

短玻纤增强热塑性复合材料的制备与力学性能检测

实验（一）短玻纤增强热塑性复合材料的挤出造粒实验

1. 实验目的

- （1）通过实验熟悉挤出成型的原理，了解挤出工艺参数对塑料制品性能的影响。
- （2）了解挤出机的基本结构及各部分的作用，掌握挤出成型基本操作。
- （3）通过本实验掌握短玻纤增强热塑性塑料挤出造粒的工艺原理及方法

2. 实验原理

（1）塑料造粒。

合成出来的树脂大多数呈粉末状，粒径小成型加工不方便，而且合成树脂中又经常需要加入各种助剂才能满足制品的要求，为此就要将树脂与改性或增强助剂混合，制成颗粒，这步工序称作“造粒”。树脂中加入功能性助剂可以制造功能性母粒。造出的颗粒是塑料成型加工的原料。使用颗粒料成型加工的主要优点有：

- ① 颗粒料比粉料加料方便，无需强制加料器；
- ② 颗粒料比粉料密度大，制品质量好；
- ③ 挥发物及空气含量较少，制品不容易产生气泡；
- ④ 使用功能性母粒比直接添加功能性助剂更容易分散。

塑料造粒可以使用辊压法混炼，塑炼出片后切粒，也可以使用挤出塑炼，塑化挤出条后切粒。本实验采用挤出冷却后造粒的工艺。

（2）挤出成型原理及应用。

热塑性塑料的挤出成型是主要的成型方法之一，塑料的挤出成型就是塑料在挤出机中，在一定的温度和一定压力下熔融塑化，并连续通过有固定截面的模型，得到具有特定断面形状连续型材的加工方法。不论挤出造粒还是挤出制品，都分两个阶段，：

第一阶段，固体状树脂原料在机筒中，借助于料筒外部的加热和螺杆转动的剪切挤压作用而熔融，同时熔体在压力的推动下被连续挤出口模；

第二阶段是被挤出的型材失去塑性变为固体即制品，可为条状、片状、棒状、筒状等。因此，应用挤出的方法既可以造粒也能够生产型材或异型材。

（3）短纤维增强体的加入。

在挤出工艺的基础上，当塑料粒子在熔融状态下加入剪切强度较弱的纤维，通过挤出螺杆与料筒壁的剪切作用，将纤维带入并与熔体充分剪切混合，形成良好的界面起到增强作用。

3. 实验设备和原料

原料：常用增强体为无捻玻璃纤维粗纱（GF）基体树脂为聚丙烯（PP）。

仪器：xRz 400 型熔融指数仪，SJ—30 挤出机，切粒机。挤出机的结构组成见图 3—2。

挤出机技术参数如下：螺杆直径 D：33mm。长径比 L / D：20mm。螺杆转速：11~100r / min。产量：0.7~6.3kg / h。电机功率：3kw。加热功率：3.3kw。

挤出机各部分结构的作用如下：

- （1）传动装置。由电动机、减速机构和轴承等组成。具有保证挤出过程中螺杆转速恒定、制品质量的稳定以及保证能够变速作用。
- （2）加料装置。无论原料是粒状、粉状和片状，加料装置都采用加料斗。加料斗内应有切断料流、标定料量和卸除余料等装置。
- （3）料筒。料筒是挤出机的主要部件之一，塑料的混合、塑化和加压过程都在其中进行。

(5) 口模和机头。机头是口模与料件之间的过渡部分，其长度和形状随所用塑料的种类、制品的形状加热方法及挤出机的大小和类型而定。机头和口模结构的好坏，对制品的产量和质量影响很大，其尺寸根据流变学和实践经验确定。

4. 实验步骤

- (1) 了解挤出塑料的熔融指数，确定挤出温度控制范围。
- (2) 检查挤出机的各部分，确认设备正常，接通电源，加热，待各段预热到要求温度时，再次检查并趁热拧紧机头各部分螺栓等衔接处，保温 10min 以上再加料。
- (3) 开动主机。在转动下先加少量塑料，注意进料和电流计情况。待有熔料挤出后，从纤维入口处将玻纤引入，将挤出物用手(戴上手套)和镊子慢慢引上冷却牵引装置，同时开动切粒机切粒并收集产物。
- (4) 挤出平稳，继续加料，调整各部分，控制温度等工艺条件，维持正常操作。
- (5) 观察挤出料条形状和外观质量，记录挤出物均匀、光滑时的各段温度等工艺条件，记录一定时间内的挤出量，计算产率，重复加料，维持操作 1h。
- (6) 验完毕，关闭主机，趁热消除机头中残留塑料，整理各部分。

5. 实验报告

- (1) 列出实验用挤出机的技术参数。
- (2) 报告实验所用原料及操作工艺条件，计算挤出产率。
- (3) 取样测定熔融指数和性能。
- (4) 讨论
 - ① 结合试样性能检验结果，分析产物性能与原料、工艺条件及实验设备操作的关系。
 - ② 影响挤出物均匀性的主要原因有哪些?怎样影响?如何控制?
 - ③ 实验中，应控制哪些条件才能保证得到质量好的样品或制品?

6. 注意事项

- (1) 熔体被挤出之前，任何人不得在机头口模的正前方。挤出过程中，严防金属杂质、小工具等物落入进料口中。
- (2) 清理设备时，只能使用钢棒、铜制刀等工具，切忌损坏螺杆和口模等处的光洁表面。
- (3) 挤出过程中，要密切注意工艺条件的稳定，不得任意改动。如果发现不正常现象，应立即停车，进行检查处理再恢复实验。

7. 思考题

- (1) 挤出机的主要结构有哪些部分主成?
- (2) 造粒工艺有几种切粒方式?各有何特点?

实验（二）复合材料力学性能检测试样的注射成型

1. 实验目的

- (1) 了解螺杆式注塑机的基本结构，熟悉注射成型的基本原理。
- (2) 掌握热塑性塑料注射成型的操作过程。
- (3) 掌握注射成型工艺条件对注射制品质量的影响，学会注塑工艺条件设定的基本方法。

2. 实验原理

注射成型适用于热塑性和热固性塑料，是高聚物的一种重要的成型方法。注射成型的设备是注塑机和注射模具。它是使固体树脂在注塑机的料筒内通过外部加热、螺杆、料筒与树脂之间的剪切和摩擦力作用生热，使树脂塑化成黏流态，后经移动，螺杆以很高的压力和较快的速度，将塑化好的树脂从料筒中挤出，通过喷嘴注入到闭合的模具中，经过一定的时间保压、冷却固化后，脱模取出制品。

热塑性塑料注射时，模具温度比注射料温低，制品是通过冷却而定型的；热固性塑料注射时，其模具温度要比注射料温高，制品是要在一定的温度下发生交联固化而定型的。本实验主要介绍热塑性塑料的注射成型。

热塑性塑料的注射成型工艺原理如下。

(1) 合模与开模。合模是动模前移，快速闭合。在与定模将要接触时，依靠合模系统自动切换成低压，提供低的合模速度，低的合模压力，最后切换成高压将模具合紧。

开模是注射完毕后，动模在液压油缸的作用下首先开始低速后撤，而后快速后撤到最大开模位置的动作过程。

(2) 注塑阶段。模具闭合后，注塑机机身前移使喷嘴与模具贴合。油压推动与油缸活塞杆相连接的螺杆前进，将螺杆头部前面已均匀塑化的物料以规定的压力和速度注射入模腔，直到熔体充满模腔为止。

螺杆作用于熔体的压力叫注射压力，螺杆移动的速度叫注射速度。熔体充模顺利与否，取决于注射压力和速度、熔体的温度和模具的温度等。这些参数决定了熔体的黏度和流裂特性。

注射压力是为了使熔体克服料筒、喷嘴、浇铸系统和模腔等处的阻力，以一定的速度注射入模内；一旦充满，模腔内压迅速到达最大值，充模速度则迅速下降。模腔内物料受压而密实，符合成型制品的密度要求。注射压力的过高或过低，造成充模的过量或不足，将影响制品的外观质量和材料的大分子取向程度。注射速度影响熔体填充模腔时的流动状态。速度快，充模时间短，熔体温差小，制品密度均匀，熔接强度高，尺寸稳定性好，外观质量好；反之，若速度慢，充模时间长，由于熔体流动过程的剪切作用使大分子取向程度大，制品各向异性。熔体充模的压力和速度的确定比较麻烦，要考虑原料、设备和模具等因素，要结合其他工艺条件，通过分析制品外观，实践相结合而决定的。

(3) 保压阶段。熔体充模完全后，螺杆施加一定的压力，保持一定的时间，是为了解决模腔内熔体因冷却收缩、造成制品缺料时，能够及时进行补塑，使制品饱满。保压时，螺杆将向前稍作移动。保压过程包括控制保压压力和保压时间，它们均影响制品的质量。保压压力可以等于或低于充模压力，其大小以达到补塑增密为宜。保压时间以压力保持到浇口凝封时为好。若保压时间不足，模腔内的物料会倒流，制品缺料；若时间过长或压力过大，充模量过多，将使制品的浇口附近的内应力增大，制品易开裂。

(4) 冷却阶段。保压时间到达后，模腔内塑料熔体通过冷却系统调节冷却到玻璃化温度或热变形温度以下，使塑料制品定型的过程叫冷却。这期间需要控制冷却的温度和时间。

模具冷却温度的高低和塑料的结晶性、热性能、玻璃化温度、制品形状复杂与否及制品的使用要求等有关；此外，与其他的工艺条件也有关。模具的冷却温度不能高于高聚物的玻璃化温度或热变形温度。模温高，有利于熔体在模腔内流动，对充模有利，而且能使塑料冷却速度均匀。模温高，利于大分子热运动，利于大分子的松弛，可以减少厚壁和形状复杂制品可能因为补塑不足、收缩不均和内应力大的缺陷。但模温高，生产周期长，脱模困难，这些都是其不利因素。对于结晶型塑料，模温直接影响结晶度和晶体的构型。采用适宜的模温，晶体生长良好，结晶速率也较大，可以减少制品成型后的结晶现象，也能改善收缩不均、结晶不良的现象。

冷却时间的长短与塑料的结晶性、玻璃化温度、比体积、导热率和模具温度等有关，应以制品在开模顶出时既有足够的刚度而又不至于变形为宜。时间太长，生产率下降。

(5) 原料预塑化。制品冷却时，螺杆转动并后退，同时螺杆将树脂向前输送、塑化，并且将塑化好的树脂输送到螺杆的前部并计量、贮存，为下一次注射作准备，此为塑料的预塑化。

预塑化时，螺杆的后移速度决定于后移的各种阻力，如机械摩擦阻力及注射油缸内液压油的回泄阻力。塑料随螺杆旋转，塑化后向前堆积在料筒的前部，此时塑料熔体的压力称为

SZ — 63 / 400 注射成型机的技术特征如下。

螺杆直径：35mm。螺杆长径比：16。理论容量：96g。注射量：86g。注射速率：72g / s。塑化能力：8g / s。注射压力：120MPa。螺杆转速：0~140r / min。锁模力：400kN。移模行程：240mm。拉杆内距：265mm×265mm。最大模厚：240mm。最小模厚：90mm。顶出行程：60mm。顶出力：27kN。顶针根数：1。最大油泵压力：16MPa。油泵电动机：7.5kw。电热功率：3.82kw。外形尺寸：2.8m×0.93m×1.52m。质量：1.5t。料斗容积：15kg。油箱容积：120L。

② 注射模具(力学性能试样模具)。

(2) 具体准备工作如下。

① 详细观察、了解注塑机的结构，工作原理，安全操作等。

② 了解聚丙烯的规格及成型工艺特点，拟定各项成型工艺条件，并对原料进行预热干燥备用。

③ 安装模具并进行试模。

a. 闭模及低压闭模。由行程开关切换实现慢速—快速—低压慢速—充压的闭模过程。

b. 注塑机机座前进后退及高压闭紧。

c. 注射。

d. 保压。

e. 加料预塑。可选择固定加料或前加料或后加料等不同方式。

f. 开模。由行程开关切换实现慢速—快速—慢速—停止的启模过程。

g. 螺杆退回。

上述操作程序重复几次，观察注射取得样品的情况，调整工作正常。

注意事项：根据实验的要求，可选用点动、手动、半自动、全自动和光电启动 5 种操作方式进行实验演示。选择开关设在操作箱内。

④ 点动。调整模具，适宜选用慢速点动操作，以保证校模操作的安全性(料筒必须没有塑化的冷料存在)。

⑤ 手动。选择开关在“手动”位置，调整注射和保压时间继电器，关上安全门。每按一个钮，就相当完成一个动作，必须一个动作做完才按另一个动作按钮。一般是在试车、试模、校模时选用手动操作。

⑥ 半自动。将选择开关转至“半自动”位置，关好安全门，则各种动作会按工艺程序自动进行。即依次完成闭模、稳压、注座前进、注射、保压、预塑(螺杆转动并后退)、注座后退、冷却、启模和顶出。开安全门，取出制品。

⑦ 全自动。将选择开关至“全自动”位置，关上安全门，则机器会自行按照工艺程序工作，最后由顶出杆顶出制品。由于光电管的作用，各个动作周而复始，无须打开安全门，要求模具有完全可靠的自动脱模装置。

⑧ 不论采用哪一种操作方式，主电动机的启动、停止及电子温度控制通电的按钮主令开关均须手动操作才能进行。

⑨ 除点动操作外，不论何种操作方式，均设有冷螺杆保护作用。在加热温度没有达到工艺要求的温度之前，即电子温度控制仪所调整的温度，螺杆不能转动，防止机件内冷料启动，造成机筒或螺杆的损坏。但为了空车运行，自动循环时，可将温控仪的温度指示调到零位。

⑩ 在行驶操作时，须把限位开关及时间继电器调整到相应的位置上。

5. 实验结果分析

(1) 分析所得的试样制品的外观质量，从记录的每次实验工艺条件分析对比试样质量的关系。制品的外观质量包括颜色、透明度、有无缺料、凹痕、气泡和银纹等。

(2) 将取得试样制品，参考高分子材料性能测试实验进行力学性能等方面的测试分析。

6. 思考题

- (1) 注射成型时模具的运动速度有何特点?
- (2) 试分析注射壁厚、壁厚制品各容易出现哪些缺陷?工艺上如何进行调整?
- (3) 试分析 PE、PP、PS、PC、PA、ABS 等, 哪些树脂注射时需要干燥?为什么?

实验(三) 复合材料力学性能的测定

3-1 材料拉伸性能的测定

1. 实验目的

- (1) 掌握塑料拉伸强度的测定方法。
- (2) 学会由被测试材料的应力—应变曲线判断材料的类型。

2. 实验原理

塑料的拉伸性能是塑料力学性能中最重要、最基本的性能之一。几乎所有的塑料都要考核拉伸性能的各项指标, 这些指标的高低很大程度地决定该种塑料的使用场合。拉伸性能的好坏, 可以通过拉伸试验进行检验。如拉伸强度、拉伸断裂应力、拉伸屈服应力、偏置屈服应力、拉伸弹性模量、断裂伸长率等。从这些测试值的高低, 可对塑料的拉伸性能做出评价。

拉伸试验测出的应力、应变对应值, 可绘制应力—应变曲线。从曲线上可得到材料的各项拉伸性能指标值。曲线下方所包括的面积代表材料的拉伸破坏能。它与材料的强度和韧性相关。强而韧的材料, 拉伸破坏能大, 使用性能也佳。

拉伸试验可为质量控制, 按技术要求验收或拒收产品。研究、开发与工程设计及其他目的提供数据。所以说, 拉伸性能测试是非常重要的一项试验。

(1) 定义

- ① 拉伸应力。试样在计量标距范围内, 单位初始横截面上承受的拉伸负荷。
- ② 拉伸强度。在拉伸试验中, 试样直到断裂为止, 所承受最大拉伸应力。
- ③ 拉伸断裂应力。在拉伸应力—应变曲线上, 断裂时的应力。
- ④ 拉伸屈服应力。在拉伸应力—应变曲线上, 屈服点处的应力。
- ⑤ 偏置屈服应力。应力—应变曲线偏离直线性达规定应变百分数(偏置)时的应力。
- ⑥ 断裂伸长率。在拉力作用下, 试样断裂时, 标线间距离的增加量与初始标距之比的百分率。
- ⑦ 弹性模量。在比例极限内, 材料所受应力(拉、压、弯、扭、剪等)与产生的相应应变之比。
- ⑧ 屈服点。应力—应变曲线上, 应力不随应变增加的初始点。
- ⑨ 应变。材料在应力作用下产生的尺寸变化与原始尺寸之比。

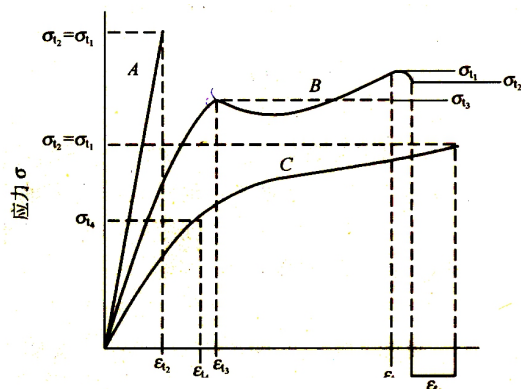


图 3-1-1

(2) 应力-应变曲线。由应力-应变的相应值彼此对应地绘成的曲线图。通常以应力值作为纵坐标, 应变值作为横坐标。

见图 3-1

A—脆性材料; B—具有屈服点的韧性材料; C—无屈服点的韧性材料; σ_{t1} —拉伸强度; σ_{t2} —拉伸断裂应力; σ_{t3} —拉伸屈服应力; σ_{t4} —偏置屈服应力; ε_{t1} —拉伸最大强度时的应变; ε_{t2} —断裂时的应变; ε_{t3} —屈服时的应变; ε_{t4} —偏屈服时的应变。

应力应变通常分为两个部分：弹性变形区和塑性变形区。在弹性变形区域，材料发生可恢复变形，应力和应变成正比例关系。曲线中直线部分的斜率即是拉伸弹性模量值，它代表材料的刚性。弹性模量越大，刚性越好。在塑性变形区，应力和应变增加不再成正比例关系，最好出现断裂。

由于不同的高分子材料，在结构上不同，目前大致可归纳成 5 种类型，如图 2-2 所示。

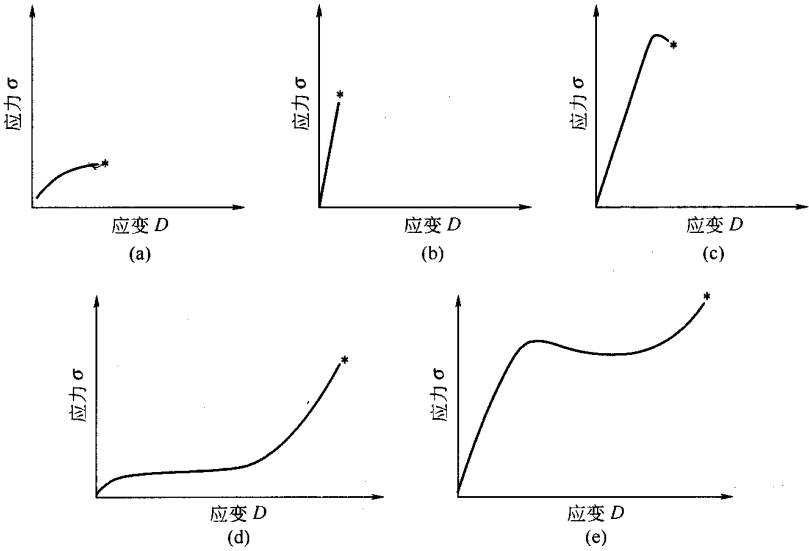


图 3-1-2 五种应力—应变曲线

图 3-1-2 (a) 的特点是软而弱。拉伸强度低，弹性模量小，且伸长率也不大，如溶胀的凝胶等。

图 3-1-2 (b) 的特点是硬而脆。拉伸强度和弹性模量较大，断裂伸长率小，如聚苯乙烯等。

图 3-1-2 (c) 的特点是硬而强。拉伸强度和弹性模量大，且有适当的伸长率，如硬聚氯乙烯等。

图 3-1-2 (d) 的特点是软而韧。断裂伸长率大，拉伸强度也较高，但弹性模量低，如天然橡胶、顺丁橡胶等。

图 3-1-2 (e) 的特点是硬而韧。弹性模量大、拉伸强度和断裂伸长率也大，如聚对苯二甲酸乙二醇酯、尼龙等。

由以上 5 种类型的应力—应变曲线，可以看出不同的高分子材料的断裂过程。

(3) 方法原理。拉伸试验是对试样沿纵轴方向施加静态拉伸负荷，使其破坏。通过测定试样的屈服力、破坏力和试样标距间的伸长来求得试样的屈服强度、拉伸强度和伸长率。

3. 实验试样与设备

(1) 试样形状。拉伸试验共有 4 种类型的试样：I 型试样(双铲型)，见图 3-1-3 (a)；II 型试样(哑铃型)，见图 (b)；III 型试样(8 字型)，见图 (c)；IV 型试样(长条型)，见图 (d)

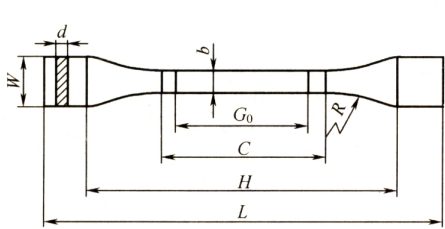


图 3-1-3 (a)

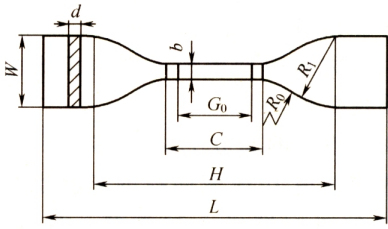


图 3-1-3 (b)

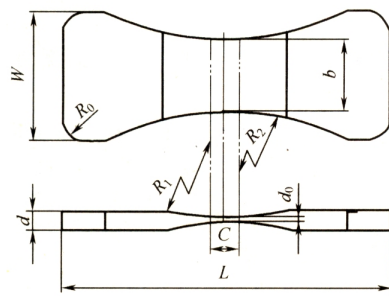


图 3-1-3 (c)

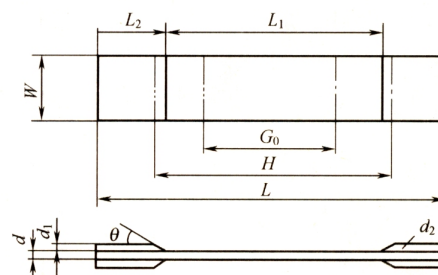


图 3-1-3 (d)

图 3-1-3 五种应力应变曲线

(2) 试样尺寸规格。不同类型的样条有不同的尺寸公差，具体见表 3-1、表 3-2、表 3-3

表 3-1-1 I 型试样尺寸公差

物理量	名 称	尺寸 / mm	公差 / mm
L	总长度(最小)	150	—
H	夹具间距离	115	± 5.0
C	中间平行部分长度	60	± 0.5
Gn	标距(或有效部分)	50	± 0.5
W	端部宽度	20	± 0.2
d	厚度	4	—
6	中间平行部分宽度	10	± 0.2
R	半径(最小)	60	—

表 3-1-2 II 型试样尺寸公差

物理量	名 称	尺寸 / mm	公差 / mm
L	总长度(最小)	115	—
H	夹具间距离	80	± 5
C	中间平行部分长度	33	± 2
Go	标距(或有效部分)	25	± 1
W	端部宽度	25	± 1
d	厚度	2	—
b	中间平行部分宽度	6	± 0.4
Rn	小半径	14	± 1
R1	大半径	25	± 2

表 3-1-3 III型试样尺寸公差

符号	名 称	尺寸 / mm	符号	名 称	尺寸 / mm
L	总长度(最小)	110	b	中间平行部分宽度	25
C	中间平行部分长度	9.5	R ₀	端步半径	6.5
D ₀	中间平行部分厚度	3.2	R1	表面半径	75
d ₁	端部厚度	6.5	R2	侧面半径	75
W	端部宽度	45			

表 3-1-4 IV型试样尺寸公差

符 号	名 称	尺寸 / mm	公差 / mm
L	总长度(最小)	250	— —
H	夹具间距离	170	± 5
G ₀	标距(或有效部分)	100	± 0.5
W	宽度	25 或 50	± 0.5
L ₂	加强片最小长度	50	— —
L ₁	加强片间长度	150	± 5
d ₀	厚度	2~10	— —
d ₁	加强片厚度	3~10	— —
θ	加强片角度	5° ~30°	— —
d ₂	加强片	— —	— —

(3) 实验仪器设备。万能拉伸试验机(R G — 10000 电子拉伸仪)、游标卡尺、直尺、千分尺、记号笔。

(4) 拉伸时的速度设定。塑料属黏弹性材料, 它的应力松弛过程与变形速率紧密相关, 应力松弛需要一个时间过程。当低速拉伸时, 分子链来得及位移、重排, 呈现韧性行为。表现为拉伸强度减小, 而断裂伸长率增大。高速拉伸时, 高分子链段的运动跟不上外力作用速度, 呈现脆性行为。表现为拉伸强度增大, 断裂伸长率减小。由于塑料品种繁多, 不同品种的塑料对拉伸速度的敏感不同。硬而脆的塑料对拉伸速度比较敏感, 一般采用较低的拉伸速度。韧性塑料对拉伸速度的敏感性小, 一般采用较高的拉伸速度, 以缩短试验周期, 提高效率。

拉伸实验方法国家标准规定的试验速度范围为 1~500mm / min, 分为 9 种速度见表 3-1-5、3-1-6

表 3-1-5 速度范围

类 型	速度 / (mm / min)	允许误差	类型	速度 / (mm / min)	允许误差
速度 A	1	± 50%	速度 F	50	± 10%
速度 B	2	± 20%	速度 G	100	± 10%
速度 C	5	± 20%	速度 H	200	± 10%
速度 D	10	± 20%	速度 I	500	± 10%
速度 E	20	± 10%			

表 3-1-6 不同塑料优选的试样类型及相关条件

塑料品种	试样类型	试样制备方法	试样最佳厚度 mm/min	试验速度
硬质热塑性材料 热塑性增强材料	I 型	注塑 模压	4	B、C、D、E、F
硬质热塑性塑料板 热固性塑料板 (包括层压板)		机械加工	2	A、B、C、D、 E、F、G
软质热塑性塑料 软质热塑性塑料板	II 型	注塑 模压 板材机械加工 板材冲切加工	2	F、G、H、I
热固性塑料 (包括填充增强塑料)	III 型	注塑 模压	—	C
热固性增强塑料板	IV 型	机械加工	—	B、C、D

不同品种的塑料可在此范围内选择适合的拉伸速度进行试验。

4. 实验步骤

- (1) 在试样中间平行部分坐标线，示明标距 G。
- (2) 游标卡尺、千分尺测量标线间试样的厚度和宽度，每个试样测量 3 点，取算术平均值。
- (3) 试验速度应根据受试材料和试样类型进行选择。
- (4) 夹具夹持试样时，要使试样纵轴与上、下夹具中心连线重合，且松紧要适宜。防止试样滑脱或断在夹具内。
- (5) 根据材料强度的高低选用不同吨位的试验机，使示值在表盘满刻度的 10%~90% 范围内，示值误差应在 ±1% 之内。并及时进行校准。
- (6) 试样断裂在中间平行部分之外时，此试验作废，应另取试样补做。
- (7) 记录。

5. 实验结果计算

- (1) 拉伸强度或拉伸断裂应力、拉伸屈服应力、偏置屈服应力按下式计算：

$$\delta_t = \frac{P}{b \times d} \times 10^{-6}$$

式中 δ_t ——拉伸强度或拉伸断裂应力、拉伸屈服应力、偏置屈服应力，MPa；

P ——最大负荷或断裂负荷、屈服负荷、偏置屈服负荷，N；

b ——试样宽度，m；

d ——试样厚度，m。

- (2) 断裂伸长率按下式计算：

$$\varepsilon_t = \frac{G - G_0}{G_0} \times 100\%$$

式中 ε_t ——断裂伸长率，%；

G_0 ——试样原始标距，m；

G ——试样断裂时标线间距离，m。

(3) 标准偏差值按下式计算：

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

式中 S ——标准偏差值；

x ——单个测定值；

\bar{x} ——组测定值的算术平均值；

n ——测定个数。

计算结果以算术平均值表示， δ_t 取 3 位有效数字； ε_t 、 S 取 2 位有效数字。

6. 影响因素

温度的影响，高分子材料的力学性能表现出对温度的依赖性，随着温度的升高，拉伸强度降低，而断裂伸长率则随温度升高而升高。因此试验要求在规定的温度下进行。

7. 思考题

- (1) 请说出不同材质的塑料应力—应变曲线有何不同？
- (2) 请说出实验室温度对试样测试结果有何影响？

实验 3 — 2 塑料冲击强度的测定

冲击实验是测定塑料材料和制品在高速冲击状态下的韧性或对断裂的抵抗能力。这一实验对研究塑料在经受冲击载荷时的力学行为有一定的实际意义。塑料制品在使用的过程中，经常受到外力冲击作用致使受到破坏。因此，在塑料材料的力学性能测试中，只进行静力实验是不能满足材料使用要求的。所以必须对塑料材料进行动载荷实验，这一点在其工程设计中尤其重要。

冲击强度是塑料韧度的主要指标。测量冲击强度有两种试验方法：一种是摆锤式冲击试验，另一种是落球式冲击试验，最常用的是摆锤式冲击实验。摆锤式冲击实验又分两种：悬臂梁式和简支梁式冲击实验。

1. 悬臂梁冲击试验方法

本方法是用悬臂梁冲击试验机对试样施加一次冲击弯曲负荷以试样破断时的单位宽度所消耗的能量来衡量材料的冲击韧性。

(1) 试样的准备

① 试样的尺寸规格见表 3-2-1 与表 3-2-2。

表 3-2-1 试样类型及尺寸

试样类型	长度 L/mm	宽度 b/mm	厚度 h/mm
I	80±2	10.0±0.2	4.0±0.2
II	63.5±2	12.7±0.2	12.7±0.2
III			6.4±0.2
IV			3.2±0.2

表 3-2-2 I 性试样的缺口类型及尺寸

缺口类型	缺口底部半径 r/mm	缺口底部剩余宽度 b/mm
无缺口	——	——
A	0.25±0.05	8.0±0.2
B	1.0±0.05	8.0±0.2

② 形状见图 3-2-1 与图 3-2-2。

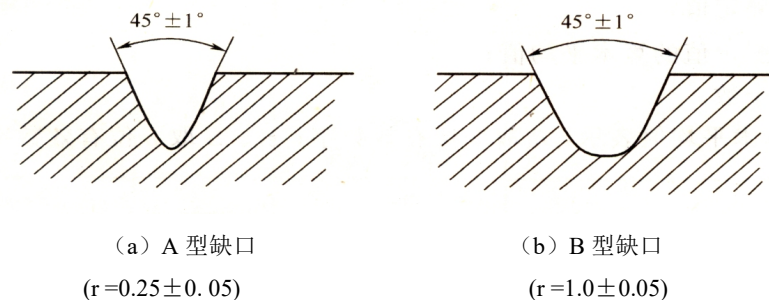


图 3-2-1 冲击试样缺口形状
r — 缺口底部半径

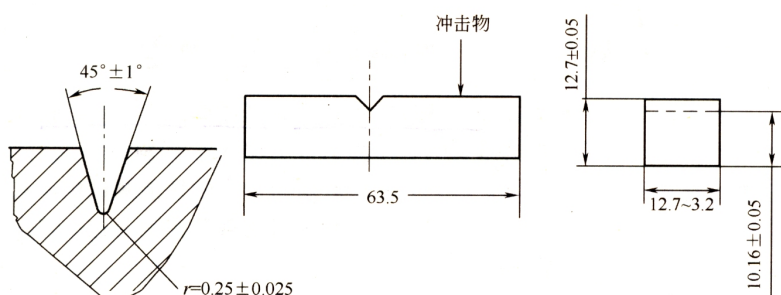


图 3-2-2 悬臂梁冲击试样图

此试样为 II、III、IV 型试样，试样的长度为 63.5mm，厚度为 $12.7 \pm_{-0}^{+0.15}$ mm，宽度为 4~12.7mm；由板材加工的试样推荐为 6~12.7mm，模塑成型的试样，推荐为 12.7mm；剩余厚度 $C=(10.16 \pm 0.05)$ mm。

(2) 实验设备

① 试验设备为摆锤式悬臂梁冲击试验机(uJ — 40 悬臂梁冲击试验机)。

② 试验机底座应有水平基准面。摆锤转轴中心线应水平。冲击刃的轴线应水平，使摆锤在整个冲击过程中只有冲击刃与试样接触。

③ 试样夹持台、摆锤的冲击刃及试样位置图见图 4-3-5。

④ 试验机应附有试样定位器，以保证夹持试样能符合下列要求。

a. 试样长轴与夹持台上表面相垂直。

b. 试样缺口的角平分面与夹持台上表面是同一平面。

⑤ 摆锤从预扬角位置释放，自由摆动时的能量损失应符合以下条件。

a. 指针摩擦、摆锤转轴摩擦和风阻能量损失之和，不超过其摆锤最大冲击量的 2.5%，若摆锤最大冲击能量为 $5\text{kg} \cdot \text{cm}$ 和 $10\text{kg} \cdot \text{cm}$ 时可分别不超过 4% 和 3%。

b. 仅由摆锤转轴摩擦和风阻引起的能量损失之和不超过其摆锤最大冲击能量的 1%，若锤最大冲击能量为 $5\text{kg} \cdot \text{cm}$ 和 $10\text{kg} \cdot \text{cm}$ 时，不超过 2%。

(3) 实验步骤

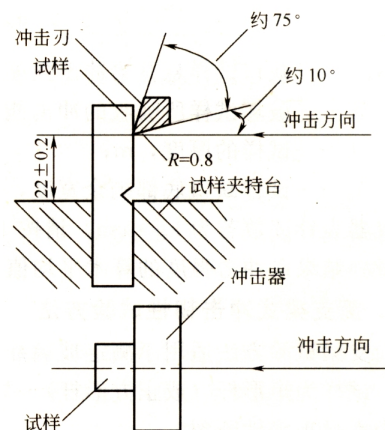


图 3-2-3 试样夹持台、摆锤的冲击刃及试样的位置

- ①按试样标准制样，每组 5 个样(例如硬质 PVC 可选用Ⅳ型试样，A 型缺口)。
- ②测量缺口处的试样宽度，精确到 0.05mm。试样应在(23±0.5)℃用相对湿度为 50% 环境中，放置 24h。
- ③实验时应把温度设定在(23±0.5)℃下进行。
- ④选择适宜的摆锤，使试样破断所需的能量在摆锤总能量的 10%~80% 区间内。
- ⑤将摆锤连同被动指针从预扬角位置释放，空试样冲击，从刻度盘读取示值，此值即克服风阻和摩擦的动能损失，校正刻度盘指针。
- ⑥用适宜的夹持力夹持试样，如图 3-2-3 所示，试样在夹持台中不得有扭曲和侧面弯曲。试样夹持力的大小，有时会影响实验结果，适宜的夹持力会随材料的不同而异。当试样断后，断面与试样夹持台上表面基本呈一平面，此时的夹持力被认为对此种材料是适宜的。使用转矩扳手来获得适宜的夹持力。
- ⑦将摆锤连同被动指针从预扬角位置释放，冲断试样后，从度盘读取示值。此示值即为试样破断所消耗的能量 W。

试样经一次冲击后，分离成两段或两段以上者称为破断，或者虽没有完全分离成为两段，但破裂已达到试样缺口处剩余厚度的 90% 者也属破断。

(4) 实验结果与计算

- ①无缺口试样悬臂梁冲击强度按下式计算：

$$\alpha_{iv} = \frac{W}{h \times b} \times 10^{-3}$$

式中 α_{iv} ——悬臂梁冲击强度，kJ / m²；

W ——试样破断所消耗的能量，J；

h ——试样厚度，m；

b ——试样宽度，m。

- ②缺口试样悬臂梁冲击强度按下式计算：

$$\alpha_{in} = \frac{W}{h \times b_n} \times 10^{-3}$$

式中 α_{in} ——缺口试样悬臂梁冲击强度，kJ / m²；

W ——破坏试样所吸收的冲击能量，J；

h ——试样的厚度，m；

b_n ——试样缺口底部剩余宽度，m。

仪器表针读数若为 kg · cm，请按 1kg · m=9.8J 进行换算。

试验结果以冲击强度的算术平均值表示；破断试样不足 3 个时，以单个冲击强度表示。

2. 简支梁式冲击韧性试验方法

简支梁试验方法适用于测定玻璃纤维织物增强塑料板材和短切玻璃纤维增强塑料的冲击韧性。试样为矩形杆(或正方形杆)，并在试样表面开有 V 形缺口，使试样受冲击时产生应力集中而呈现脆性断裂。

(1) 试样的准备

- ①试样的形状和尺寸见表 3-2-3 与表 3-2-4。

表 3-2-3 试样类型及尺寸

试样类型	长度 L/mm	宽度 b/mm	厚度 d/mm
1	80 ± 2	10 ± 0.5	4 ± 0.2
2	50 ± 1	6 ± 0.2	4 ± 0.2
3	120 ± 2	15 ± 0.5	10 ± 0.5
4	125 ± 2	13 ± 0.5	13 ± 0.5

表 3-2-4 试样的缺口类型及尺寸

试样类型	缺口类型	缺口剩余厚度 d_k/mm	缺口底部半径 r/mm	缺口宽度 n/mm
1~4	A	$0.8d$	0.25 ± 0.05	
	B	$0.8d$	1.0 ± 0.05	
1.3	C	$2d/3$	≤ 0.1	2 ± 0.2
2	C	$2d/3$	≤ 0.1	0.8 ± 0.1

②试样的形状及缺口形状见图 3-2-3 与图 3-2-4、图 3-2-5。

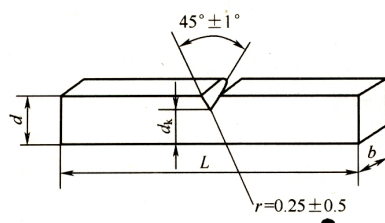


图 3-2-4 A 型缺口试样

L 一试样长度；d 试样厚度；r 一缺口底部半径
b 试样宽度； d_k 一试样缺口剩余

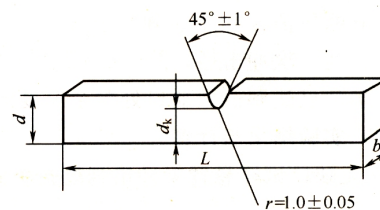


图 3-2-4 B 型缺口试样

L 一试样长度；d 一试样厚度；r 一缺口底部半径
b 一试样宽度； d_k 一试样缺口剩余厚度

(2) 实验设备

① 简支梁冲击试验机(JJ 20 型智能冲击试验机)。

② 简支梁冲击实验中夹持台、摆锤冲击刃及试样位置关系见图 3-2-5。

(3) 实验步骤

①按标准制样，每组 5 个样。

②测量缺口处的试样宽度，精确到 0.05mm。试样应在 (23 ± 0.5) 。和相对湿度为 50%环境中，放置 24h。

③实验时应把温度设定在 $(23\pm 0.5)^\circ\text{C}$ 下进行。

④选择适宜的摆锤，使试样破断所需的能量在摆锤总能量的 10%~80%区间内。

⑤检查及调整试验机的零点和支座位置。

⑥将试样水平放置在支座上，宽面紧贴座铅直支承面缺口面背向冲锤，试样中心对应位置与冲锤对准，如图 3-2-6。

⑦释放摆锤连续冲断试样，从度盘读取值。此示值即为试样破断所消耗的能量 A_k 。

注：经冲击后凡试样不破断，或不破断在试样中间或缺口部分者，该试样作废，应另补做。

(4) 试验结果与计算

①无缺口试样简支梁冲击强度按下式计算：

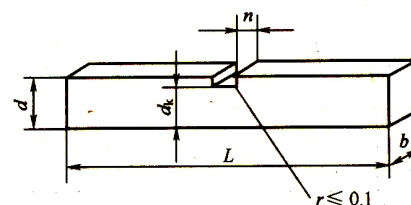


图 3-2-5 C 型缺口试样

n 一缺口宽度；L 一试样厚度
r 一缺口底部半径；b 一试样宽度；
 d_k 一试样缺口剩余厚度

$$\alpha = \frac{A}{b \times d} \times 10^{-3}$$

式中 α —— 简支梁冲击强度, kJ/m^2
 A —— 试样破断所消耗的能量, J。
 d —— 试样厚度, m;
 b —— 试样宽度, m。

② 缺口试样简支梁冲击强度按下式计算:

$$\alpha_k = \frac{A_k}{b \times d_k} \times 10^{-3}$$

式中 α_k —— 缺口试样简支梁冲击强度, kJ/m^2 ;
 A_k —— 破坏试样所吸收的冲击能量, J;
 d_k —— 试样的厚度, m;
 b —— 试样缺口底部剩余宽度, m。

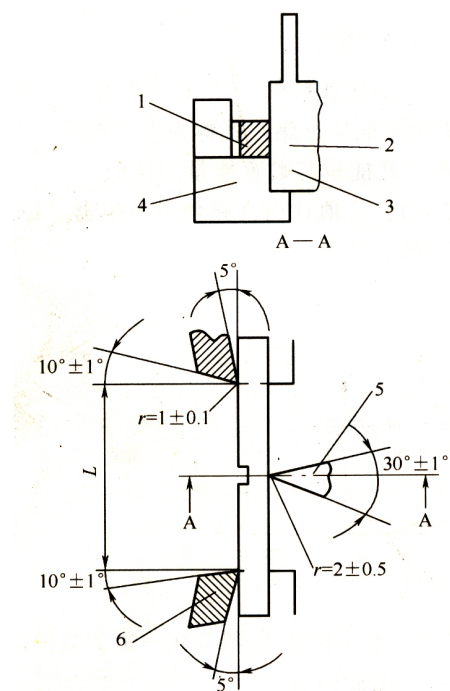


图 3-2-6 简支梁冲击夹持台、摆锤冲击刃及试样位置;
1 — 试样; 2 — 冲击方向; 3 — 冲击瞬间摆锤位置;
4 — 下支座; 5 — 冲击刀刃; 6 — 支持块

3. 思考题

- (1) 影响冲击强度的因素有哪些?
- (2) 如何从配方及工艺上提高塑料材料的冲击强度?