

*BMC*模塑料 及其成型技术

陈 锋 编著

0.66



化学工业出版社

BMC 模塑料及其成型技术

陈 锋 编著

化学工业出版社
· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

BMC 模塑料及其成型技术/陈锋编著. —北京: 化学工业出版社, 2003.7
ISBN 7-5025-4634-0

I. B… II. 陈… III. 塑料成型-模压 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 056407 号

BMC 模塑料及其成型技术

陈 锋 编著

责任编辑: 武志怡

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 郑 捷

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(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

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 360 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4634-0/TQ·1768

定 价: 29.00 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

前 言

BMC (bulk moulding compound) 或 DMC (dough moulding compound) 称为团状模塑预混料, 是一种以热固性树脂作为基体的纤维增强复合材料。有多种热固性树脂可以作为 BMC 模塑料的基体, 但由低收缩不饱和聚酯树脂与短切玻璃纤维、填料、脱模剂、引发剂及其他成分所组成的模塑预混料则是最具有代表性, 且是应用得最广泛的品种。由于所配制的这种预混模塑料其外观形态为纤维块状或纤维油灰团状, 故又将其称为“团状”或“块状”模塑料。

BMC 可以通过压制、压铸及注射成型而制得具有优良电性能、高强度、高尺寸精度, 且能防潮防腐的工程塑料制品。从 20 世纪 80 年代起, 不少发达国家已用 BMC 逐步取代酚醛、氨基等塑料, 特别是在家电、电子、汽车、办公用品等方面已得到广泛应用。BMC 模塑料的应用及其成型技术的研究在我国起步比较晚, 随着上述产品在中国的迅速发展, 将使 BMC 模塑料及其成型技术的推广应用具有更广阔的前景。

为推广应用这种新材料、新工艺、新技术和新设备, 尽快提高我国家电、电子行业产品的档次, 缩短我国在这一领域与发达国家之间的距离, 我们查阅了国内外许多有关的文献资料, 特别是学习和参考了许多从事此领域的专家所发表的论著及经验, 再结合作者这些年对 BMC 及其成型技术的认识 and 实际探索, 把 BMC 从组成到特性, 从配制到各种成型的整个过程及其技术进行了初步的描述和总结, 并编写成此书, 希望其对此新材料、新技术的推广应用能起到宣传和桥梁的作用。

本书图文并茂, 可供从事此领域的工程技术人员、科技工作者参考, 亦可作为工程材料及其成型技术的教材之用。

本书共分 8 章并有附录, 第 4 章由赖家美编写, 其余均由陈锋教授编写。全书由陈锋教授主编。

由于本文所涉及的内容比较宽, 而又要考虑到各章的独立性和系统性, 因此文中有些内容可能会有所重复, 请读者谅解。由于 BMC 模塑料及其成型技术在中国相对来说是一种较新型的课题, 其成型技术亦涉及许多领域, 有许多问题还需作进一步的探索和研究才能解决。由于编者水平有限, 书中存在的不足与疏漏在所难免, 敬请读者给予批评指正。

在本书的编写和出版过程中, 得到许多专家和有关人士的支持和帮助, 在此, 谨致以衷心的感谢!

编 者

2003 年 3 月

内 容 提 要

本书系统地介绍了 BMC 模塑料及其成型技术, 内容包括 BMC 模塑料的组成及其基本配方、配制方法、成型特性、成型制品的设计, 并着重介绍了 BMC 模塑料常用的三种成型方法: 压制成型、压铸成型和注射成型。书后附录有产品型号及技术参数。

本书最大的特点是将工艺与设备有机结合, 图文并茂, 方便企业人员根据工艺条件、特点和参数合理地选用生产设备。

本书是实用工具书, 适用于从事塑料加工领域的工程技术人员、科技工作者参考, 亦可作为高分子材料专业的师生的参考用书。

目 录

1. 概述	1
1.1 BMC 模塑料的性能特点	1
1.2 BMC 模塑料的成型工艺性	4
1.3 BMC 模塑料的用途	5
1.4 BMC 模塑料的历史沿革	7
1.5 BMC 模塑料在国内外的发展趋势	8
参考文献	11
2. BMC 模塑料的组成及其基本配方	12
2.1 树脂	12
2.1.1 不饱和聚酯树脂	12
2.1.2 对不饱和聚酯树脂的要求	13
2.1.3 稀释剂和交联剂	16
2.1.4 引发剂	16
2.1.5 阻聚剂	18
2.1.6 增强材料	18
2.1.7 填料	25
2.1.8 低收缩添加剂	31
2.1.9 脱模剂	34
2.1.10 着色剂	35
2.1.11 其他助剂	37
2.2 BMC 模塑料的常用基本配方	38
参考文献	40
3. BMC 模塑料的配制	41
3.1 BMC 模塑料的配制工艺过程	41
3.1.1 BMC 的配制工艺程序	41
3.1.2 影响混料过程的因素	43
3.2 BMC 的混合设备	45
3.2.1 混合设备的种类	45
3.2.2 间歇式混合设备	45
3.2.3 连续式混合设备	54
3.3 生产与操作安全	67
3.3.1 引发剂与促进剂的操作警戒	68
3.3.2 树脂贮存与使用中的安全	68
3.3.3 使用其他材料的安全事项	69
参考文献	70

4. BMC 模塑料的成型特性	71
4.1 BMC 模塑料在成型过程中的流动性	71
4.1.1 BMC 模塑料在模压成型中的流动性	74
4.1.2 BMC 模塑料在压铸成型中的流动性	74
4.1.3 BMC 模塑料在注射成型中的流动性	74
4.2 BMC 模塑料的固化和热行为	81
4.2.1 固化反应动力学	81
4.2.2 固化度的测量技术	84
4.2.3 BMC 模塑料的固化及数值模拟	85
参考文献	91
5. BMC 模塑料成型制品的设计	93
5.1 成型制品材料的选择	93
5.2 成型工艺方法的选择及比较	94
5.2.1 成型工艺方法的选择	94
5.2.2 BMC 成型方法的比较	95
5.3 制品设计中玻璃纤维的分布及安全系数的确定	96
5.4 BMC 制品的强度近似计算	96
5.5 BMC 成型制件的设计	100
5.5.1 制件设计的基本原则	100
5.5.2 制件几何形状的设计	101
5.5.3 塑件的尺寸精度	111
5.5.4 高精度成型制件与模具设计、制造的关系	115
参考文献	120
6. BMC 模塑料的压制成型	122
6.1 概述	122
6.2 压制成型工艺过程	122
6.2.1 压制成型前的准备工作	122
6.2.2 压制	124
6.2.3 制品的后处理及模具的清理	125
6.3 压制成型工艺条件	125
6.3.1 成型压力	125
6.3.2 成型温度	126
6.3.3 固化时间	126
6.3.4 合模速度	127
6.3.5 BMC 压制成型制品产生缺陷的原因及排除方法	127
6.4 BMC 压制成型模具的设计要点	129
6.4.1 BMC 压制模具的基本要求	129
6.4.2 BMC 压制模的基本结构及组成	129
6.4.3 BMC 压制模的分类及其常用类型	130
6.4.4 BMC 压制模的主要结构及其成型零件的设计要点	132

6.5	BMC 成型模具加热装置	146
6.5.1	电加热	146
6.5.2	蒸汽或过热水加热	150
6.5.3	煤气或天然气加热	151
6.5.4	模具温度调节系统	151
6.5.5	隔热及冷却装置	151
6.6	BMC 模塑料的压制成型机	152
6.6.1	概述	152
6.6.2	BMC 压制成型所用液压机的性能参数	153
6.6.3	液压机的基本结构	156
6.6.4	液压机的传动系统及其调节	158
6.6.5	液压机的使用、维护及安全防护措施	161
	参考文献	162
7.	BMC 模塑料的压铸成型	164
7.1	概述	164
7.1.1	用于压铸成型的 BMC 模塑料	164
7.1.2	BMC 的压铸成型特点	164
7.1.3	压铸成型在 BMC 模塑料成型中的应用	165
7.2	BMC 压铸成型工艺过程	165
7.3	BMC 的压铸成型条件及工艺参数	166
7.4	压铸成型的类型	167
7.4.1	料槽式压铸成型	167
7.4.2	柱塞式压铸成型	168
7.4.3	螺杆式压铸成型	169
7.5	BMC 压铸成型模具的设计要点	169
7.5.1	压铸成型模的类型	170
7.5.2	压铸模的结构设计	171
7.6	压铸成型设备	183
7.6.1	液压压铸机	184
7.6.2	螺杆预塑式压铸机	184
7.7	模具与压铸机的安装与调整	185
7.8	压铸成型制品产生缺陷的分析及其解决措施	186
	参考文献	187
8.	BMC 模塑料的注射成型	188
8.1	注射用 BMC 物料的工艺特性及要求	188
8.1.1	BMC 的注射成型特性	188
8.1.2	对 BMC 物料的要求	188
8.2	BMC 注射成型工艺	189
8.2.1	BMC 模塑料的注射成型条件	189
8.2.2	BMC 模塑料的注射成型工艺过程	191

8.2.3	BMC 注射成型制品缺陷的产生原因及解决措施	192
8.3	BMC 注射成型模具的设计要点	193
8.3.1	BMC 注射成型模具的结构特点及要求	193
8.3.2	BMC 注射成型模具模腔数的计算和最优化选择	194
8.3.3	分型面设计	194
8.3.4	型腔位置的选择	194
8.3.5	浇注系统的设计	194
8.3.6	成型零件设计的主要注意事项	200
8.3.7	制品的顶出机构	200
8.3.8	模具的排气	201
8.3.9	嵌件及其安装	202
8.3.10	模具加热及温度的测量	203
8.3.11	BMC 注射成型模具设计实例	203
8.3.12	关于注射-压缩成型的原理	203
8.4	BMC 注射成型机	204
8.4.1	BMC 注射成型机的特点与要求	205
8.4.2	BMC 注射成型机的种类	205
8.4.3	BMC 注射成型机主要装置及其设计要点	210
	参考文献	218
附录 1	国内部分公司和厂家所生产的适用于配制 BMC 模塑料的不饱和聚酯树脂及 牌号	219
附录 2	国内外部分公司和厂家生产的 BMC 模塑料型号及主要性能	219
附录 3	部分国产液压机型号及技术性能参数	223
附录 4	国外部分公司和厂家生产的 BMC 注射成型机型号及主要技术参数	224

1 概 述

BMC (bulk moulding compound) 或 DMC (dough moulding compound) 称为团状模塑预混料, 是一种以热固性树脂作为基体的纤维增强复合材料。有多种热固性树脂可以作为 BMC 模塑料的基体, 但由低收缩不饱和聚酯树脂与短切玻璃纤维、填料、脱模剂、引发剂及其他成分所组成的模塑预混料则是最具有代表性, 且是应用得最广泛的品种。由于所配制的这种预混模塑料其外观形态为纤维块状或纤维油灰团状, 故将其称为“团状”或“块状”模塑料。

在欧洲 BMC 或 DMC 原是有区分的。DMC 为普通常用的预混模塑料, 称为团状模塑料; BMC 则是指以间苯二甲酸树脂为基体的改进型预混模塑料, 称为块状模塑料。在美国等地两者则并无区别。目前欧洲也倾向于将其统称为 BMC 团状模塑料。为便于叙述, 本文统一将其称为 BMC 团状模塑料, 并以最常用的以不饱和聚酯树脂为基体的 BMC 模塑料为主, 对有关的问题展开讨论。

1.1 BMC 模塑料的性能特点

BMC 是一种热固性增强工程塑料, 因而其既具有热固性塑料的基本特性, 又具有增强工程塑料的优点。BMC 的拉伸强度、冲击强度、耐热性都较高, 而且其成型制品具有良好的尺寸稳定性、刚性、难燃性、耐磨性、耐药品性。BMC 又是用玻璃纤维增强的材料, 它与热塑性塑料的一个明显的区别是在于其成型收缩率小, 并且通过改变低收缩添加剂的品种和含量, 就可对其成型收缩率进行调控。BMC 的另一特点是具有优良的流动性能, 因而可进行低压成型加工。BMC 模塑料可以通过压制、压铸 (传递成型) 和注射成型而制得许许多多性能优良、用途广泛的工程塑料制品。

BMC 有很高的密度, 约为 $1.3 \sim 2.1 \text{ g/cm}^3$ (这还取决于物料的品级及组分); 制品的手感性很好, 有硬而厚重的感觉; BMC 难于切断, 放在水中会迅速沉没; 当用火加热时会产生很多炭黑 (油烟), 并有苯乙烯的气味; 虽然 BMC 具有难燃性, 但对于某些品级的 BMC, 无论如何降低其可燃性都很易燃烧, 燃烧后可能会留下无机物。

下面介绍的主要是以不饱和聚酯树脂为基体的 BMC 模塑料的主要性能特点。

(1) 线膨胀和尺寸稳定性 BMC 的线膨胀系数为 $(1.3 \sim 3.5) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, 比一般的热塑性塑料小, 这使得 BMC 成型制品具有上乘的尺寸精度及尺寸稳定性。温度对 BMC 制品的尺寸稳定性影响很小, 但湿度对制品的尺寸稳定性影响则比较严重。BMC 制品在吸湿后会发生膨胀, 这会使制品的尺寸发生变化。由于 BMC 模塑料的线膨胀系数与钢 ($1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)、铝 ($2.3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$) 的接近, 因此用其作为钢和铝的代用场合比较容

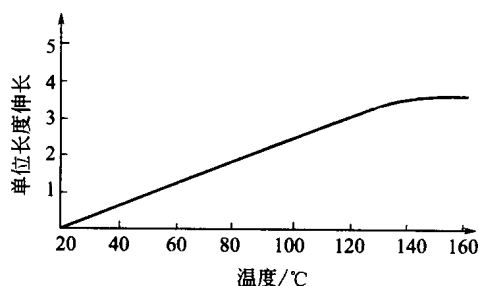


图 1-1 BMC 模塑料制品线膨胀曲线

易。图 1-1 所示为 BMC 模塑料成型制品的线膨胀曲线。

(2) 机械强度 BMC 的弯曲强度、冲击强度等力学性能都大于一般的热塑性工程塑料，见表 1-1。然而其力学性能则是随所用增强纤维和树脂基体种类和比例的不同而不同，而且亦受增强纤维材料的长度（长度一般为 3~25mm，直径为 9~13 μ m）、含量（一般为 10%~30%，而常用 12%~20%）的影响。在表 1-2 中列出了不同品级和类型的 BMC 成型制品力学性能的比较，表 1-3 则列出了不同玻璃纤维含量的所谓“低轮廓”电绝缘级 BMC 的力学性能。

表 1-1 BMC 与常用玻璃纤维增强塑料的性能比较

材料名称	ASTM 检验方法	BMC		POM	PA66	PC	PP	PBT	ABS	PPO
		模压	注射							
玻璃纤维含量/%		22	22	25	30	10	20	30	20	20
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	D792	1.82	1.82	1.61	1.48	1.26	1.04	1.52	1.22	1.21
拉伸强度/MPa	D638	41.4	33.8	127.6	179.3	82.7	44.8	131.0	75.8	100.0
弯曲强度/MPa	D790	88.3	87.6	7.58	241.3	110.3	57.2	193.1	107	127.6
弯曲模量/GPa	D790	10.89	9.93	7.58	18.96	4.14	3.59	9.65	6.0	5.17
压缩强度/MPa	D695	137.9	—	117.2	182.7	96.5	172.4	124.1	96.5	121.4
冲击强度/ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	D256	227.9	153.7	95.4	106	196.1	159	95.4	74.2	90.1
洛氏硬度	D785	H80~H112		M78~ M94		M75~ M100	—	R95~ R115	—	—
热变形温度 (1.82MPa)/ $^{\circ}\text{C}$	D648	260		162	249	149	146	221	104	154

表 1-2 不同品级的 BMC 制品的力学性能

品 种	相对密度	成型收缩 /%	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	弯曲模量 /GPa	吸水率 /%
高强度 BMC	1.7	0.15	45	95	7	20
自熄 BMC	1.8	—	45	100	9	25
低收缩 BMC	1.8	0.05	50	95	8.5	20
双酚 A、耐化学 BMC	1.7	0.02	50	110	7	10
电绝缘 BMC	1.8	0.15	45	90	8.5	15
快固化 BMC	1.85	0.1	35	85	7	25

表 1-3 不同玻璃纤维含量电绝缘级 BMC 模塑料的力学性能

性 能	低轮廓 BMC			性 能	低轮廓 BMC		
	玻璃纤维含量/%				玻璃纤维含量/%		
	15	22	30		15	22	30
相对密度	1.80	1.82	1.85	热变形温度(1.86MPa)/℃	202	202	202
吸水率(煮沸 4h)/%	0.65	0.65	0.65	着火时间/s	100	90	80
拉伸强度/MPa	35	42	49	着火温度/℃	530	520	510
弯曲强度/MPa	91.4	105	119	燃烧时间/s	50	60	70
冲击强度(无缺口)/kJ·m ⁻²	2.65	3.24	3.73	氧指数/%	32	30	28
压缩强度/MPa	127	141	155	介电强度/kV·mm ⁻¹	15.75	14.76	13.78
收缩率/%	0.1	0.1	0.1	耐电弧性/s	185	180	180

(3) 蠕变及疲劳性能 在长期负荷作用下 BMC 模塑料的成型制品也存在蠕变现象，随着应力上升，变形增大，但其蠕变比一般热塑性塑料要小得多。蠕变对环境温度亦有一定的敏感性，特别是在玻璃纤维含量高时受温度的影响更敏感，随着温度上升，蠕变加大。图

1-2 为 BMC 弯曲强度与温度的关系, 从图中可以看出, 当温度上升到 180°C 时, 其弯曲强度下降到 65%。

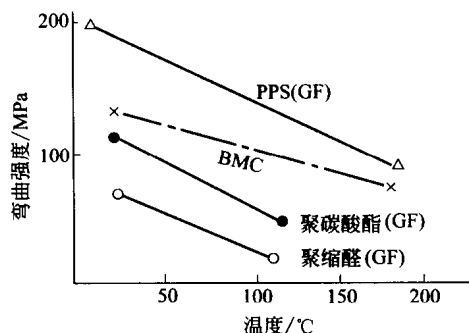


图 1-2 弯曲强度与温度的关系

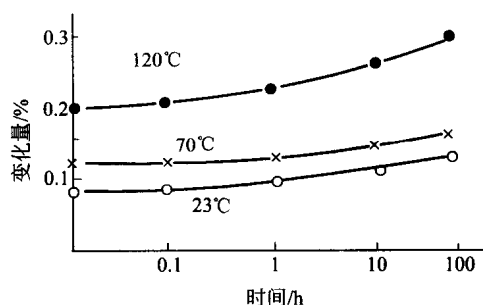


图 1-3 BMC 的耐蠕变性能

如将抗拉强度 0.32MPa 的哑铃式试件在 120°C 条件下进行耐蠕变性试验, 100h 后的变形为 0.1%; 在 70°C 条件下, 100h 后的变形为 0.035%; 在 23°C 的条件下, 100h 后的变形为 0.03%。BMC 的耐蠕变性能如图 1-3 所示。

(4) 耐水、耐溶剂侵蚀性 BMC 对水、乙醇、链（脂族）烃、油脂和油有良好的阻抗作用。BMC 吸水率低, 浸水 24h 后, 绝缘性能仍很好, 可以保证在湿热条件下使用的安全性。但其对酮和氯碳氢化合物的阻抗性不好; 对芳香烃和酸、碱的阻抗性也不是很好, 在温度升高的情况下, 这种阻抗会更差。

BMC 模塑料制品在实际应用中经常会与水、醇、矿物油、汽油等接触, 特别是在汽车中作为零部件使用时, 接触上述具有腐蚀性液体的机会就会更多, 使用温度也会上升。因此, 必须考虑其吸水率及对上述溶剂的阻抗问题。BMC 模塑料制品的耐水性、耐溶剂侵蚀性主要取决于其所采用的树脂性能。如果采用双酚 A 型聚酯树脂, 则 BMC 制品能获得最好的抗侵蚀性能。不同双酚 A 含量的 BMC 模塑料成型制品在用水煮之后, 对其强度保留的影响如图 1-4 所示。从图中可以看出, 双酚 A 含量较高的 BMC 模塑料其制品强度保留得比较好。

在实际使用中, 将制品的两面都接触于水中是较少的, 大多数制品是单面接触水。一般采用间苯二甲酸型聚酯已可满足需要, 不必选用价格高的双酚 A 型聚酯。BMC 模塑料的耐化学性能或耐腐蚀性能主要取决于所选用的树脂基体。选择适当的树脂和填料, 能配制出具有特殊阻抗要求的 BMC 模塑料。

(5) 耐热性和耐燃性 耐热性是指在低于可燃温度下制品长期抵抗热分解的能力, 可称为“短期热强度”或简称“热强度”, 这和树脂的热变形温度有关。虽然某些填料可以提高制品的耐热性, 但是耐热性和热强度主要取决于树脂的性能。BMC 的耐热性比一般工程塑料好 (见表 1-1)。其力学性能在一定的气候和环境下

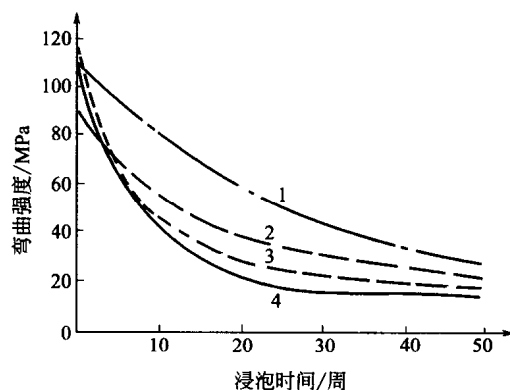


图 1-4 BMC 中双酚 A 含量变化对模塑料制品水煮后强度保留的影响

1—双酚 A 型; 2—1/2 双酚 A 型+1/2 邻苯二甲酸型;
3—1/4 双酚 A 型+3/4 邻苯二甲酸型;
4—邻苯二甲酸型

也能够保持,但制品表面上的纤维会有一定的损坏。BMC 制品能长期暴露在较高的温度(160℃)下,其长期耐热温度为 130℃。

BMC 的热变形温度与不饱和聚酯树脂的反应性、低收缩添加剂的种类有关,其热变形温度范围为 200~280℃。

耐燃性是明显燃烧的度量,根据物质易于燃烧、不燃、自熄和阻燃等来评价。聚酯树脂通过加入含卤素和含磷的化合物,以及在组分中使用水合氧化铝作为主要的填料而获得耐燃性。BMC 有很好的耐燃性(见表 1-2~表 1-7)。

BMC 的老化性能较好,在室内的使用寿命为 15~20 年以上,很多制成的不饱和聚酯 BMC 模塑料制品,在户外曝晒 10 年后其强度值仍能保留大于原来的 60%。

(6) 电性能 BMC 具有良好的电器绝缘性、导电性、抗静电性、耐电弧性、抗漏电性、电磁屏蔽性等。

BMC 制品有优良的电性能,特别是耐电弧性很好。有专门适于电气方面应用的 BMC 配方。在组分中填料对电性能具有重要的影响作用,树脂也有一定的影响。苯乙烯改性树脂的电性能好;而间苯二甲酸型的电性能又比通用型树脂的好。

以不饱和聚酯树脂为基体的 BMC 模塑料的耐电弧性为 190s 左右,玻璃纤维含量高时则降为 130s 左右。玻璃纤维增强的环氧树脂与蜜胺甲醛树脂为基体的 BMC 模塑料的耐电弧性为 130~135s。不饱和聚酯树脂为基体的 BMC 模塑料的绝缘电阻比其他热固性材料的好,但比环氧玻璃钢的差。电绝缘级的聚酯模塑料制品性能见表 1-3。

当有些 BMC 制品需要具有导电性能或对电磁辐射具有屏蔽性能时,则可以在 BMC 的配方中加入具有导电(如炭黑)或具有屏蔽功能的材料(如金属纤维),以达到具有上述功能的目的。

(7) 低臭气性 一般 BMC 模塑料中所采用的苯乙烯单体,在固化后尚残存 0.1% 左右。除此之外还会有其他残存的有机过氧化物的未反应物和分解后的生成物。在用作食用器具,特别是如用作微波炉和烘面包炉上的加热食用器具时,会发出臭气。因此,在用其生产食用器具时,应选用无残余苯乙烯单体,且过氧化物臭气极少的低臭气的 BMC 材料。

1.2 BMC 模塑料的成型工艺性

BMC 的热膨胀系数和成型收缩率都很低,具有很好的成型工艺性,很高的成型制品尺寸精度及稳定性。BMC 在常温下是不黏手的纤维块状或纤维油灰状团料,但在成型时却具有比传统的酚醛、三聚氰胺等热固性塑料更好的加工流动性。现成的许多热固性塑料的成型加工方法如压制、压铸(传递)和注射成型都可用于 BMC 模塑料的成型加工。在压制或注射成型时,树脂、纤维、填料等能同时流动,并迅速均匀地充满模腔,在几分钟内,就可一次成型而制得具有较高刚度和强度,带有深筋、预埋嵌件或凸出结构的质量良好的复杂零件。

(1) 流动性 BMC 十分易于流动,其低压流动性能良好。在注射时可用较低的注射压力而获得较高的注射速度,注射时间为 3~15s,有时可以小于 1s,并制得表面光亮、尺寸精度高的制品。压制成型时所需的压力为 10MPa 左右,注射成型时所需的压力为 90~150MPa。但在进行塑封注射成型时,则只能用 10MPa 以下的注射压力,因此,在成型封装电容器、变压器、电机线圈和传感器时,为防止断线和变形,应选用可实施低压成型的

BMC 模塑材料。

(2) 固化性 一般来说 BMC 具有快速固化的特性。以不饱和聚酯树脂为基体的 BMC 模塑料,其成型温度约为 $(145 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 左右,固化时间为 $30 \sim 60\text{s/mm}$,但其固化特性则是受引发剂(主要是有机过氧化物)类型影响的。成型时要仔细考虑所用级别树脂的固化特性,一般低温固化级的 BMC 其固化速度快,但贮存性能差,在注射机筒内的稳定性也差。

(3) 成型收缩及尺寸精度 在塑料制品的成型中,收缩率小于 0.05% 的可视为无收缩,在 0.3% 以下的视为低收缩。BMC 的收缩率很小,一般为 $0 \sim 0.5\%$ 。如 GP 级的 BMC 其成型收缩率仅为 0.2% ,而所谓“低轮廓级”的 BMC 模塑料,其成型收缩率甚至可以小到为零。一般使用的 BMC,其收缩率多在 0.3% 以上。收缩率越小越有利于提高制品的尺寸精度,防止制品的变形。

由于 BMC 的成型收缩率小,故制品的尺寸精度高。特别是由于其制品在物料流动方向上的收缩率小,故其尺寸精度比一般的玻璃纤维增强塑料的高(一般的 FRTP 制品在与流动方向上垂直的尺寸精度高,而在流动方向上,因受纤维的取向性影响,其收缩率较大)(见表 1-4 所列)。BMC 制品的尺寸精度除受到纤维取向的影响外,也会受成型条件的影响。如当成型温度相差 30°C 时,其收缩率变化为 $\pm 0.01\%$,影响不很明显,但当压力变化时,制品的收缩率会有一定的明显变化。

表 1-4 BMC 与部分玻璃纤维增强塑料主要性能的比较

性 质	BMC (无收缩)	SMC (低收缩)	FRP (高强度)	性 质	BMC (无收缩)	SMC (低收缩)	FRP (高强度)
材料形态	团状	片(带)状	—	拉伸强度/MPa	34.32~39.22	78.45	212.8
玻璃纤维含量/%	15	20	67	弯曲模量/GPa	8.83	10.8	21.3
玻璃纤维长度/cm	0.635	2.54	网状	洛氏硬度(M)	97~102	100	—
成型温度/ $^{\circ}\text{C}$	125~150	130~150	80	常态电阻/ $\text{M}\Omega$	$10^7 \sim 10^8$	10^8	10^5
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.8~1.95	1.64	1.75	煮沸后电阻/ $\text{M}\Omega$	10^5	10^5	10^5
成型收缩率/%	0.05	0.3	—	耐电压型/ $\text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$	13~15	12	12
吸水率/%	0.10~0.20	0.07	—	介电常数(1MHz)	5.0~5.5	4.2	4.2
煮沸吸水率/%	0.40~0.50	0.7	—	耐电弧性/s	180~182	130	—
耐热性/ $^{\circ}\text{C}$	200	200	200	耐漏电性/CTI	600	600	—
热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$	200	200	200	高电流电弧点火性/次	200	—	—
弯曲强度/MPa	98~127	176.5	331.5	热线电火性/s	300	—	—
冲击强度/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	2.65~3.31	9.94	3.64	耐燃性 94V-0	—	—	—
压缩强度/MPa	78.5~98	137.3	214.7				

(4) 着色性 BMC 有较好的着色性,在这一方面则与酚醛电木等的不同。BMC 还可根据需要而制成各种各样颜色鲜艳的制品,但着色的效果与所添加的填料和低收缩剂等有关。着色效果也与着色剂本身的类型、特性,物料的配制质量,成型工艺条件等有关。要获得良好的着色效果,应选择着色性强的 BMC。

BMC 也存在一些缺点,如其伸缩性较小,有一定的脆性;密度也较大;成型时间较长,成型制品的毛刺较大等。由于 BMC 是呈团块状的预混物料,在成型投料时也会有一定困难。

1.3 BMC 模塑料的用途

由于 BMC 模塑料具有优良的综合性能和成型工艺性能,同时还可根据需要,通过调节

各组分的类型和用量，就可获得具有各种特殊性能要求的产品，因此其成为酚醛、三聚氰胺等塑料的更新换代材料。BMC 模塑料可成型整体形状复杂的制品，成型速度快，适合大批量生产；能成型带有嵌件，具有孔洞、螺纹、筋和凸台等结构的复杂制品；制品的耐热性、耐燃性、耐腐蚀性、耐冲击性、电绝缘性、耐电弧性、耐漏电性能优良；制品的外观、尺寸精度和稳定性好；价格低廉。BMC 模制品的应用很广泛，目前已在电器、仪表、化工、运输、军工等领域中获得广泛的应用。由于 BMC 具有优良的综合性能，这使其成为可以在国民经济的许多领域中推广和应用的新型材料。

(1) 电器和电子元器件 电流断路器、开关、接触器、继电器、连接器、灭弧室、绝缘端子、电机整流子、电工绝缘材料、交直流湿式阀门用电磁铁外壳的整体塑料封装；电机压制件整流子座，接线柱、刷架、刷杆；船用塑壳自动开关，离心开关；煤矿电钻开关壳体、开关轴、线圈骨架、矿用隔炸型电缆连接器；低压限流电器支架、壳体及各种绝缘零件；电插头底座、振动电机端盖、电机基座；各种阻燃支撑绝缘件。

图 1-5 所示是用 BMC 模塑料所成型的风扇（左）和手电钻（右）外壳。

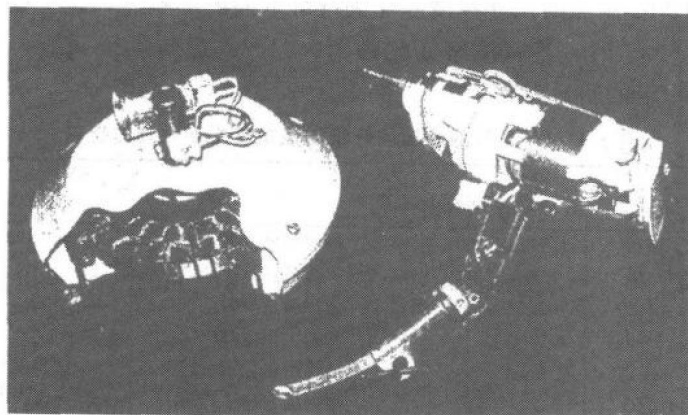


图 1-5 用 BMC 模塑料制造的风扇（左）和手电钻（右）外壳

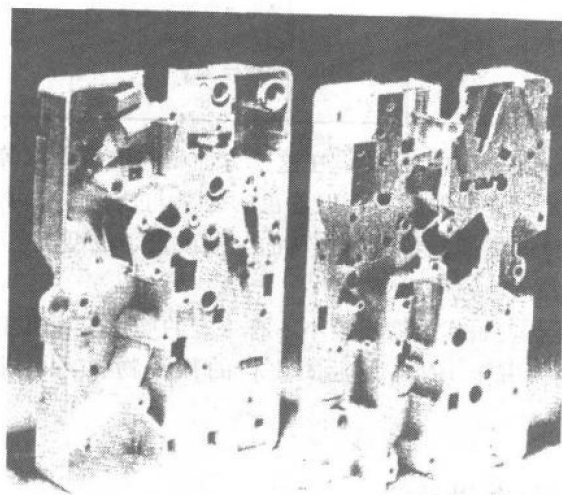


图 1-6 用 BMC 模塑料成型的 Burroughs 检读器框架 (check reader frame in BMC)

(2) 零件部件 车前挡板、车灯架、车内外制件及功能件等；仪表架、仪表操作板；加热槽、罩体等；电子计算机零件；送风机制件等。图 1-6 为用 BMC 模塑料成型的 Burroughs 检读器框架 (check reader frame) 制品。

(3) 其他 缝纫机外壳，搅拌器 (如打蛋器)，电熨斗，家用电器中的烘炉、微波烤炉等。

表 1-5 列出了普通型和电器上用的 BMC 模塑料的主要性能参数，而国内外部分公司和厂家所生产的 BMC 模塑料的型号和主要性能见附录 2。

表 1-5 几种典型 BMC 模塑料的主要性能参数

指 标	普通型	电绝缘型	防爆型	电器封装型
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.3~2.1	1.3~2.0	1.7~1.8	2.0
收缩率/%	0.1~0.15	0.1~0.12	0.2	0.1
后收缩率/%	0	0	0	0
吸水率/%	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$	>200	>200	>200	>200
马丁耐热/ $^{\circ}\text{C}$	>150	230	230	150~230
冲击强度/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	>20	>20	>20	7.7
弯曲强度/MPa	>80	>80	>80	70
工频击穿强度/ $\text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$	>12	>12	—	>12
体积电阻/ Ω	5.9×10^{18}	$>10^{14}$	—	10^{13}
表面电阻/ Ω	10^{18}	10^{14}	$<10^9$	—
耐电弧/s	—	>180	—	—
耐漏电/V	—	KC600	KC450	—
阻燃/级	—	V-0	—	—
阻燃/s	—	—	<15	—

1.4 BMC 模塑料的历史沿革

以不饱和聚酯树脂为基体的片状 (SMC) 与团状 (BMC) 模塑料是其具体应用的很重要的一类品种。它是随着聚酯的热压成型工艺而发展起来的。1960 年德国拜耳公司 (Farbenfabriken Bayer Co.) 首先采用了聚酯模塑料进行模压生产。以后逐渐推广到欧洲、日本、美国。模塑料的热压成型也逐渐成为机械化、大规模生产定型产品的方法。

1949 年当市场上出现了玻璃纤维无捻粗纱时，BMC 的实际应用才成为可能。在此以前，用预浸渍的玻璃纤维织物的小碎片作为模压用料，尽管缺点很多 (如成本高、有剩余溶剂、无内脱模剂、无填料等)，但用它已成功地压制成了一些用其他已知材料所不能实现的有用制品。

首批 BMC 的新品种的出现，最早可能是在 1950 年左右，其是用树脂、填料等混合物浸渍无捻粗纱，并在浸润阶段将其切成定长而制得的。由于玻璃纤维含量较高，因此用含有大量填料的树脂来浸渍玻璃纤维是困难而又缓慢的。

20 世纪 50 年代初期，人们就曾想到过，是否可将预先切短的玻璃纤维加到树脂-填料混合物中去，这对配制模塑料会比较容易。可是，由于 BMC 模塑料的配制者和模塑成型者均未在自己的工作中取得经验而延缓了这些技术的进一步发展。

在 20 世纪 50 年代中期，BMC 模压技术虽然发展很快，但由于模塑成型者不愿被这些具有黏性而又有气味的原材料玷污他们的工房，因此，人们对用这种热固性树脂配制的模塑

料在一开始时兴趣就并不是很大,结果不但阻碍了 BMC 模塑料配方技术的进一步发展,而且也不能从他们那里得到有关模具的设计制造、加热及成型装备方面的技术和经验。

随着剑麻纤维预混料的发展和汽车加热器罩子模压成型成功, BMC 模塑料开始大量发展。虽然这种预混合料的物理性能并不怎么好,但是剑麻纤维在强烈的混合过程中不会受到损伤,并能增进整个模塑制品的均匀度,这是当时采用玻璃纤维所达不到的。

剑麻纤维和玻璃纤维增强的 BMC 由于不具有耐水性和耐污染性,因此,在 20 世纪 60 年代初,又因引进尼龙碎布而解决了这个问题。

由于 BMC 模制品的表面会存在不规则的波纹,这严重地影响了它的应用。约于 1960 年,德国和英国在 BMC 模塑料的组分中,应用了化学增稠剂和热塑性添加剂,从而显著地降低了材料的固化收缩,终于改善了制品的表面质量并可防止其他畸变。但这些改进需要牺牲制品的某些性能,所以直到目前,人们仍在继续致力于配制不畸变而又不会影响到制品及其他性能的 BMC 模塑料的研究。

应用水合氧化铝作为添加剂,是 BMC 模塑料发展史中的另一很有意义的技术进步。水合氧化铝的加入,使其获得了自熄或不漏电的性能。快速固化树脂的发展以及注射-压铸(传递)和自动化的模塑成型装备的开发和应用,使得 BMC 制品在价格上具有能与成本低廉的其他热固性树脂、热塑性树脂等制品直接竞争的前景。

1.5 BMC 模塑料在国内外的发展趋势

BMC 模塑料虽然是 20 世纪 50 年代首先在欧洲定型的一种模压、注射成型材料,但由于其成型制品质量高、性能优良、用途广泛、成型周期短、生产效率高且相对来说生产成本较低,可一次成型形状复杂的制品,并易于实现成型的机械化和自动化,同时其还具有以往许多热固性塑料和热塑性塑料没有的优异性能,因此,尽管 BMC 的开发时间不长,但发展速度却很快。在日本及欧美各国, BMC 的产量已占玻璃钢总产量的 10% 左右。为了提高效益,目前,美、日、西欧等主要生产和消费国家都在致力于改进 BMC 的生产工艺、成型工艺和开发新品级的 BMC。在国际上, BMC 的成型自动化水平已与热塑性塑料的相差不大。

1989 年,美国的 BMC 产品产值近 4 亿美元, BMC 已与热塑性工程塑料在小型产品的领域中进行竞争。在欧洲,如德国 1993 年的 BMC 产量为 16.9kt,且在电器市场中应用较广,汽车市场中 BMC 的消耗量为 4.1kt。估计 20 世纪 90 年代前期,全世界 BMC 模塑料的年产量的增长率为 5% 左右。1990~1995 年期间,西欧 BMC 模塑料的平均增长率为 7.4%,高于 SMC 的增长率(4.7%)。在 1995 年第 50 届美国 SPI 年会上获奖的 41 种产品中, BMC 产品占第三位,仅次于拉挤和 SMC 的产品。

以不饱和聚酯树脂为基体的 BMC 模塑料由于具有优良的电性能和力学性能以及良好的成型工艺性能,故其将会成为比传统的酚醛、三聚氰胺等热固性塑料更具竞争力的工程材料。以塑壳断路器为例,20 世纪 70 年代前普遍使用的是酚醛模塑料(电木粉居多)绝缘壳架,其只能适应在 380V 电压等级下工作,不但极限短路分断能力低,而且体积也大。20 世纪 70 年代后,随着世界经济的不断发展,低压配电网的容量迅速增加,电网电压等级升高到 660V,短路电流极大。传统的以酚醛电木为壳体的塑壳断路器已到了不能胜任其使用的地步。为此,西欧国家率先采用 BMC 作为断路器外壳,随之美国、日本纷纷在新设计的各类塑壳断路器中普遍使用 BMC。BMC 与酚醛电木性能的对比见表 1-6。