第七章

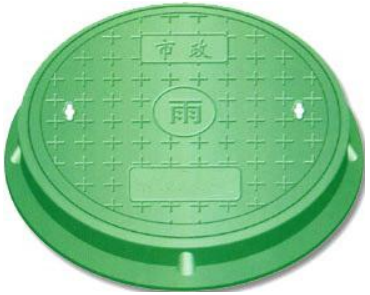
压制成型

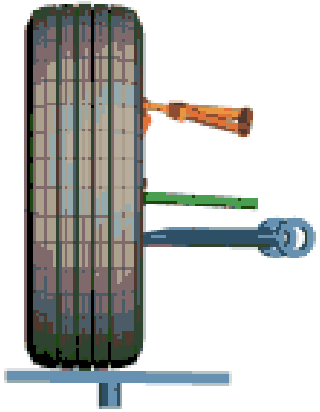
Compression moulding

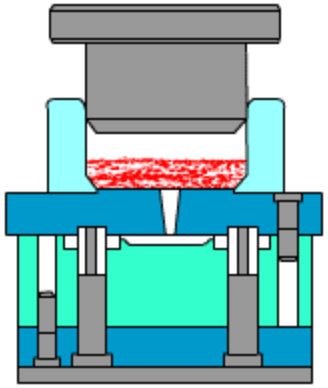
第七章　压制成型

本章内容

- 7.1 热固性塑料的模压成型
- 7.2 橡胶制品的模型硫化
- 7.3 复合材料压制成型







压制成型是高分子材料成型加工技术中历史最悠久，也是最为重要的方法之一。压制成型是主要依靠外压的作用，实现成型物料造型的一次成型技术。

- 压制成型
  - 模压成型
    - 热固性塑料的模压成型（压缩模塑）
    - 橡胶的模压成型（模型硫化）
    - 增强复合材料的模压成型
  - 层压成型（不用模具）
    - 复合材料的高压层压成型
    - 复合材料低压成型（接触成型）

7.1 热固性塑料的模压成型

将热固性模塑料置于模具的型腔内，然后闭模；在加热、加压的情况下，物料产生熔融、流动并充满型腔；经适当的放气，并经保压后，塑料就充分交联固化为制品。由于热固性塑料经交联固化后，其分子结构变成三维交联的体型结构，所以制品可以趁热脱模。

工艺特点：

①成型工艺及设备成熟，是较老的成型工艺，设备和模具比注射成型简单。

②间歇成型，生产周期长，生产效率低，劳动强度大，难以自动化。

③制品质量好，不会产生内应力或分子取向。

④能压制较大面积的制品，但不能压制形状复杂及厚度较大的制品。

⑤制品成型后，可趁热脱模。

7.1.1 热固性模塑料的成型工艺性能

热固性塑料的模压成型过程是一个物理–化学变化过程，其成型工艺性能主要有以下几点。

(1) 流动性

热固性模塑料的流动性是指其在受热和受压情况下充满整个模具型腔的能力。

流动性即可塑性，对成型加工极为重要，直接影响热固性塑料成型过程中的物理化学行为及制品的质量。

影响流动性的因素：

①模塑料的性质和组成（分子量、颗粒形状、小分子）

②模具与成型条件（光洁度、流道形状、预热）

流动性过大、过小的后果：

流动性太大：

溢出模外，塑料在型腔内填塞不紧，或树脂与填料分头聚集。

流动性太小：

难于在压力下充满型腔，造成缺料，不能模压大型、复杂及厚制品。

(2) 固化速率

用于衡量热固性塑料成型时的化学反应(交联)速度。

定义：热固性塑料在一定的温度和压力下压制标准试样时，使制品的物理机械性能达到最佳值所需的时间与标准试样厚度的比值(s/mm厚度)，此值愈小，固化速率愈大。

固化速度依赖于：

塑料的交联反应性质，成型时的具体情况：预压、预热、成型温度和压力。

固化速度太快：

硬化太快，过早硬化，流动性下降，不能很好地充满型腔，制品缺料，不能压制薄壁和形状复杂的制品。

出现：表面先固化，流动性差。

固化速度太慢：

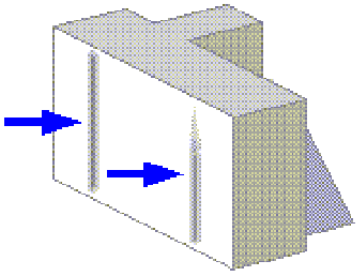
生产周期↑，生产效率↓。

(3) 成型收缩率

高分子材料的热膨胀系数比模具(钢材)大得多，热固性塑料成型中发生交联，结构趋于紧密，加上低分子物挥发，体积必定收缩，尺寸变化很大。

成型收缩率： $$S_L = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100\%$$

高分子材料的 S_L 在 1～3%，是模具设计的重要指标。



产生收缩的基本原因：

化学结构的变化(交联)、热收缩、弹性回复、塑性形变。

影响收缩率的因素：

工艺条件、模具和制品的设计、塑料的性质。

产生的后果：

制品翘曲、开裂。

解决的办法：

预热、采用不溢式模具、严格工艺规程。

(4) 压缩率：

热固性塑料制品的比重与粉状或粒状的热固性模塑料的表观比重之比。即模塑料在压制前后的体积变化。

压缩率：

$$R_p = \frac{d_2}{d_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

产生后果：

R_p 越大，所需的模具装料室越大 — 消耗模具钢材，不利于传热，生产效率低，易混入空气。

解决方法：

预压。酚醛模塑粉经预压：R_p 从 2.8 → 1.25

7.1.2 模压成型的设备和模具

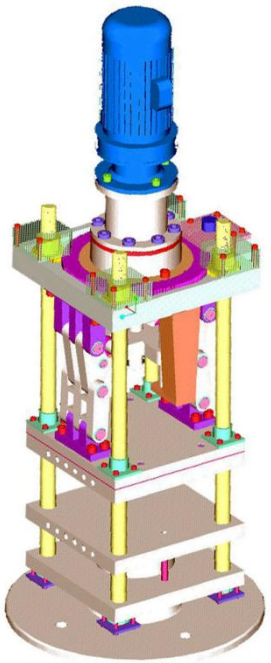
(1) 压机

压机的作用：

①通过模具对塑料传热和施加压力；

②提供成型的必要条件：T、P；

③开启模具和顶出制品。



压机的结构形式
- 机械式
- 液压式
  - 上压式
  - 下压式

(2) 模具

①溢式

多余物料可以溢出。

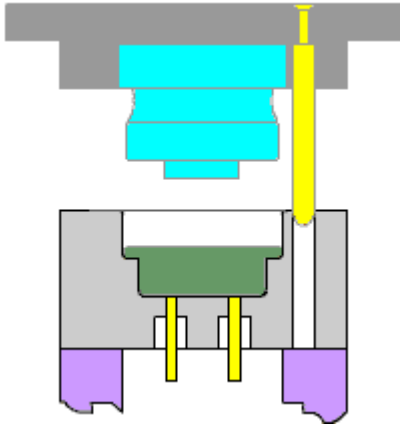
②不溢式

不让物料从型腔中溢出，要求加料量准确，可得高密度制品。

③半溢式

有支撑面：溢料受限，受压不足

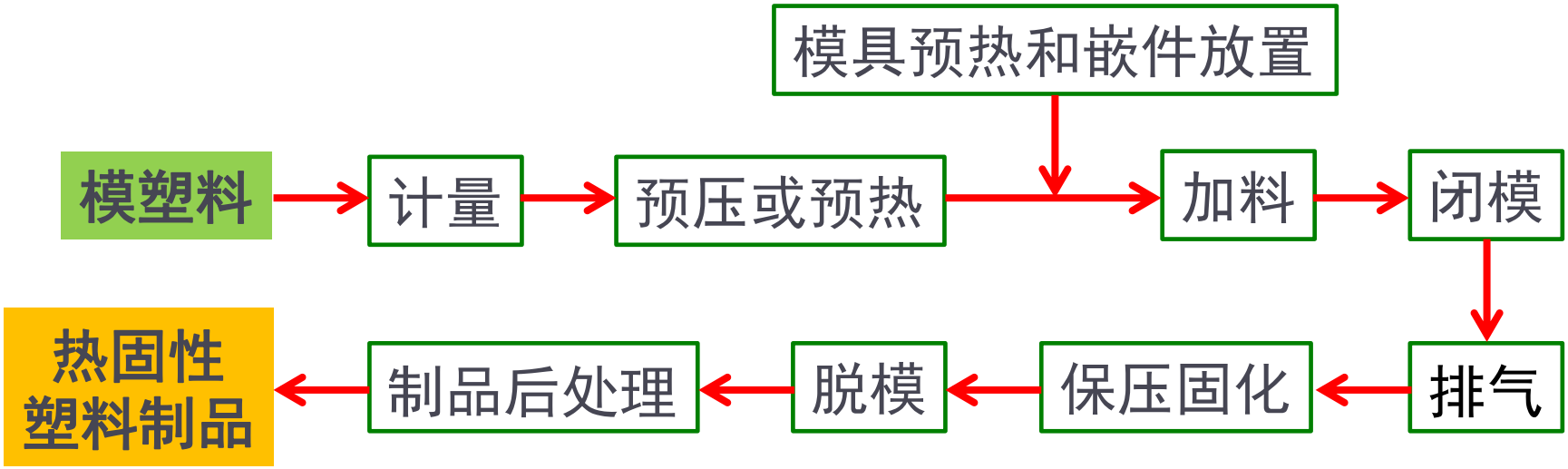
无支撑面：可以溢料，加料可略过量



7.1.3 模压成型工艺

模压成型用的模塑料大多数是由热固性树脂加上粉状或纤维状的填料等配合剂而成。

模压成型的工艺流程：



(1) 计量

重量法：按质量加料。准确但麻烦；

容量法：按体积加料。方便但不及重量法准确。

记数法：按预压坯料计数。操作最快，但预先有个预压计量操作。

(2) 预压

在室温下，将定量的松散物料预先压制成一定形状大小的坯料。

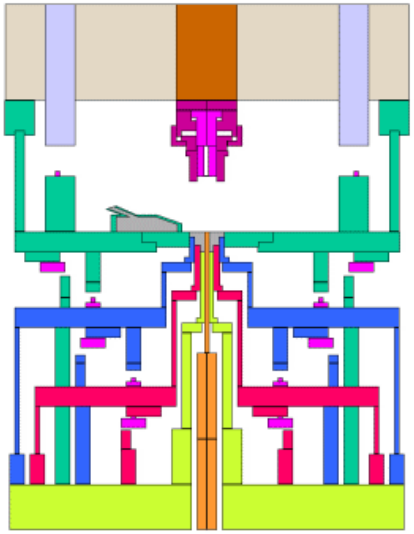
预压的优点：

①加料快、准确、无粉尘；

②降低压缩率，可减小模具的装料量；

③使物料利于传热，可提高预热温度；

④便于成型较大或带有精细嵌件的制品。



预压的缺点：增加一道工序，成本高。

预压压力：

一般控制在使预压物的密度达到制品最大密度的80%为宜，预压压力的范围：40～200MPa。

(3) 预热

热固性塑料在模压前的加热有预热和干燥双重意义。

预热的优点：

①加快固化速度，缩短成型时间。

②提高流动性，增进固化的均匀性。

③降低模压压力，成型流动性差或较大制品。

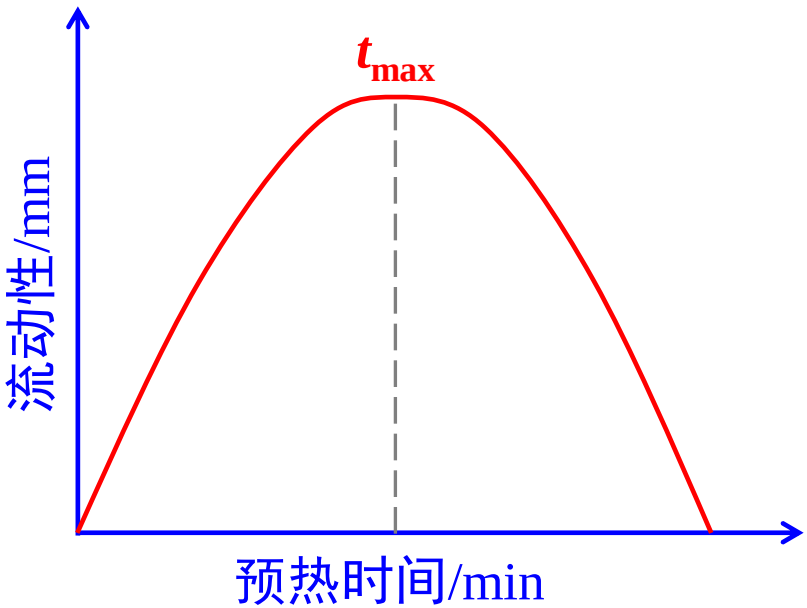
（预热：15～20MPa，未预热：25～35MPa）

在既定的预热温度下，预热时间必须控制在获得最大流动性的时间 t_{max} 的范围以内。

预热时间与预热温度有关联，在既定的预热温度下，可通过试验，作出预热时间与成型流动性的关系曲线，然后在曲线上找出最佳流动性所对应的预热时间 t_{max}。

预热方法：

- 热板加热
- 烘箱加热
- 远红外线加热
- 高频加热



(4) 嵌件安放

嵌件通常是制品的导电部分，或使制品与其它物体结合用的，安放要求：正确，平稳。

(5) 加料

加料量多，则制品毛边厚，难以脱模；少则制品不紧密，光泽差；所以加料量要准确。

加料工序强调的是加料准确和合理堆放。

一般应堆成“中间高，四周低”的形式。

原因：有利于排气；对模与物料接触时少冲料。

(6) 闭模

加料完毕后，即使阳模、阴模闭合。

应先快后慢 — 阳模未接触物料之前，应尽可能使闭模速度快，而当阳模快要接触到物料时，闭模速度要放慢。

先快的优点：有利于缩短非生产时间；避免塑料在未施压前即固化；避免塑料降解。

后慢的优点：防止模具损伤和嵌件移位；有利于充分排除模内空气。

(7) 排气

排气的原因：热固性塑料在加工中因缩聚等化学反应会释放出小分子物质，在成型温度下体积膨胀形成气泡。

排气的作用：赶走气泡、低分子物，缩短固化周期，避免制品内部出现气泡或分层现象。

排气的方式：卸压，松模，时间很短即可(零点几秒～几秒)，如此连续几次(2～5次)。

排气的次数、间隔时间等，决定于模压物料的性质。

何时排气：不能过早，也不能过迟。

(8) 保压固化

在一定的P、T下，经过一定的t，使缩聚反应达到所要求的交联程度。

从理论上说，经过固化后，原来可溶可熔的线型树脂变成了不溶不熔的体型结构的材料。

实际操作中，固化过程不一定完全在固化阶段完成，可在脱模以后的“后烘”工序完成。以提高设备利用率。

例：酚醛塑料的后烘

温度：90～150℃；时间：几小时～几十小时

(9) 脱模冷却

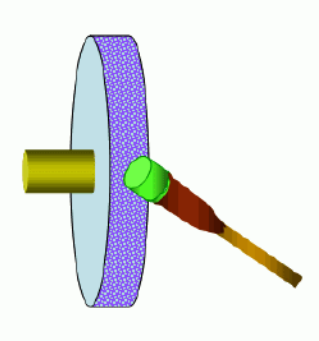
热固性塑料可趁热脱模，通常靠顶出杆来完成。

（问题：热塑性塑料呢？）

热脱模须注意两个问题：

①防止冷却翘曲

②防止产生内应力



(10) 制品后处理

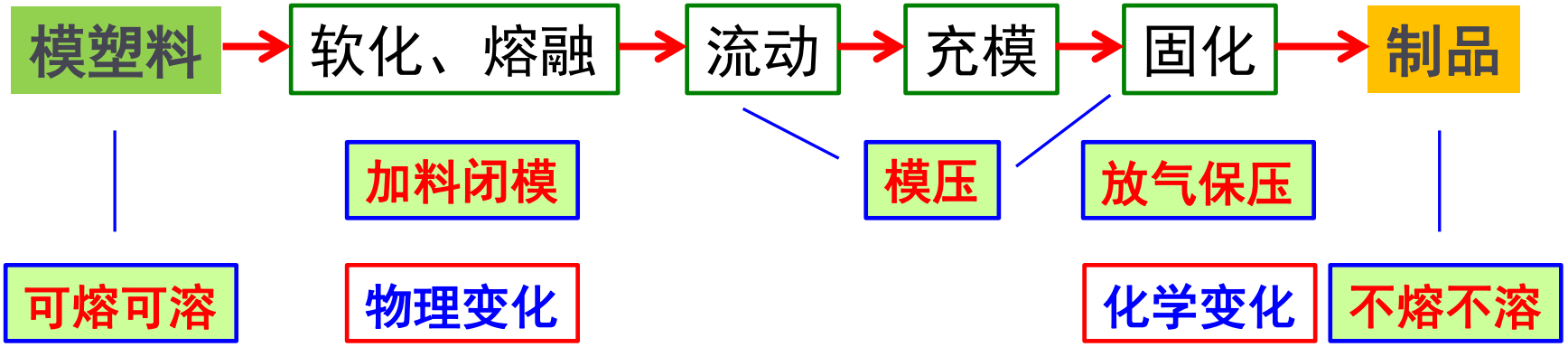
整修 — 去除溢料所产生的毛边。

热处理 — 消除内应力；进一步固化完全。

处理温度比成型温度高10～50℃。

7.1.4 模压成型工艺条件及控制

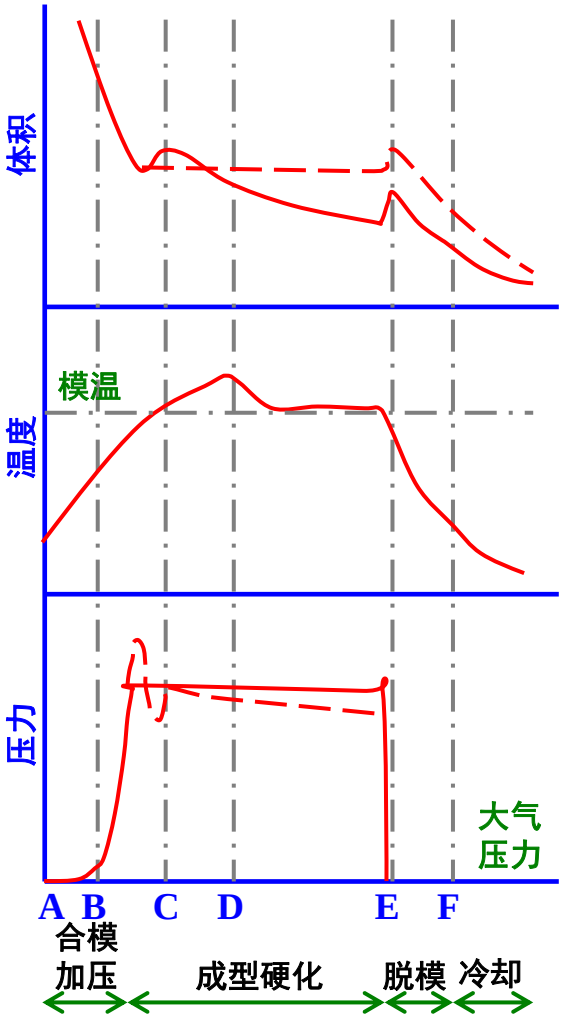
热固性模塑料在模腔内变化情况：



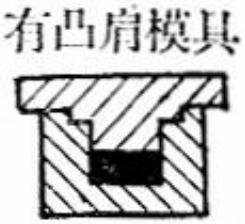
在整个过程中，热固性树脂不仅有物理变化，而且还有复杂的化学交联反应。

模具外的加热和加压的结果：

模腔内在发生化学、物理变化的同时，模具内的压力、塑料的体积以及温度也随之变化。



三大工艺因素 { 模压压力 / 模压温度 / 模压时间 }



实线： 无突肩（不溢式）模具

虚线： 有突肩（半溢式）模具

(1) 模压压力

压机对制品平面沿垂直方向施加的单位压力(MPa)。

生产上常用压机的表压表示，可以换算。

压力的作用：

①促进物料流动，充满型腔以提高成型效率。

②增大制品密度，提高制品的内在质量。

③克服放出的低分子物及塑料中的挥发分所产生的压力，从而避免制品出现气泡、肿胀或脱层。

④闭合模具，赋予制品形状尺寸。

成型时所需的模压压力：

$$P_m = \frac{\pi D^2}{4A_m} P_g$$

式中：P_m — 模压压力（MPa）

P_g — 压机实际使用的液压，即表压(MPa)

A_m — 制品在受力方向上的投影面积(cm^2)

D — 压机主油缸活塞的直径(cm)

一般，热固性塑料如PF、UF：P_m ＝15～30 MPa

模压压力的选择与模塑料的工艺性能和制品的成型条件有关：

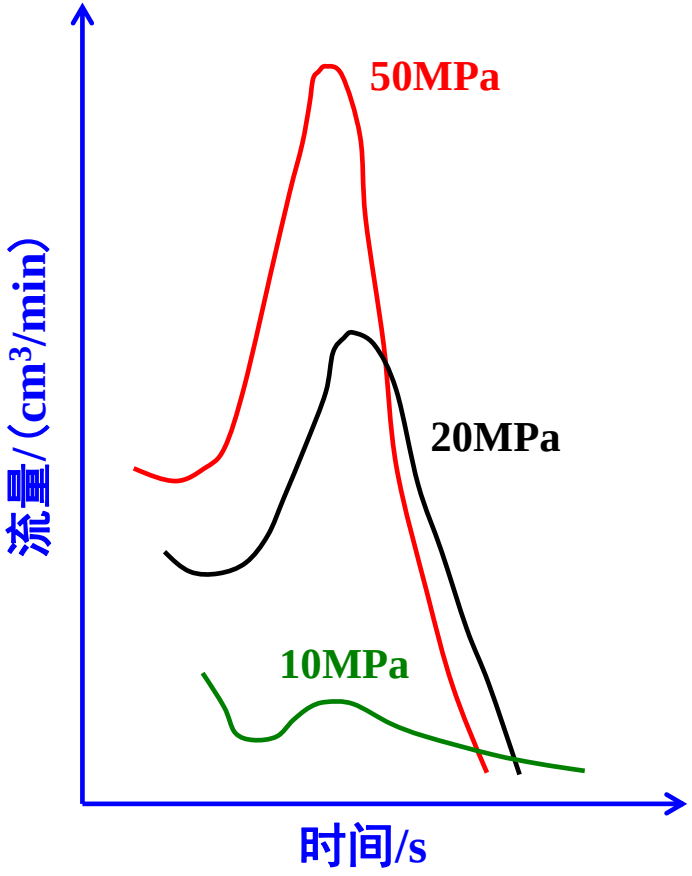
工艺性能
- 流 动 性↓ ⇨ 模压压力↑
- 固化速度↑ ⇨ 模压压力↑
- 压 缩 率↑ ⇨ 模压压力↑

成型条件
- 经过预热 ⇨ 模压压力？
- 模压温度↑ ⇨ 模压压力？
- 制品深度↑ ⇨ 模压压力↑
- 形状复杂 ⇨ 模压压力↑
- 制品密度↑ ⇨ 模压压力↑

模压压力主要受物料在模腔内的流动情况制约。

↓

与温度有关



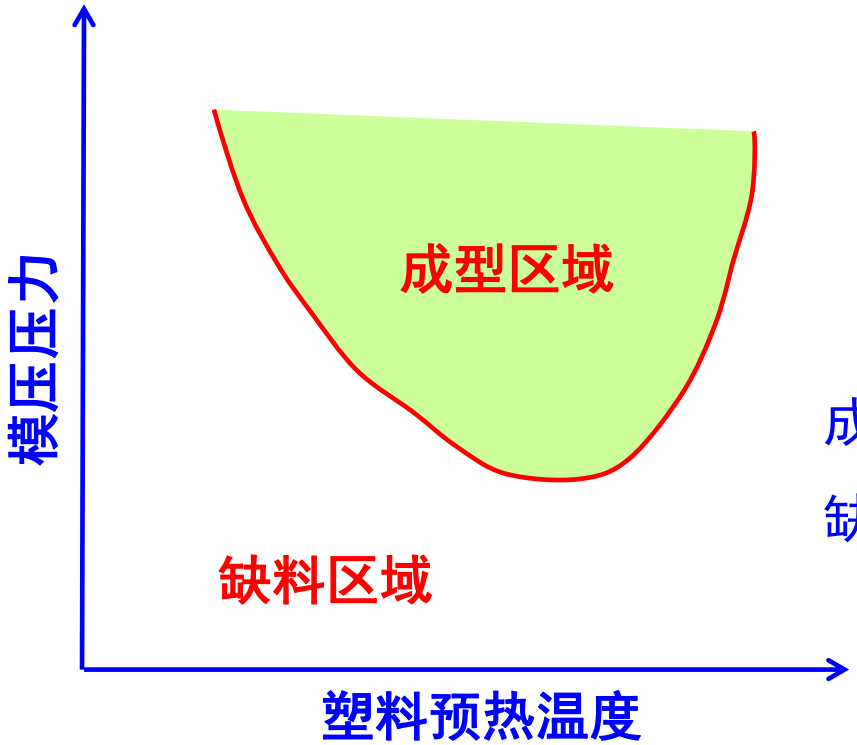
热固性塑料模压压力对流动固化曲线的影响

a-p_m=50Mpa b-p_m=20Mpa c-p_m=10MPa

压力对流动性的影响：

压力高，一般对各种性能是有利的，但对模具使用寿命有影响，设备功率消耗大。

流动性与温度（预热温度）的关系：



成型区域：塑料可以充满模腔的区域

缺料区域：塑料不能充满模腔的区域

模压压力（P_m）与预热温度（T_p）的关系

（2）模压温度

即成型时的模具温度。

塑料受热熔融来源于模具的传热。

模压温度的高低，主要由塑料的本性来决定——交联的要求。

模温影响：

①塑料的流动性

②成型时的充满是否顺利

③硬化速度

④制品的质量

在一定温度范围内：

$T\uparrow$：硬化速度↑，粘度↓，流动性↑。

但又由于$T\uparrow$，固化速度↑，使粘度↑，故流动性↓。

所以：随$T\uparrow$，流动性 -温度曲线具有峰值。

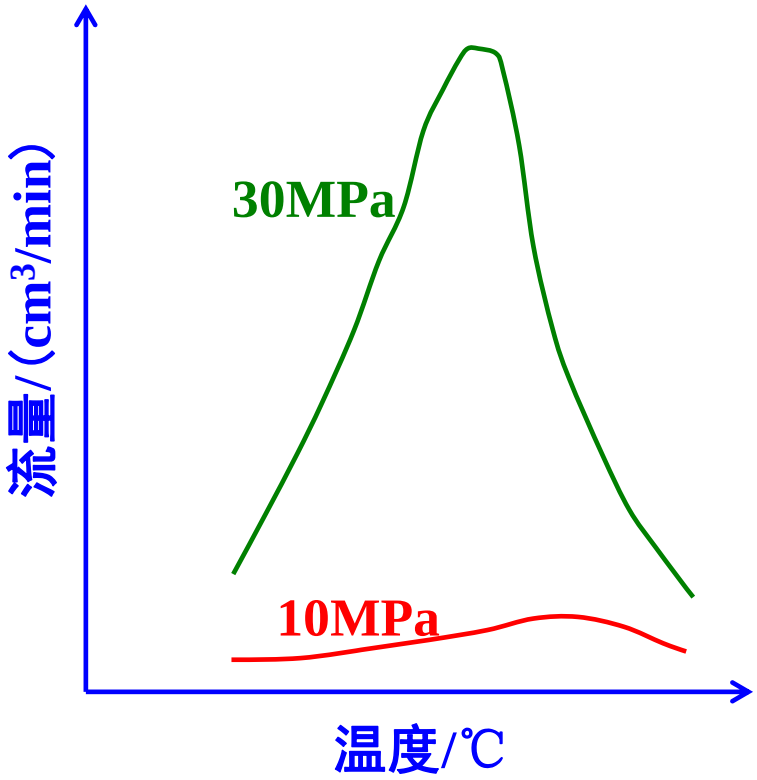
如果 $T_p\uparrow \Rightarrow$ 软化趋势 > 交联趋势 $\Rightarrow P_m\downarrow$

（即P_m低也能顺利充模）

如果 $T_p\uparrow\uparrow \Rightarrow$ 交联趋势 > 软化趋势 $\Rightarrow P_m\uparrow$

（即P_m高才能顺利充模）

☆ 流量与模压温度的关系



热固性塑料流量与温度的关系

1—p_m=30Mpa　2—p_m=10MPa

所以，闭模后应迅速增加压力，使塑料在温度还不很高而流动性又较大时充满模腔各部分。

一般情况下：

温度升高，硬化速度↑，固化时间↓，模塑周期↓，对生产有利。

模温太高的后果：

- 树脂和有机物分解
- 硬化速度太快，造成外层先固化，不再流动，气体难以排出，制品缺料，内应力↑，制品质量↓。

模温太低的后果：

- 硬化不足，质量下降
- 硬化周期长

常用模塑料（PF、UF）的模压成型温度：145～155℃

（3）模压时间

塑料从充模加压到完全固化为止的这段时间。

模压时间的长短决定于：

①固化速度（与树脂种类有关）

②制品的形状、厚度

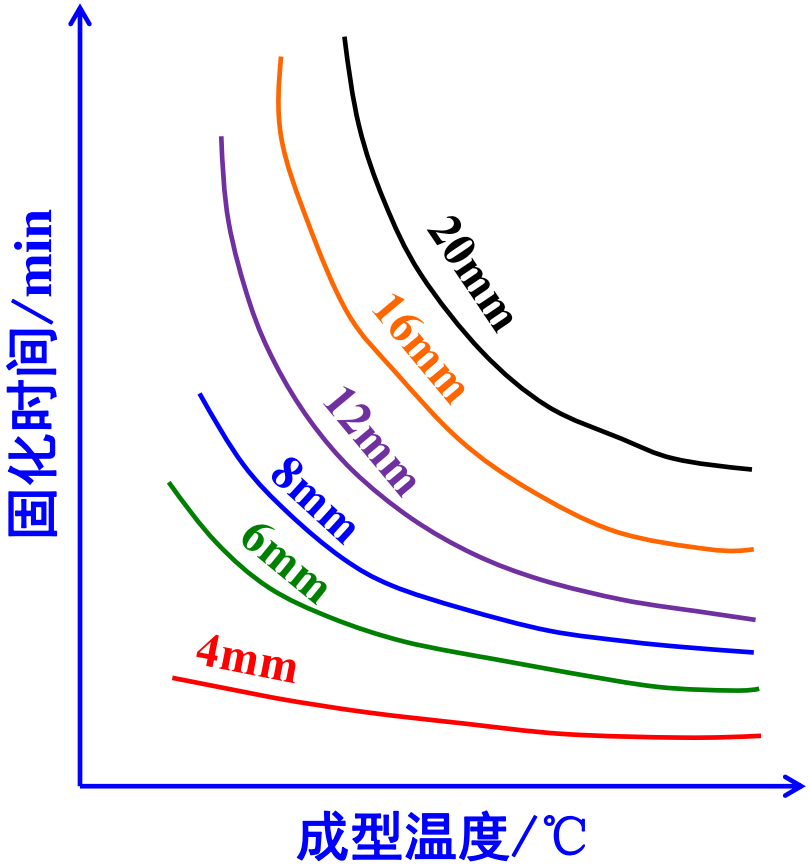
③模压工艺条件：*T*、*P*

④是否预压、预热

一般：*T*↑，固化快，模压时间↓，模塑周期↓。

P 影响不明显，但 *P*↑，模压时间略有↓。

制品厚度与模压温度和时间的关系：



酚醛塑料制品厚度与模压温度和固化时间的关系

厚度的影响：

传热距离和传热时间随着厚度增加而增加，使得整个模压时间延长。

预热的影响：

预热减少了塑料的充模和升温时间，可使整个模压时间缩短。

总之，模压时间长，可使制品交联固化完全，性能↑。

模压时间太长：

①生产效率↓，能耗↑，收缩↑；

②树脂易产生降解，性能↓。

模压时间太短：

①固化不足，外观无光泽，性能↓；

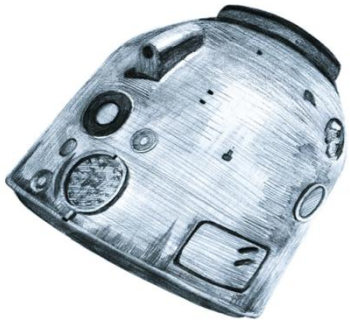
②易产生翘曲变形。

一般，PF、UF的模压时间为：1min/1mm制品厚度。

对模压成型的工艺条件：压力、温度、时间三者要综合考虑。

一般原则：

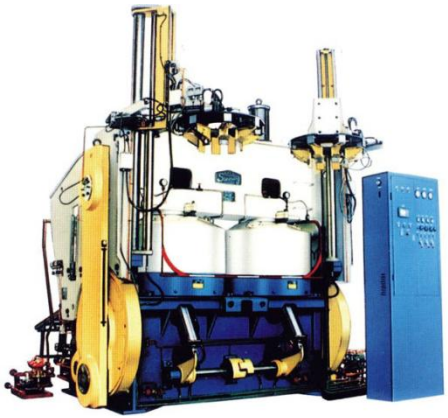
在保证制品质量的前提下，尽可能地降低压力、温度和缩短时间。



7.2 橡胶制品的模型硫化

模压成型广泛应用于各种橡胶制品的生产。橡胶模压所用的原料是混炼胶或经成型后的橡胶半成品。生产工艺基本上与热固性塑料的模压成型相同，橡胶成型最后是通过交联(硫化)形成网状结构的制品。

在橡胶制品生产中，硫化是最后的一道加工工序，而模型硫化在硫化工艺中的使用最为广泛。



7.2.1 橡胶制品及生产工艺

(1) 橡胶制品品种

①轮胎：生胶的50～60%

②胶带：运输胶带、传动胶带

③胶管：软管、纤维增强

④胶鞋：贴合鞋、模压鞋、注压鞋

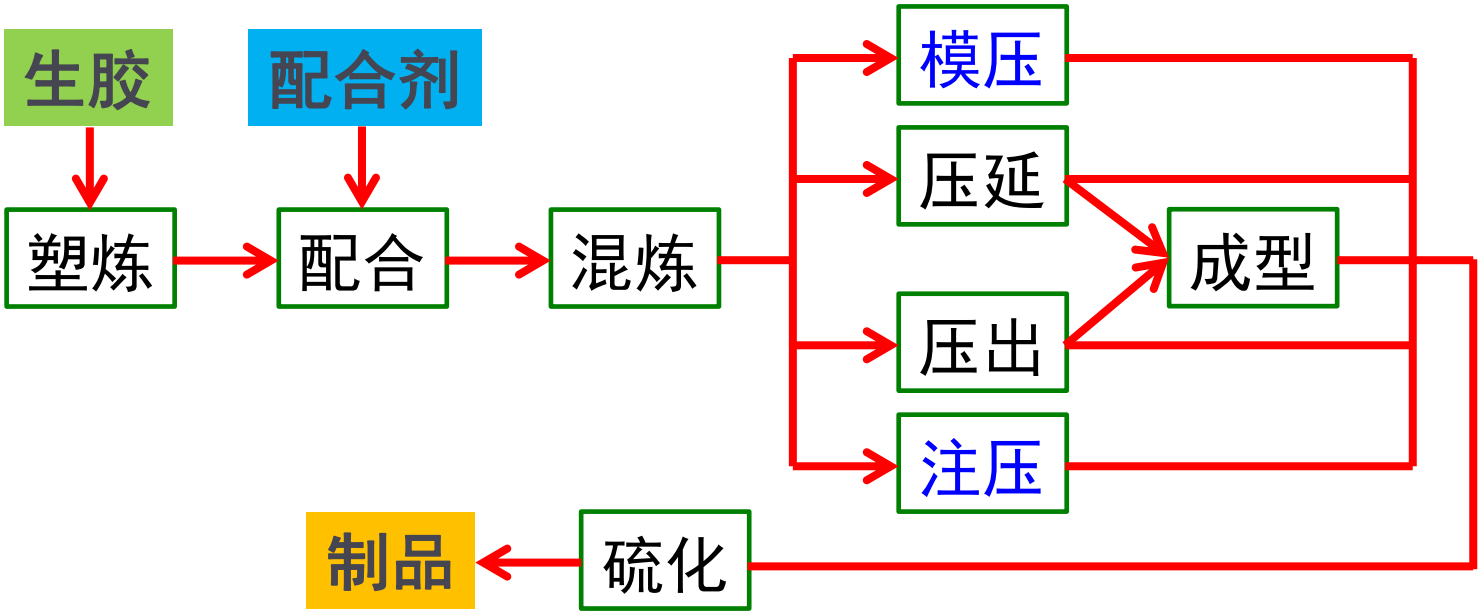
⑤其它橡胶工业制品：油封、胶布、胶板、胶辊

橡胶制品：模型制品、非模型制品。

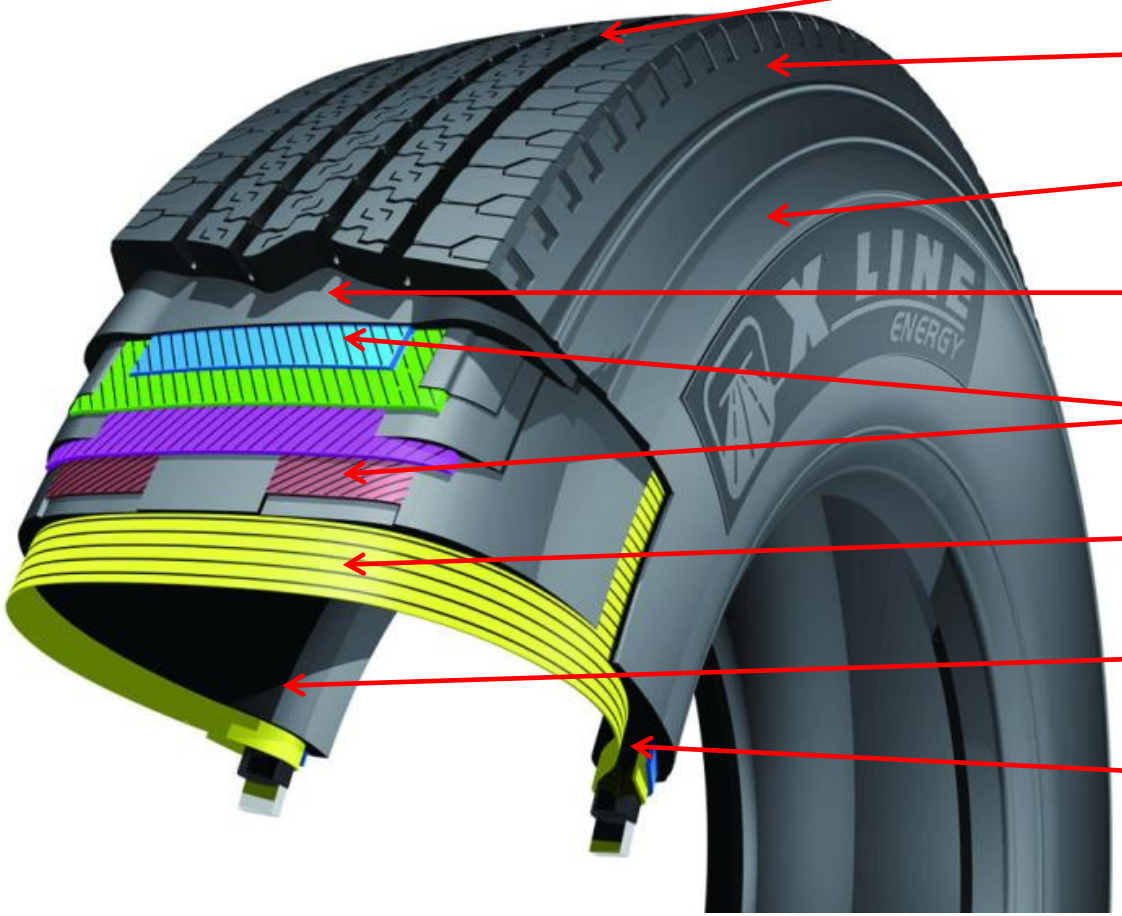
(2) 橡胶制品生产工艺

橡胶工艺：干胶工艺和乳胶工艺

橡胶制品的基本工艺过程包括生胶塑炼、配合、胶料混炼、成型、硫化五个基本过程。



子午线轮胎的结构图



胎冠

胎肩

胎侧

缓冲层

带束层

帘布层

气密层

胎圈

子午线轮胎从外到内大致可以分为胎冠、胎肩、胎侧、胎圈、带束层、帘布层、气密层等几个部分。

胎冠 — 直接与路面接触的部分，分布有各种花纹、沟槽。

胎肩 — 轮胎的肩状突出部位，轮胎滚动时易发生形变。

胎侧 — 轮胎的侧面，对胎体起保护作用，标有轮胎参数。

胎圈 — 与轮辋接触的部分，能够在内部气压的作用下，紧密地绕着轮辋，从而保证不漏气。

带束层 — 除了起缓冲作用外，子午线轮胎带束层的作用还在于捆紧帘线，完成在半径方向的压缩。

帘布层 — 帘布层(即胎体层)是轮胎的骨架，子午线轮胎的帘布层中，分布着与轮胎滚动方向垂直的金属或纤维带束。

气密层 — 最内层的一层橡胶，可防止气体扩散并代替轮胎内部的内胎。

7.2.2 橡胶制品的硫化

1. 橡胶在硫化过程中的结构与性能变化

硫化前：线形结构，分子间以范德华力相互作用

↓

硫化时：分子被引发，发生化学交联反应

↓

硫化后：网状结构，分子间主要已以化学键结合

硫化前：

结构：线性大分子，分子与分子之间无价键力；

性能：可塑性大，伸长率高，具可溶性。

硫化后：

结构：①化学键

②交联键的位置

③交联程度

性能：①力学性能(**拉伸、定伸强度，硬度、伸长率、弹性**)

②物理性能

③化学稳定性

硫化后橡胶的性能变化：

以天然橡胶为例，随硫化程度的提高：

①力学性能的变化

弹性
扯断强度
撕裂强度
定伸强度
硬度
} 提高

伸长率
疲劳生热
压缩永久变形
} 降低

②物理性能的变化

- 透气率、透水率降低
- 不能溶解，只能溶胀
- 耐热性提高

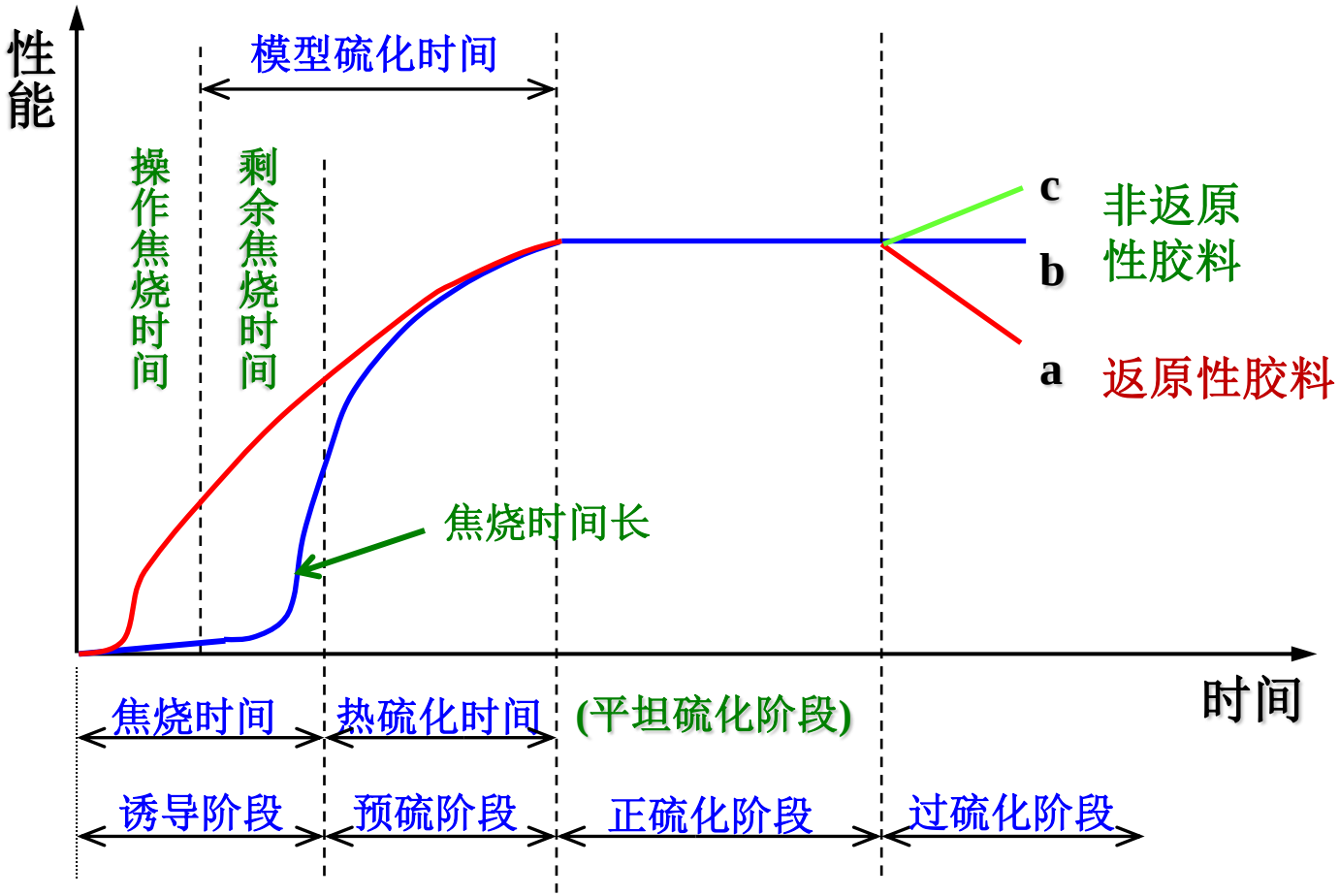
③化学稳定性的变化

化学稳定性提高

原因：a. 交联反应使化学活性很高的基团或原子不复存在，使老化反应难以进行。

b. 网状结构阻碍了低分子的扩散，导致橡胶老化的自由基难以扩散。

2. 硫化历程


性能
模型硫化时间
操作焦烧时间
剩余焦烧时间
c
非返原性胶料
b
a
返原性胶料
焦烧时间长
时间
焦烧时间
热硫化时间
(平坦硫化阶段)
诱导阶段
预硫阶段
正硫化阶段
过硫化阶段

（1）焦烧阶段 — 硫化诱导期

焦烧 — 硫化时，胶料开始变硬而后不能进行热塑性流动的那一刻时间。

焦烧期的长短：决定了胶料的焦烧性及操作安全性。取决于配方，特别是促进剂。可用迟效性促进剂：CZ、NOBS。

焦烧时间的起点：实际上是从混炼时加入硫磺的那一时刻开始。

焦烧时间
- 操作焦烧时间 — 混炼，停放，热炼，成型
- 剩余焦烧时间 — 胶料在模腔中加热时保持流动性的时间

若：操作焦烧时间 > 焦烧时间，就发生焦烧

防止焦烧的手段：

①具有较长的焦烧时间：使用后效性促进剂

②混炼、停放、热炼、成型应低温、迅速，即减少操作焦烧时间。

（2）欠硫阶段

焦烧期后，橡胶开始交联，至正硫化。

在此阶段，交联度低，即使在此阶段的后期，性能（主要是拉伸强度、弹性等）尚未达到预期的要求。

但其抗撕性、耐磨性、则优于正硫化胶料，若要求这些性能时制品可以轻微欠硫。

预硫阶段的长短反应了橡胶硫化反应速度的快慢，主要取决于胶料的配方。

（3）正硫阶段-硫化平坦阶段

制品达到适当的交联度的阶段，此时各项力学性能均达到或接近最佳值，其综合性能最好。

正硫化是一个阶段 — 各项性能基本上保持恒定或变化很少，也称硫化平坦期。

硫化平坦期的宽窄：取决于配方、温度等。

正硫化时间的选取：拉伸强度达到最高值略前的时间。

主要是考虑“后硫化”。

（4）过硫阶段

正硫化后，继续硫化进入过硫化。

进入过硫化阶段：

性能下降—硫化返原（断链多于交联，NR、IIR）

性能恒定甚至上升—非返原（交联占优、环化）

交联和氧化断链两种反应贯穿于橡胶硫化过程的始终。只是在硫化过程的不同阶段两种反应优势不同。

进入过硫的早晚，即硫化平坦期的宽窄，主要取决于两个方面：①配方(如超促进剂TMTD)；②温度。

3. 正硫化及正硫化点的确定

正硫化应是胶料达到最大交联密度时的硫化状态，可根据某些与交联密度成正比的性能指标来确定正硫化时间。

①物理机械性能法

②化学法

③专用仪器法 — 硫化仪

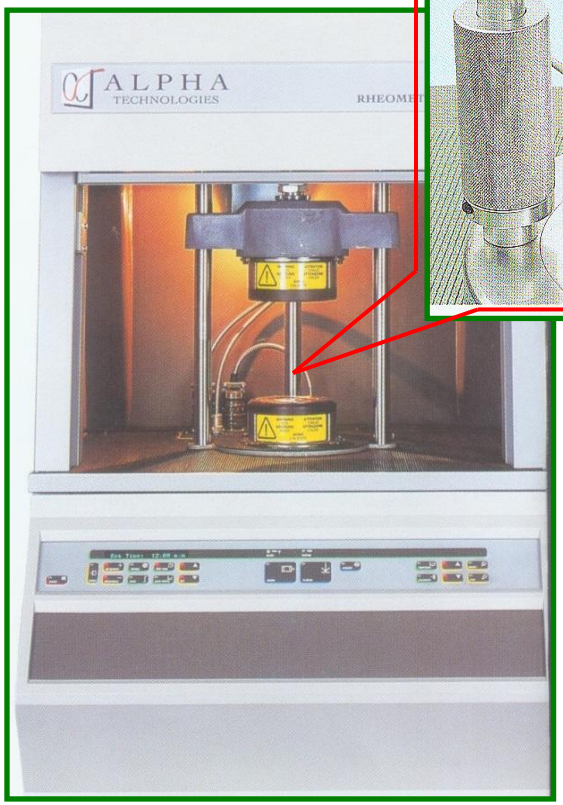
测定原理：胶料的剪切模量与交联密度成正比。

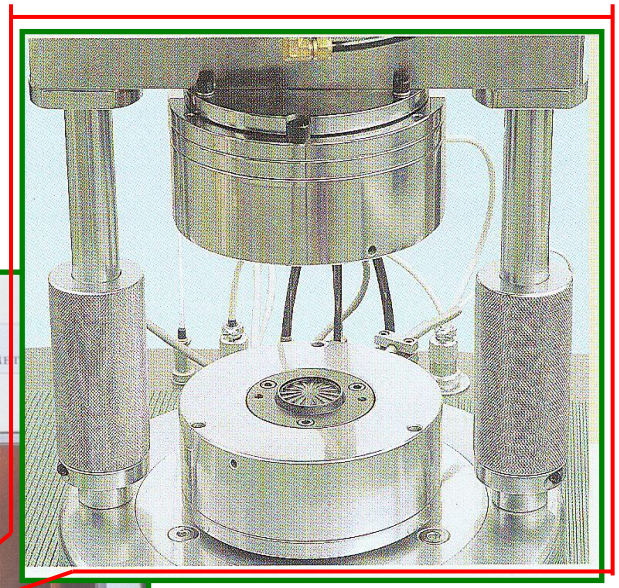
$$G = D \cdot R \cdot T$$

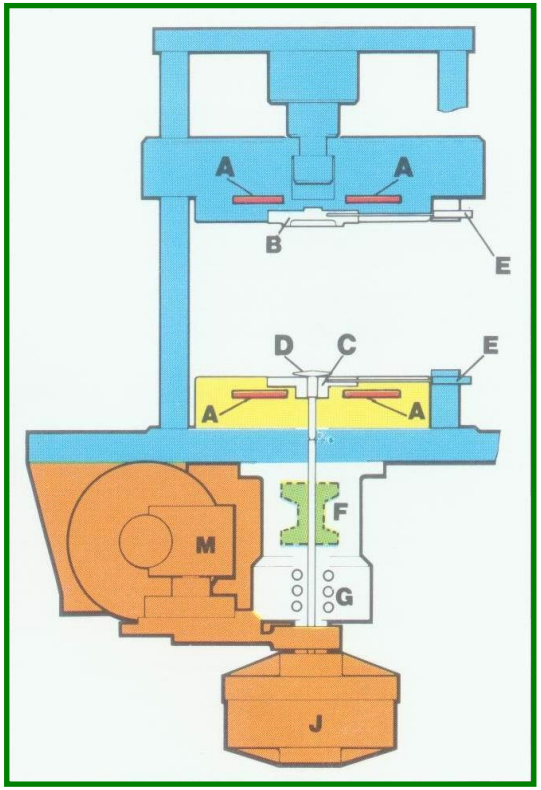
胶料剪切模量　交联密度　气体常数　温度

测定参数：初始粘度、最低粘度、焦烧时间、硫化速度、正硫化时间、活化能。

硫化仪及其工作原理







A 加热器

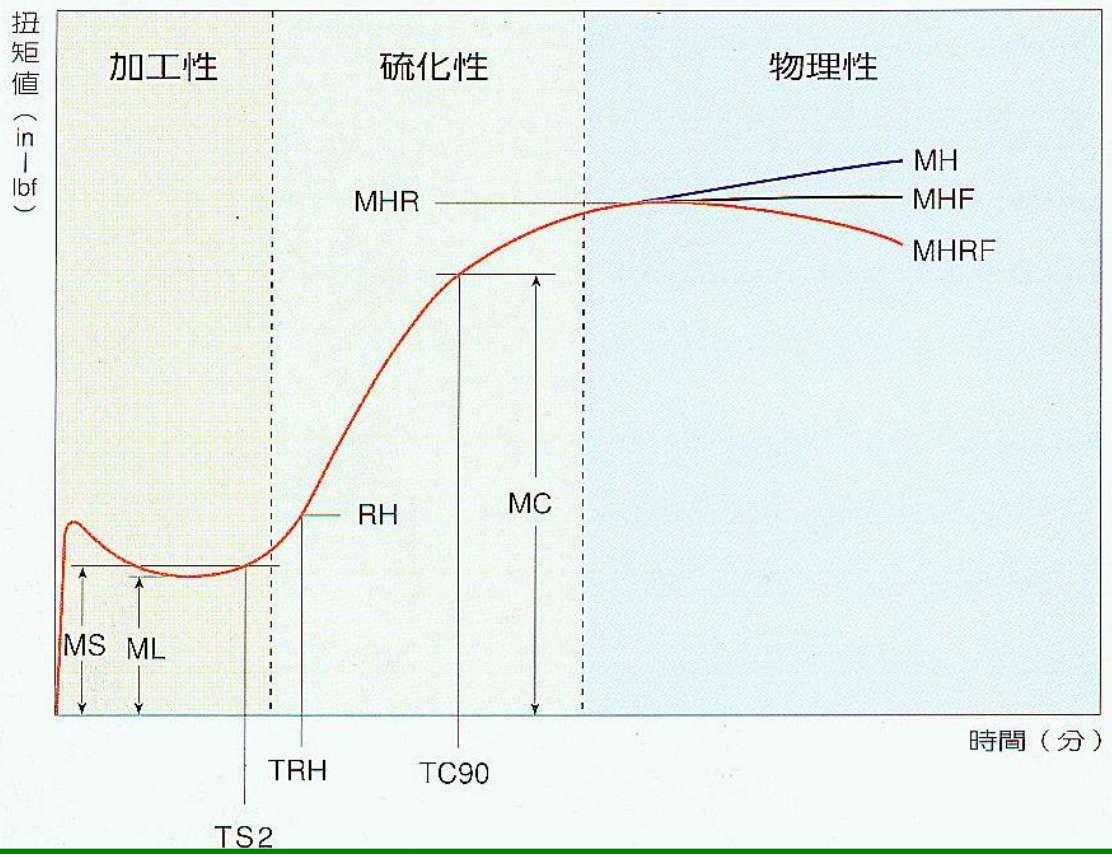
B 上模具

C 下模具

D 转子　E 温度计　F 扭矩传感器

G 轴承　M 电动机和齿轮箱　J 气动夹持器

硫化曲线分析



M L ：最小扭矩值
M H ：最大扭矩值
R H ：最大硫化速度
M S ：在 Ts 時之扭矩值
M C ：在 Tc 時之扭矩值
T S ：早期焦燒時間
T C ：完成硫化時間
MHR：最大回復扭矩值
MHF：最大扭矩值（平台段）
MHRF: 最終回復扭矩值
MS=ML+2 IN-LBF
MC=(MH-ML)x90%+ML

①最小转矩M_L：反映胶料的可塑性

②最大转矩M_H：反映硫化胶的模量

③焦烧时间t_{10}：

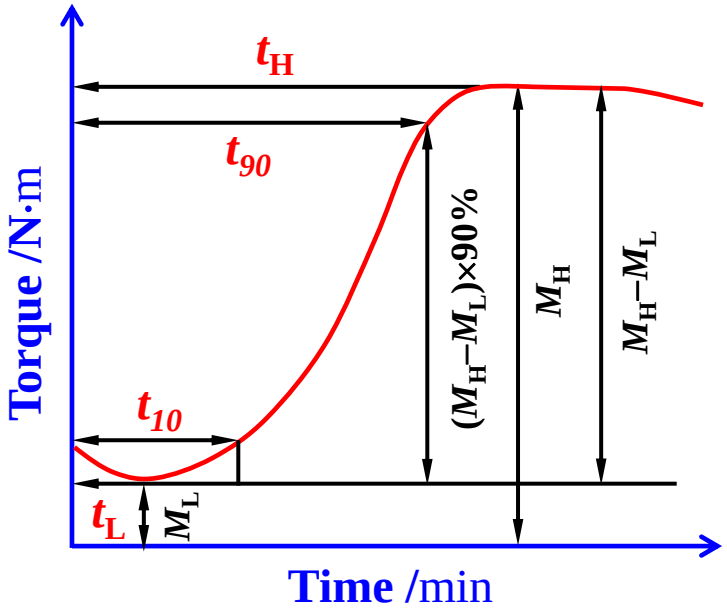
转矩达到$(M_H-M_L)\times10\%+M_L$

④正硫化时间t_{90}：

转矩达到$(M_H-M_L)\times90\%+M_L$

⑤硫化反应速度$t_{90}-t_{10}$：

硫化反应速度与其值成反比



硫化参数的确定

t_{10}、t_{90}、平坦情况

↓

温度

↓

配方

研究实例：小麦蛋白的交联过程

4. 硫化方法

①室温硫化法 — 橡胶半成品在室温及不加压的条件下进行硫化。

如：橡胶粘合剂、自硫胶浆

②冷硫化法 — 薄层浸渍制品在有机溶液或蒸气中的硫化。

如：乳胶手套

③高能辐耐硫化法 — 橡胶半成品在高能射线或高能质点作用下产生交联。

如：医用乳胶手套、婴儿奶嘴

④热硫化法 — 胶料或半成品置于金属模腔内，从模外加热、加压进行硫化。

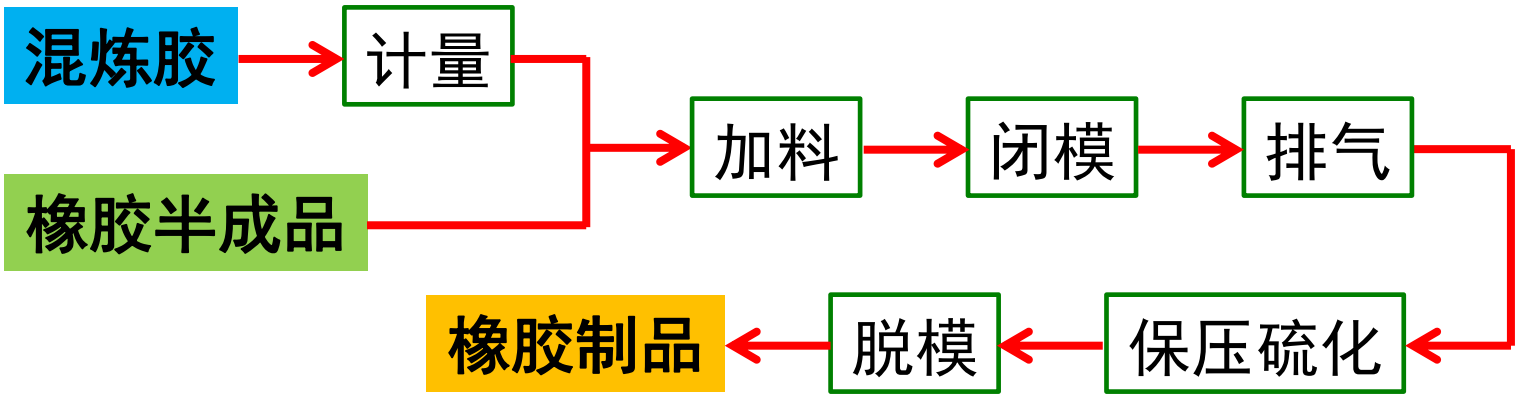
如：轮胎、油封

⑤连续硫化法 — 用于橡胶压出、压延制品的硫化。

如：胶管、胶带

7.2.3 模型硫化工艺及硫化条件

橡胶制品模型硫化工艺流程：



模型硫化是将混炼胶或成型后的橡胶半成品置于闭合的金属模具内加热加压，使橡胶硫化交联而定型为制品。

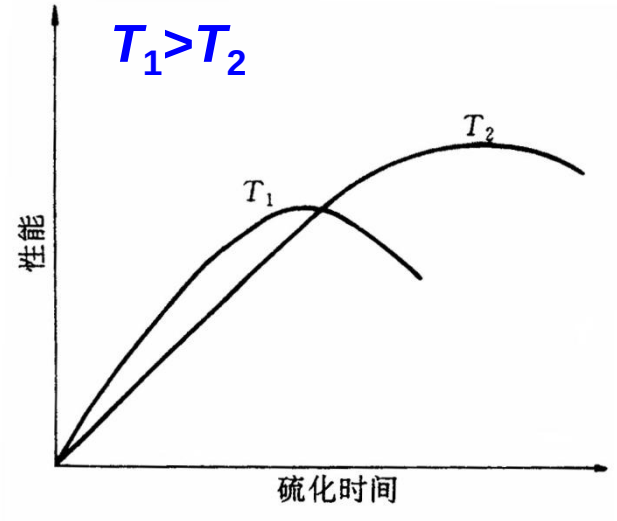
这一过程与热固性塑料的模压成型基本相同，硫化工艺条件是硫化压力、硫化温度和硫化时间。

1. 硫化温度

橡胶的硫化是化学反应，与其它化学反应一样，硫化速度随温度的升高而加快，所以升高温度能提高生产率。

一般当温度每增加(降低)10℃，时间可缩短(增加)一倍，两者有一关系：

$$\frac{t_1}{t_2} = K^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$



式中：

t_1 — 温度T_1时所需的硫化时间
t_2 — 温度T_2时所需的硫化时间
K — 温度系数(通常取2)

2.硫化时间

一定的P、T下，t↑，硫化程度↑，性能↑。但t太长，会发生降解，性能↓；t太短，没有达到较好的硫化。

硫化时间的长短须服从于达到正硫化时的硫化效应为准则。(即不同条件下，硫化效应须相同)

硫化效应：$E = I_t \cdot t$　　I_t — 硫化强度，t — 硫化时间

硫化强度：

(反映硫化速度)

$$I = K^{\frac{T-100}{10}} \qquad \left(I = K^{\frac{T-T_0}{10}}\right)$$

式中：K — 硫化温度系数；T — 胶料硫化温度，℃

T_0 — 规定硫化效应所采用的温度。一般 $T_0 = 100$℃

3. 硫化压力

大多数橡胶制品的硫化是在一定压力下进行的，加压的目的和压力高低的影响同热固性塑料。

胶料流动性差、制品形状复杂、制品表面花纹细致、结构复杂、厚制品、硫化温度高，则硫化压力高一些。

一般模压制品的硫化压力为2～4 MPa。

所以对硫化工艺条件的确定，人们总是利用硫化仪做硫化特征曲线，反复测 t、T 后确定的。原则是 t、T 要匹配。正确决定 T、t、P 是保证硫化胶质量的关键。

7.3 复合材料压制成型

复合材料：聚合物基复合材料

高分子复合材料 — 高聚物 ＋ 增强材料（或填充材料）

“复合”，赋予了材料优异的物理力学性能。

复合材料制品：热固性树脂 ＋ 纤维性增强材料。

常用的增强材料有玻璃纤维、石棉、金属等。比强度甚至超过合金钢，故又名“玻璃钢”（Fiber glass-reinforced plastics, FRP or GRP）。

优点：密度低、绝缘性强、耐化学腐蚀、电性能优良。

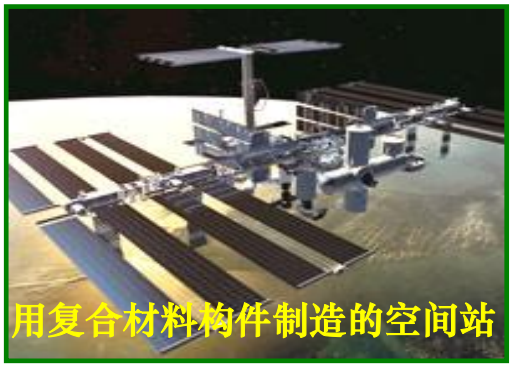
不足：弹性模量低、耐温性差、易老化。

几种材料的密度和拉伸强度

材料种类	密度 g/cm^3	拉伸强度 MPa	比强度 10^3cm
高级合金钢	8.0	1280	1600
A_3钢	7.85	400	510
LY_{12}铝合金	2.8	420	1500
玻纤增强环氧树脂	1.73	500	2890
玻纤增强聚酯树脂	1.80	290	1610
玻纤增强酚醛树脂	1.80	290	1610
玻纤增强DAP树脂	1.65	360	2180
Kevlar纤维增强环氧	1.28	1420	11094
碳纤维增强环氧	1.55	1550	10000

大量采用复合材料制造的产品

战斗机



风力发电机

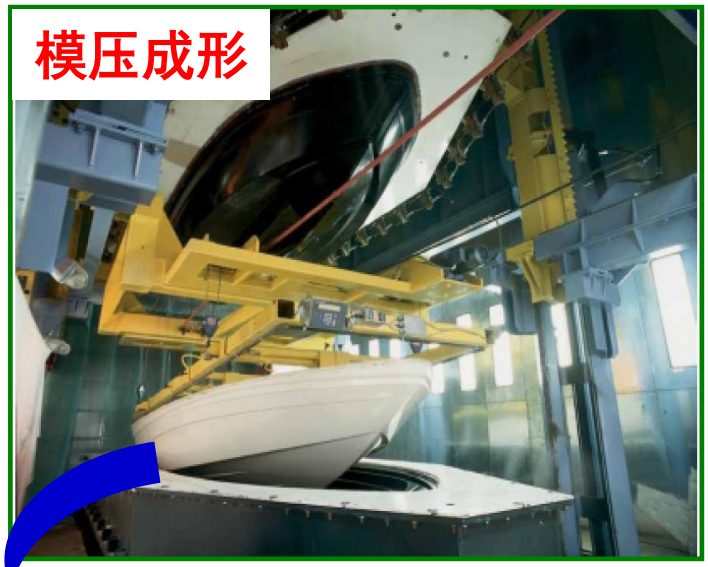
百万千瓦超临界发电机大锥环

用复合材料制造的游艇

化工耐腐蚀管道

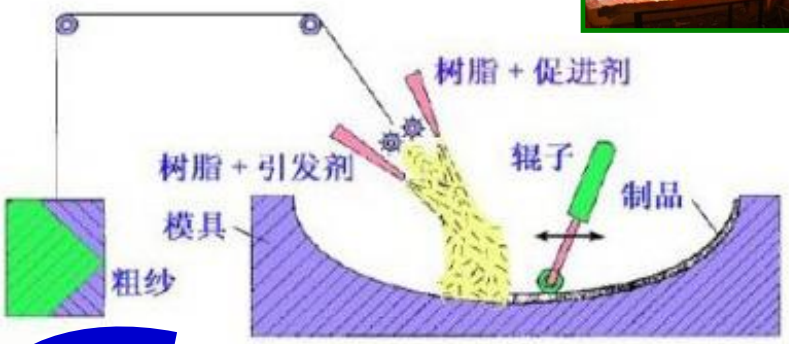
大量采用复合材料制造的产品

复合材料成型加工方法

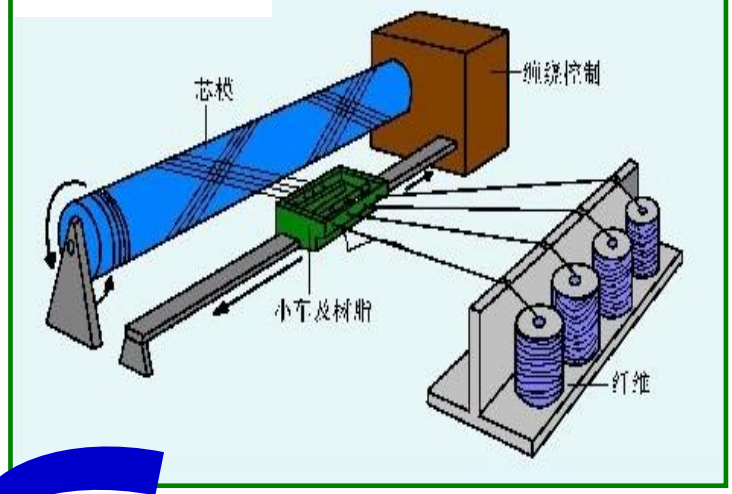


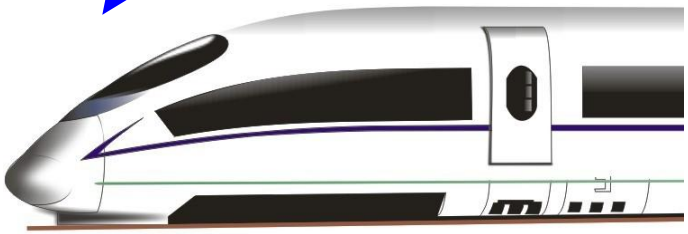
复合材料成型加工方法

喷射成形



缠绕成形





7.3.1 层压成型

增强热固性塑料的层压成型是以片状连续材料（玻璃布、纸、布）为骨架材料（增强材料）浸渍热固性树脂溶液，经干燥后成为附胶材料，通过裁剪、层叠或卷制，在加热、加压的条件下，使热固性树脂交联固化成型为片状、棒状、管状的层压制品。

层压成型特点：

①压力：大于1.4MPa，为层压成型

主要制品：层压板、管、棒以及覆铜箔板

小于1.4MPa，为接触成型

主要制品：玻璃钢的游艇和容器

②压力传递：用两块光滑的钢板。

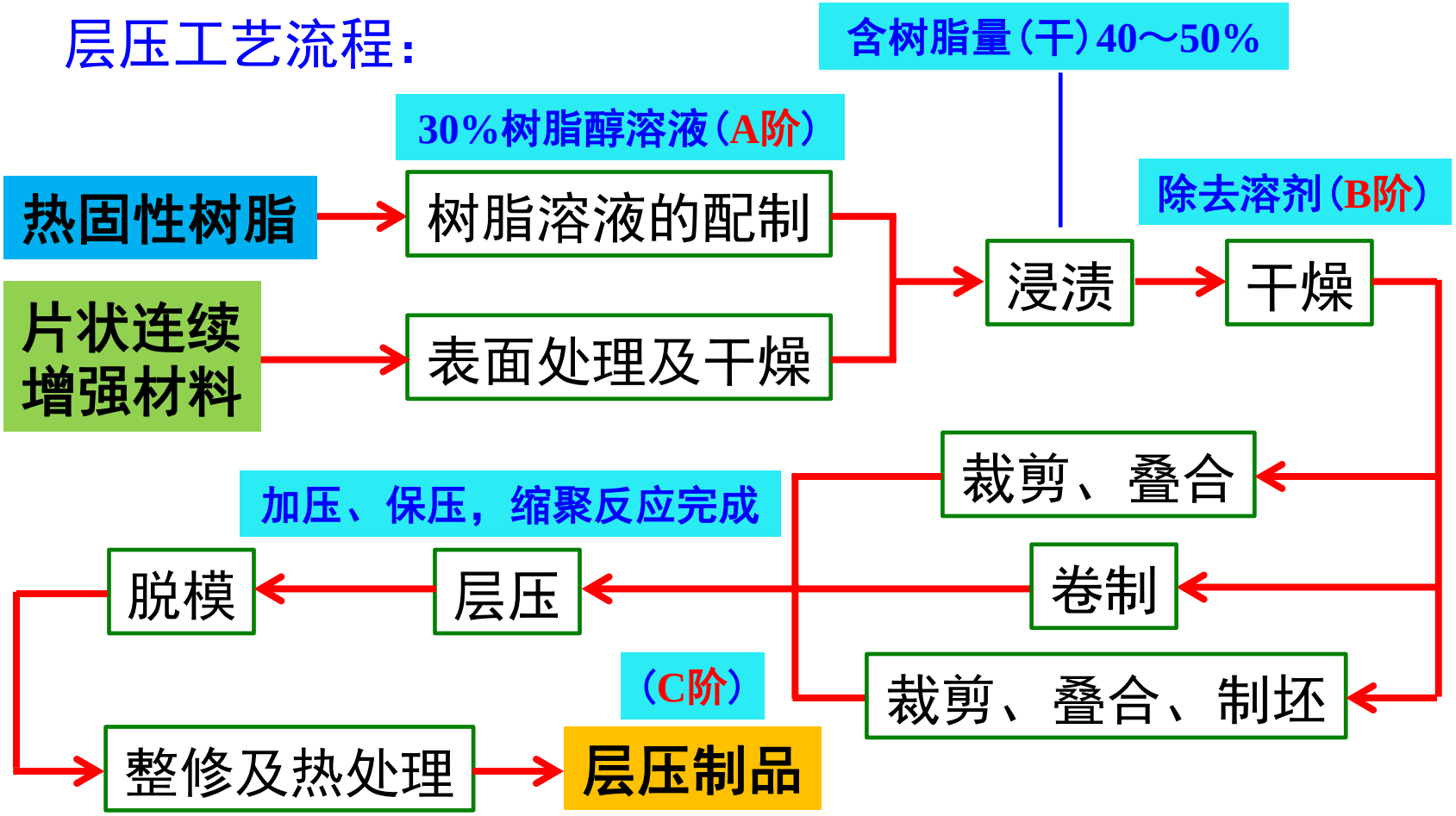
③增强材料：大面积的骨架材料。

树脂/增强材料＝50/50

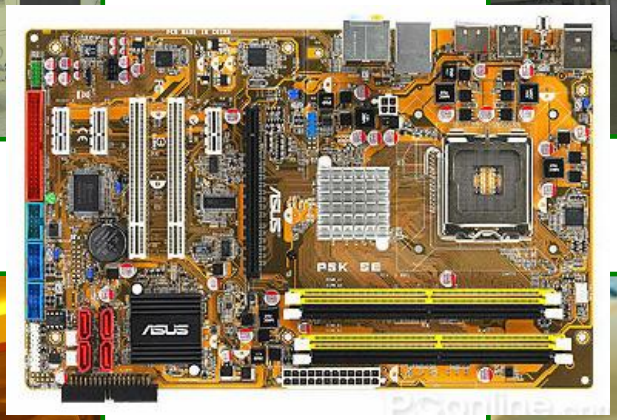
层压成型设备：下压式多层压机

1. 层压成型工艺

层压工艺流程：



层压成型设备和原料



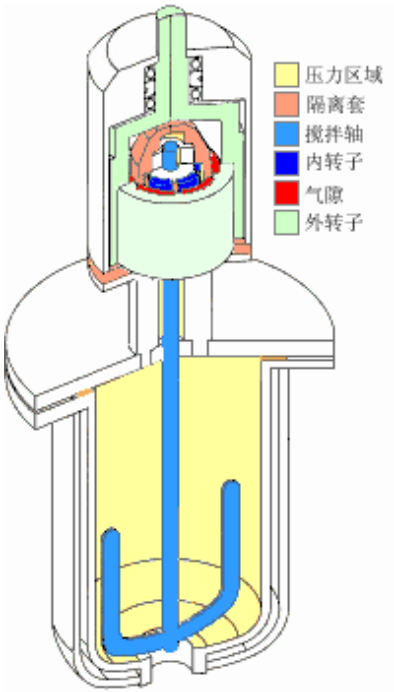
(1) 浸渍上胶

主要包括树脂溶液的配制、浸渍和干燥等工序。

①树脂溶液配制 — 按需要配制成一定浓度的树脂胶液。

例：酚醛树脂溶液的配制

采用碱催化的A阶热固性酚醛树脂，以乙醇作为溶剂，配制浓度为30%的浸渍液。为增加树脂与增强材料的粘结力，可在浸渍液中添加聚乙烯醇缩丁醛树脂。



②浸渍 — 使树脂溶液均匀涂布在增强材料上，关键是控制上胶量，一般要求含胶在30～55%（干）。

③干燥 — 除去溶剂、水分及其他挥发物，同时使树脂进一步化学反应，从A阶段推进到B阶段。

干燥后的附胶材料是制造层压制品的半成品。

(2) 压制

①层压板材的压制 — 裁剪、叠合板坯放入两钢板间，置于多层压机的两层模板之间，经过预热、加压、保压，使树脂从B阶段进入C阶段。

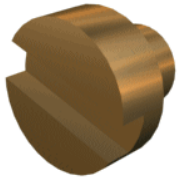
②管材、棒材的压制 — 将干燥的附胶材料用卷管机卷绕成管坯或棒坯，在烘箱中进行加温固化。

③模型制品的压制 — 将干燥的附胶材料经裁剪、叠合制成型坯，在模腔内进行热压固化。

(3) 后加工和热处理

①后加工 — 去除制品毛边及进行机械加工。

②热处理 — 制品加温后烘使树脂固化完全。



2. 层压工艺条件

温度、压力和时间是层压成型的三个重要的工艺条件，压制过程中，温度和压力的控制分为五个阶段。

(1) 层压温度

温度的高低取决于：

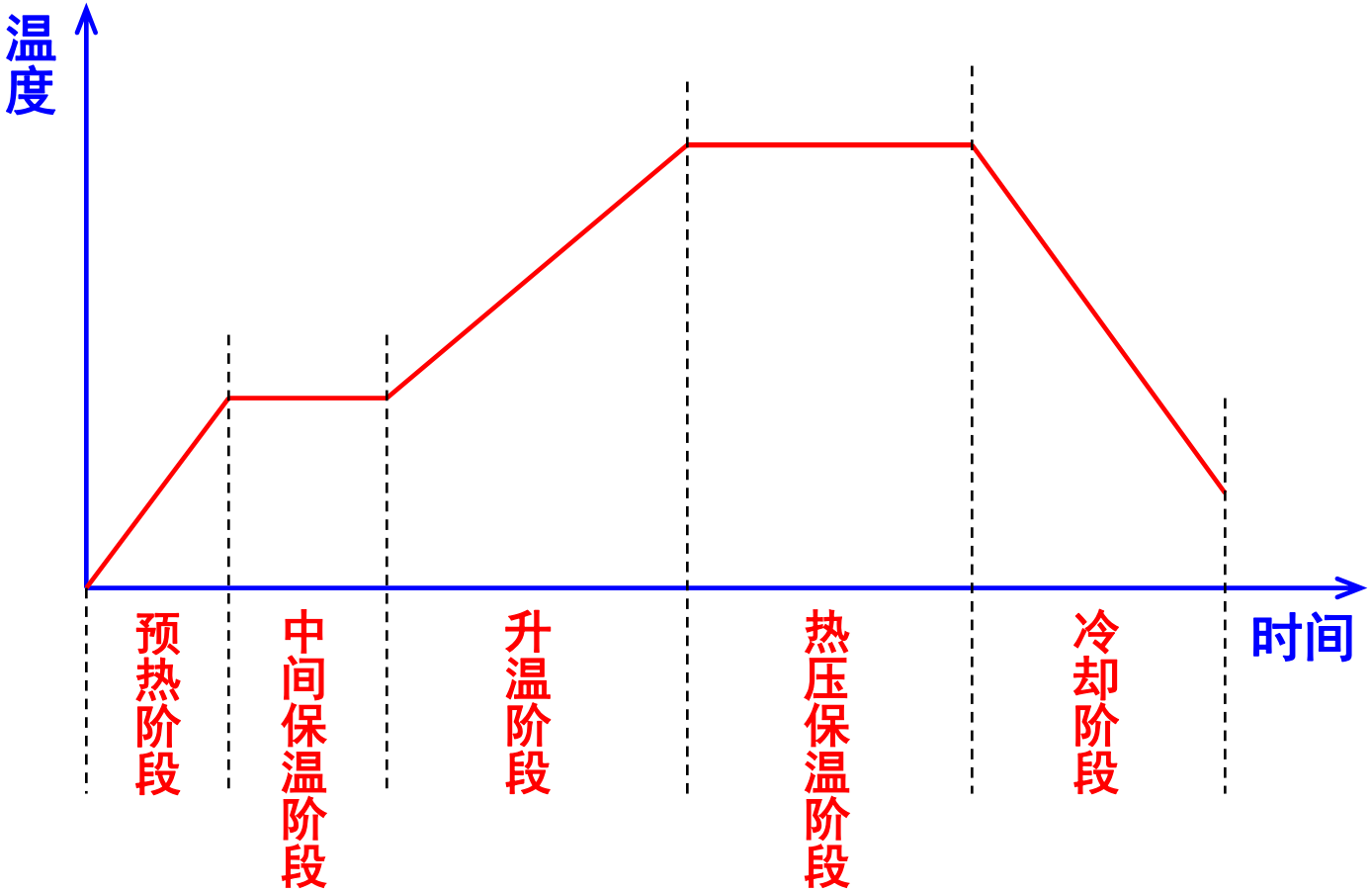
①树脂的类型和固化速度

②浸胶材料的含胶量

③树脂中的挥发份及不溶胶树脂的含量

④层压制品的厚度

压制的温度控制一般分为五个阶段：



预热阶段

板坯的温度由室温升至树脂开始交联反应的温度，使树脂开始熔化，并进一步渗入增强材料中，同时排出部分挥发物。此时的压力＝最高压力的1/3～1/2。

中间保温阶段

树脂在较低的反应速度下进行交联固化反应，直至溢料不能拉成丝，然后开始升温升压。

升温阶段

将温度和压力升至最高，加快交联反应。（此时树脂的流动性已下降，高温高压不会造成胶料流失）

热压保温阶段

在规定的温度和压力下，保持一定时间，使树脂充分交联固化。

冷却阶段

树脂在充分交联后，使温度逐渐降低，进行降温冷却。

（2）层压压力

在五个阶段各不相同：第一、二两阶段压力较低，当树脂的流动性下降到一定程度时，才可在第三阶段升温和加足压力。

（3）层压时间

决定于树脂的类型、硬化特征及制品的厚度。

层压时间 ＝ 预热时间 ＋ 叠合厚度 × 硬化速度 ＋ 冷压时间

（保压层压时间）

3. 层压塑料的用途

层压板的使用性能取决于树脂和填料的类型。

氨基树脂＋纸 ⟶ 建筑装饰板

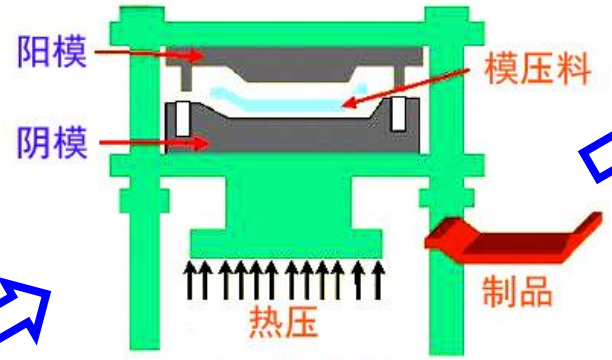
有机硅、酚醛、环氧＋玻璃布 ⟶ 绝缘、防腐、结构材料

酚醛＋布 ⟶ 机械零件

7.3.2 模压成型

复合材料的模压成型是将模压料放置于金属对模中，在一定的温度和压力作用下，制成异型制品的工艺过程。

模压料是以热固性树脂作为粘结剂浸渍增强材料后制得的中间产物，常用的树脂有酚醛、环氧、环氧-酚醛和聚酯树脂等，增强材料多数是玻璃纤维。



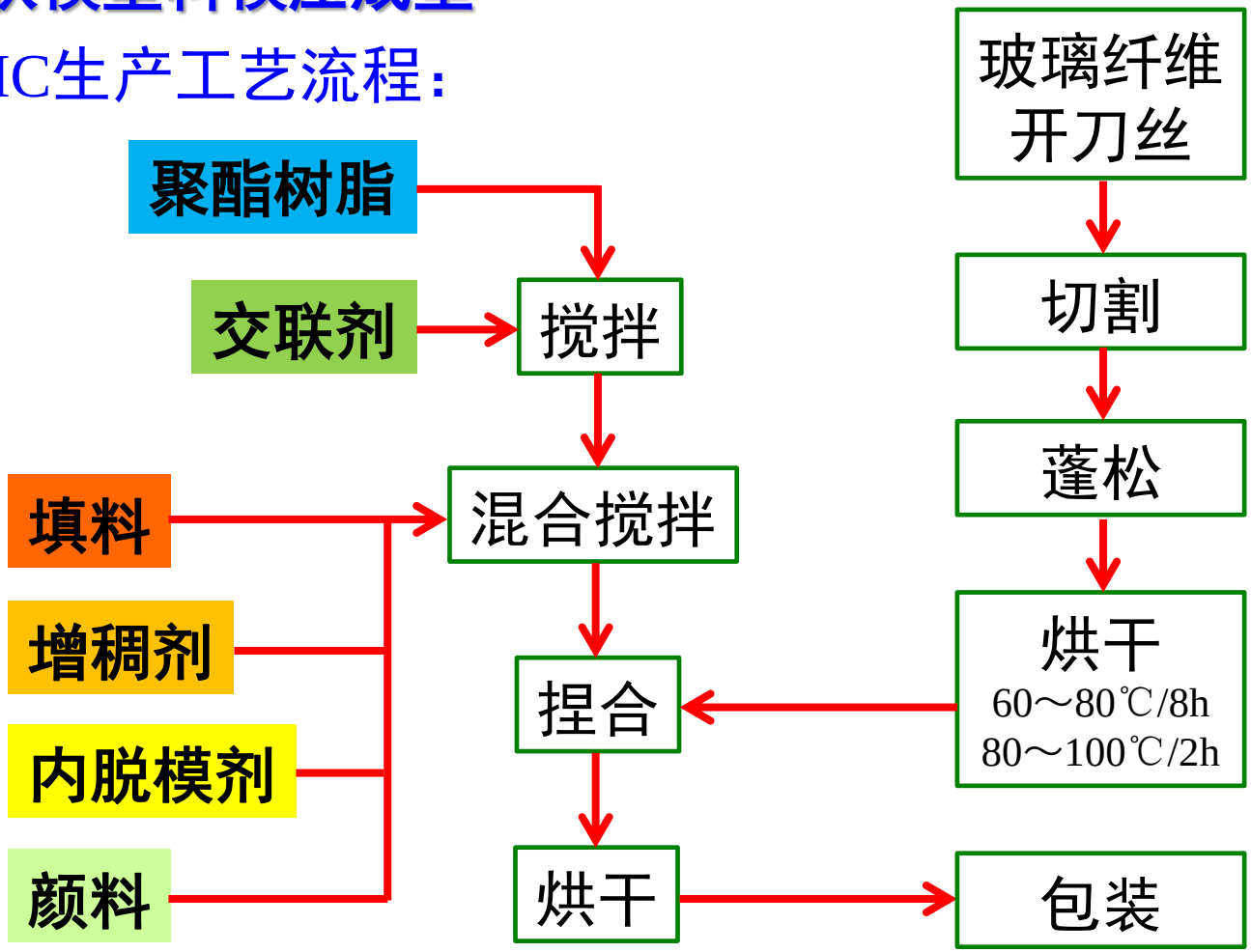
模压成型

复合材料的模压成型工艺主要用于生产聚酯模塑料制品，所采用的聚酯模压料主要是块状模压料和片状模压料。

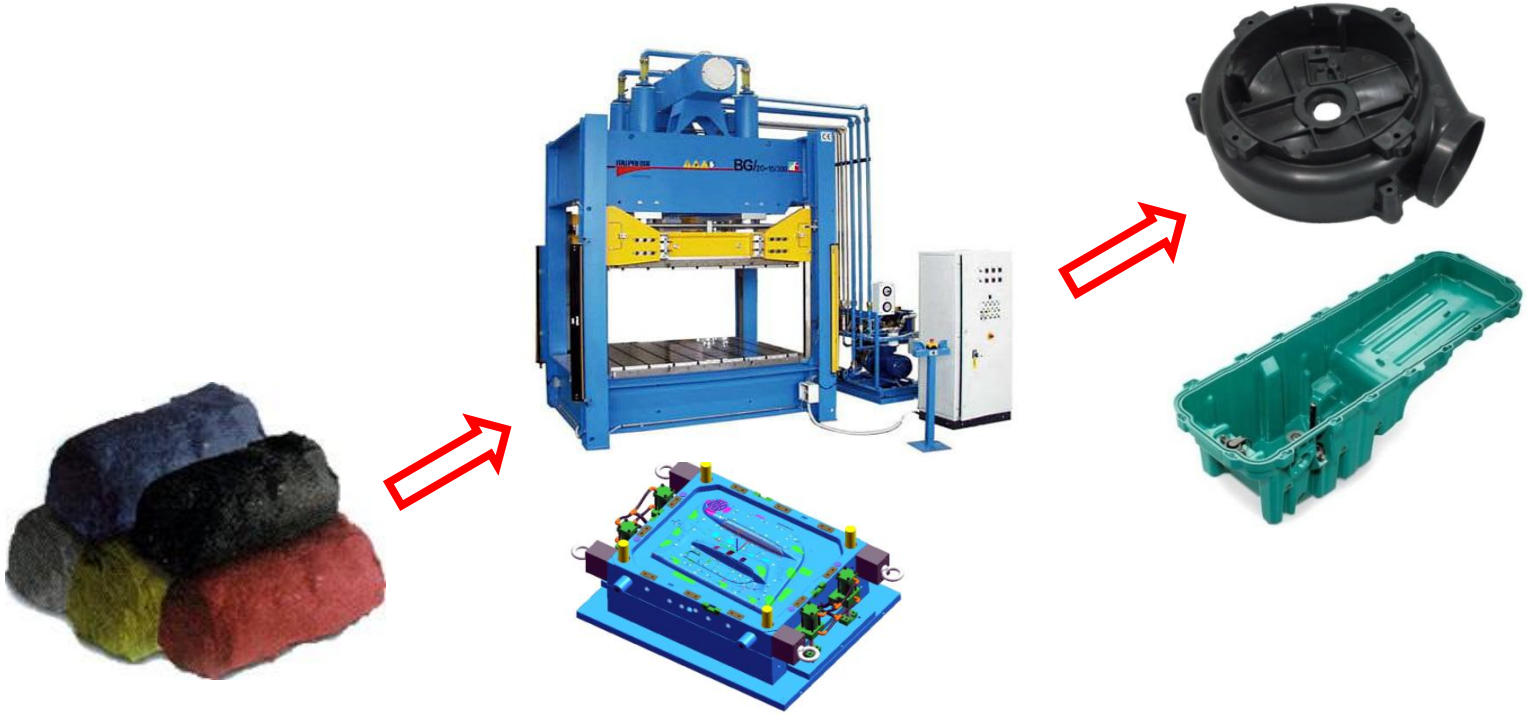
- 聚酯模压料
  - 树 脂 糊
    - 不饱和聚酯树脂
    - 交联剂
    - 引发剂
    - 增稠剂
  - 增强材料
    - 短切玻璃纤维
    - 短切玻璃纤维毡

1. 块状模塑料模压成型

BMC生产工艺流程：

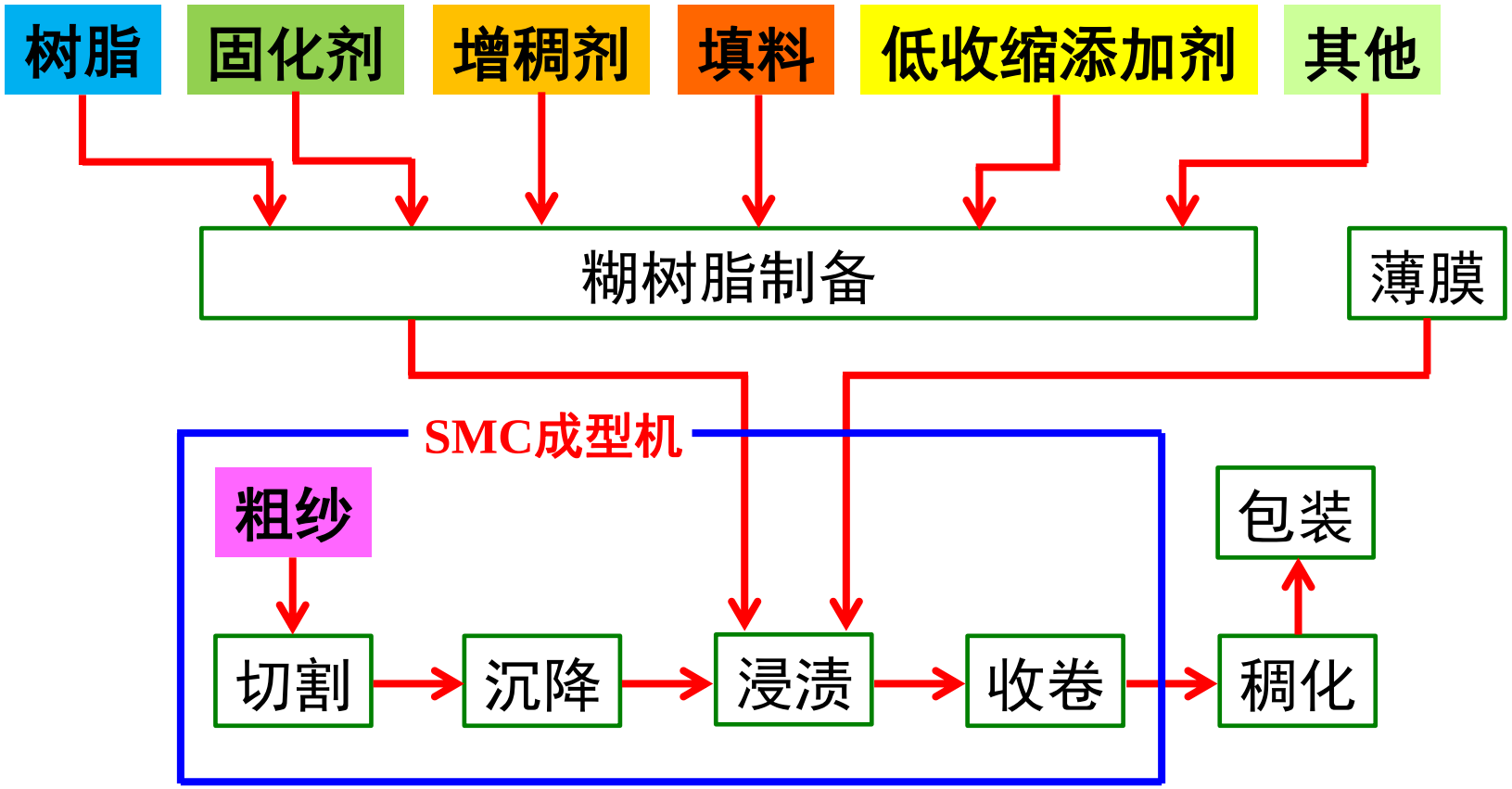


块状模塑料(BMC)是用预混法制成的聚酯树脂模塑料，模塑料成团块状。BMC的成型方法与热固性塑料的模压成型相似，适于生产形状较复杂的电器制品。

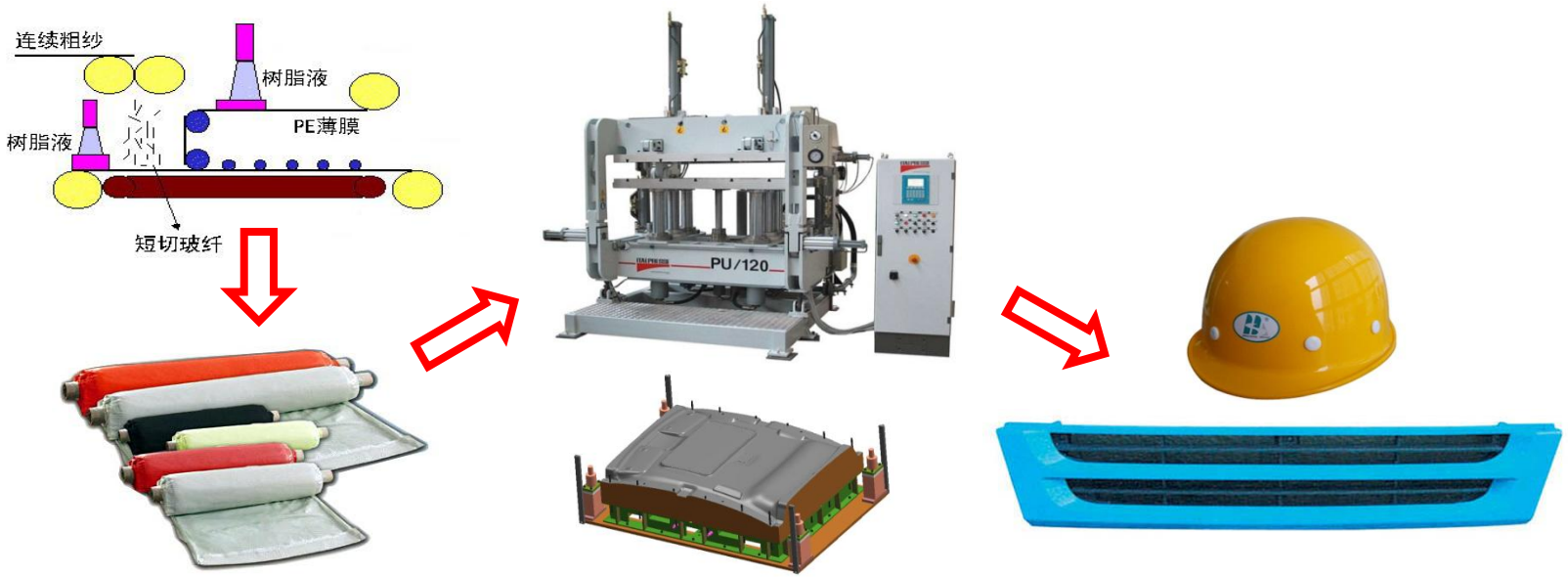


2. 片状模塑料模压成型

SMC生产工艺流程：



片状模塑料（SMC）是用预浸法制成的片状聚酯树脂模塑料。SMC的模压成型是将模塑料裁剪成所需的形状，确定加料层数，揭去两面薄膜，叠合后放置在模具上，成型过程与热固性塑料的模压成型相似。



7.3.3 手糊成型

手糊成型是在涂好脱模剂的模具上，采用手工作业，一边铺设增强材料，一边涂刷树脂，直到所需的制品厚度为止，然后通过固化、脱模得到制品的成型工艺。

低压的层压成型。

以不饱和聚酯树脂为胶粘剂浸渍片状连续填料。

以玻璃纤维布做增强材料所得的制品 — 玻璃钢。

树脂的交联硬化：游离基型加聚反应。无低分子物产生，成型时可不用加压，或只用少许压力以保持胶结面相互接触即可。故也称接触成型。

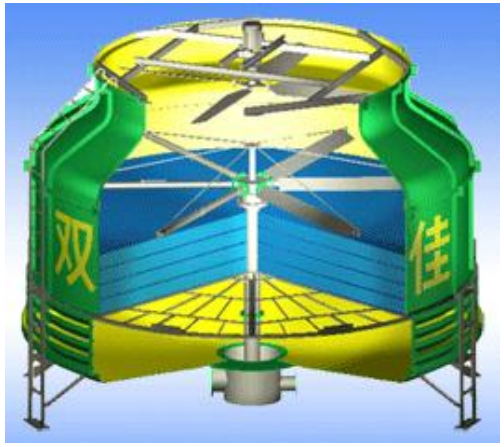
接触成型的特点：

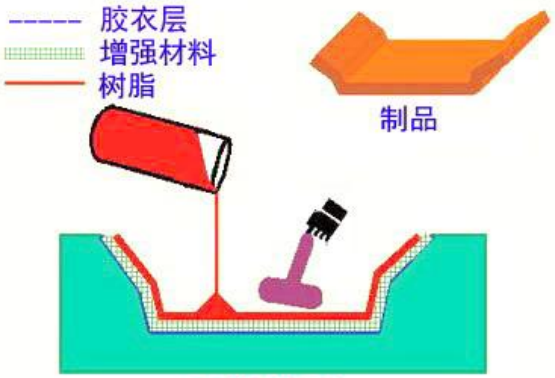
①交联固化过程中无低分子物产生；

②成型过程不用高压，也不必加热；

③模具材质、形状、面积的范围宽；

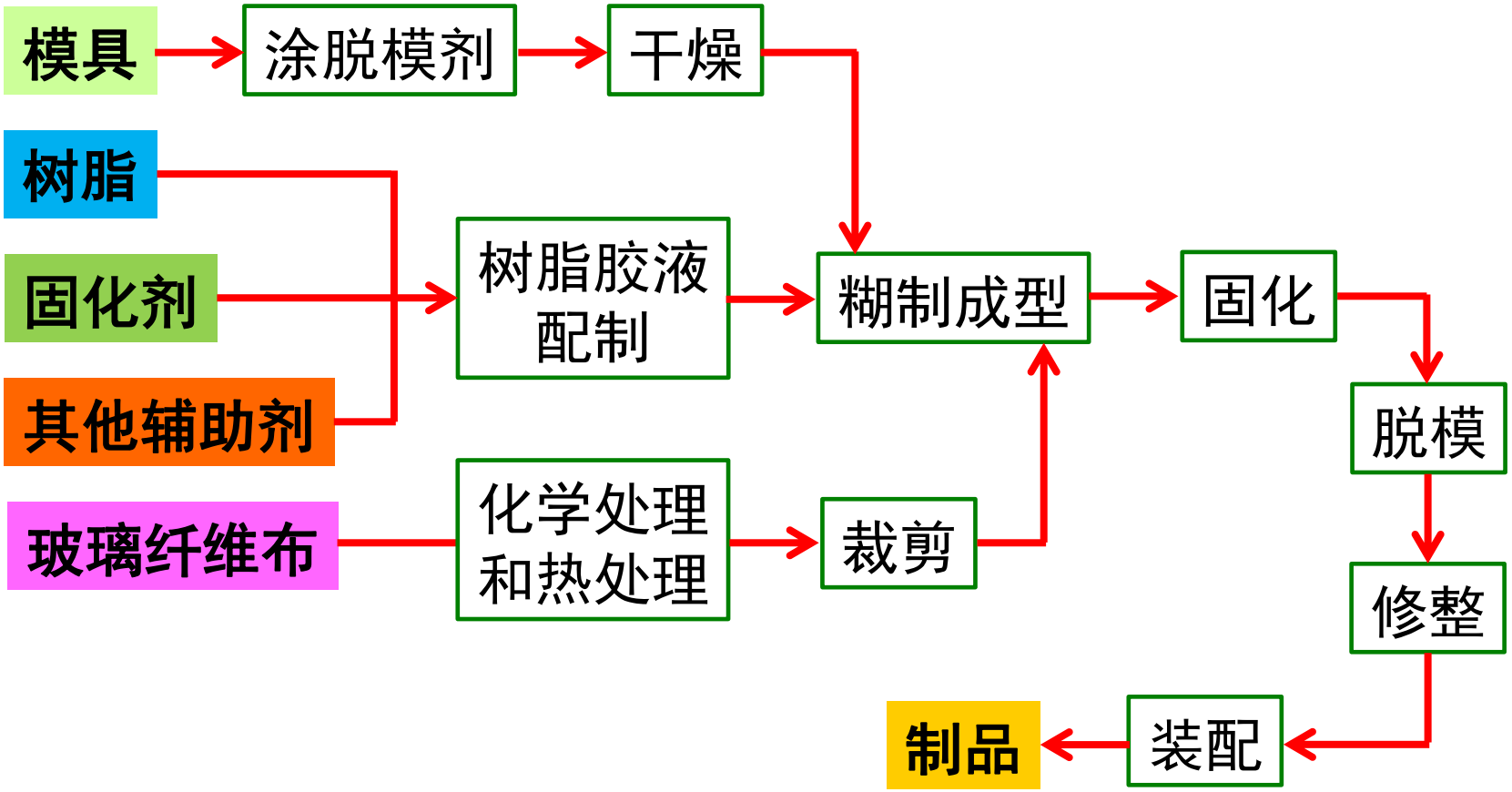
④纤维不易断裂，制品机械性能高。





手糊成型

手糊成型工艺流程：


模具
涂脱模剂
干燥
树脂
固化剂
其他辅助剂
树脂胶液配制
糊制成型
固化
脱模
玻璃纤维布
化学处理和热处理
裁剪
修整
制品
装配

手糊成型工艺条件：

①模具形式有三种：阴模、阳模、对模；

②脱模剂有三大类：薄膜型、溶液型、油蜡型；

③玻璃布脱蜡：经化学处理或热处理；

④涂脱模剂后须干燥，因水份影响树脂固化；

⑤糊制的温度和湿度对硬度影响很大；

⑥固化及热处理：热处理一般在烘房内进行；

不饱和聚酯：60～80℃

环氧树脂：80～100℃

手糊成型还包括压力袋法、真空袋法和喷射成型法。