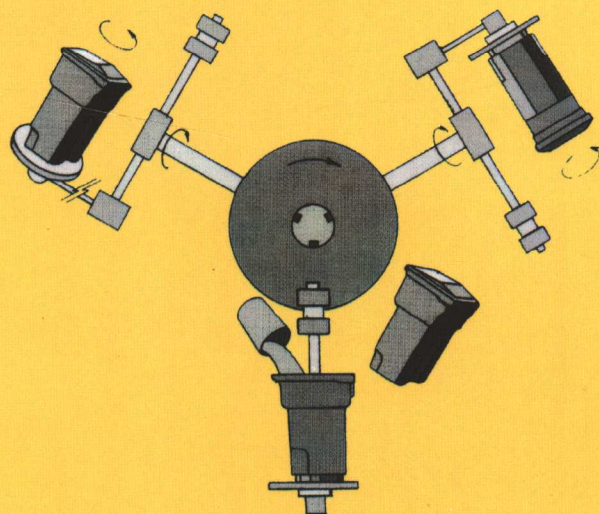


旋转模塑

——设计、材料、模具及工艺

[美] 格伦 L. 比尔 著

马秀清 译



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

旋 转 模 塑

——设计、材料、模具及工艺

[美] 格伦 L. 比尔 著
马秀清 译



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

旋转模塑——设计、材料、模具及工艺/[美] 比尔(Beall, G. L.) 著;
马秀清译. —北京: 化学工业出版社, 2004. 11

书名原文: Rotational Molding: Design, Materials, Tooling, and Processing
ISBN 7-5025-6258-3

I. 旋… II. ①比… ②马… III. 塑料模具 IV. TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 111050 号

Rotational Molding: Design, Materials, Tooling, and Processing/by
Glenn L. Beall

ISBN 1-56990-260-7

Copyright © 2004 by Carl Hanser Verlag, Munich. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by
Carl Hanser Verlag, Munich.

本书中文简体字版由汉斯出版公司授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-0207

旋 转 模 塑

——设计、材料、模具及工艺

[美] 格伦 L. 比尔 著

马秀清 译

责任编辑: 武志怡

文字编辑: 麻雪丽

责任校对: 吴 静

封面设计: 于剑凝

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http:// www. cip. com. cn

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

北京云浩印刷有限责任公司装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 11¼ 字数 193 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6258-3/TQ·2099

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序 言

塑料制品的成型方法有很多种，其中成型中空制品至少也有五六种方法。通常，这些成型方法之间没有什么冲突，但是当给定了塑料制品生产的全部规范和市场要求时，只有一种成型方法是最优的。

旋转模塑协会及其技术主管 Glenn L. Beall 想通过本书告诉塑料工业界，旋转模塑是一种重要的成型方法，而且当使用旋转模塑生产制品时，制品的强度优势是高于所有其他成型方法的。

近来，这种成型方法的许多发展使其更灵活、更可靠、更具有预测性，其产品更畅销。希望本书能增加读者对这种非常独特的成型方法的了解、熟悉和信任。

Thomas M. Niland

旋转模塑协会主席

前言

欢迎进入旋转模塑天地，在这里您将通过易于理解的语言来了解以前从未如此详细地说明过的一种独特的塑料加工成型方法。

旋转模塑工业领域中有相当大一部分工程师虽然经过了大学教育，但并没有得到塑料材料和成型技术方面的知识。就广泛使用塑料做成各种类型的实际制品而论，这是极其令人震惊的事情。很多大学提供了关于塑料方面的课程，但仅仅局限于塑料工业的一些热门技术，如塑料材料技术、注射成型、吹塑成型、挤出成型和热成型等加工工艺。当然这是可以理解的，因为这些热门领域为大学生们提供了很多工作机会，然而在塑料加工工业中还有很多不常用的成型技术也是同等重要的。与那些已有技术相比，这些新兴的技术有着更大的发展空间，并且将提供更多的工作机会。

旋转模塑就是一个典型的例子。自 20 世纪 40 年代，现代旋转模塑技术就已经产生了，但其优势和潜在在最近几年才有所报道。这是因为旋转模塑技术的存在与发展主要依赖于该工业的承揽制造商、塑料制造商、模具制造商及设备制造商。

旋转模塑技术只是在最近几年才出现在商业文摘、会议和大学课程中。因此，耐久品的制造商还不能确定什么时候选用旋转模塑工艺以及怎样使用该技术才能发挥其最大优势。本书将能成为学术界、原始设备制造商及刚刚步入这一领域的商家的向导，其目的并不在于教读者如何操作这一工艺，而旨在帮助读者了解和使用这种加工工艺以发挥其最大潜能。

本书的重点在于指导人们何时选用旋转模塑工艺以及怎样有效地设计和生产中空塑料制品，并综述了旋转模塑工艺的起源、现状及发展前景。另外，还用相当的篇幅介绍了旋转模塑工业中所选用的不同的塑料、模具和旋转模塑设备，这足以让使用者设计新产品时在这些方面寻找一个最优的结合点。此外，还分析了影响产品成本及质量的因素，在选择理想的供应商方面也进行了较为详细的叙述。

本书尽量使用最简单的语言使读者了解旋转模塑这个工艺，其目的并不是要求人们深入研究塑料材料或旋转模塑技术方面的问题，在叙述上尽可能避免

使用商务用语。

通过本书，读者能更广泛地理解旋转模塑工业的工艺过程、标准和实际应用，并且初次使用该工艺时，能够在对其有一定理解的基础上设计出低成本、高质量的中空塑料制品。

Glenn L. Beall

内 容 提 要

本书的重点在于指导人们何时选用旋转模塑工艺以及怎样有效地设计和生产中空塑料制品，并综述了旋转模塑工艺的起源、现状及发展前景。另外还用相当的篇幅介绍了旋转模塑工艺中所选用的不同的塑料、模具和旋转模塑设备，让读者在设计新产品时在这些方面寻找一个最优的结合点。此外，还分析了影响产品成本和质量的因素。

本书尽量使用最简单的语言使读者了解旋转模塑这个工艺，其目的是使读者了解塑料材料或旋转模塑技术方面的问题。本书适用于从事塑料加工的工程技术人员和在校的大、中专师生使用。

目 录

1 旋转模塑工业	1
1.1 旋转模塑过程的定义	1
1.2 旋转模塑过程的描述	1
1.3 旋转模塑过程的特性	2
1.3.1 优点	3
1.3.2 局限性	5
1.4 发展简介	6
1.5 旋转模塑工业的现状	11
2 旋转模塑材料	13
2.1 旋转模塑过程对材料的要求	13
2.2 常用塑料	14
2.3 其他塑料	15
2.4 特种塑料	17
2.4.1 增强塑料	17
2.4.2 填充塑料	17
2.4.3 多壁制品	17
2.4.4 发泡制品	18
2.5 添加剂和改性剂	19
2.6 聚乙烯	20
2.6.1 低密度聚乙烯	20
2.6.2 高密度聚乙烯	22
2.6.3 中密度聚乙烯	23
2.6.4 线性低密度聚乙烯	23
2.6.5 交联聚乙烯	23
2.6.6 乙烯醋酸乙烯共聚物	24
2.6.7 聚乙烯小结	24
2.6.8 应用	26

2.7 聚丙烯.....	27
应用	29
2.8 聚氯乙烯.....	29
应用	32
2.9 尼龙.....	32
应用	34
2.10 聚碳酸酯	36
应用	38
2.11 材料的选择	38
材料信息来源	49
3 设计依据	52
3.1 产品的设计.....	52
3.2 工艺设计.....	58
3.3 材料的设计.....	58
3.4 制品的设计.....	59
3.4.1 壁厚.....	59
3.4.2 加强筋.....	65
3.4.3 转角处的圆弧半径.....	71
3.4.4 脱模斜度.....	73
3.4.5 磨砂面的脱模斜度.....	75
3.4.6 倒陷.....	76
3.4.7 模塑孔.....	78
3.4.8 模塑螺纹.....	86
3.4.9 模塑嵌件.....	88
3.4.10 尺寸误差	91
4 旋转模塑模具	98
4.1 模具专用词汇.....	98
4.2 模具的类型	100
4.2.1 铸铝模具	101
4.2.2 二次加工的金属板模具	103
4.2.3 电铸模具	105
4.2.4 机加工模具	106
4.2.5 其他模具	108
4.3 热处理	109

4.4	包含模具的成本	112
4.5	选择最优的模具	114
5	对工艺的理解	119
5.1	旋转模塑机的类型	120
5.2	旋转模塑工艺的考虑	126
5.3	成本分析	130
5.4	选择供应商	136
6.	何时选择旋转模塑工艺	140
6.1	具有竞争力的成型方法	145
6.1.1	吹塑成型	145
6.1.2	热成型工艺	148
6.2	选择中空制品的成型工艺	151
7	发展前景	154
7.1	旋转模塑工业	154
7.2	涌现出来的技术	156
7.2.1	塑料材料的进展	156
7.2.2	塑料产品设计的进展	159
7.2.3	旋转模塑模具制造的新进展	161
7.2.4	旋转模塑工艺成型机的新进展	164
	参考文献	167

1 旋转模塑工业

1.1 旋转模塑过程的定义

旋转模塑是高温、低压、敞模成型的塑料成型方法，在此过程中，通过加热冷却和双轴转动来加工中空的整体制品。

1.2 旋转模塑过程的描述

要旋转模塑一个垃圾筒，首先将相应的模具安装在旋转模塑机的臂上（见

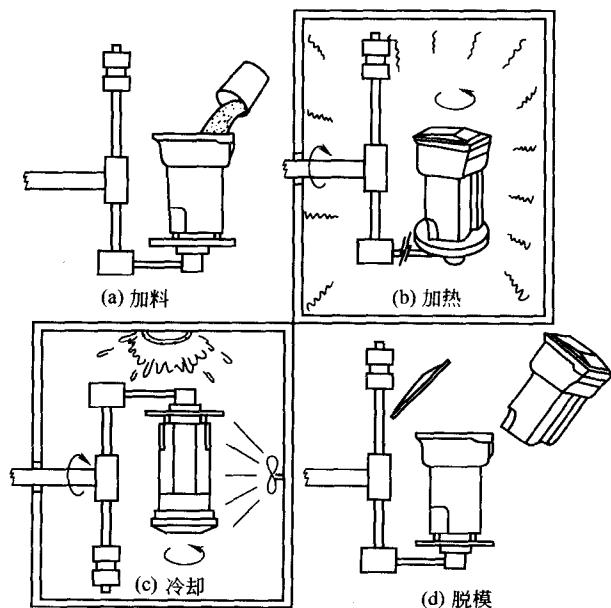


图 1.1 旋转模塑过程的 4 个阶段

图 1.1)，然后模具随着双轴旋转并完成旋转模塑过程的 4 个阶段。

第一阶段 将称量好的塑料以液体或粉料的形式装入模具内腔 [见图 1.1 (a)]。

第二阶段 旋转模塑机带着模具在两个方向同时转动，并进入加热炉 [见图 1.1 (b)]。在加热炉中，模具变热，所有的塑料黏附并烧结于模腔的内表面。

第三阶段 随着旋转模塑机的不断旋转，模具将转出加热炉进入冷却室，在冷却室中塑料将冷却到制品能够成型的温度 [见图 1.1 (c)]。

第四阶段 旋转模塑机转到开模位置，模具停止转动，打开模具，取出制品 [见图 1.1 (d)]。

往模具中再次装入塑料，旋转模塑过程不断重复。

现在有很多不同类型的单臂和多臂旋转模塑机，其中多臂回转式旋转模塑机 (见图 1.2) 是目前使用最普遍的机型。

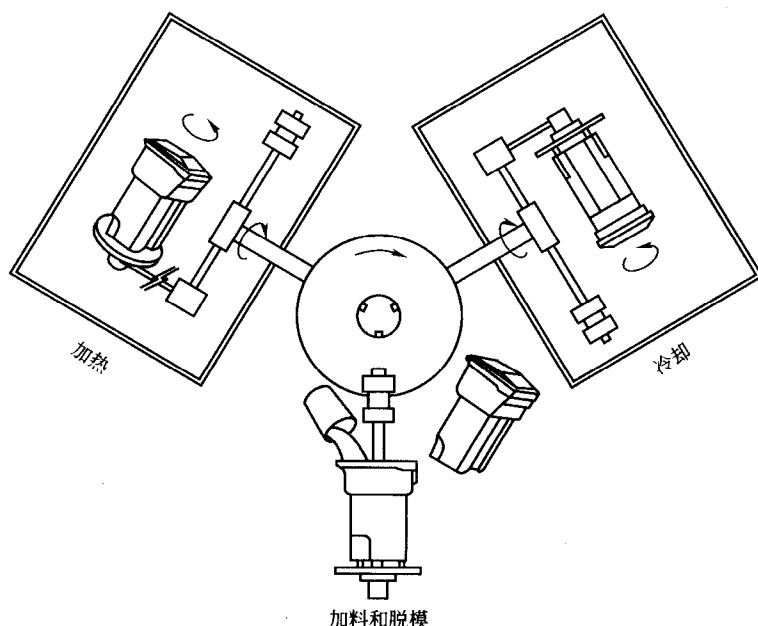


图 1.2 旋转模塑过程的 4 个阶段结合在一起的三臂回转式旋转模塑机

1.3 旋转模塑过程的特性

通常认为旋转模塑是生产大型塑料容器的理想的方法，但实际上这种方法

能生产很多其他类型的制品（见图 1.3）。像其他所有加工方法一样，旋转模塑方法也有其优缺点。

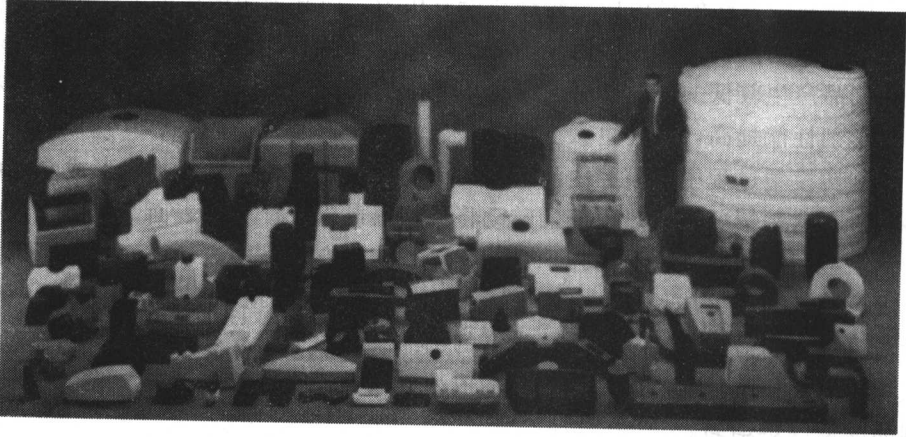


图 1.3 旋转模塑方法生产的典型制品

1.3.1 优点

旋转模塑方法的优点是它能够生产形状极其复杂、大小不一的各种无缝、中空的整体制品。具有复杂形状的整体制品，如内部具有弯曲通道的滤渣容器，用其他塑料加工技术是不能生产出来的（见图 1.4）。

旋转模塑过程是低压成型过程，因此可以使用轻质模具，模具和机器的成本相应就很低，这就可以对大型的复杂的制品进行小批量生产，若用那些投资较大的高压成型方法则是不经济的。

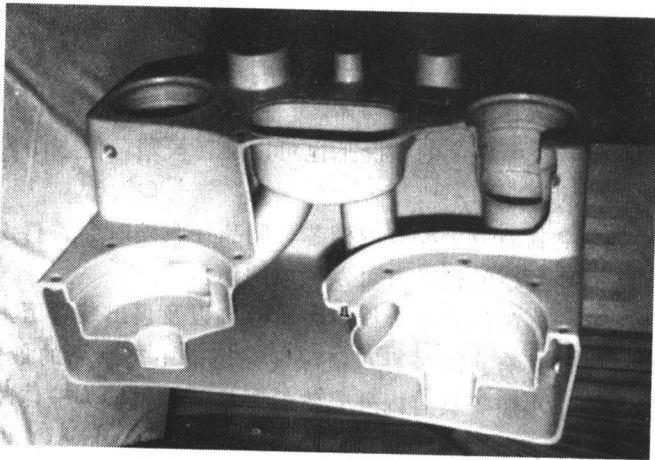


图 1.4 具有内螺纹、金属嵌件和内部弯曲通道的整体式滤渣容器

用于旋转模塑的模具通常比其他塑料成型方法的模具能更快地制造并投入生产中。

旋转模塑方法的模内压力较低或没有压力，而其他闭模成型方法则需要较高的加工压力使物料在模腔内流动。低压成型条件下，塑料的加热和冷却将使模塑制品产生较低的模内压力。模内残余应力的减少将会使制品的冲击强度和耐化学剂性能提高，同时也减少了成型后翘曲变形的可能性。

旋转模塑过程中，模腔内没有压力，因而液态或粉状塑料难以形成制品的形状。在这种情况下，热模腔的转动将使塑料黏附于模腔内表面。实际上，在烧结过程中，塑料在模腔内几乎没有流动或者只有较小的流动，而这将可以成型出壁厚相对于整体尺寸较小的模塑制品。薄壁制品既可以减少所需的塑料量，又可以缩短成型周期，因而生产的制品具有较低的成本。

与需要拉伸预成型的中空制品的成型方法相比，旋转模塑方法的烧结将使制品的壁厚更均匀。

旋转模塑是使用成套制品模具的理想的塑料加工方法。大小不一、形状不同的制品可以在一台旋转模塑机的单腔室或多腔室中同时成型。

旋转模塑能实现模具的快速更换，这将使需要及时供货的小批量生产成为可能。

旋转模塑过程中，只有模腔与塑料接触，因而从一种材料或颜色更换为另外一种材料或颜色时无需清理，与需要清理的其他熔体流动加工方法相比，这是旋转模塑方法的一个突出的优点。

旋转模塑工艺可以在不使用多个模具或复杂的双材料成型机的情况下，生产出双色或两种材料的制品。旋转模塑的两层的或三层的中空制品，可以全部是实体的、泡沫的或制品中同时具有实体和泡沫的结构。

旋转模塑还是生产具有模内嵌件的很好的方法，金属、塑料、橡胶和木质嵌件都可以很顺利地制品模塑为一体。

一些制品在没有拔模斜度的情况下也可以旋转模塑，但在闭模成型方法中拔模斜度则是必需的。

旋转模塑的中空制品由于没有内模芯，制品在收缩时会脱离模腔内壁并向内弯曲，因而不需要复杂的模具就可以形成倒陷。

旋转模塑形成的制品没有熔合线、浇口痕迹以及顶出装置留下的痕迹。

旋转模塑是生产具有封闭平行双壁深度撑压的中空制品的最佳加工工艺。冰箱、食物保温箱、小船等具有内外壳体的制品就是模塑为一体的双壁制品的最好例子（见图 1.5）。

旋转模塑只会产生很少的废角料，不像注射成型那样有浇道和注道。旋转

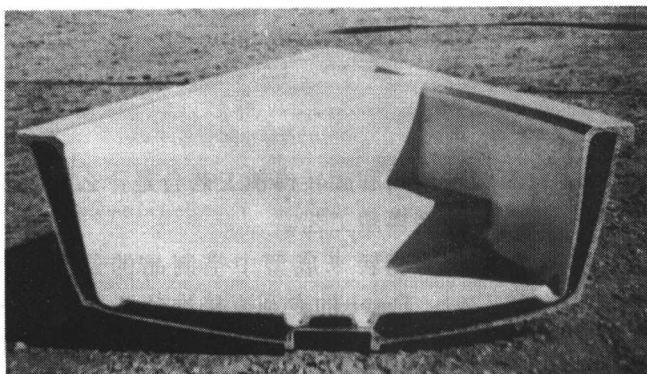


图 1.5 封闭内外壳的旋转模塑制品——小船的横截面

模塑的最终制品也不需要像热成型那样切掉一大块材料，同时旋转模塑也不存在挤出吹塑成型的截坏残料，装入模具的所有物料均形成了最终制品。

在旋转模塑中，工业用 PE（聚乙烯）和废旧 PE 均可以回收利用，但性能将会降低。

1.3.2 局限性

像其他所有塑料加工技术一样，旋转模塑方法也有其局限性。一般说来，旋转模塑方法有两大局限。一是作为一种敞模工艺，在中空制品中没有模芯，因此制品表面的细节和尺寸只能由与模腔接触的制品的那一面来控制；二是旋转模塑工艺不仅要使塑料进行加热冷却，而且也要对模具进行加热冷却。很多其他热塑性塑料成型技术只需要对塑料进行加热，因此旋转模塑同时对物料和模具进行加热将导致较大的能耗和较长的成型周期。

较长的加热周期和较高的炉温将增加模塑塑料热降解的可能性。旋转模塑方法的主要局限性在于在较长的加热周期内有些塑料的耐热性不够。

旋转模塑方法的另外一个与材料有关的局限性是进入模具的塑料必须是液态的或能磨碎成类流体的细粉料，将塑料颗粒磨碎成细粉将增加材料的成本。通常情况下，与用粒料作原材料的其他成型技术相比，用于旋转模塑的材料成本较高。

在成型周期的冷却收缩阶段，塑料制品能够很容易地脱离模腔内壁。因此很难保证制品的精确尺寸，也很难保证大平面内不发生翘曲。

旋转模塑过程中，使塑料黏附烧结于模腔内壁，并且在冷却周期内从模腔脱出，这需要注意脱模剂的使用，但这对不需要使用脱模剂的其他塑料加工技术来说就是一个附加的工序。

1.4 发展简介

今天,很难想像没有塑料材料和旋转模塑工艺会是什么情况。在人工合成塑料出现之前,就已经有了旋转模塑工艺。

最早记载使用加热和双轴旋转来成型中空制品的是于1855年发布的R. Peter申请的英国专利1301。Peter的专利直接推动了金属炮壳和其他中空制品的制造技术的发展,该专利描述了所有旋转模塑工艺的基本原理,但是Peter的专利中是利用离心力将材料推向模腔内壁的。

10年后,也就是1865年,美国人T. J. Lovegrove也申请了这方面的美国专利(专利号为48022)。这是有关壁厚均匀的中空圆炮壳生产方面的专利,专利中指出该工艺的优点是壁厚和密度均匀性的改善将使炮弹的飞行更为精确,值得注意的是现代旋转模塑工业仍然使用这个工艺来生产壁厚均匀的塑料制品。有趣的是Lovegrove的专利颁布3年后,John Wesley Hyatt才发明了第一种人造塑料材料——硝酸纤维素。

1905年,颁布了由F. A. Voelke申请的制造中空蜡制品的美国专利(专利号为803799)。1910年,又颁布了G. S. Baker和G. W. Perks申请的成型中空巧克力球的美国专利(专利号为947405)。

R. J. Powell于1920年申请了成型熟石膏制品的机器的美国专利(专利号为1341670)。这个专利在旋转模塑历史中是一个里程碑,它告诉人们慢速旋转和消除离心力的优点,该专利也描述了至今仍广泛应用的4:1的转速比。

第一次描述摆动式旋转模塑机的是H. B. Landau于1932年申请的美国专利(专利号为1875031),这个专利描述的是成型蜡质瓶的机器。

1932年,W. Kay在英国发布了关于生产橡胶球的机器的专利,这个发明也于1935年在美国申请了专利(专利号为1998897)。这个专利用图例说明了由双轴旋转的齿轮传动系统,这与现在旋转模塑机上所使用的是很相似的。

这些专利和其他早期的专利为中空塑料制品的旋转模塑奠定了基础。在1935年Kay的专利颁布之时,旋转模塑的基本原理早已经得到了认识并已实际应用了80年,但是早期的塑料材料不适于旋转模塑工艺。庆幸的是,橡胶工业使旋转模塑设备和成型工序不断地发展。当然,当时也生产一些塑料制品,但又过了十年才出现了工业化的适于旋转模塑的塑料材料。

B. F. Goodrich 的 Waldo Semon 发现在硬聚氯乙烯中加入增塑剂可使其软化。在 1926 年这个发现之前，聚氯乙烯被认为是没有什么工业价值的。聚氯乙烯的软化为其主要应用，如包装塑料、电绝缘体和旋转模塑，奠定了基础。

另外，Semon 还发明了泡泡糖，这在当时立即被认为是极具商业价值的。

最早记载的关于 PVC（聚氯乙烯）的旋转模塑的资料是对合成树脂模铸方面的介绍，那些合成树脂包括苯乙烯、醋酸乙烯、甲基丙烯酸甲酯和氯乙烯。这都出现在美国专利 2265226 中，这个专利是 1941 年 J. H. Clewell 和 R. T. Fields 申请的，专利权属于杜邦公司。

联碳公司于 1946 年推出了一种增塑聚氯乙烯糊新材料，这正是旋转模塑商所期待的材料。通常被称为增塑糊的这种材料是很适用于旋转模塑的。第一次全面介绍 PVC 增塑糊旋转模塑技术的是意大利专利 440295，这是 C. Delacoste 和 Y. Cornic 申请的。

值得注意的是于 1953 年 2 月 24 日由 R. P. Molitor 申请的美国专利 2629134，这个专利除包含早期专利的内容外，还介绍了增塑糊在高温熔化后再次加热，即两段加热可形成凝胶的情况。

Molitor 的专利属于 Sun Rubber 公司，对这个专利的保护是由该公司强制执行的，结果是 20 世纪 50 年代中期到 60 年代初，有关这个专利的诉讼为旋转模塑工业的发展带来了负面影响。塑料材料和成型设备厂家在诉讼解决之前都采取了坐观的态度，Molitor 的专利最终由于缺乏新意而被判无效。

Sun Rubber 公司的诉讼减缓了旋转模塑工业的发展近 10 年。不久，该公司失去诉讼权后，旋转模塑工业又恢复了其稳定上升的态势。

材料制造商对这个转机的反应所采取的措施是不断增加制品的生产线，而且可以生产很硬（如木材的坚硬）到很软（如近乎橡胶的柔软）等不同物理性能的制品。增塑糊基体是透明的，但能很经济很容易地进行染色。增塑糊的成型加工成为一类重要的工业。在 20 世纪 50 年代和 60 年代，通用材料是旋转模塑的主要材料。增塑糊虽然是一大类材料，但它也不能满足所有的市场要求。只依赖于一种材料的成型工业是有一定局限性的。

当旋转模塑在塑料工业中被认可时，该工艺才引起了设备制造者的关注。在此之前，很多承揽制造商自己制造成型设备，以至于业内产生了一个有趣的观点，如果不是使用自己生产的设备就不能称为承揽制造商。在 20 世纪 50 年代，工业用旋转模塑设备已经很普遍了。1954 年美国有 7 家旋转模塑设备的制造厂家。E. B. Blue 公司向市场提供用于成型增塑糊的多腔室旋转模塑机。Akron Presform 发明了一种多臂式成型机器。1964 年，McNeil 公司向市场提