

橡胶加工 实用技术

贾 毅 主编
张立侠 副主编



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

橡胶加工实用技术

贾 毅 主编
张立侠 副主编

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

橡胶加工实用技术/贾毅主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 2

ISBN 7-5025-5077-1

I. 橡… II. 贾… III. 橡胶加工 IV. TQ330.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 125375 号

橡胶加工实用技术

贾毅 主编

张立侠 副主编

责任编辑: 龚浏澄 李晓文

文字编辑: 赵媛媛

责任校对: 蒋宇

封面设计: 潘峰

*

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

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 16½ 字数 446 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5077-1/TQ·1886

定 价: 36.00 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

橡胶是高分子材料的重要品种之一。橡胶工业在国民经济中占有极其重要的地位。由于橡胶具有独特的高弹性能、优异的疲劳强度、极好的电绝缘性和耐磨性等，被广泛用于制造轮胎、力车胎、胶管、胶带、胶鞋、工业橡胶制品以及化工防腐材料和电缆绝缘材料等。因此在交通运输、工业、农业、国防、日常生活等方面，橡胶都有着极其广泛的用途。

随着现代科学技术的飞速发展，一些高新技术领域对合成橡胶提出了日益增多的要求，如力学性能、透气性、耐高温、耐低温、耐热油、耐热氧化、高耐磨及耐辐射等等。这些性能是天然橡胶与通用合成橡胶所不具备的，而只有特种橡胶才能显示这些特性。因此丁腈橡胶、硅橡胶、氟橡胶及聚硫橡胶等特种橡胶在国防、航天、航空等部门有着非常重要的地位。

橡胶科学与技术发展迅速，新理论、新工艺、新设备和新的加工方法不断出现。为了满足橡胶工业在职科技人员生产与研究以及高分子材料与工程专业人员教学与研究的需要，组织了本书的编写。编写时力求做到观点正确，内容系统，理论联系实际，反映先进科学技术水平。可供有关橡胶加工企业技术人员和高等院校有关专业师生参考。

本书内容包括原材料与配方设计、基本加工工艺和典型成品加工过程等部分。尽量做到原材料与配方设计突出，理论内容力求深化，加工技术力求典型实用。

本书共 13 章，编写人员分工如下：王东生编写第 1 章；沈惠玲编写第 2 章；侯永振编写第 3 章；张立侠编写第 8 章；贾毅编写第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 11 章、第 12 章、第 13 章；赵梓年编写第 9 章、第 10 章。

在本书编写过程中，天津科技大学和天津橡胶工业研究所有关专家、教授给予了热情的帮助，并对有关内容提供了宝贵意见，谨此表示衷心的感谢。

由于编者实践经验及理论水平所限，书中难免存有不足和错误之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2003 年 10 月

目 录

第 1 章 橡胶成型加工的理论基础	1
1.1 概述	1
1.2 橡胶分子结构的主要特点	2
1.2.1 橡胶的元素组成和分子链的化学结构	2
1.2.2 橡胶的立体化学结构	4
1.3 橡胶的三种聚集状态	6
1.3.1 橡胶的力学状态	6
1.3.2 橡胶的玻璃状态	9
1.3.3 橡胶的高弹状态	13
1.4 橡胶的流变行为	23
1.4.1 高聚物流动的特点与类型	23
1.4.2 影响橡胶流动性——黏度的因素	26
1.4.3 流动过程的黏弹性——弹性记忆效应	30
1.4.4 断裂特性	33
1.5 橡胶的结晶	36
1.5.1 橡胶的结晶类型和特点	36
1.5.2 橡胶的结晶结构	38
1.5.3 分子结构对高聚物结晶能力的影响	41
1.6 橡胶的取向	43
1.6.1 高聚物分子链的取向	43
1.6.2 取向对力学性能的影响	45
第 2 章 橡胶原材料	47
2.1 橡胶材料	47
2.1.1 天然橡胶	47
2.1.2 通用合成橡胶	49
2.1.3 特种合成橡胶	66
2.1.4 再生胶	77

2.2 橡胶加工助剂	80
2.2.1 交联体系助剂	80
2.2.2 防护体系助剂	121
2.2.3 增强剂与填充剂	158
2.2.4 增塑剂	164
2.2.5 其他助剂	173
2.3 骨架材料	175
2.3.1 纤维材料	176
2.3.2 帘布	185
2.3.3 工业用短纤维	192
第3章 橡胶配方设计	194
3.1 概述	194
3.1.1 橡胶配方设计的概念	194
3.1.2 橡胶配方设计的功能	194
3.1.3 橡胶配方设计的指导思想	195
3.1.4 橡胶配方设计的原则	196
3.1.5 橡胶配方设计的程序	196
3.1.6 橡胶配方的表示方法	200
3.1.7 橡胶配方设计的特点	201
3.1.8 橡胶配方的鉴定与测试	202
3.2 橡胶原材料的配合	203
3.2.1 橡胶的配合特性	203
3.2.2 硫化体系	209
3.2.3 防护体系	218
3.2.4 补强填充体系	224
3.2.5 工艺操作体系	230
3.3 使用性能与配方设计	232
3.3.1 定伸应力与硬度	232
3.3.2 拉伸强度	234
3.3.3 撕裂强度	236
3.3.4 扯断伸长率	237
3.3.5 回弹性	238
3.3.6 耐磨性	239

3.3.7	耐疲劳破坏	243
3.4	加工性能与配方设计	248
3.4.1	黏度(可塑性)	248
3.4.2	包辊性	250
3.4.3	混炼特性	251
3.4.4	焦烧性	253
3.4.5	自黏性	254
3.4.6	喷霜	255
3.4.7	压出	257
3.4.8	硫化	259
第4章	塑炼	261
4.1	概述	261
4.2	塑炼原理	262
4.2.1	生胶塑炼的影响因素	263
4.2.2	塑炼机理	267
4.3	生胶塑炼前的准备工艺	270
4.3.1	烘胶	271
4.3.2	切胶	272
4.3.3	破胶	272
4.4	开炼机塑炼	273
4.4.1	开炼机	274
4.4.2	开炼机塑炼工艺	278
4.5	密炼机塑炼	281
4.5.1	密炼机	281
4.5.2	密炼机的工作过程	285
4.5.3	密炼机塑炼工艺	288
4.5.4	塑炼后胶料的补充加工	290
4.6	压出塑炼机塑炼	290
4.6.1	压出塑炼机	290
4.6.2	压出塑炼工艺	292
4.7	可塑度的测量方法	293
4.7.1	威廉氏测量法	293
4.7.2	德佛测量法	294

4.7.3 门尼黏度法	294
4.8 部分常用生胶的塑炼特性	295
第5章 混炼	298
5.1 概述	298
5.2 配合剂的加工处理和称量	298
5.2.1 粉碎	299
5.2.2 干燥	299
5.2.3 筛选、熔化和过滤	300
5.2.4 配合剂的称量	301
5.2.5 膏剂及母胶料的制造	302
5.3 混炼基本理论	303
5.3.1 混炼胶的结构变化	303
5.3.2 湿润分散过程	304
5.3.3 配合剂的湿润分散性能	306
5.3.4 结合橡胶的形成与作用	307
5.4 开炼机混炼	308
5.4.1 混炼的加料顺序	308
5.4.2 混炼过程	309
5.4.3 混炼工艺因素	311
5.5 密炼机混炼	313
5.5.1 密炼机混炼方法	314
5.5.2 密炼机混炼工艺因素	316
5.6 连续混炼	320
5.6.1 转子式连续混炼机混炼	320
5.6.2 传递式连续混炼机混炼	323
5.6.3 挡板式连续混炼机混炼	324
5.7 几种常用橡胶的混炼特点	326
第6章 压延	329
6.1 概述	329
6.2 压延成型设备	329
6.2.1 压延机的基本结构	331
6.2.2 联动部分装置	335
6.3 压延理论分析	338

6.3.1	胶料的压延条件	338
6.3.2	胶料在辊隙内的流速分布	339
6.3.3	胶料在辊筒上受力状态与辊筒的挠度变形及补偿措施	341
6.4	压延前的准备工艺	344
6.4.1	胶料的热炼	344
6.4.2	压延机的供料方式	345
6.4.3	纺织物的涂胶	345
6.5	压延成型工艺	347
6.5.1	胶片压延工艺	347
6.5.2	纺织物的贴胶和擦胶	352
6.6	部分常用橡胶的压延特性	357
第7章	压出	360
7.1	概述	360
7.2	压出机基本结构	360
7.2.1	螺杆	362
7.2.2	机筒	365
7.3	胶料在机筒内的运动状态与压出流率	367
7.3.1	胶料在机筒内的运动状态	367
7.3.2	压出机和机头的压出流率	369
7.4	胶料在模头内的流动状态与模头结构	372
7.4.1	胶料在模头内的流动状态	372
7.4.2	模头结构	373
7.5	压出工艺	377
7.5.1	胶料热炼	377
7.5.2	压出工艺因素	378
7.5.3	压出物的冷却、裁断、称量	381
7.6	排气橡胶压出机的压出工艺	383
7.7	橡胶压出成型模拟技术	385
7.7.1	橡胶成型的数值模拟	385
7.7.2	数值模拟的步骤	386
7.7.3	压出过程的模拟处理	388
7.8	部分常用橡胶的压出性能	391
第8章	硫化	393

8.1 概述	393
8.2 硫化过程中对橡胶性能的影响	393
8.3 硫化过程的四个阶段	396
8.3.1 硫化起步阶段(焦烧期)	397
8.3.2 欠硫化阶段	398
8.3.3 正硫化阶段	398
8.3.4 过硫阶段	400
8.4 正硫化及其测定方法	401
8.4.1 物理-化学方法	402
8.4.2 物理机械性能测定法	404
8.4.3 专用仪器法	407
8.5 硫化条件的选取和确定	412
8.5.1 硫化压力	412
8.5.2 硫化温度	414
8.5.3 硫化时间	419
8.5.4 厚制品硫化条件的确定	420
8.6 硫化工艺与设备	424
8.6.1 硫化方法	424
8.6.2 硫化设备	428
8.7 常见硫化制品的质量缺陷及改进方法	436
第9章 橡胶注压成型	439
9.1 概述	439
9.2 橡胶注压硫化成型的基本原理和特点	440
9.3 注压设备	441
9.3.1 设备分类	441
9.3.2 注塑机主要零部件结构	442
9.4 注压硫化工艺	450
9.4.1 注压温度	451
9.4.2 注压压力	454
9.4.3 成型时间	454
9.5 各种橡胶的注压特性	456
第10章 橡胶注压模具	458
10.1 概述	458

10.2 注压模具与注压机的关系	458
10.2.1 配合尺寸	458
10.2.2 安装尺寸	459
10.3 注压模具	461
10.3.1 注压模具的特殊要求	461
10.3.2 浇注系统的设计	462
10.3.3 排气槽的形状和开设位置	464
10.3.4 分型面的选择	465
10.3.5 制品顶出机构	465
10.4 典型注压模具结构	466
第 11 章 橡胶轮胎成型制造	468
11.1 概述	468
11.1.1 轮胎的分类	468
11.1.2 轮胎的组成	468
11.1.3 轮胎规格尺寸的表示方法	469
11.2 轮胎成型过程	470
11.2.1 胶布(帘布、帆布)的裁断	470
11.2.2 轮胎部件的制造	472
11.3 普通结构轮胎加工制造	474
11.3.1 半鼓式成型法	474
11.3.2 半芯轮式成型	475
11.4 子午线轮胎加工制造	478
11.4.1 子午线轮胎结构及特点	478
11.4.2 子午线轮胎制造	479
11.5 胎面的加工制造	483
11.5.1 胎面结构	483
11.5.2 胎面胶的压出成型	483
11.6 内胎胎筒加工制造	488
11.6.1 滤胶	488
11.6.2 内胎胎筒压出成型	491
第 12 章 胶管的加工制造	493
12.1 概述	493
12.2 胶管成型制造前的准备	494

12.2.1	胶料的选择	494
12.2.2	内、外胶层制造	495
12.2.3	编织钢丝和棉线并股	495
12.3	胶管的结构及其成型制造	495
12.3.1	胶管的结构	495
12.3.2	胶管的成型制造	497
第 13 章	运输胶带和传动胶带的加工制造	504
13.1	概述	504
13.2	运输胶带的结构与成型制造	504
13.2.1	运输胶带的结构	504
13.2.2	运输胶带的成型制造	506
13.3	传动胶带的结构与成型制造	508
13.3.1	平型传动胶带的结构与成型制造	508
13.3.2	三角传动胶带的结构与成型制造	509
参考文献		512

第1章 橡胶成型加工的理论基础

1.1 概 述

橡胶是高弹性高分子化合物的总称，由于它特有的高弹性能，所以也被称为弹性体。橡胶材料的主要特点是：能在很宽的温度范围（ $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$ ）内保持优良的弹性，伸长率大且弹性模量小，伸长率可高达1000%，而弹性模量仅为软质塑料的1/30左右，因而橡胶不需很大的外力就能产生相当大的变形，具有很好的柔性。此外，橡胶还具有密度小、机械强度高、透气性小、透水率低、介电性能好、化学稳定性较高、容易加工等许多宝贵的性能。这些优越性能使得橡胶成为重要的工业材料。

以生胶为基本材料，辅以补强填充剂、硫化剂、促进剂、防老剂、软化剂等配合剂，制成各种适用的橡胶产品，必须经过塑炼、混炼、压延、压出、成型、模压和注压等基本工艺过程。

橡胶的加工性能与它的化学物理性质密切相关，影响橡胶加工性能的主要因素有：橡胶的分子结构特征、橡胶大分子的力学状态、橡胶的流变行为、橡胶的结晶和取向特性等。当橡胶的上述性能起变化的时候，会对橡胶的工艺性能带来相应的变化，只有全面了解橡胶的化学物理性质，才能从根本上掌握橡胶的性能及其在加工和使用过程中的变化规律。因此，深入研究橡胶的化学物理性质与加工性能的相关性，就构成橡胶成型加工的理论基础。

橡胶的性质首先决定于它的组成元素和分子结构。

橡胶随温度的变化会呈现三种物理状态：玻璃态、高弹态和黏流态。黏流态橡胶在外力作用下产生不可逆变形，即为流动。橡胶的流动在加工过程中具有十分重要的意义。炼胶、压出和模压等单元操作都是借助于或通过胶料的流动来实现的。舍此，橡胶将无法

加工。因此，橡胶的流动性质是胶料在整个加工过程中最重要的基本工艺特性。

从分子的无序组织角度来看，生胶实质上可以看做是一种黏度很高的液体。生胶经过塑炼就变得柔软而易于流动，能很好地混入各种配合剂，制成半成品，硫化后才基本上失去流动性，从而变成以产生弹性变形为主的材料。

还有，对于橡胶来说，能否结晶对它的加工性能和机械性能有着显著的影响，橡胶分子链的取向性则会引起材料的各向异性。

1.2 橡胶分子结构的主要特点

橡胶与其他化合物一样，其性质常决定于它的组成和结构。一般说来，单体的化学组成和结构主要决定橡胶的化学性质，而橡胶大分子或大分子间的结构则是与橡胶的物理性质密切相关。当橡胶的结构起变化的时候，如发生裂解或交联，则橡胶的性质也随着发生很大的变化，所以研究橡胶的分子结构是最根本的问题。

由此可知，欲了解橡胶的化学、物理性质或机械性质，必须首先了解橡胶的分子结构，只有从结构出发，才能从根本上掌握橡胶的性能及其在加工和使用过程中的变化规律。明了橡胶的结构和性能上的关系，还可以指导我们合成一定结构和特定性能的新型橡胶，即所谓通过“分子设计”来制备所要求得到的高聚物。

此外，分子量和分子量分布等也是决定橡胶性质的基本因素。

1.2.1 橡胶的元素组成和分子链的化学结构

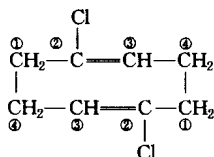
大多数橡胶其主链都是以碳原子互相连接组成的，如天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶、丁基橡胶、丁腈橡胶、乙丙橡胶等都属此类，也叫做碳链橡胶。

较少数的橡胶其主链除包含有碳元素之外，还有其他如氮、氧、硫、磷等杂原子时，称做杂链橡胶。如氯醇橡胶、聚氨酯橡胶、聚硫橡胶等都属此类。

还有极个别的橡胶，主链完全不含碳，完全由杂原子组成，称为元素高聚物，硅橡胶即是这类高聚物的典型代表。

这两种结合方式的共同点是含有侧链，并且侧链上还有双键。这些侧链能阻碍大分子的运动，所以对橡胶的弹性、强度、耐老化性等都有不良影响，侧链上的双键还可引起产生支化和生成凝胶。

(3) 环形 1,4-结构



这种环形 1,4-结构，是氯丁二烯的二聚体，根本不是高分子，所以在合成反应中应避免其生成。

从上述讨论可知，氯丁二烯聚合时要很好的控制反应条件，使其生成线型 1,4-结构，但实际生产过程中，条件控制的再好，也总有少量的单体生成其他形式的结构（见表 1-1）。这些结构形式的存在，大大地降低了作为橡胶使用的性能。

表 1-1 聚合温度对氯丁橡胶化学结构的影响

聚合温度 /℃	1,4-结构 / %			1,2-结构 / %	3,4-结构 / %	其他 / %	总计 / %
	顺 式	反 式	合 计				
-40	5	94	99	0.9	0.3	0	100
10	9	84	93	1.1	1.0	5	100
40	10	86~81	96~91	1.6	1.0	7~1	100
80	11	76	87	2.0	2.1	9	100
100	13	71	84	2.4	2.4	11	100

1.2.2 橡胶的立体化学结构

立体化学结构是在确定了分子中各原子的连接顺序之后，讨论原子在分子中所占据的空间位置问题。橡胶的立体化学结构，可以分有几何异构（即顺式或反式构型）、旋光异构（即全同立构、间同立构和无规立构构型）、旋转异构（构象）和分子形状四方面的问题。这里主要讨论顺反异构和旋光异构。

(1) 顺反异构 上面讲到氯丁橡胶是线型 1,4-结构，它只回