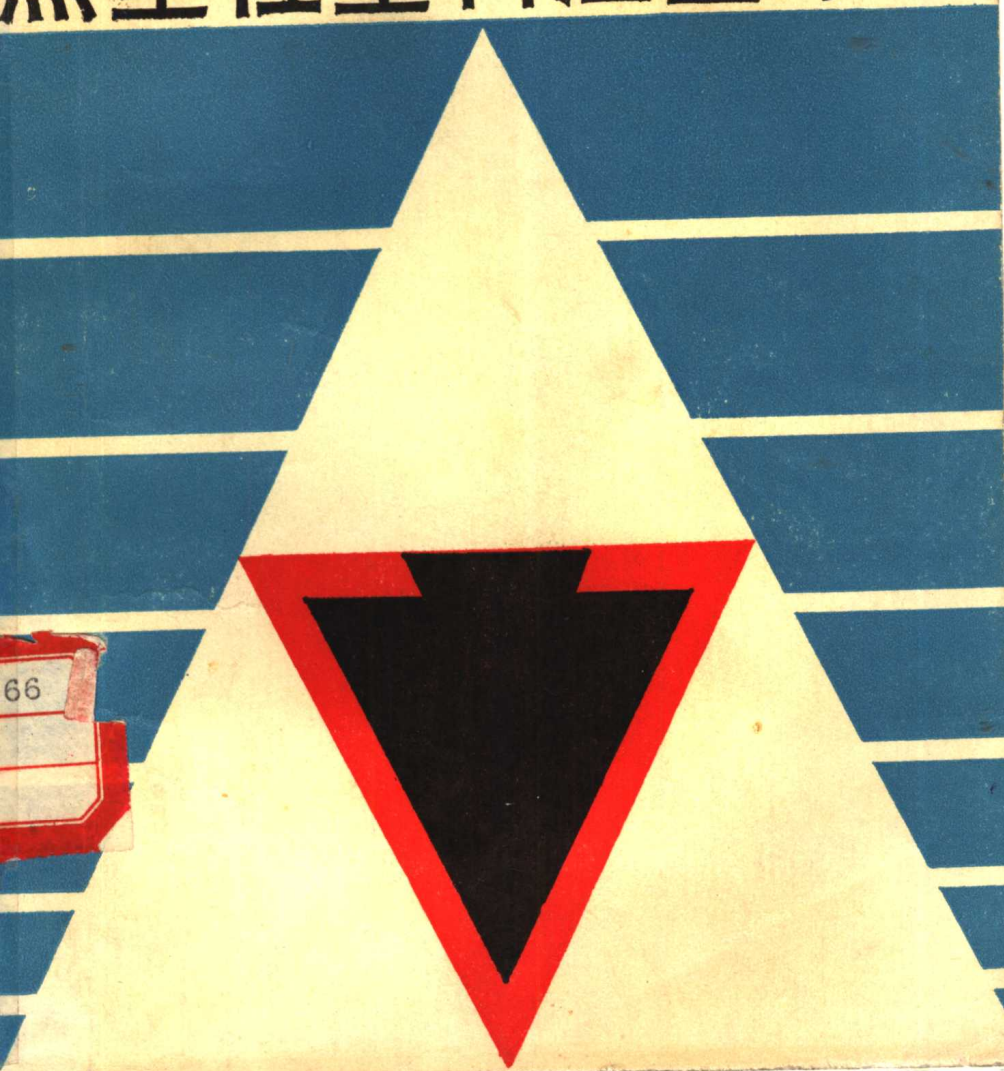


[苏]B·B·拉普申 著

林师沛 译

轻工业出版社

热塑性塑料注塑原理



热塑性塑料注塑原理

〔苏〕B. B. 拉普申 著

林师沛 译

轻工业出版社

内 容 提 要

本书根据 В. В. 拉普申著 «Основы переработки термопластов литьем под давлением» 一书译出。本书叙述热塑性塑料工艺性能, 介绍注塑方法并列出注塑机的基本参数; 讨论热塑性塑料在注塑机中塑炼和流动以及在注模中成型的特点; 阐述热塑性塑料在注塑时的取向和结晶过程以及它对注塑制品力学性能的影响; 分析注塑制品形状设计原理、制品缺陷, 并指出消除缺陷的措施; 列出各种热塑性塑料注塑时聚合物可模性的测定方法和研究的综合结果。

本书可供从事塑料加工的科学研究和工程技术人员以及有关大专院校师生参考。

В. В. Лапшин
ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТОВ
ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
(МОСКВА ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ» 1974)

热塑性塑料注塑原理

[苏] В. В. 拉普申 著

林师沛 译

*

轻工业出版社出版
(北京阜成路3号)

兰州新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092毫米 1/32 印张: $10\frac{8}{32}$ 字数: 223 千字

1983年7月 第一版第一次印刷

印数: 1—13,000 定价: 1.20元

统一书号: 15042·1781

译 序

用注塑法加工的热塑性塑料制品，不仅精度高、质量好，而且生产效率也高，因此，注塑是塑料的重要成型方法之一。随着我国塑料工业的迅速发展和塑料制品的增多，对这种成型方法在广度和深度上的要求将日益迫切。但是，国内有关这方面的专著，不管是编著的或翻译的，尚不多见。为此将拉普申所著《热塑性塑料注塑原理》一书译出，以适应这方面的需要。

本书是一本论述热塑性塑料注塑法的专著，除了全面而系统地阐述热塑性塑料注塑工艺过程的基本原理外，还着重论述了物料的工艺性能、塑炼和流动、注模中的成型，以及取向和结晶过程及其对塑料制品力学性能的影响。尽管近几年来注塑技术的新成就不能从书内得到反映，但仍不失为一本非常好的注塑参考书。故本书不仅可作为从事塑料生产和加工的广大科学研究和工程技术人员的参考书，也可作为塑料加工专业大学生的读物。

本书译后经刘双成先生校订，张承琦先生审阅。由于译者水平有限，译文中错误与不当之处在所难免，希望读者提出宝贵意见。

译 者

序 言

目前,世界各国都在发展热塑性塑料的生产。在塑料总产量中,热塑性塑料所占的比重正在不断增大,苏联 1975 年将占 40% 以上。

由于热塑性塑料生产的增长,注塑、挤出和真空成型等加工方法都得到了特别广泛的发展,而注塑则是其中最有效的加工方法之一。

最近几年,注塑工艺方面取得了很大的成就。采用注塑方法加工的热塑性塑料品种大大增加。螺杆预塑炼原理的采用、注塑模具的合理设计等,使注塑机的设计获得了进展。

尽管注塑这种加工方法已有了如此广泛的发展和应用,并且在注塑过程及其物理-化学原理,在注塑制品和模具设计等方面已积累了可据以建立热塑性塑料注塑加工工艺的知识,然而将这方面的知识加以总结的著述还是不多的。

制品成型过程往往被看作赋予高分子材料以一定形状的纯机械过程,其实聚合物加工工艺是依赖于加工条件的复杂的物理-化学过程,加工的最终目的是制取具有一定结构,而且也具有一定性能的制品。

本书是依据聚合物物理-化学的现代概念对注塑加工方面的丰富实验资料加以总结。

著者力图对决定加工条件的聚合物性能如热物理性能、流变性能等进行分析讨论,但对聚合物的取向和结晶过程及其与热塑性塑料特点的直接关系,将特别予以介绍。

这自然是有很大困难的。因此,对于读者提出的所有意

见和建议，著者将以感谢的心情加以接受。

技术科学博士 P. B. 托尔涅尔 (Торнер) 审阅原稿并提出了宝贵意见，著者在此谨向他致谢。

目 录

概论	1
注塑方法.....	2
注塑机的基本参数.....	11
注塑用的热塑性塑料.....	16
第一章 热塑性塑料的工艺性能	24
热塑性塑料的物理状态.....	24
热塑性塑料的热物理性能.....	30
热塑性塑料的膨胀与压缩.....	38
热塑性塑料熔体的流变性能.....	50
熔体的粘度和高弹性.....	50
剪切速率、温度和压力对热塑性塑料熔体粘度 的影响.....	61
热塑性塑料熔体的热稳定性.....	70
第二章 热塑性塑料在注塑机中的塑炼和流动过程	82
热塑性塑料在柱塞式注塑机中的塑炼过程.....	83
加热系数.....	85
加热料筒的塑炼能力.....	86
热塑性塑料在加热料筒中的运动.....	88
热塑性塑料在螺杆式注塑机中的塑炼过程.....	90
螺杆的结构.....	91
螺槽中热塑性塑料的状态区域.....	96
热塑性塑料在螺杆料筒中加热过程的特点.....	97
螺杆式加热料筒塑炼参数的调节.....	100

热塑性塑料熔体通过注射料筒喷嘴的流动·····	104
第三章 热塑性塑料在注模中的成型 ·····	113
热塑性塑料在成型周期中压力和温度的变化·····	113
充模·····	116
聚合物在模内流动的特点·····	116
热塑性塑料在充模时的流动速度·····	124
充模时的压力·····	132
充模时的排气·····	135
热塑性塑料熔体在模内的压实·····	136
模内最大压力·····	137
模内压力的变化·····	139
模内压力的分布·····	144
模内压力损失·····	147
模内最大压力的调节·····	150
聚合物从模中倒流和模腔的封断·····	151
模腔封断后聚合物的冷却·····	155
第四章 热塑性塑料注塑时的取向和结晶过程及其	
对注塑制品力学性能的影响·····	160
热塑性塑料熔体的取向和结晶能力·····	161
热塑性塑料熔体在等温条件下的结晶·····	165
热塑性塑料熔体在加压、剪切的非等温条件下的	
结晶·····	171
热塑性塑料的结晶参数与模温之间的关系·····	175
热塑性塑料在模内流动时的取向特点·····	178
注塑条件对非晶态热塑性塑料取向的影响·····	180
热塑性塑料充模时的双轴取向·····	186
注塑条件对结晶性热塑性塑料取向的影响·····	189

热塑性塑料在注模内结晶过程的特点·····	191
熔体温度和加热时间对模内热塑性塑料结晶的影响·····	194
取向应力·····	203
温度应力·····	204
制品形状和尺寸对内应力的影响·····	205
注塑过程参数对注塑制品力学性能的影响·····	207
注射温度·····	207
注模温度·····	210
压力和保压时间·····	212
注塑制品力学性能的各向异性·····	213
注塑制品熔接缝的力学性能·····	220
第五章 注塑制品 ·····	231
注塑制品的形状设计·····	232
热塑性塑料性能的影响·····	232
制品厚度的影响·····	238
制品某些形状要素的影响·····	240
浇口的位置·····	243
注塑制品的表面缺陷·····	246
注塑制品的收缩·····	250
注塑制品的翘曲·····	253
注塑制品的热处理·····	257
第六章 注模的浇注系统 ·····	266
普通浇注系统·····	267
主流道·····	269

分流道·····	271
分流道的配置·····	274
从分流道到浇口的过渡·····	276
浇口·····	277
浇口尺寸的平衡·····	281
点浇口·····	282
无流道赘物的浇注系统·····	284
第七章 热塑性塑料注塑的可模性 ·····	289
可模性的评定·····	289
测定可模性的方法·····	291
成型图·····	292
最短注塑周期·····	293
测定可模性用模的选择·····	295
根据注模中所形成的螺线长度研究可模性·····	296
进行试验的方法·····	296
注塑过程的工艺参数对螺线试样长度的影响·····	298
模具结构的影响·····	302
聚合物性质的影响·····	303
螺线长度与最小注射压力及最低注射温度的关 系·····	307
用压力-温度曲线研究聚合物的可模性·····	307
聚合物的流变性能与其注塑可模性的关系·····	309
聚合物熔体流动性指标与可模性·····	309
聚合物的综合流变参数与可模性·····	311
熔体粘度与可模性·····	313
附录 ·····	317
国际单位制与其他单位制的关系·····	317

概 论

注塑是热塑性塑料的基本加工方法之一。采用这种方法可以在高生产率下制得高精度、高质量的制品。

对于加工热塑性塑料来说，注塑法较压塑法有许多优点。主要优点是：由于热塑性塑料在模外加热，熔体被注入不断冷却的模中，故生产率高；制成品的尺寸精度高，表面光洁度好；在注模的分型面上不产生毛边，制品后加工量极少，只需清除残留的浇口赘物；注模的磨损小（由于除销子和杆外别无摩擦件）、尺寸小（同压模比较），在注塑机上装卸操作简单易行，故经济性好；在充模之前注模先行闭合，所以可以制造体型复杂、壁薄、嵌件小、成型孔长的制品；制品制造过程可完全自动化。

另一方面，注塑也有许多缺点：第一，初期的设备投资大；第二，在许多情况下注模价格高；还有，用注塑法制造厚度变化大的制品时表面缺陷或其他缺陷难以避免。

热塑性塑料的注塑成型是在注塑机上实现的。小型注塑机可以制造重量只有几克的制品，大型注塑机制造的制品重量可达 30 公斤。

目前，大规模制造注塑机约有 150 家公司，每一家公司出产的注塑机型号都相当多（从 8 种到 20 种以上）。美国年产注塑机约 4,000 台，日本约 6,500 台^[1,2]。

注塑法的广泛使用，也与物理力学性能良好的新型热塑性塑料如聚甲醛、共聚甲醛、聚碳酸酯和聚矾等的生产发展有关。

目前，用注塑法加工的热塑性塑料约有 35 种。每一种热塑性塑料，根据物理力学性能、注塑时的流动性和用途的不同而有多种牌号。例如，苏联生产的聚苯乙烯及其共聚物有 20 个注射级牌号，法国 Aquitaine Organico 公司生产的聚酰胺-11 有 30 个注射级牌号，西德 BASF 公司生产的聚乙烯有 19 个注射级牌号。1970 年热塑性塑料的世界产量达 2,000 万吨^[3]。

用注塑法可制造机器和设备的各种制品（齿轮、螺钉、螺帽、轴承、手柄、密封环、阀件、活门和纱管等）。汽车制造工业广泛使用聚酰胺、共聚甲醛及其他热塑性塑料注塑制品。用于电气工程上的注塑制品有：开关、接线柱、板、仪器外壳、按钮以及其他注塑制品。在医学、建筑、日常生活和包装上，也使用各种热塑性塑料注塑制品。

注 塑 方 法

用注塑法制造制品时，先在料筒中将热塑性塑料加热到流动态，而后用柱塞将其压入（压力为 50~200 兆帕）比较冷的闭合模中，并冷却成为制品。

注塑机的原理图见图 1，其工作情况如下：将粒状热塑

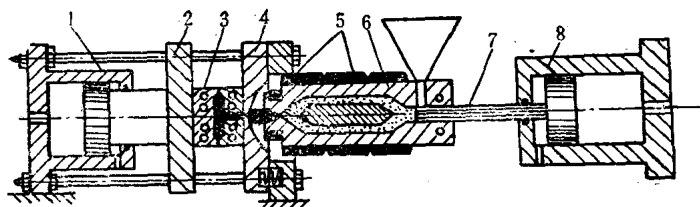


图 1 注塑机的原理图

- 1—锁模部分 2,4—装模板 3—注模 5—电加热器
6—加料料筒 7—柱塞 8—注射油缸

性塑料加入加热料筒的加料装置中。料筒中设有由注射油缸带动的柱塞；可将物料送到料筒的加热区。物料在加热区软化并被加热到要求的温度。柱塞移动时，热塑性塑料熔体在压力作用下被注入闭合的模中。注模系固定在注塑机的装模板上。锁模部分保证注模的闭合，并提供注射时所必需的锁模力。注塑机装有时间调节系统，用以控制注塑周期的操作程序。

为了使物料加热更均匀并降低加热料筒中的压力损失，广泛使用的方法是将热塑性塑料进行预塑炼。柱塞预塑炼所用的加热料筒与柱塞式注塑机上的相同(图 2 a)。预塑炼时也可使用螺杆(图 2 b)，这样，物料的加热最均匀。

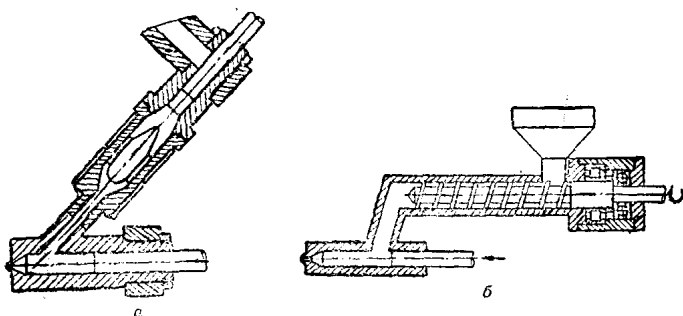


图 2 柱塞式(a)和螺杆式(b)预塑炼的注射部件原理图

实施注塑过程所必需的工具是注模，它的结构和尺寸取决于所需制造的制品。模具一般是由阳模和阴模两个基本部分组成的，通常用水通入设置在两个半模内的孔道进行冷却。其中一个半模(阴模)上有圆锥形孔，孔的外端作成半球形凹槽。这个孔的作用是为物料充填型腔而设置的通道，并称之为主流道。在注塑过程中注塑机料筒的喷嘴紧贴于半球

形凹槽。

模内一般设有一个或几个分流道，视同时注塑的制品数量而定。分流道的末端设有浇口，浇口的横截面尺寸很小，以保证浇注系统中的赘物容易与制品分离。

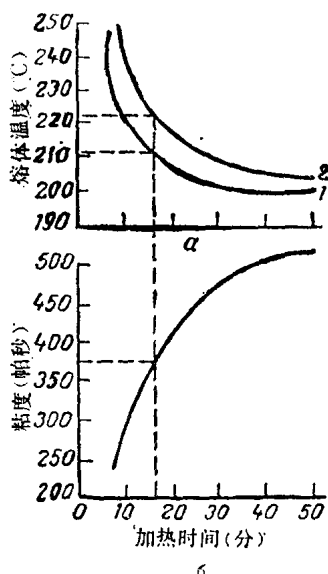


图 3 聚甲醛的熔体温度(α)和粘度(β)与加热时间的关系
1—熔化界限 2—分解界限

小，则其均匀性越好。其次，熔体粘度低时充模可在低压下进行。

这一情况使注塑技术出现了一个新的趋势，即高温注塑^[5]。这种方法是将热塑性塑料加热到高温，以提高流动性并加快充模，而在充模之后、降解发生之前即将温度降低。例如，从图 3 可见，聚甲醛可在 8 分钟内加热到 220°C，处

上述注塑方法对于加工未增塑的聚氯乙烯和聚甲醛不大适宜，因为这两种塑料长时间处于高温下会发生分解。

热对于熔体的作用既取决于熔体的温度，也取决于熔体在这一温度停留的时间。例如，从图 3 可见，聚甲醛在 205°C 停留 50 分钟和在 250°C 停留 8 分钟的热降解情况^[4]是大致相同的。熔体粘度则不同，在 205°C 时为 500 帕·秒，在 250°C 时为 250 帕·秒。

为了制得质量良好的制品，熔体粘度最好能低些。首先，质量良好的制品只能由均匀的熔体制成，而熔体粘度越

于这一温度的最长时间应不大于 16 分钟。在此期间内 应当完成充模和制品的冷却。温度更高时, 则充模所需压力有可能降低, 压力取决于粘度的大小。在 220°C 时粘度为 370 帕·秒, 而在 205°C 时, 则为 500 帕·秒。在后一情况下必须有更高的压力, 因而较难制得高质量的制品。

高温注塑法用于制造厚壁制品的所谓挤注模塑过程^[6]。模塑厚壁制品时, 充模是在较低的压力下进行的; 充模之后, 必须供给少量熔体以补偿热塑性塑料的收缩。

挤注模塑周期从注模闭合开始(图 4), 此后喷嘴紧贴注模的衬套。在液压缸所产生的压力作用下螺杆处于前位, 螺杆的端部将喷嘴封闭。因此, 螺杆开始转动时热塑性塑料熔体不进入模内。

当螺杆继续转动时, 料筒前部(螺杆的前面)的压力升高, 螺杆克服油缸的压力而向后移动。此后喷嘴孔打开, 熔体进入模内(图 4, a)。充模之后, 螺杆前面的压力逐渐超过油缸压力, 在料筒中转动的螺杆向后移动(图 4, b)。油缸达到规定压力时螺杆停止转动。在油缸压力作用下, 螺杆像柱塞一样工作, 将少量熔体送入模内以补偿热塑性塑料在模内的收缩。在保压期间螺杆向喷嘴方向移动。保压即将结束时螺杆的端部向喷嘴靠近, 并将喷嘴孔封闭。像通常注塑一样, 待制品冷却后即从模中脱出(图 4, c)。

挤注模塑法的特点之一是: 热塑性塑料的塑炼、充模和制品的部分冷却是同时进行的。物料的塑炼是在料筒中和螺杆端部(一般作成带螺旋的锥状体与料筒之间的间隙中进行的^[4]。在喷嘴以前的这一锥状体的间隙中能产生很高的剪切应力, 从而保证熔体临近进入模具前能受到进一步的均化和加热。

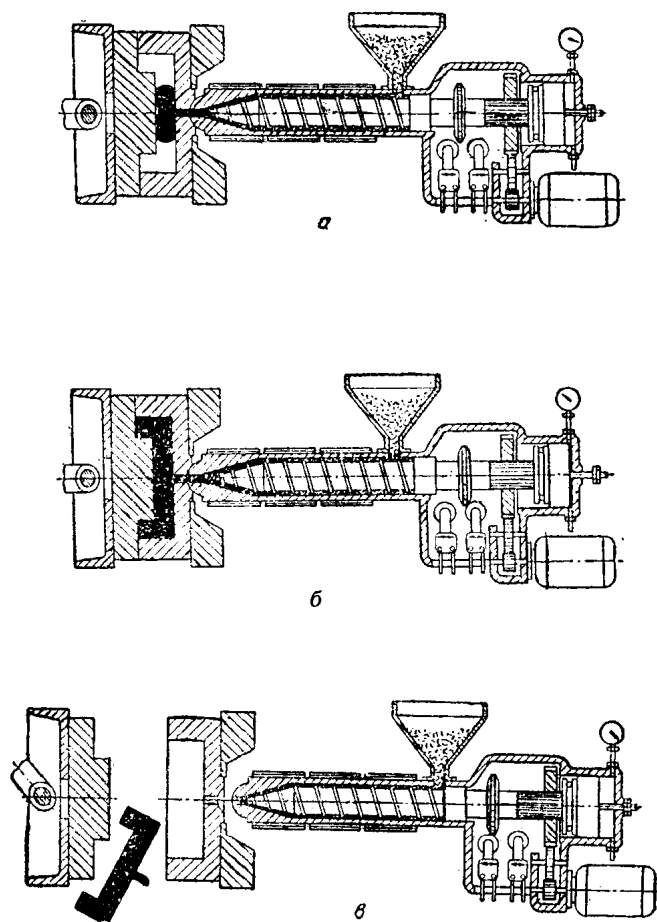


图 4 挤注模塑过程示意图

a—螺杆转动，物料挤入模内 b—保压期间螺杆沿轴向运动
c—制品脱模，螺杆处于前位，将喷嘴封闭

挤注模塑时的充模速率比采用普通注塑方法时小得多。螺杆转动所产生的压力也比普通注塑的柱塞压力低。因此，模具中的流道横截面应较大，以便流道中的热塑性塑料熔体在制品成型过程完成前不致凝固。用挤注模塑法制造厚度比较大的制品时是可以采用低的充模速率的。

模壁上形成的凝固料层妨碍了熔体的迅速冷却。熔体的运动只能在注塑品的中心层进行。用普通注塑法时模壁上的凝固料层厚度，就聚乙烯来说，约为试样厚度的 $10\sim 12\%$ ^[7]，而用挤注模塑法制造制品时的凝固层厚度则要小得多。这样，熔体在模内流动时就可以消耗较少的能量。由于充模时的速率和作用力不大，用挤注模塑法制得的制品具有较小的内应力。

挤注模塑过程的特点是物料在高温停留的时间短，充模的压力不高^[8]（约 $20\sim 25$ 兆帕）。充模之后，熔料还可在压力 $20\sim 25$ 兆帕下补进，以补偿热塑性塑料的收缩。用这种方法注塑时，沿模腔长度的压力损失比普通注塑法要小，因为制品的厚度较大，熔体的温度较高。压力损失在很大程度上决定于沿模腔长度的温度梯度，而沿模腔长度的温度梯度的形成取决于注射料筒中的塑炼过程。挤注模塑的塑炼过程与挤出机和螺杆式注塑机中的塑炼过程有很大差异^[6]。

制造表面积、长度和重量大的大型零件时，为了达到大的流动长度或者使模内熔体压实，一般要求使用很高的压力。在普通注塑过程中压力只是通过浇注系统传递的，而在大型制品中这一压力的传递受到很大的限制，因为在流动路程的始末物料状态的差别比小型制品要大。

在这里可能发生不必要的过度压实，这会造成热塑性塑料取向的很大差异，结果会造成收缩率的很大差别。压实