制品

层压板的制备

①浸渍（氨基树脂水溶液浸片状物）

②干燥得预浸料

③叠合层压固化得制品

④脲醛树脂的性能及用途

1. 质硬、耐刮痕、无色透明、耐电弧、耐燃

——制电器开关、插座、照明器具

2. 无毒、耐油、不受弱碱和有机溶剂的影响

——日用器皿、食具，装饰面板、字具、
包装器材

三聚氰胺-甲醛树脂

1. 具备脲醛树脂的特点

2. 耐热水——仿瓷制品，如餐具、厨房用具

3. 纤维增强材料——耐电弧——开关、灭弧罩

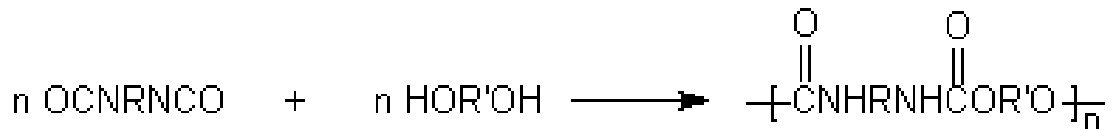
防爆电器、飞机发动机

零件及电器零件

4. 聚氨酯

✓ 特点：

分子链中含氨基甲酸酯基团的聚合物

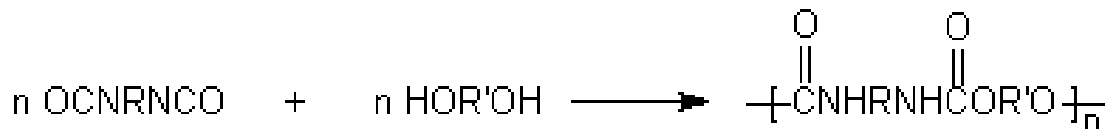


✓ 原料：含羟基的聚醚树脂或聚酯树脂

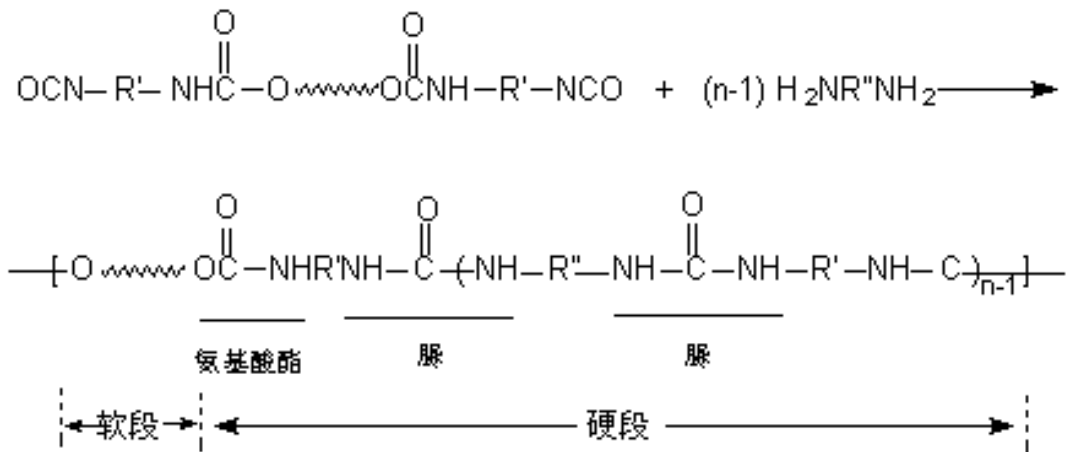
异氰酸酯，扩链剂、交联剂、催化剂等

✓ 反应：亲电加成

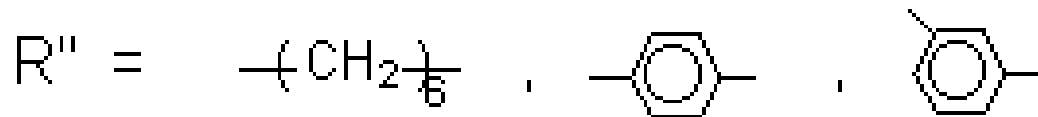
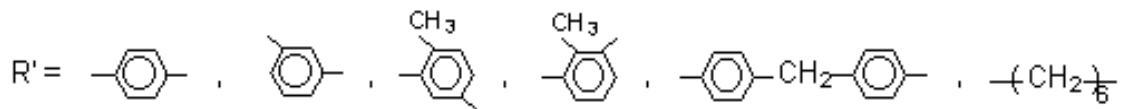
• 合成步骤一



• 合成步骤二（扩链）

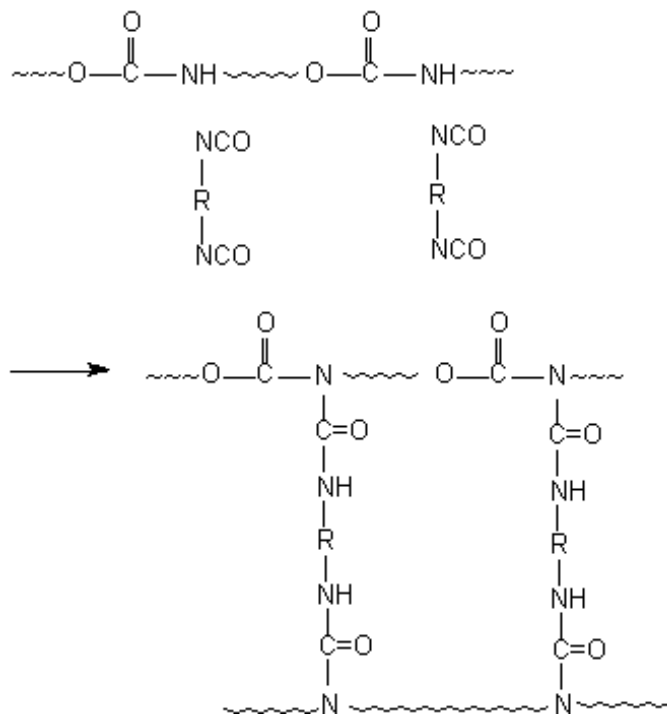


- 异氰酸酯及扩链剂中烷基的主要类型



(R''不存在时即为脍 H₂N—NH₂)

- 合成步骤三



✓ 应用

- ① 泡沫塑料

② 弹性体

③ 纤维 (氨纶)

④ 涂料

⑤ 胶黏剂

5. 环氧树脂

• 特点

分子链两端: 含环氧基团

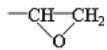
分子链中间: 含醚基或羟基 —O—; —OH

交联基团: 环氧基、羟基、醚基

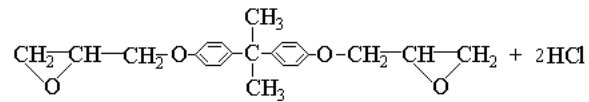
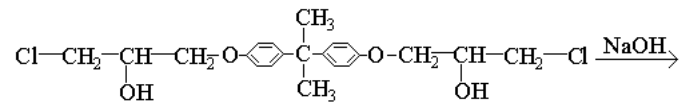
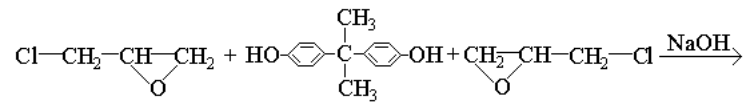
总结: 含有两个或两个以上环氧基团能交联的聚合物

特点: 热塑性

需加固化剂交联形成三维网状热固性聚合物



• 双酚 A 型环氧树脂的合成 (反应一、二)



授课日期	第 8 周		教案编号	7
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺			
授课题目	课题七 高分子材料加工中的聚集态			
授课学时	2 节 () ; 3 节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()			
教学目的	1 了解高分子加工过程中的结晶 2 掌握成型-结晶-性能之间的关系			
教学重点	1. 成型-结晶-性能之间的关系			
教学难点	1. 结晶和性能之间的关系			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()			
教学过程 时间安排	加工过程中的结晶 结晶-成型-性能之间的关系			
思 考 题	结晶会对高分子性能带来哪些影响			
作 业				

高分子材料加工中的聚集态

一、加工过程中的结晶

1. 高分子材料的结晶能力

(1)、有规整的重复空间结构的聚合物通常都能结晶，如 PE，链结构简单规整，易结晶。但也允许若干部分的不规整，如支链、交链或构型上其他的不规整性，但是不规整部分不能多，规整序列仍然应占绝对优势。

分子空间排列规整是聚合物结晶的必要条件，但不是充分条件。

(2)、适当的分子间力

分子链节间的次价力——偶极力、诱导力、范德华力和氢键的作用力有利于形成结晶，分子间力越大结晶结构越稳定，结晶度和熔点越高。如果分子间力太小，就不能克服分子热运动的吸力，也就无法结晶。如天然橡胶，常温下分子间力太小，不能结晶， -24°C 时方可结晶；尼龙，分子间存在氢键，结晶能力强，在 200°C 晶粒还不受破坏。

(3) 分子链节小，柔顺性适中，都有利于结晶。链节小，易于形成晶核；柔顺性适中一方面不容易缠结，另一方面使其具有适当的构象才能排入晶格形成一定的晶体结构。

(4) 缩聚物比加聚物结晶困难。因为缩聚物重复结构单元通常比加聚物长。

此外，再生料和新料之间结晶性也有区别

结晶能力是聚合物结晶倾向的说明，是内因；究竟有结晶倾向的聚合物能否结晶，还取决于外因即：外界条件。如结晶温度，冷却速度等。例如：PET 聚对苯二甲酸乙二醇酯，迅速冷却，骤冷得无定型产品，长时间不变； $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 缓慢冷却，形成结晶度高的产物。所以有结晶倾向的高聚物可以是结晶型的，也可以是无定型的，这由加工条件决定，而且聚合物的结晶是不完整的，并非 100%。

2. 球晶形成速度与温度

热运动的自由能和内聚能要有适当的比值是大分子进行结晶所必须的热力学条件。

温度必须在 T_g-T-T_m 之间

最大结晶速率温度 $T_{\max}=0.85T_m$

$T_{\max}=0.63T_m+0.37T_g-18.5$

3.结晶度

4.结晶速率

5.二次结晶、后结晶、退火处理

二、成型-结晶-性能之间的关系

1.结晶-性能的关系

“交联点”，限制链段的运动

力学性能

热性能

2、成型-结晶的关系

(1)、冷却速率的影响

在 $T_g \sim T_m$ 之间冷却速度取决于熔体温度和冷却介质温度之间的温差 $\Delta T = T_m - T_c$ T_c 为冷却介质的温度。

a) 当 T_c 接近 T_m 时， ΔT 很小属于缓慢冷却，冷却速度慢，形成晶核少，晶体易长大，在制品中易生成大的球晶，使制品发脆，力学性能下降，生产周期长，成型过程中不采用。

b) 当 $T_c \ll T_g$ 时， ΔT 大，熔体过冷程度大，大分子链段重排，松弛过程要滞后温度变化，来不及结晶，变为过冷液体，成为无定型态，制品具有明显的体积松散性，密度小。

对厚的制品来说，表面冷却而内部却慢慢结晶，制品内外结晶不一致，易使制品产生内应力，脱模后继续结晶。尤其是 PE(-120°C)、PP(-18°C)、POM(-50°C) T_g 很低，在室温下 T_g 以上都会后结晶，使制品形状、尺寸发生变化，造成翘曲、开裂等不良现象。

c) T_c 在 T_g 以上附近的温度，中等冷却速度，聚合物表面很快结晶，内部处于 T_g 以上，有利于晶核的形成，晶核生长好，晶态完整，结构稳定，成型周期短，高聚物一般采用这种冷却温度。

2、熔融温度和熔融时间的影响

在成型时，如果熔融温度较高，时间较长，原来结晶结构破坏较多，残存晶核少，熔体冷却时晶核生成以均相成核，结晶速度慢，尺寸大；成型熔化时，温

度低、时间短，残存晶核多，熔体冷却时以异相成核，结晶速度快，尺寸小且均匀性能好，制品力学性能提高，耐热性理想。

3、应力的影响

高聚物受应力作用时，加速结晶过程，当高聚物受拉伸和剪切作用时，大分子沿受力方向伸直，且生成有序区，诱发成核，使得晶核形成时间缩短，晶核增加，结晶速度加快，且随拉伸和剪切速率的增加而增加。如：PP、PE 纺丝拉伸时，结晶速度比不拉伸时快 1000 倍。

压力影响球晶的大小：压力低能生成大而完整的晶体；高压下形成小而形状不规则的球晶。压应力会使聚合物的结晶温度提高。如在注射制品时，压应力控制不当，会使最大结晶速率温度提高，此时即使熔体温度很高，由于提前出现结晶而引起粘度急剧增加，将使成型发生困难。

4、成核剂与结晶行为

在聚合物熔体结晶过程中起晶种作用的试剂，也称为成核剂。

加入后能加快结晶速率，生成的球晶尺寸小，材料刚性增加，力学性能提高，透明性提高。溶剂 CCl₄ 扩散到聚合物中，能使其在内应力作用下的小区域加速结晶。

三、成型过程中的定向作用（取向）

高分子或纤维状填料在很大程度上顺着流动的方向作平行排列，这种排列常成为定向作用。又叫取向。取向单元可以是高分子也可以是链段、微晶、分散粒子等。

取向的结果使产品出现各向异性（力学性能）。原因有二：一是克服次价键所需的力要比克服主价键所需的力小的多；二是取向过程中消除了存在于材料的某些缺陷（如微孔等），或使某些应力集中物同时顺着力场方向取向，这样，应力集中效应在平行的方向上减弱，在垂直方向加强。

塑料在成型加工过程中均有取向作用，一般包括两种。

1、纤维状填料的定向

对于热固性塑料制品

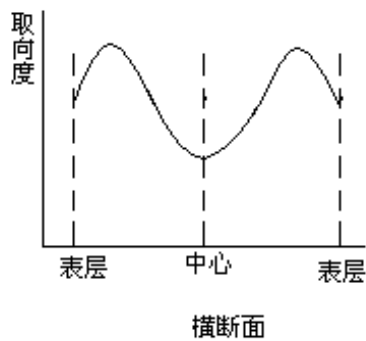
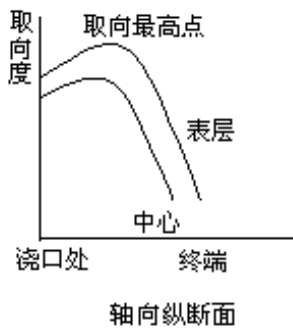
一般用带有填料的热固性塑料模塑制品的方法有两种，一种是压缩模塑，这种方法的定向作用很少可以忽略；另一种是传递模塑和注塑，这种方法会引起纤

维状填料的取向。

以扇形模具为例分析。

对于热塑性塑料：在成型过程中基本是物理变化，大分子和填料的定向在使用过程中有恢复原状的趋势，定向程度可以减小，温度适宜时甚至完全解取向。但是会使收缩率增加。

- 2.加工过程中的分子链取向
- 管道和模具中的流动
- 进入模腔后



3.塑料材料的拉伸取向

在成型加工过程中，在 $T_g \sim T_m$ 间对聚合物中间产品沿着一个或两个相互垂直的方向拉伸至原来长度的几倍，使其中的聚合物链段、分子链或微晶结构沿拉伸方向做整齐排列的过程，叫做拉伸定向。

经过拉伸并迅速冷却至室温的薄膜或片材等，在拉伸方向的机械强度和抗蠕变性能等都得到较大提高。因此拉伸取向可以看作在成型过程中对塑料进行的一种物理改性。

一般热塑性塑料都能取向，目前，能够拉伸且取得良好效果的高聚物有：
PVC、PET、PA、PE、PP、PS。

(1) 无定形塑料材料的拉伸取向

低温、快拉、骤冷。

(2) 结晶性塑料的拉伸取向

(PET、PP、PE 等)

对结晶塑料进行拉伸应注意

A 不希望在结晶状态下拉伸

在结晶状态下拉伸取向所需的应力大，结晶度高，拉伸应力大，易在拉伸应力下破裂；结晶聚合物有晶区和非晶区，它的取向发展速度不同，晶区快，非晶区慢，取向程度晶区高于非晶区，性能不同；结晶后拉伸易产生细颈现象，使延伸不均。

所以拉伸时使结晶度尽量小，温度在 T_g 附近或 T_m 以上。具体聚合物应根据结晶行为进行分析。

B 拉伸时会使结晶产生，并加速结晶过程，同时还会使原本存在的晶体结构发生变化（拉伸前已存在晶相的聚合物）和晶相定向。一旦被拉伸物存在晶相，会产生拉伸不均匀现象，产生细颈，产生细颈区越多，制品性能越差，厚度波动越大。

C 结晶聚合物拉伸伴有热量产生，如果制品厚度不均，或散热不良，很容易破坏拉伸的等温状态，从而影响产品质量，因此拉伸定向最好也是在温度梯度下降的情况下进行。

D 进行热处理。在继续保持拉伸状态下加热到最大结晶速率温度。保持一段时间，直到所要结晶度为止。因为，结晶会限制分子的运动。热处理温度和时间应在能使聚合物形成的结晶度足以防止收缩的区域内。这样的膜或丝，稳定性好、强度高、收缩小、透明。

作业

P37 :13, 14

授课日期	第 9 周		教案编号	8
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺			
授课题目	课题八 塑料挤出成型			
授课学时	2 节 () ; 3 节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()			
教学目的	1. 掌握挤出成型的特点和工艺过程 2. 了解单螺杆挤出机的结构和主要部件的主要技术参数 3. 掌握高分子材料在单螺杆挤出机中的流动, 掌握提高挤出量的生产措施			
教学重点	1. 掌握高分子材料在单螺杆挤出机中的流动, 掌握提高挤出量的生产措施			
教学难点	1. 了解单螺杆挤出机的结构和主要部件的主要技术参数			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()			
教学过程 时间安排	第一节 挤出成型概论 第二节 通用塑料制品挤出工艺简介			
思 考 题	塑料挤出成型的特点是什么?			
作 业	P113 2			

第八章 塑料挤出工艺

一、概述

1.定义:

挤出机中通过加热、加压而使塑料以流动状态通过口模成型的方法

2.挤出生产线的组成:

主机: 将塑料熔融并挤出的挤出机

辅机: 机头、口模、冷却系统、牵引系统和卷取系统或切割系统。

3.主要原料:

几乎所有的热塑性塑料都可挤出成型

4.主要产品

成品: 管材、薄膜、板材(或片材)、棒材、丝、异型材、电线电缆等;

半成品: 为其它工艺提供塑化的物料对材料进行改性

5.挤出成型的特点

设备制造容易, 投资少, 产品质量高;

设备自动化程度高, 生产连续, 效率高;

生产操作简单, 工艺控制容易, 劳动强度低;

设备适用于大多数的热塑性塑料和部分热固性塑料, 并且只要更换生产线辅机, 就可以生产出不同的制品或半成品;

生产线的占地面积小, 且生产环境清洁.

6.挤出机的种类

螺杆式挤出机

柱塞式挤出机

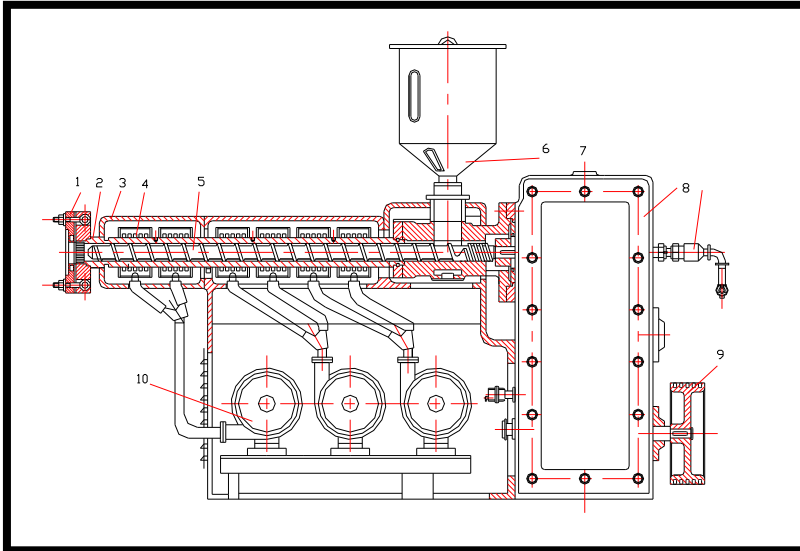
7.挤出用物料的种类

干法

湿法

8、挤出成型发展趋势

大型化、高速化、自动化



螺杆直径

螺杆长度

螺杆长径比

加料段长度及其螺槽深度

压缩段长度及其螺槽深度

计量段长度及其螺槽深度

几何压缩比

螺纹升角

螺间距

螺棱宽度

螺杆头部形状

二、塑料在挤出机中的状态及流动

1. 物料在挤出机中的运动变化过程

加料段：进入机的塑料随着螺杆的旋转被螺纹强制地向机头方向推进并建立压力；

压缩段：随着螺槽深度变浅，塑料在此段被压实并将物料间的气体从加料口排出；同时物料在此段也逐渐熔化；

计量段：塑化后的物料在此段进一步被剪切、混合、均化后挤出；

机头：挤出机挤出的熔体经过滤网、多孔板、机头后经冷却定型后得制品分类

1. 啮合式

啮合式同向旋转双螺杆挤出机

啮合式异向旋转双螺杆挤出机

2. 非啮合式

非啮合式同向旋转双螺杆挤出机

非啮合式异向旋转双螺杆挤出机（未用）

螺杆为锥形，相互啮合且旋转方向相反

螺距或螺槽深度分为渐变和不变型；

对物料的正向输送作用较好，当螺杆间间隙设计合理时，还可以有较好的剪切塑化作用，有利于获得塑化均匀的熔体压缩比较大，对熔体有较好的压密作用，温度调节性能较好，并且螺杆特性曲线较硬，可以用于热敏性物料的加工。

可分为低速型和高速型两种；

低速型啮合同向双螺杆挤出机的正向输送特性较好，物料停留时间短，混合效果一般，主要用于型材挤出，如紧密啮合型同向双螺杆挤出机；

高速型啮合同向双螺杆挤出机正向输送特性稍差，停留时间分布宽，挤出量不稳，主要用于特种聚合物的加工操作，如配混、改性等，如自洁型双螺杆挤出机，速度最高可达 600r/min。

全啮合封闭的异向旋转双螺杆挤出机中物料基本处于正位移输送状态，停留时间分布函数曲线很窄，近于塞流分布；螺槽封闭，又使物料无相互间的交换；又由于螺杆异向旋转，对物料提供的剪切力也较小，故混合效果较差。全啮合型转速低，可用于挤出制品；而纵横向均有间隙型的双螺杆挤出机，转速可提高，可用于配混用途。

授课日期

第 10、11 周

教案编号

9

课程名称	高分子材料基本加工工艺	专业班级	应用化工技术
------	-------------	------	--------

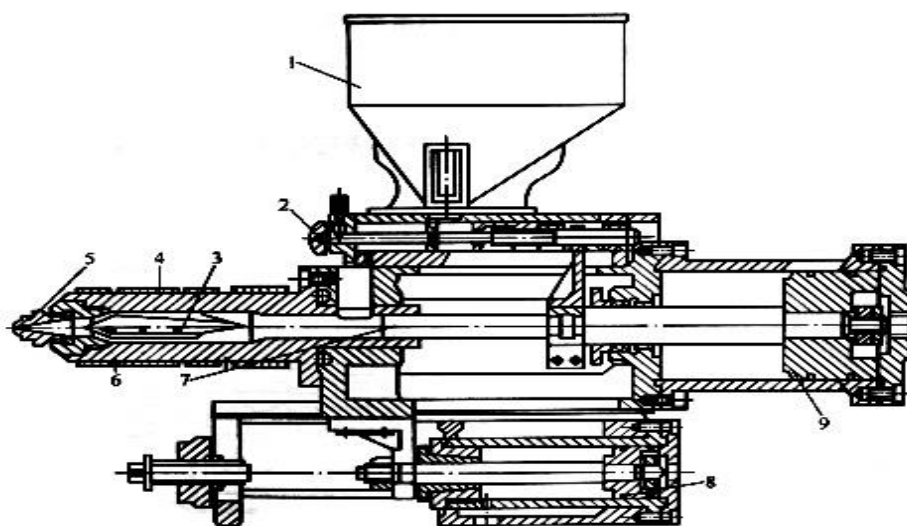
教材名称	高分子材料基本加工工艺	
授课题目	课题九 塑料注射成型	
授课学时	2 节 ()；3 节 ()；其它 (√)	
课 型	理论 (√)；实验 ()；见习 ()；实训 ()；其它 ()	
教学目的	1. 掌握热塑性注射成型工艺过程和基本工艺参数 2. 了解塑料注射成型设备的主要技术参数	
教学重点	1. 掌握热塑性注射成型工艺过程和基本工艺参数	
教学难点	1. 掌握热塑性注射成型工艺过程和基本工艺参数	
教学方法	讲授 (√)；讨论 (√)；指导 ()；示教 ()；其它 ()	
电子教案	有 (√)	Microsoft PowerPoint ()；Author ware ()；其它 ()
	无 ()	
教学资源	多媒体 (√)；模型 ()；标本 ()；实物 ()；音像 ()；其它 ()	
教学过程 时间安排	第一节 塑料注射成型原理 第二节 注塑工艺参数的设置 第三节 特种注射成型工艺	
思 考 题	塑料注射成型机的主要技术参数有哪些？	
作 业	P136 2、4、6	

课题九 塑料注射成型

一、概述

注射成型是将塑料加热熔融塑化后，在柱塞或螺杆加压下，物料通过机筒前

端的喷嘴快速注入温度较低的闭合模具内,经过冷却定型后,开启模具即得制品。这种成型方法是一种间歇式的操作过程,可生产结构复杂的制品,其成型制品占目前全部塑料制品的20~30%,是塑料成型加工中重要方法之一。



柱塞式注塑机

1—料斗；2—计量装置；3—分流梭；4—加热器；5—喷嘴；6—机筒；
7—柱塞；8—移动油缸；9—注塑油缸

注射成型也称注塑,是塑料的一种重要成型方法。

适用原料:

除极少数几种热塑性塑料外,几乎所有的热塑性塑料都可用此法成型。注射成型也能加工某些热固性塑料,如酚醛塑料等。

3. 成型周期

注射成型周期从几秒钟到几分钟不等。周期的长短取决于制品的壁厚、大小、形状、注射成型机的类型以及所采用的塑料品种和工艺条件等。

生产周期短、生产效率高;

能成型形状复杂、尺寸精确或带嵌件的制品;

成型塑料品种多;

易于实现自动化。

因此广泛用于各种塑料制品的生产。其成型制品占目前全部塑料制品的20~30%。注射成型是一种比较先进的成型工艺,目前正继续向着高速化和自动化方向发展。

一、塑料注射成型机的主要技术参数

注射量

注射压力

注射速度

塑化能力

合模力

合模装置的基本尺寸

注射量是指机器对空注射条件下，注射螺杆或柱塞作一次最大注射成型时，注射装置所能达到的最大注射量

我国注射机生产情况，注射量规定为 $16 \sim 40000 \text{cm}^3$ 。

生产周期短、生产效率高；

能成型形状复杂、尺寸精确或带嵌件的制品；

成型塑料品种多；

易于实现自动化。

因此广泛用于各种塑料制品的生产。其成型制品占目前全部塑料制品的 $20 \sim 30\%$ 。注射成型是一种比较先进的成型工艺，目前正继续向着高速化和自动化方向发展。

注射速度(U)是指注射时螺杆或柱塞移动；

注射速率(V)是指单位时间内熔料从喷嘴射出的理论容量；

注射时间是指螺杆或柱塞作一次注射量所需要的时间。

合理地提高注射速度：能减少熔料在模内的温差，改善压力传递效果，保持制品密度均匀和制品精度，缩短生产周期。

注射速度过高：(1) 熔料离开喷嘴后产生不规则流动，产生大的剪切热，易焦烧物料；(2) 高速注射时，模内的气体来不及排出，夹杂在物料中严重影响制品质量。

是指注射机塑化装置在 1h 内所能塑化物料的千克数。

W—塑化能力，kg/h

Q—注射量，g

t—循环时间，s

(1) 为缩短成型周期，聚合物在螺杆内外的预塑化与制品在模具内的保压

冷却不仅同时进行，且预塑化时间应稍小于冷却时间；

(2) 注射装置是否需要退回，根据所加工的塑料工艺性能而定，一般与喷嘴的温度有关。

(3) 螺杆预塑化过程是一边转动，一边后退。其后退行程应由注射制品的体积大小决定，一般物料要过量一些。

授课日期

第 12、13、14 周

教案编号

10

课程名称	高分子材料基本加工工艺	专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺		

授课题目	课题十 塑料压延成型	
授课学时	2节 ()；3节 ()；其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)	
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>)；实验 ()；见习 ()；实训 ()；其它 ()	
教学目的	1. 掌握 SPVC 薄膜和 RPVC 片材压延成型基本工艺 2. 了解高分子材料在压延机中的流动状态和压延机的主要技术参数	
教学重点	1. 了解高分子材料在压延机中的流动状态和压延机的主要技术参数	
教学难点	1. 掌握 SPVC 薄膜和 RPVC 片材压延成型基本工艺	
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>)；讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>)；指导 ()；示教 ()；其它 ()	
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint ()；Author ware ()；其它 ()
	无 ()	
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>)；模型 ()；标本 ()；实物 ()；音像 ()；其它 ()	
教学过程 时间安排	第一节 压延成型概论 第二节 塑料压延成型	
思 考 题	塑料压延的特点是什么？	
作 业	P149 2、3、4	

课题十 塑料压延成型

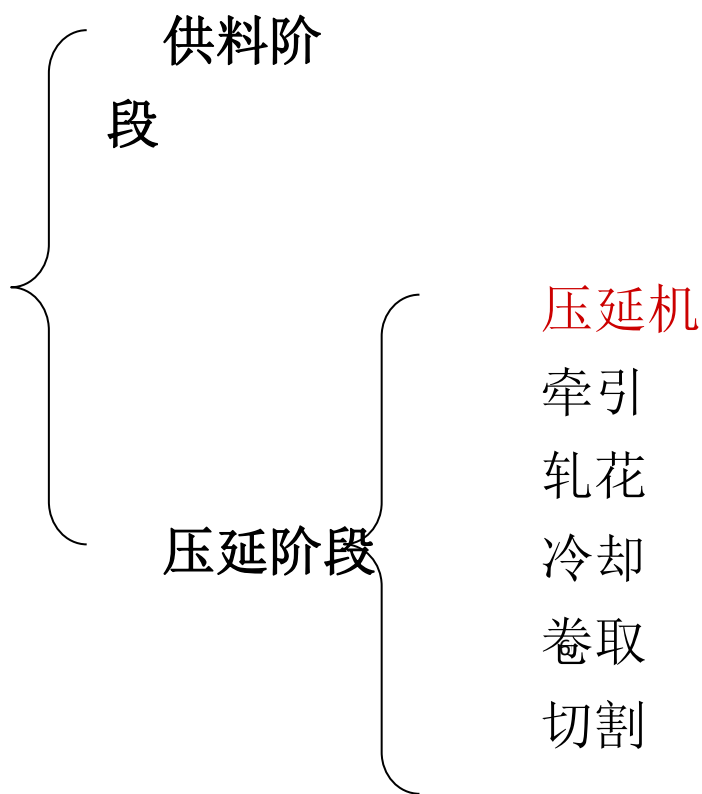
第一节 压延成型概论

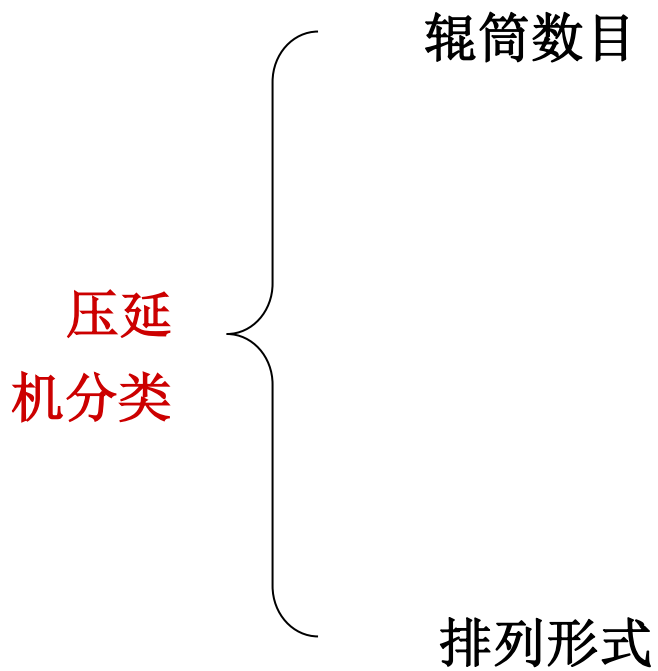
- 压延成型概论
- 压延设备
- 压延机的基本结构
- 压延成型原理
- 何为压延成型

物料通过专用压延设备对滚筒间隙的挤压延展成具有一定规格、形状的塑膜和片材的工艺过程。

- ☒ 连续成型，生产能力大，操作方便，易自动化；
- ☒ 产品质量均匀，致密、精确；
- ☒ 成型不用模具，辊筒为成型面，表面可压花纹；
- ☒ 制品为薄层连续型材，断面形状固定，制品尺寸大；
- ☒ 成型适应性不是很宽；
 - ☒ 要求塑料必须有较宽的 ($T_f \sim T_d$)。
 - ☒ 制品形状单一：薄膜（片）、人造革。
- ☒ 供料必须紧密配合，是连续生产线；
- ☒ 设备大，投资高，辅助设备多，但生产能力大。

压延设备





塑料压

辊

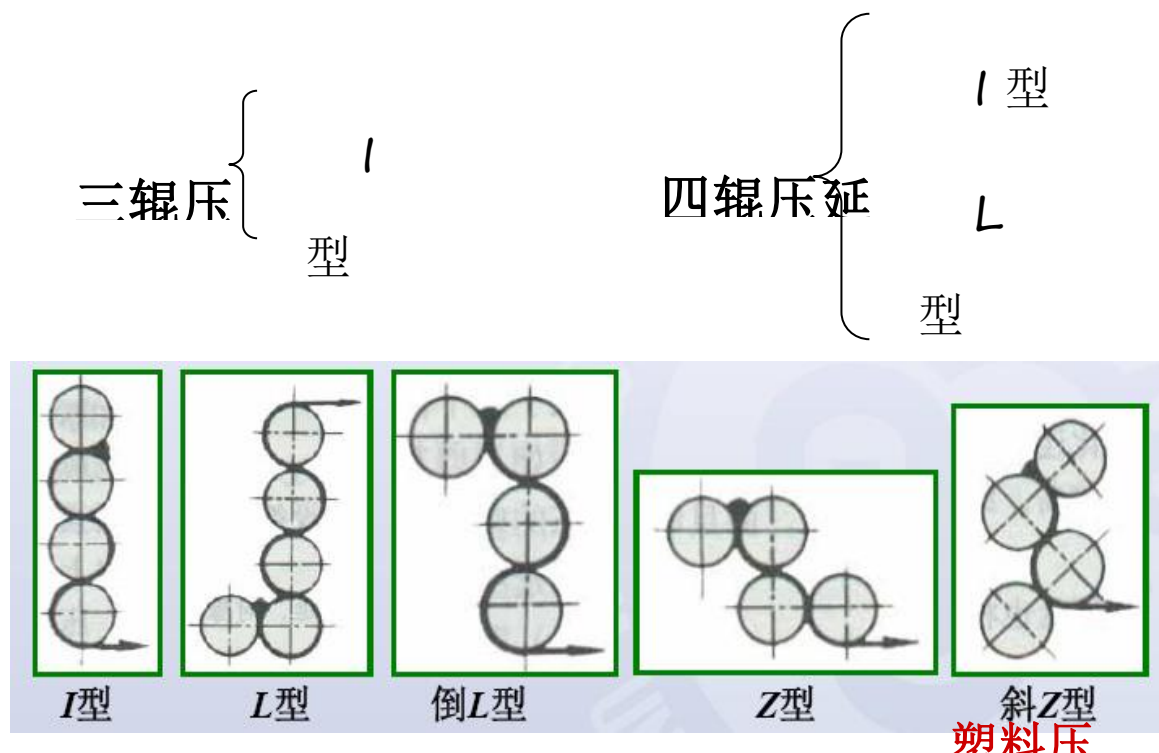
- 二辊：即开炼机。通常应
- 三辊：一般用于橡胶的压延成型
- 四辊：一般用于塑料的压
- 五辊：一般用于硬质 P

辊筒数目的增加

- 受压延的次数增加，制品质量提高
- 可以提高转速，提高生产率。



辊筒排



斜

- 优点: (1) 物料与辊筒接触时间短, 防止聚合物降解
- 缺点: (1) 包辊程度低

压延成

-----高分子材料在压延机辊筒间

1、高分子材料压延时的塑

2、压延时高分子材料的应力松

3、压延效应

塑料压延

1、高分子材料压延时的

高分子材料进入辊筒的条件

压延时高分子材料的延伸

辊筒间隙的压力分布和横压力

授课日期	第 15、16 周		教案编号	11
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺			
授课题目	课题十一 橡胶成型			
授课学时	2 节 ()；3 节 ()；其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>)；实验 ()；见习 ()；实训 ()；其它 ()			
教学目的	1. 了解橡胶的基本概念 2. 掌握生胶的特点 3. 掌握生胶和配合体系			
教学重点	1 生胶及其配合体系，生胶交联配合体系的适用范围和配合体系的作用机理。			
教学难点	1. 配合体系的作用机理及体系中各组分的作用			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>)；讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>)；指导 ()；示教 ()；其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint ()；Author ware ()；其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>)；模型 ()；标本 ()；实物 ()；音像 ()；其它 ()			
教学过程 时间安排	生胶的基本概念 生胶的特点 生胶和配合体系			
思 考 题	硫磺体系适合什么种类的生胶			
作 业				

橡胶成型

一、橡胶的基本概念

橡胶是高弹性的高分子材料，也称弹性体。

橡胶在较小的外力作用下能显示出高度变形的能力，而在外力除去后，又能恢复原来的形状。高弹性是橡胶所独有的。

橡胶在变形较大时，又表现出黏性液体的性质，橡胶的黏弹特性，使它在缓冲、防震、减震、动态密封方面的作用是其它材料不可代替的。

● 橡胶的缺点：

橡胶除在小变形区域外（小于 50%），没有固定的杨氏模量，小变形范围内的杨氏模量约为 1.0N/mm^2 。

橡胶的拉断强度不高。

橡胶分子链中存在双键，所以橡胶容易老化。

● 橡胶的加工过程：

生胶的塑炼

塑炼胶与各种配合剂的混炼

形成三维网状结构

● 成型

胶料的硫化

二、橡胶的品质

与加工性能有关的品质指标

1、可塑性(P)

反映生胶、塑炼胶和混炼胶可塑性的品质，是指试样在外力作用下产生压缩变形的能力和除去外力后保持变形的能力。

威廉氏可塑性计测量法—根据试样在一定温度(70℃)和一定负荷(5kg)作用下，经 3min 压缩后其高度的变化，以及除去负荷后，在室温下恢复 3min 的高度变化来表示。

2、门尼黏度

根据试样在一定温度、时间和压力下，在转子和模腔之间变形时所受的扭力来确定胶料的可塑性。

3、门尼焦烧时间

在一定温度下(120℃)，对膜腔内的胶料预热 1min 后开动转子，从试验开始到胶料黏度下降到最小值后再上升 5 个或 3 个门尼值所对应的时间。

混炼胶在硫化前的胶料停放、压延、压出、成型等各工序生产安全的控制指标

4、焦烧时间和正硫化时间

用硫化仪(流变仪)测定。

焦烧时间用 T_{10} 或 T_{S2} 表示，硫化仪扭矩上升到最大扭矩的 10%所对应的时间。(胶料在模型中流动充模的时间)

正硫化时间用 T_{90} 表示，硫化仪扭矩上升到最大扭矩的 90%所对应的时间。提高生产效率、确保产品的质量至关重要。

第二节 生胶和配合体系

一、生胶

生胶：指原料橡胶，即没有经过配合和加工的橡胶

二、生胶的特性

生胶是一种高弹性的材料，要经过塑炼、混炼、成型、硫化等一系列过程，才能获得橡胶制品

橡胶的加工过程和其它聚合物一样，都要涉及到胶料的流动性质。影响胶料的流动性质主要有黏度、弹性记忆效应、断裂特性。橡胶在加工过程中，可以看做是黏度很高的液体，但是它又具有固体的性质，兼顾黏性和弹性的性质，即黏弹性。所以橡胶在加工过程中的流动行为不遵守牛顿黏度定律，其流变性是黏性效应和弹性效应同时作用的结果

弹性记忆：

所谓的弹性回复，是指生胶在加工过程中橡胶流动时表现出可以恢复的弹性形变。

弹性记忆效应中很重要的参数为应力松弛时间。

应力松弛时间很短，观察时留存的形变已经不存在，弹性记忆很短；松弛时间很长，可回复形变很大，弹性记忆效应大。

弹性记忆效应用压出膨胀率表示。膨胀率越大，弹性效应越大。相对分子质

量大的胶料，压出膨胀率大。

生胶断裂特性

生胶是个黏弹体，在受到外力作用的时候会发生弹性形变、黏性形变和塑性形变直到断裂。

三、橡胶的配合体系

(一) 橡胶的硫化体系

硫化是指线性橡胶大分子在化学或物理作用下，通过化学键的交联，形成空间网状结构，实质是把塑化的胶料变成高弹性的橡胶的过程。

硫化体系：硫化剂、硫化促进剂、硫化活性剂、防焦剂、抗硫化返原剂等。

1、硫化剂

硫磺类硫化剂，一般用结晶型硫磺，酸具有延迟硫磺硫化的作用。

有机过氧化物类硫化剂(-O-O-，过氧基)，过氧化二异丙苯，二叔丁基氧化物，金属氧化类硫化剂，ZnO，MgO

2、硫化促进剂

在橡胶硫化过程中，与硫化剂并用，可以缩短硫化时间，降低硫化温度、减少硫化剂用量，并能提高橡胶的物理机械性能的一类橡胶配合剂，称为硫化促进剂。

二硫代氨基甲酸盐类、秋兰姆类、噻唑类、次磺酰胺类、胍类、硫脲类、黄原酸类、醛胺类。

3、硫化活性剂

也称作活化剂、促进助剂。活性剂一般不直接参与橡胶与硫磺的反应，但是对化学交联键的生成速度和数量有着重要影响。硬脂酸锌，氧化锌

4、防焦剂

胶料的早期硫化现象，称为焦烧

最常用的防焦剂有苯甲酸、邻苯二甲酸、水杨酸、邻苯二甲酸酐、*N*-亚硝基二苯胺等。

加防焦剂的作用：

延缓硫磺与橡胶的结合速度，从而延长焦烧时间。

5. 抗返原剂

二烯类橡胶硫化时会发生交联键的断裂和橡胶分子主链的化学改性，使硫化橡胶的物理性能变差，硫化返原。

加入抗返原剂的作用：通过在硫化后期形成新的交联键，补偿多硫键断裂的损失。

常用抗返原剂：

三羟甲基丙烷三丙烷酸酯（TMPTA）

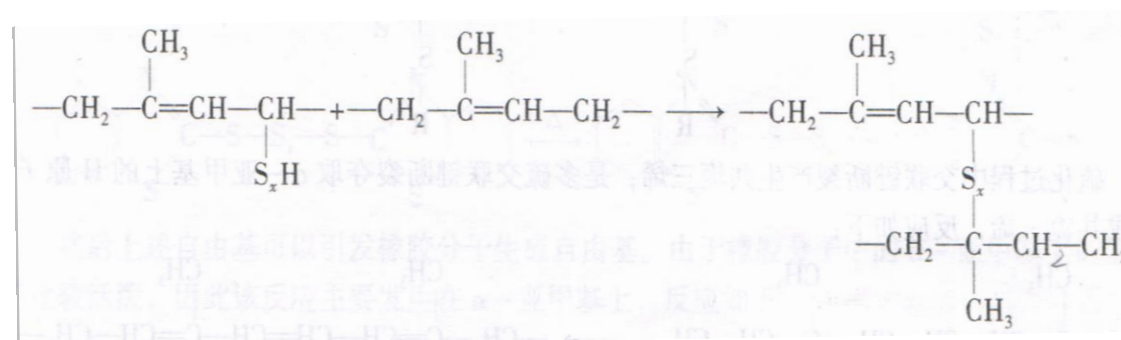
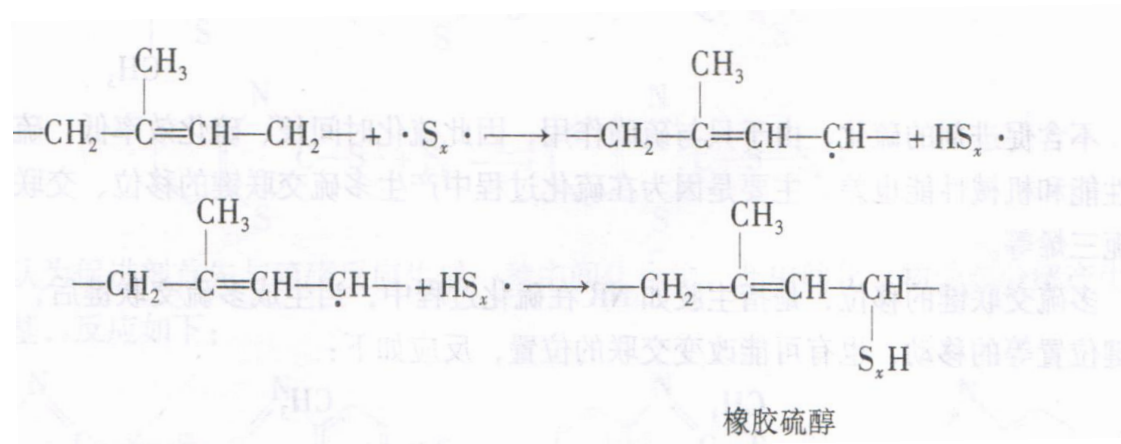
季戊四醇三丙烯酸酯

硫化体系作用机理

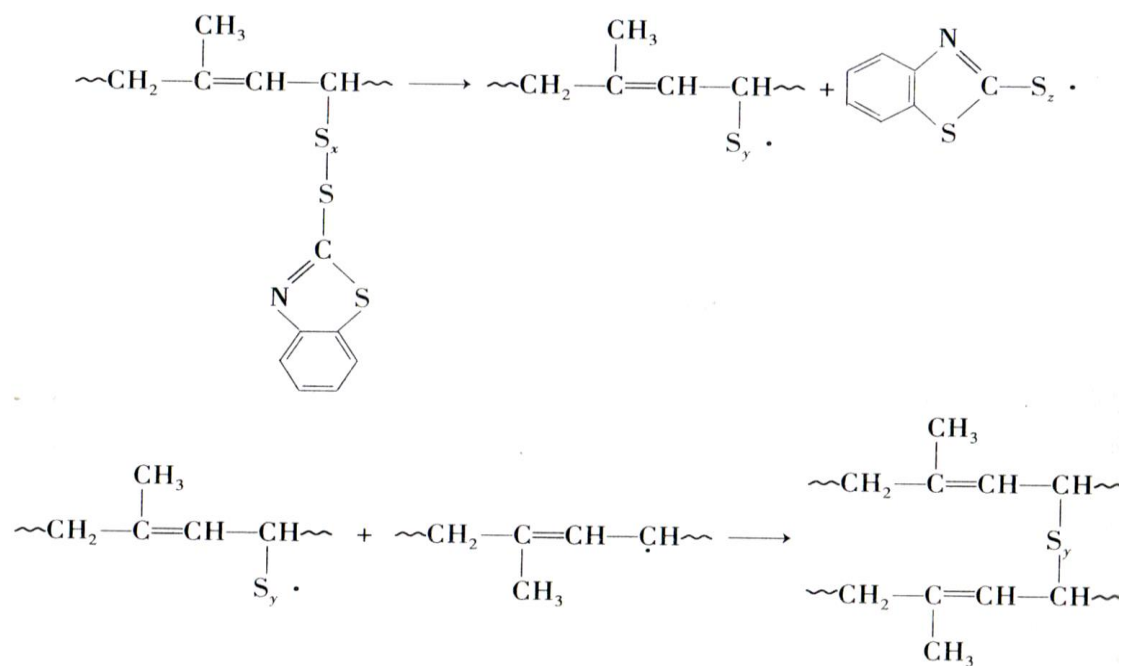
1、无促进剂的硫磺硫化

S₈环在加热的条件下，硫环裂解成双基活性硫

双自由基可以夺取不饱和橡胶分子α-亚甲基上的氢原子。硫化生成RS_x·多硫自由基，与橡胶生成橡胶硫醇，最后转化成多硫交联键

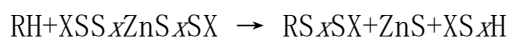


- 多硫交联键不稳定，易分解重排，所以硫化胶的耐热性较差
- 2、含有促进剂的硫磺硫化



3、含有促进剂、活性剂的硫化体系

中间活性化合物与橡胶作用，在橡胶分子链上生成含硫活性侧基：



这些活性侧基是橡胶分子的交联前驱。

(二) 橡胶的补强填充体系

提高硫化橡胶的拉断强度、定伸强度、耐撕裂强度、耐磨性等物理机械性能的配合剂，称为补强剂。

补强剂

亲水性补强剂

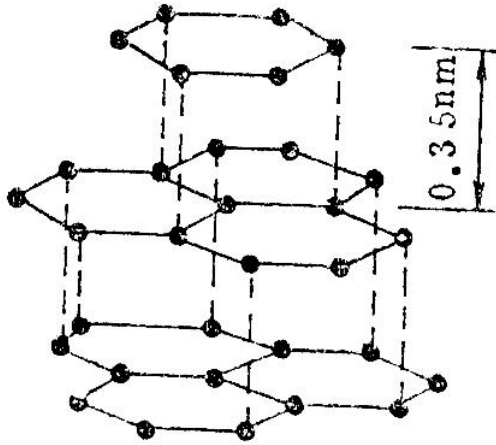
(碳酸盐、陶土、氧化锌，不被橡胶润湿)

疏水性补强剂

(炭黑、白炭黑，表面性质与橡胶相似，容易被橡胶混炼)

1. 炭黑的基本结构

碳原子组成六角形的网状平面，与石墨的结构相似：



半结晶性:结晶不完整或结晶程度低。

2. 炭黑的化学组成

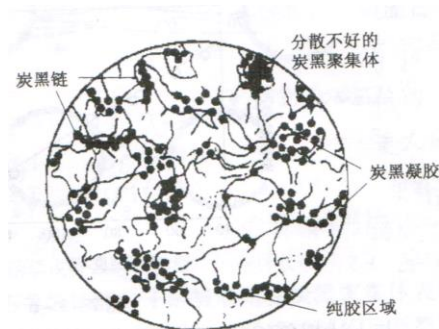
大部分为碳元素

还包含有少量氧、氢、硫等元素以及其他杂质和水分等，含量因各种炭黑品种而异

3. 炭黑对橡胶的补强作用机理

炭黑的补强原因：

炭黑通过化学吸附和物理吸附，和橡胶结合，形成结合橡胶，也称作炭黑凝胶。



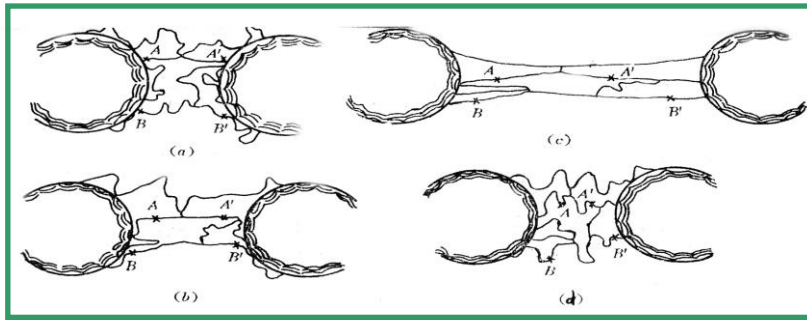
炭黑的补强理论—Bueche 的“分子链滑动”理论

理论核心：橡胶大分子能在炭黑表面上滑动

炭黑粒子表面的活性点与橡胶分子生成强固的化学键(化学吸附)，沿着炭黑粒子表面上滑动，但是不脱离炭黑，从而产生两种补强效应：

- (1) 分子链的滑动能吸收外力的冲击，起缓冲作用；
- (2) 使应力分布均匀。

这两种效应的结果使得橡胶的强度提高，抵抗破裂。



- a) 原始状态;
- b) 拉伸时短分子链开始滑动;
- c) 所有分子链滑动后完全伸张;
- d) 回缩后分子链变为长度相等。

导致每条链都承担了相当的应力，即是应力分布均匀，因而提高了硫化胶的机械强度，

炭黑粒子越小、比表面积越大，表面活性越大，补强效果越好。

球状粒子，补强效果最好，炭黑结构性越高，补强效果好

炭黑用量过大，补强效果反而下降，过多的炭黑相当于体系的稀释剂

(三) 橡胶的防老体系

橡胶老化

外观老化

性能老化

结构变化

● 橡胶老化的原因

热氧老化

光氧老化

臭氧老化

疲劳老化

机械老化

抗氧化剂、抗光敏剂、抗臭氧剂等

授课日期	第 17 周		教案编号	12
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺			
授课题目	生胶的塑炼			
授课学时	2 节 () ; 3 节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()			
教学目的	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握生胶塑料的目的和要求 2. 了解塑炼原理和方法 3. 塑炼的工艺控制 4. 胶料的混炼过程 			
教学重点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握塑炼的原理和方法 2. 塑炼的工艺条件 			
教学难点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 塑炼的工艺条件的控制和工艺方法。 2. 胶料的混炼过程 			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>); 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>); 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>); 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()			
教学过程 时间安排	塑炼的目的和要求 塑炼原理 塑炼方法 胶料的混炼			
思 考 题	塑炼的目的是什么			
作 业				

第十二节 生胶的塑炼

塑炼：具有强韧高弹性的生胶变成为柔软可塑性的胶料的工艺过程。

一、塑炼的目的和要求

1. 目的

使生胶获得一定的可塑性，使之适合于混炼、压延、挤出和成型等工艺操作。

2. 要求

生胶的可塑性应适当，过大或过小都会导致混炼不均匀。

生胶过度塑炼，会导致硫化胶的机械强度、弹性、耐磨性等性能降低。

二、塑炼原理

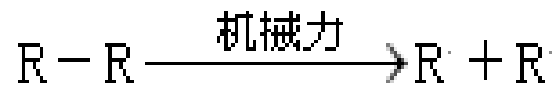
根据 $\eta_0 = A\bar{M}_w^{3.4}$

降低橡胶分子量是生胶获得可塑性的最有效办法，橡胶分子量的降低，实质就是使分子链断裂。而分子链断裂主要通过氧和机械力的作用。

生胶的塑炼可以分为机械塑炼和氧化塑炼。

1、机械塑炼(自由基链反应)

橡胶分子受到炼胶机辊间剪切力的作用，大分子链在中间部位发生断裂



分子链断裂的概率与作用于分子链上的机械功成正比，而与胶料的温度成反比。

塑炼时分子量大的分子链首先被切断，而分子量较小的分子链则不易被切断。所以平均分子量下降到一定程度后即达到稳定。

2、氧化塑炼

在氧中进行塑炼时，橡胶的可塑性增加很快。

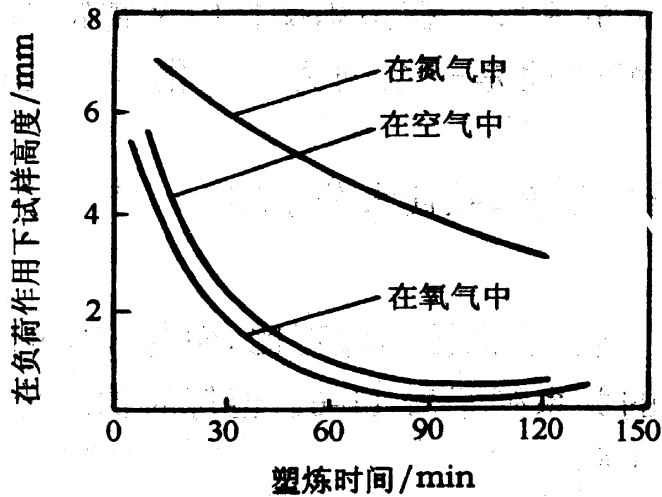


图 天然橡胶在不同介质中塑炼的效果

氧化塑炼，因为氧化对相对分子质量最大和最小部分同样起作用，所以不发生相对分子质量的变窄，而是相对分子质量分布曲线的平移。

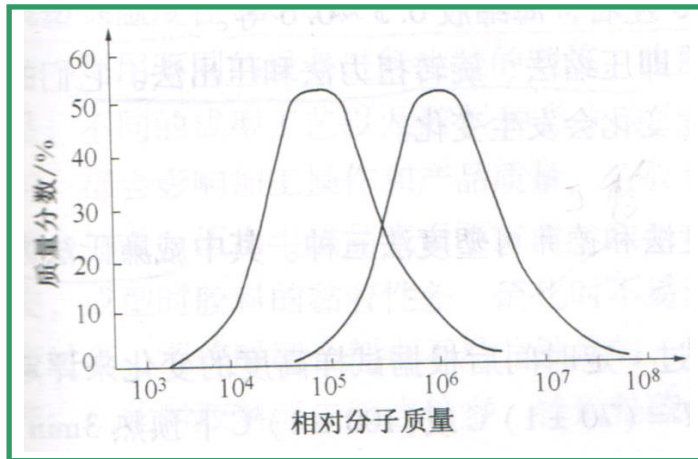


图 氧化塑炼相对分子质量的变化

低温，随着温度的升高，塑炼效率降低；高温，随着温度的升高，塑炼效率上升。低温塑炼区，随着温度的升高，胶料变软，分子链易滑动而难于被切断，因而所受机械作用小，塑炼效果下降。在高温塑炼区，由于氧的自动催化氧化作用，加快了氧化降解速率，塑化效果升高。

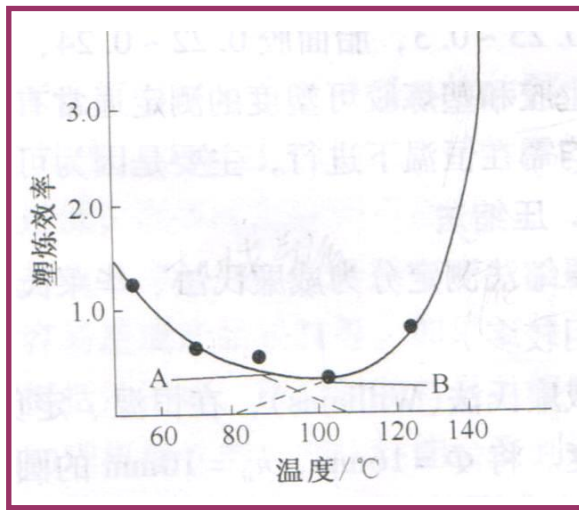


图 塑炼效率与温度的关系

塑炼过程中，无论是机械塑炼还是氧化塑炼，要加入化学塑解剂，强化氧化作用，促进分子链的断裂，增加塑化效果

三、塑炼方法

1、准备工艺

烘胶：加热软化，便于切割，除去其中的水分和挥发性物质

切胶和选胶：切成小块，便于使用

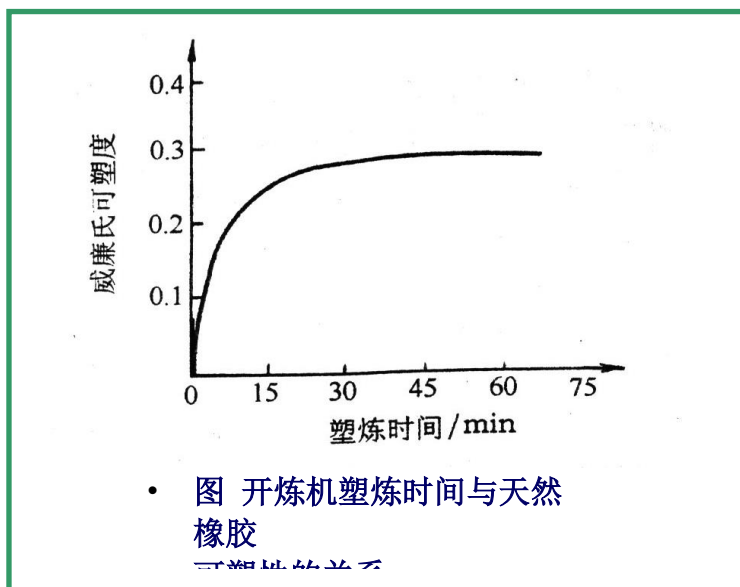
破胶：提高生产效率、保证质量及设备安全

2、塑炼工艺

开放式炼胶机塑炼

工艺控制：辊温、辊距、辊速和速比，影响塑炼时的机械剪切力，从而影响塑炼效率。辊温低、辊距小、辊速和速比高有利于提高塑炼效率。

采用塑解剂塑炼时，塑炼胶的可塑性随时间的延长而呈直线增加



• 图 开炼机塑炼时间与天然橡胶可塑性的关系

在 10 至 15min 内，塑炼胶的可塑性增加得较快，过了 20min 后，可塑性增加甚少。当需要取得较大的可塑性时，采用分段塑炼的方法。

密闭式炼胶机塑炼

属于高温条件下的塑炼，以氧化作用为主，机械力的作用为次。随着塑炼时间的延长，橡胶密炼机塑炼时必须严格控制排胶温度和时间，否则容易发生过炼现象。

3、塑炼后的补充工艺

压片或造粒：

8-10mm 的规则胶片，便于存放、运输、称量

冷却与干燥：

浸涂或喷洒隔离剂，防止堆放过程中粘结

停放：

停放 4-8h 以上才能供下道工序使用

质理检验：

可塑度复合要求

第四节 胶料的混炼

混炼：通过机械作用使可塑度复合要求的生胶与各种配合剂均匀地混合的过程。包含生胶与配合剂的混合、分散和产生结合等过程，又包含橡胶产生各种流动的过程。

一、混炼的目的

为了提高橡胶产品的使用性能，改进橡胶工艺性能和降低生产成本。为保证半成品和产品的性能，必须对混炼胶的质量进行控制。

生胶断裂特性对生胶加工性能的影响。

生胶落在完全弹性线和完全塑性线之间。

加工性能不好的生胶在虚线左边，加工性能好的生胶在虚线的右边。

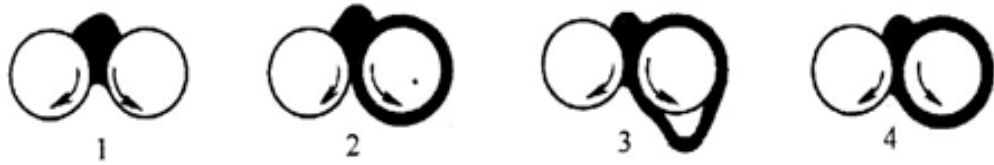
分子量分布宽的向左移；平均分子量大，支化程度高的向上移。

必须控制生胶的分子量、分子量分布和支化度，使得其 θ_d 和 λ_b 值稍大。

二、胶料的包辊特性

随辊筒温度从低变高，生胶或胶料在开炼机辊筒间可出现四个界限分明的行

为区域



第 1 区：辊温较低，胶弹性大、易滑动，难以通过两辊间，以“弹性楔”的形式留在辊筒上，如强制压入则生胶变成碎块；

第 2 区：胶料温度升高，比第 1 区容易变形，可包在前辊上，既有塑性流动又有适当高的弹性变形，不易破裂，最适宜于炼胶操作，混炼分散好；

第 3 区：温度继续升高，胶料流动性增加，胶带强度下降而出现脱辊或破裂现象，无法进行炼胶操作。

第 4 区：温度最高，橡胶呈黏性流动黏在辊筒上，难以进行吃粉和翻炼操作

混炼时辊温的选择：选择适当的温度使胶料处于包辊的第二区。但是橡胶的黏弹性不仅受温度的影响，也受外力作用速度的影响。

当切变速率增大时，对于橡胶的黏弹性来说，相当于降低了温度，使胶料的强度和弹性提高，有利于实现弹性状态的包辊。

在实际操作中，当出现脱辊现象，除了降低辊温，也可以减小辊距，加快转速或提高速比的方法给与解决，使胶料重新包辊，进行混炼

五、胶料的混炼工艺

1. 方法

按使用设备分为两种：

(1) 开放式炼胶机混炼

(2) 密炼机混炼

2. 工艺控制

※开放式炼胶机混炼

胶料的包辊性只有在 $T_f - T_g$ 之间某一温度范围内，胶料才有良好的包辊性

装胶容量，不能太多、也不能太少

辊距，减小辊距，剪切速率大，剪切作用增强，有利于混合；辊距太小，

导致胶料堆积，混炼效果降低，一般 4-8mm 为宜。

辊筒温度，一般控制在 50-60℃ 范围内，如果含有高熔点配合剂，辊温的温

度要适当提高。

混炼时间，辊筒温度高和混炼时间长是等效的。在温度较高的情况下，可以减小混炼时间，防止过炼现象。

辊速和速比，增大辊速和速比，对混炼效果的影响等同于辊距的减小，都会加快配合剂的分散，但是对橡胶的剪切作用也增强，易于产生过炼。

加料顺序，用量小、作用大、难分散的配合剂先加；用量多、易分散的后加，对温度敏感的配合剂后加。硫化剂和硫化促进剂分开加。

密炼机混炼

装胶容量，通常取密闭室的 60%~70%。

上顶栓压力，上顶栓压力在 0.3~0.6MPa

转子转数和混炼时间，转速增加一倍，混炼时间大约缩短 30~50%，常用的转速为 40~60r/min。转速太大，导致胶料黏度降低，机械剪切效果降低，不利于分散。

混炼温度，一般排胶温度低于 130℃，温度过高，还造成热氧老化、橡胶的物理机械性能下降，即过炼。也会造成焦烧现象。

加料顺序，生胶、活性剂、固体软化剂、防老剂、普通促进剂、炭黑，液体软化剂、

硫磺和超速促进剂

3. 混炼胶的补充加工与处理

第五节 橡胶压延工艺

与塑料的压延相同，压延过程主要是通过两个辊筒作用把胶料碾压成具有一定厚度和宽度的胶片的过程。

胶料在辊缝所受到力情况与塑料的相同。压延的推动力来自两个方面，其一，辊筒旋转拉力，由辊筒和胶料间的摩擦作用产生；其二，辊筒间隙对胶料的挤压力，使胶料变形并推动前进。

为使胶料压延顺利进行，要求胶料具有良好的流动性。胶料的流动性一般用门尼黏度表示。门尼粘度小，流动性好，反之，流动性差。橡胶和塑料均属于切力变稀流体，随切变速率的增加黏度下降。

橡胶的压延效应：压延后的胶片会出现纵横方向物理机械性能的差异。即在

纵方向的拉伸强度大、伸长率小、收缩率大，而在横向方向拉伸强度小、伸长率大、收缩率小。这种纵横方向性能各异的现象叫压延效应。

从加工角度看，尽可能消除压延效应，否则半成品因纵横方向收缩不一致，会导致半成品的变形，给操作带来困难。从使用角度来看，要根据具体情况而定。

2. 橡胶压延机的主要技术参数

(1) 辊筒数目

辊筒数目决定了胶料碾压的次数。碾压的次数与原材料的品种、制品品种及精度有关。一般胶料较硬，制品精度要求高，物料需要碾压次数就多，则辊筒数目就多。四辊压延机的压延制品表面光洁度和尺寸精度得以提高。

(2) 胶料的预热

粗炼辊温:40~45℃； 细炼辊温:60~70℃

(3) 辊温

根据胶料性质而定。含胶率高的或者弹性大的胶料，辊温应高些。

(4) 胶料的可塑性

胶料的可塑性大，流动性好，易得到光滑的胶片。但太大易产生粘辊现象。可塑性小，收缩率大，表面不光滑。

压片胶料的威廉氏可塑性为 0.25~0.35。

(5) 辊速

辊速应根据胶料的可塑性来定。对可塑性大的胶料，辊速可快些，生产能力大。

(6) 辊速比

辊筒间有一定的速比，有助于排除气泡，但对胶片的光滑度不利。在三辊压延机中采用中、下辊等速，中、上辊低速比。

二、压型

压型是将胶料制成一定断面形状的半成品或表面有花纹的胶片。

压型工艺可以采用两辊、三辊、四辊压延机。其中一个或数个辊筒可有花纹

1、压型方法

(a), (b) 两辊压型

($v_1 = v_2$)

(c) 三辊压型 ($v_1 \geq v_2 = v_3$)

(d) 四辊压型 ($v_2 = v_3 = v_4 \leq v_1$)

. 工艺主要技术

操作与胶片压延相似。

压型时主要依靠胶料的流动性来造型，而不是考压力。

工艺控制：

胶料可塑性：威廉氏可塑性为 0.25~0.35。

对混炼胶的可塑性、热炼程度、返回胶掺用比例等要严格控制。

可采用提高辊温、降低辊速等办法改善压型胶片的质量。

采用急速冷却的办法使花纹定型，使花纹清晰，防止变形。

织物的挂胶

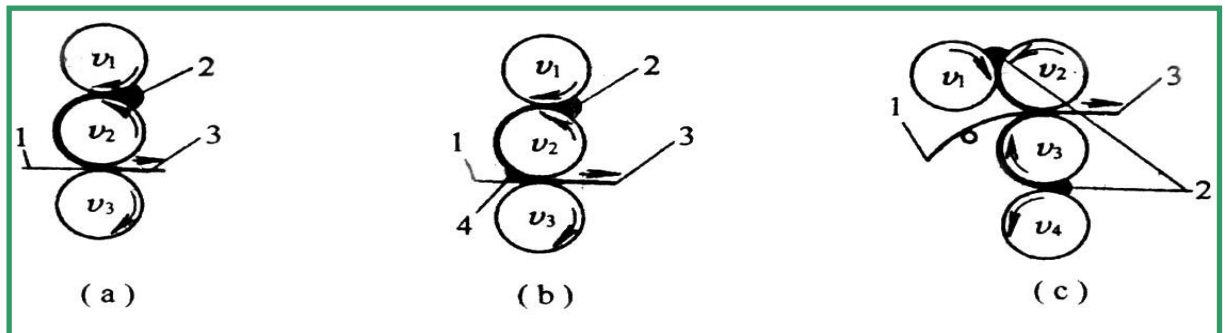
目的：使织物线与线、层与层之间互相紧密地贴合成一整体，共同承受外力的作用；挂胶后提高织物的弹性，防水性，以保证制品具有良好的使用性能。

方法：贴胶、压力贴胶和擦胶。

1. 贴胶

※工艺

采用四辊压延机(两面一次贴胶)或三辊压延机(单面一次贴胶)，也可采用两台三辊压延机连续进行两面贴胶。



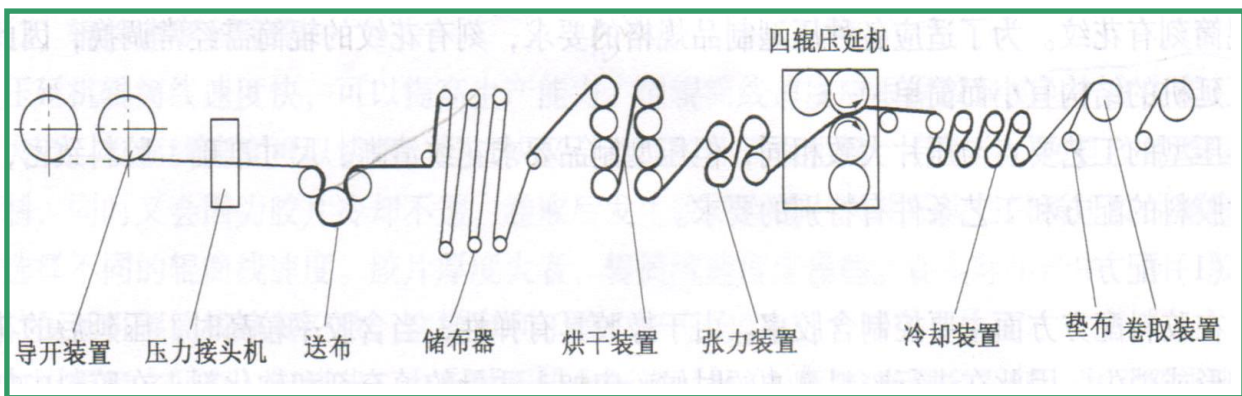
(a) 无积胶贴胶 ($v_2 = v_3 > v_1$) (b) 有积胶贴胶 ($v_2 = v_3 > v_1$)

(c) 四辊两面一次贴胶 ($v_2 = v_3 > v_1 = v_4$)

1—纺织物进辊 2—进料 3—胶贴后出料 4—积胶

进行贴合的两个辊筒的转速相同；

供胶的辊筒可等速，也可有一定速比，有一定速比有利于除去气泡。



贴胶的压延机辊筒等速回转，只有挤压力，对织物的损伤小，但是胶料对织物的渗透性较差，附着力较低。

2. 压力贴胶

工艺

形式上与贴胶相同，其区别是在进行贴合的两个辊筒之间有积胶。可利用积胶的压力将胶料挤压到布缝中去，从而提高布与胶的附着力。

※工艺特点

是贴胶法的一种改进方法。

缺点：帘线受较大的张力，操作时容易产生劈缝、罗股、压偏等毛病，留在织物表面的胶层比较薄。

3. 擦胶

工艺

利用压延机辊筒转速不同所产生的剪切力和辊筒的压力，将胶料挤擦入织物的缝隙中，以提高胶料与织物的附着力。

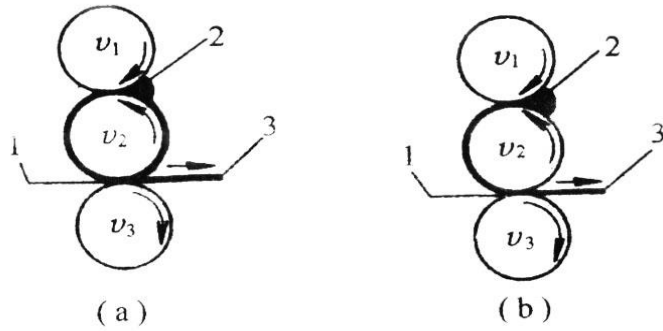
采用三辊或四辊压延机，在三个辊筒上进行单面擦胶。工作辊筒的速比在 1:1.3~1:1.5 的范围内。

两种方法：

①中辊包胶法(包擦法、薄擦法)；

②中辊不包胶法

(又称厚擦或光擦法)。



(a) 中辊包胶 ($v_2 > v_1 = v_3$)

(b) 中辊不包胶 ($v_2 > v_1 = v_3$)

1—纺织物进辊 2—进料 3—擦胶后出料

工艺控制

胶料可塑性：0.4~0.5(天然橡胶贴胶)；0.5~0.6(天然橡胶擦胶)。

胶料要预热，并且要求翻炼均匀，

热炼后胶料比压延温度低 5~15℃。

织物干燥良好，布面没有油污、灰尘等。

擦胶的压延机辊筒之间有速比，既有挤压力又有剪切力，胶料渗透性大，附着力强，但是对织物的损伤比较大。

授课日期	第 18 周		教案编号	13
课程名称	高分子材料基本加工工艺		专业班级	应用化工技术
教材名称	高分子材料基本加工工艺			
授课题目	总复习			
授课学时	2 节 () ; 3 节 () ; 其它 (<input checked="" type="checkbox"/>)			
课 型	理论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 实验 () ; 见习 () ; 实训 () ; 其它 ()			
教学目的	复习主要内容, 解答学生疑问			
教学重点	对以往内容复习			
教学难点	对所学知识系统性的复习			
教学方法	讲授 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 讨论 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 指导 () ; 示教 () ; 其它 ()			
电子教案	有 (<input checked="" type="checkbox"/>)	Microsoft PowerPoint () ; Author ware () ; 其它 ()		
	无 ()			
教学资源	多媒体 (<input checked="" type="checkbox"/>) ; 模型 () ; 标本 () ; 实物 () ; 音像 () ; 其它 ()			
教学过程 时间安排	教师带领复习, 学生提问			
思 考 题	知识薄弱点在哪			
作 业				