

橡胶模具设计手册

吴生绪 编著

机械工业出版社

本手册融会了作者 30 余年来的理论研究成果和一线实践经验,其主要内容包括:橡胶概述、橡胶基本成型工艺、橡胶模具设计的技术基础、橡胶模具的设计方法、橡胶模具用钢及其热处理,重点对 11 大类典型橡胶制品的模具设计方法作了说明,并对概念不清和错误的模具结构进行了剖析,特别是关于抽真空模具、自动分型模具、侧拉侧顶模具结构设计等内容,在其他著述中都很少提及。

本手册适合于橡胶模具设计人员、从事橡胶硫化工作的技术人员和操作工人使用,也可供科研院所的研究人员和大中专院校的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

橡胶模具设计手册/吴生绪编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 4
ISBN 978 - 7 - 111 - 37409 - 1

I. ①橡… II. ①吴… III. ①橡胶 - 模具 - 设计 - 技术手册
IV. ① TQ330. 4 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 021604 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王英杰 责任编辑:崔世荣 吴天培 宋亚东

版式设计:霍永明 责任校对:任秀丽

封面设计:赵颖喆 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·41.25 印张·2 插页·1243 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 37409 - 1

定价:118.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

人类对橡胶的认识和使用已有千余年的历史。橡胶奇妙而又独特的性能引起了人类的极大兴趣和高度重视,其工业化的历程也演绎了一个个美丽的科学探索和技术应用的故事。

橡胶在现代工业与科学技术的各个领域都得到了广泛的应用,其各类制品在人类活动的各个方面扮演着极为重要的角色,如橡胶减振器、橡胶弹簧、橡胶缓冲器、密封元器件、摩擦传动制品、传送带、绝缘制品、轮胎、包覆材料及胶辊等。橡胶还广泛应用于工程机械、交通运输、汽车制造、防化消防、日常生活和体育用品,特别是航空航天和军事领域。如果没有了橡胶,当今的人类社会将难以想象。

在我国,橡胶工业经历了从无到有,从小到大的发展变革。特别是改革开放后,我国的橡胶工业有了飞速的发展。近些年来,我国的橡胶消耗量每年都以7%~8.5%左右的速度增长。我国的橡胶工业已经步入了快速发展通道。

在橡胶制品中,橡胶模型制品占有很大的比例。因此,对成型橡胶模型制品所用模具的设计和制造进行研究是十分必要的。

我国汽车行业的快速发展,也带动了橡胶模型制品技术的进步。与此同时,不同类型的橡胶硫化设备的出现,进一步促进了橡胶成型模具结构的多样化。此外,数控加工技术和设备,如数控机床、加工中心、精雕机、慢走丝线切割、电脉冲加工机等也为橡胶模具的制造奠定了工艺装备基础。

自1972年以来,我一直从事橡胶成型模具的设计与研究。我撰写的我国第一部关于橡胶模具设计的工具书——《橡胶模具设计与制造手册》在陕西科学技术出版社的支持下于1978年出版发行。此后,在中国模具协会和机械工业出版社的关心与帮助下,参与了《实用模具设计与制造手册》和《橡胶模具设计应用实例》等模具实用技术丛书的编纂工作,后来又分别编写了《橡胶成形工艺技术问答》和《图解橡胶模具实用手册》。借此机会,一并向陕西科学技术出版社、中国模具协会和机械工业出版社表示衷心的感谢。

知识源于实践,更源于社会。我有责任将所掌握的知识进行总结和整理,反馈给社会和人民。鉴于此,我将数十年来,特别是近十余年来,关于橡胶模具设计的粗略感受编写成书,奉达于业内读者,以了心愿。

尽管十余年来一直在为这部书作素材积累、数据处理和文字整理。但由于工作繁忙和水平所限,疏漏之处在所难免。因此,恳请同行不吝赐教,本人由衷地表示感谢。

吴生绪

目 录

前言

第1章 橡胶概述	1	2.3.6 硫化的方法	37
1.1 橡胶的基本特性	1	第3章 橡胶模具设计的	
1.2 橡胶的粘流态特征	2	技术基础	41
1.2.1 粘流态的主要特点	2	3.1 橡胶模制品的设计工艺性	41
1.2.2 牛顿流体和牛顿型流动	2	3.1.1 脱模斜度	41
1.2.3 非牛顿流体	3	3.1.2 断面厚度与圆弧	41
1.2.4 影响橡胶粘度的因素	3	3.1.3 囊类制品零件的口径	
1.3 橡胶的力学状态	4	和腹径比	42
1.3.1 橡胶力学状态的特征	4	3.1.4 波纹管的峰、谷直径比	43
1.3.2 橡胶玻璃化转变的意义	5	3.1.5 孔的成型	43
1.3.3 橡胶高弹态的特征	5	3.1.6 进料口的位置	43
1.4 橡胶的弹性记忆效应	7	3.1.7 嵌件的镶嵌形式	43
1.4.1 橡胶的弹性记忆特征	7	3.1.8 标记	45
1.4.2 影响橡胶弹性记忆的因素	8	3.1.9 橡胶制品非配合尺寸	
1.4.3 橡胶的时间-温度等效原理	8	公差的选择	46
1.5 橡胶分子的断裂	9	3.2 橡胶模制品零件生产的工艺	
1.5.1 橡胶分子断裂的特征	9	流程	46
1.5.2 橡胶分子断裂与生橡胶的		3.2.1 制品零件的成型方式	46
加工性能	9	3.2.2 制品零件飞边的修除	55
1.5.3 影响橡胶加工性能的因素	10	3.3 橡胶模压制品和压出	
1.5.4 橡胶的相容性	10	制品的尺寸公差	57
第2章 橡胶的塑炼、混炼和硫化 ..	12	3.3.1 模压制品	57
2.1 橡胶的塑炼	12	3.3.2 压出制品类	59
2.1.1 橡胶塑炼的工艺目的	12	3.3.3 胶辊的尺寸公差	61
2.1.2 橡胶塑炼的机理	12	3.3.4 橡胶制品尺寸的测量	64
2.1.3 橡胶塑炼的方法	13	3.3.5 橡胶制品的几何公差	64
2.2 橡胶的混炼	17	3.4 橡胶模具的种类与结构	66
2.2.1 橡胶混炼的基本知识	17	3.4.1 按使用硫化机类型分类	68
2.2.2 开炼机混炼	21	3.4.2 按模具分型面分类	74
2.2.3 密炼机混炼	24	3.4.3 按模具结构特点分类	79
2.3 橡胶的硫化	31	3.4.4 按制品形体结构特点和	
2.3.1 橡胶的硫化收缩率	31	成型工艺特点分类	85
2.3.2 橡胶在硫化过程中的微观		3.5 橡胶模具基础知识	89
结构和宏观性能的变化	32	3.5.1 橡胶模具简述	89
2.3.3 合理硫化历程的必备条件	33	3.5.2 橡胶模具的结构分析	89
2.3.4 硫化曲线	33	3.5.3 橡胶模具的结构要素	95
2.3.5 硫化工艺的三要素	34	3.6 橡胶模压制品对其成型	

模具设计的工艺性要求	97	模具型腔设计	159
3.6.1 模具型腔的尺寸精度	97	4.7.1 橡胶的硫化收缩率	159
3.6.2 表面粗糙度	97	4.7.2 模具型腔尺寸的设计计算及其公差标注	165
3.6.3 分型面	97	4.7.3 脱模斜度	168
3.6.4 进料口	98	4.8 橡胶模具的极限配合与精度要求	169
3.6.5 使用寿命及其他	98	4.8.1 选用极限与配合的原则	169
3.7 橡胶模具的常用机构与设计	98	4.8.2 型腔部分的精度设计	173
3.7.1 定位机构	98	4.8.3 非成型部位的配合选择	173
3.7.2 定位机构的设计工艺性	101	4.9 橡胶模具的表面粗糙度	173
3.7.3 启模口和卸模孔的设计布局	102	第5章 橡胶模具用钢及其热处理	178
3.7.4 手柄的设计	104	5.1 橡胶模具失效的主要形式与用钢的性能要求	178
3.7.5 余胶槽、撕边槽和跑胶槽	107	5.1.1 橡胶模具失效的主要形式	178
3.7.6 工艺孔及其他要素	116	5.1.2 橡胶模具用钢的性能要求	178
3.7.7 温度测定孔	118	5.2 橡胶模具用钢	179
3.7.8 哈夫式结构的定位块	118	5.2.1 橡胶模具用钢的分类	179
3.7.9 模具的受控属性	119	5.2.2 橡胶模具钢的选用	182
第4章 橡胶模具的设计方法	121	5.3 橡胶模具用钢的热处理	183
4.1 橡胶模具的承压面积和工作投影面积	121	5.3.1 部分调质钢的热处理	183
4.2 模具的高度	122	5.3.2 部分弹簧钢的热处理	183
4.3 中模的壁厚	123	5.3.3 低碳低合金钢的渗碳热处理	185
4.3.1 圆形型腔中模壁厚的确定	123	5.3.4 碳素工具钢的热处理	185
4.3.2 圆形型腔弹性变形量的校核	125	5.3.5 合金工具钢的热处理	185
4.3.3 矩形型腔中模壁厚的确定	125	5.4 新型橡塑模具钢及其应用	185
4.3.4 矩形型腔弹性变形量的校核	128	5.4.1 预硬型橡塑模具钢 3Cr2Mo(P20)及 3Cr2NiMo(P4410)	186
4.4 橡胶模具常用结构要素的设计参数	129	5.4.2 时效硬化型橡塑模具钢 25CrNi3MoAl	187
4.4.1 余胶槽、撕边槽、跑胶槽和连接槽	129	5.4.3 易切削橡塑模具钢 8Cr2S 及 5NiSCa	188
4.4.2 排气孔和排气槽	131	5.4.4 马氏体时效钢 06Ni6CrMo-VTiAl(06 钢)	190
4.4.3 存气孔	134	5.4.5 镜面橡塑模具钢 PMS	191
4.4.4 定位要素	135	5.4.6 调质时效型橡塑模具钢 Y55CrNiMnMoV(SM1)及 Y20CrNi3AlMnMo(SM2)	192
4.4.5 启模口	145	5.4.7 耐蚀橡塑模具钢 0Cr16-Ni4Cu3Nb(PCR)	193
4.4.6 飞边切除刃口	146	5.4.8 橡塑模具常用材料	
4.5 浇注系统的设计	147		
4.5.1 主浇道的设计	149		
4.5.2 浇注系统分浇道的设计	152		
4.5.3 浇注系统进料口的设计	153		
4.6 分型面与模具设计	155		
4.7 橡胶硫化收缩率与			

921	汇总简表	194	72	6.7.3 模具结构的设计	220
第6章	O形橡胶密封圈		79	6.7.4 模具零件的设计	221
	模具设计	197	第7章	其他类型橡胶密封	
78	6.1 180°分型多型腔无飞边压		70	制品模具设计	222
801	胶模	197	80	7.1 单型腔矩形橡胶密封圈模具	222
901	6.1.1 制品零件的工艺分析与		80	7.1.1 制品零件的工艺分析	222
901	模具型腔的尺寸计算	197	80	7.1.2 模具型腔的尺寸计算	222
901	6.1.2 飞边切断刃口的设计	199	80	7.1.3 模具结构的设计	223
971	6.1.3 型腔的布局设计	199	101	7.1.4 模具零件的设计	224
971	6.1.4 模具结构的设计	199		7.2 多型腔矩形橡胶密封圈模具	224
971	6.1.5 模具零件的设计	200	501	7.2.1 制品零件的工艺分析	224
871	6.1.6 卸模架的设计	200	101	7.2.2 模具型腔的尺寸计算	224
871	6.1.7 编制模具零件及卸模架		701	7.2.3 模具结构的设计	225
	零件明细表	201	011	7.2.4 模具零件的设计	226
871	6.1.8 生产设备及工艺	202	811	7.3 复合式密封垫圈压胶模	227
871	6.2 45°分型单型腔压胶模	202	811	7.3.1 制品零件的工艺分析	228
871	6.2.1 制品零件的工艺分析	202	911	7.3.2 模具型腔的尺寸计算	228
951	6.2.2 模具型腔的尺寸计算	203	101	7.3.3 模具结构的设计	228
951	6.2.3 模具结构的设计	204		7.3.4 模具零件的设计	229
981	6.2.4 模具零件的设计	204	101	7.4 J形橡胶密封圈压胶模	229
981	6.3 45°分型多型腔压胶模	206	551	7.4.1 制品零件的工艺分析	230
981	6.3.1 制品零件的工艺分析	206	551	7.4.2 模具型腔的尺寸计算	230
981	6.3.2 模具型腔的尺寸计算	206	551	7.4.3 模具结构的设计	231
981	6.3.3 模具结构的设计	207		7.4.4 模具零件的设计	232
981	6.3.4 模具零件的设计	208	551	7.5 U形橡胶密封圈压胶模	232
981	6.4 90°分型多型腔压胶模	209	551	7.5.1 制品零件的工艺分析	233
981	6.4.1 制品零件的工艺分析	209	551	7.5.2 模具结构的设计	233
981	6.4.2 模具型腔的尺寸计算	210	851	7.5.3 模具型腔的尺寸计算	234
981	6.4.3 模具结构的设计	210		7.5.4 模具零件的设计	235
981	6.4.4 模具零件的设计	212	951	7.6 Y形橡胶密封圈压胶模	236
981	6.5 180°分型多型腔压胶模	213		7.6.1 制品零件的工艺分析	236
981	6.5.1 制品零件的工艺分析	213	951	7.6.2 模具结构的设计	237
981	6.5.2 模具型腔的尺寸计算	214	101	7.6.3 模具零件的设计	237
981	6.5.3 模具结构的设计	214	101	7.6.4 模具型腔的尺寸计算	238
981	6.5.4 模具零件的设计	215	201	7.7 唇形橡胶密封圈压胶模	240
981	6.6 180°分型模架式多型腔压胶模	216	241	7.7.1 制品零件的工艺分析	241
101	6.6.1 制品零件的工艺分析	216	401	7.7.2 模具结构的设计	241
	6.6.2 模具型腔的尺寸计算	216	741	7.7.3 模具零件的设计	242
	6.6.3 模具结构的设计	217	941	7.7.4 模具型腔的尺寸计算	243
901	6.6.4 模具零件的设计	218	921	7.8 液压衬套注压模	244
901	6.7 45°分型多型腔橡胶注射模	219	921	7.8.1 制品零件的工艺分析	244
901	6.7.1 制品零件的工艺分析	219	921	7.8.2 模具结构的设计	246
	6.7.2 模具型腔的尺寸计算	219	第8章	囊套类橡胶制品	

模具设计	249	8.9.1 制品零件的工艺分析	289
8.1 平衡胶囊压胶模	249	8.9.2 模具结构的设计	290
8.1.1 制品零件的工艺分析	249	8.9.3 模具型腔的尺寸计算	290
8.1.2 模具结构的设计	249	8.9.4 模具零件的设计	292
8.1.3 模具型腔的尺寸计算	250	8.10 绝缘保护套压胶模	292
8.1.4 模具零件的设计	252	8.10.1 制品零件的工艺分析	292
8.2 发声晶体保护套压胶模	252	8.10.2 模具结构的设计	292
8.2.1 制品零件的工艺分析	253	8.10.3 模具型腔及芯棒的设计计算	293
8.2.2 模具结构的设计	253	8.10.4 模具零件的设计	296
8.2.3 模具型腔的尺寸计算	255	8.11 防护罩橡胶注射模	296
8.2.4 模具零件的设计	256	8.11.1 制品零件的工艺分析	297
8.3 平衡管压胶模	257	8.11.2 浇注系统的设计	297
8.3.1 制品零件的工艺分析	258	8.11.3 模具型腔零件壁厚 的计算	298
8.3.2 模具结构的设计	258	8.11.4 模具结构的设计	298
8.3.3 模具型腔的尺寸计算	259	8.11.5 模具型腔及型芯的设计计算	298
8.3.4 模具零件的设计	262	8.11.6 模具零件的设计	300
8.4 平衡油囊压胶模	262	第9章 轴类橡胶制品模具设计	302
8.4.1 制品零件的工艺分析	262	9.1 橡胶扶正棒压胶模	302
8.4.2 模具结构的设计	263	9.1.1 制品零件的工艺分析	302
8.4.3 模具型腔的尺寸计算	264	9.1.2 模具结构的设计	302
8.4.4 模具零件的设计	266	9.1.3 模具型腔的尺寸计算	303
8.5 扎线胶套压胶模	266	9.1.4 模具零件的设计	304
8.5.1 制品零件的工艺分析	267	9.1.5 模具使用的工艺要求	304
8.5.2 模具结构的设计	267	9.2 橡胶滚轴压胶模	304
8.5.3 模具型腔的尺寸计算	268	9.2.1 制品零件的工艺分析	304
8.5.4 模具零件的设计	271	9.2.2 模具结构的设计	305
8.6 密封胶套压胶模	272	9.2.3 模具型腔的尺寸计算	306
8.6.1 制品零件的工艺分析	273	9.2.4 模具零件的设计	306
8.6.2 模具结构的设计	273	9.3 CCL 外壳压胶模	307
8.6.3 模具型腔的尺寸计算	274	9.3.1 制品零件的工艺分析	307
8.6.4 计算结果分析	277	9.3.2 模具结构的设计	308
8.6.5 模具零件的设计	277	9.3.3 模具型腔的尺寸计算	309
8.7 皮囊压胶模	278	9.3.4 模具零件的设计	309
8.7.1 制品零件的工艺分析	278	9.4 密封插头压胶模	310
8.7.2 模具结构的设计	279	9.4.1 制品零件的工艺分析	310
8.7.3 模具型腔的尺寸计算	280	9.4.2 模具结构的设计	310
8.7.4 模具零件的设计	283	9.4.3 模具型腔的尺寸计算	312
8.8 环形皮囊压胶模	284	9.4.4 模具零件的设计	313
8.8.1 制品零件的工艺分析	284	第10章 管类橡胶制品模具设计	314
8.8.2 模具结构的设计	284		
8.8.3 模具型腔的尺寸计算	286		
8.8.4 模具零件的设计	288		
8.9 橡胶密封套压胶模	289		

10.1 橡胶绝缘套压胶模	314	10.10.1 制品零件的工艺分析	351
10.1.1 制品零件的工艺分析	314	10.10.2 预成型模具的设计	351
10.1.2 模具结构的设计	314	10.10.3 充气成型二次硫化	356
10.1.3 模具型腔的尺寸计算	315	模具的设计	356
10.1.4 模具零件的设计	316	第11章 部分橡胶杂件模具	
10.2 弹簧橡胶护管压胶模	317	设计	360
10.2.1 制品零件的工艺分析	318	11.1 橡胶刮浆板压胶模	360
10.2.2 模具结构的设计	318	11.1.1 制品零件的工艺分析	360
10.2.3 模具型腔的尺寸计算	319	11.1.2 模具结构的设计	360
10.2.4 模具零件的设计	320	11.1.3 模具型腔的尺寸计算	361
10.3 橡胶弯管压胶模	321	11.1.4 中模壁厚的计算	363
10.3.1 制品零件的工艺分析	322	11.1.5 模具零件的设计	363
10.3.2 模具结构的设计	322	11.2 橡胶水封压胶模	364
10.3.3 模具型腔的尺寸计算	323	11.2.1 模具型腔的尺寸计算	364
10.3.4 模具零件的设计	325	11.2.2 模具零件的设计	366
10.4 汽车排气弯管模具	325	11.3 DZ32—X 多芯密封导线压	
10.5 橡胶波纹管压胶模(一)	328	胶模	366
10.5.1 制品零件的工艺分析	328	11.4 橡胶混合瓶成型模	368
10.5.2 模具结构的设计	328	11.5 枝形橡胶套压注模	371
10.5.3 模具型腔的尺寸计算	329	11.6 橡胶性能测试类模具	374
10.5.4 模具零件的设计	331	11.6.1 拉伸强度试样成型模	374
10.6 橡胶波纹管压胶模(二)	332	11.6.2 橡胶硬度及平均硫化收缩	
10.6.1 制品零件的工艺分析	333	率测试试样成型模	376
10.6.2 模具结构的设计	333	11.7 绝缘胶套成型模	377
10.6.3 模具型腔的尺寸计算	334	11.8 橡胶扶正器压胶模	379
10.6.4 模具零件的设计	336	11.9 σ 形橡胶密封条压胶模	380
10.7 橡胶波纹管压胶模(三)	337	11.10 花瓣隔块压胶模	382
10.7.1 制品零件的工艺分析	337	11.11 橡胶防碰环成型模	384
10.7.2 模具结构的设计	338	11.12 橡胶压杯成型压胶模	387
10.7.3 模具型腔的尺寸计算	339	11.13 微电极板压胶模	389
10.7.4 模具零件的设计	340	11.14 实心橡胶脚轮压胶模	391
10.8 橡胶波纹管压胶模(四)	341	第12章 皮膜皮碗类橡胶制品	
10.8.1 制品零件的工艺分析	342	成型模具设计	394
10.8.2 模具结构的设计	342	12.1 平面式橡胶薄膜制品成型模	394
10.8.3 模具型腔的尺寸计算	343	12.2 波纹式橡胶薄膜制品成型模	395
10.8.4 模具零件的设计	345	12.3 碟形橡胶薄膜制品压胶模	398
10.9 橡胶波纹管压胶模(五)	345	12.4 滚动式橡胶薄膜制品压胶模	399
10.9.1 制品零件的工艺分析	345	12.5 橡胶吸盘成型模	401
10.9.2 模具结构的设计	346	12.6 橡胶皮碗成型模(一)	402
10.9.3 充气成型模具的设计要领	347	12.7 橡胶皮碗成型模(二)	404
10.9.4 模具型腔的尺寸计算	348	12.8 橡胶皮碗成型模(三)	407
10.9.5 模具零件的设计	349	12.9 橡胶皮碗成型模(四)	409
10.10 探测器胶套压胶模	350		

第13章 橡胶减振器类制品**成型模具设计** 414

- 13.1 减振器成型模(一) 414
- 13.2 减振器成型模(二) 415
- 13.3 减振器成型模(三) 416
- 13.4 减振器成型模(四) 417
- 13.5 减振器成型模(五) 419
- 13.6 减振器成型模(六) 421
- 13.7 减振器成型模(七) 423
- 13.8 减振器成型模(八) 424
- 13.9 减振器成型模(九) 425
- 13.10 减振器成型模(十) 426
- 13.11 Z型橡胶减振器成型模 428

第14章 橡胶防尘罩成型**模具设计** 438

- 14.1 橡胶防尘罩成型模 438
 - 14.1.1 橡胶防尘罩成型模(一) ... 438
 - 14.1.2 橡胶防尘罩成型模(二) ... 443
 - 14.1.3 橡胶防尘罩成型模(三) ... 446
 - 14.1.4 橡胶防尘罩成型模(四) ... 447
 - 14.1.5 橡胶防尘罩成型模(五) ... 448
 - 14.1.6 橡胶防尘罩成型模(六) ... 450
- 14.2 较大尺寸防尘罩成型模 453
 - 14.2.1 较大尺寸波纹防尘罩
成型模 453
 - 14.2.2 吹气脱模防尘罩成型模 461
 - 14.2.3 防护罩橡胶注射成型模 463
- 14.3 嵌件式橡胶防尘罩成型模 465
 - 14.3.1 嵌件式橡胶防尘罩
成型模(一) 465
 - 14.3.2 嵌件式橡胶防尘罩
成型模(二) 466
 - 14.3.3 嵌件式橡胶防尘罩
成型模(三) 468
 - 14.3.4 嵌件式橡胶防尘罩
成型模(四) 470
 - 14.3.5 嵌件式橡胶防尘罩
成型模(五) 472

第15章 哈夫式结构橡胶成型**模具设计** 474

- 15.1 常用哈夫式结构成型模 474
 - 15.1.1 直压式减振器结构成

型模 474

- 15.1.2 路徽型减振器哈夫式
结构成型模 475
- 15.1.3 异形减振器成型模 477
- 15.1.4 侧柄式减振器哈夫式
注压成型模 479
- 15.1.5 一种特殊衬套的哈夫式
注压成型模 481
- 15.1.6 浮动式减振器成型模 481
- 15.1.7 悬挂支架成型模 483
- 15.1.8 液压减振器衬套成型模 484
- 15.2 侧拉分型橡胶成型模 489
 - 15.2.1 侧拉分型橡胶
成型模(一) 489
 - 15.2.2 侧拉分型橡胶
成型模(二) 493
 - 15.2.3 另一种结构形式的
侧拉分型模 494
- 15.3 橡胶制品自动分型模 498
 - 15.3.1 自动分型模(一) 498
 - 15.3.2 自动分型模(二) 501
 - 15.3.3 自动分型模(三) 506
 - 15.3.4 自动分型模(四) 508
 - 15.3.5 自动分型模(五) 510
 - 15.3.6 自动分型模(六) 510
 - 15.3.7 自动分型模(七) 513

第16章 其他类型橡胶成型**模具设计** 522

- 16.1 异形外露大嵌件减振器
注压成型模 522
- 16.2 钵式减振器注压成型模 525
- 16.3 直托嵌件脱模取件注压成型模 ... 529
- 16.4 自注压式成型模 530
- 16.5 特殊结构哈夫式注压成型模 530
- 16.6 抽真空成型模 532
- 16.7 无飞边成型模 538
- 16.8 暗藏式异形分型面模 539
- 16.9 确保制品留在中模的模具
结构 543
- 16.10 侧顶式脱模模具 548
- 16.11 橡胶衬套成型模 550
- 16.12 不正确的哈夫式注压
成型模具结构 552

16.13 错误的哈夫式注压成型 模具结构	553
16.14 概念不清的错误结构模具	556
16.15 口型模	560
16.15.1 橡胶材料的压出变形	560
16.15.2 口型模的设计原则	561
16.15.3 口型模的设计	562

第17章 橡胶模具辅助工装

设计	565
17.1 卸模器	565
17.1.1 撬棒和撬板	565
17.1.2 磕碰式脱模架	565
17.1.3 卸模架	566
17.2 压注器	567

17.3 R刀及其刃磨工装	568
17.3.1 R刀	568
17.3.2 R刀刃磨工装	569
17.4 开合模车削夹具	570
17.5 花盘心轴式车削夹具	571

附录	573
----------	-----

附录A 橡胶密封制品常用 技术标准	573
附录B 我国目前橡塑模具用钢 市场供应资料	609
附录C 标准公差数值(GB/T 1800.1—2009)	645
附录D 橡胶英文缩写及中文名称	646
附录E 不同硬度的对照转换关系	647

第1章 橡胶概述

1.1 橡胶的基本特性

材料科学及材料工程是人类文明的物质基础。材料的研究和应用与一个国家的生产力及科学技术的发展水平密切相关,材料的品种和产量是衡量一个国家的科学研究、生产技术、经济发展、国家实力及人民生活水平的重要标志之一。

在工程应用中,材料大致可以分为两大类:一类是结构材料,主要利用其强度、弹性等力学性能;另一类是功能材料,主要利用其声、光、电、磁等功能。橡胶既是重要的结构材料,又具有一定的功能。所以,它是一种非常重要的工程材料,甚至可以归为战略物资之列。

橡胶是具有高弹性的高分子聚合物和化合物的总称。它具有高弹性性能、优异的抗疲劳强度、良好的耐磨性能、极好的电绝缘性能、理想的阻尼减振性、优良的气密性和不透水性、良好的成型工艺性以及化学稳定性等,是工程中一种非常重要的高分子材料。

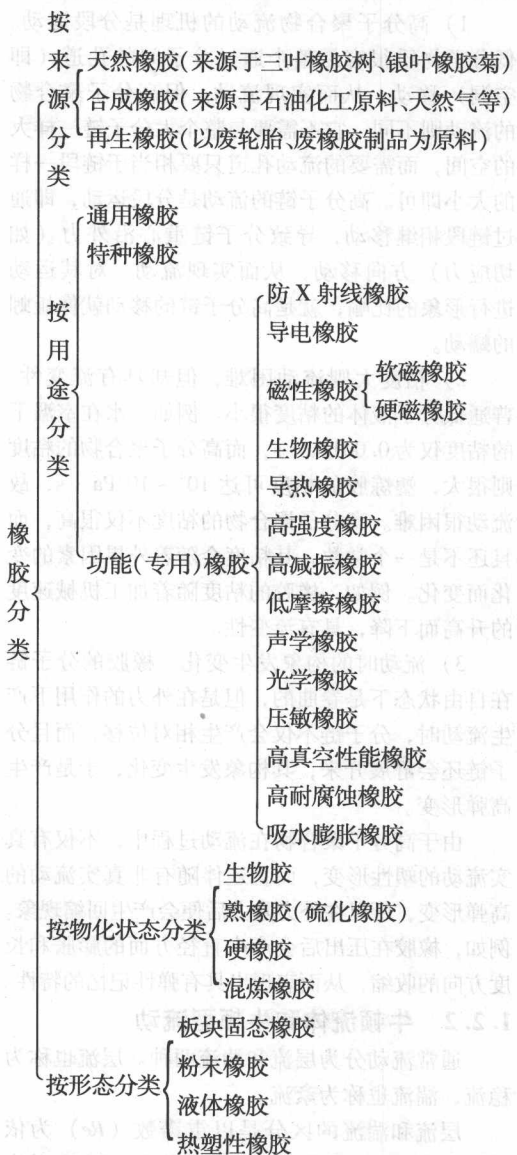
作为三大合成材料(合成树脂、合成纤维、合成橡胶)之一的橡胶,已经成为我国工业体系中的一个重要支柱和重要的战略物资。橡胶广泛地应用在汽车、航空、航天、航海、机械、仪器仪表、化工、矿山、交通运输等行业以及农业、教育、医疗卫生和日常生活的各个方面。

就橡胶原料的形态来说,无论是天然橡胶还是人工合成橡胶,一般都呈现为板块状软固体形态。在对橡胶进行成型加工,特别是在预成型处理和硫化过程中,都要消耗很大的能量。不仅如此,而且加工费时费工,劳动强度很大,还要具备相应的大型设备。另外,橡胶制品零件的质量还会因为其中固态物质混合的非均匀性而受到一定的影响,同时也影响到整个生产过程的加工周期、生产成本等各个方面。

为了进一步提高橡胶工业的经济效益和技术质量效果,科技人员对橡胶的形态和加工工艺进行了大量的研究,以便探寻新的橡胶原料形态,于是便出现了粉末橡胶、液态橡胶和热塑性橡

胶。这些橡胶虽然在工艺和性能方面存在着一些尚待解决和改进的问题,但由于它们所具有的优点、性能的不断改善和用途的不断扩大,将会对橡胶工业产生很大的影响。

橡胶的种类很多,具体分类如下。



1.2 橡胶的粘流态特征

1.2.1 粘流态的主要特点

当温度升至粘流温度（或称为流动温度）之后，线型结构的高分子就从高弹态转变为粘流态（即流动态）。粘流是高分子聚合物分子运动的重要方式，处于粘流态的高分子聚合物，在外力的作用下会产生永久形变，即不可逆形变，其本质是其分子间产生了明显的相对位移。高分子聚合物的流动具有以下特点：

1) 高分子聚合物流动的机理是分段运动。低分子物质很容易整个通过分子间的孔道（即空洞）移动，从而实现流动。但高分子聚合物的流动则不同，它不需要与整个大分子链一样大的空间，而需要的流动孔道只要相当于链段一样的大小即可。高分子链的流动是分段运动，即通过链段相继移动，导致分子链重心沿外力（如切应力）方向移动，从而实现流动。对其运动进行形象的比喻，就是高分子链的移动就像蚯蚓的蠕动。

2) 粘度大则流动困难，但却具有流变性。普通低分子液体的粘度很小。例如，水在室温下的粘度仅为 $0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，而高分子聚合物的粘度则很大，塑炼胶的粘度可达 $10^4 \sim 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，故流动很困难。高分子聚合物的粘度不仅很高，而且还不是一个常数，其粘度会随着外界因素的变化而变化。例如，橡胶的粘度随着加工机械速度的升高而下降，具有流变性。

3) 流动时的构象发生变化。橡胶的分子链在自由状态下是卷曲的，但是在外力的作用下产生流动时，分子链不仅会产生相对位移，而且分子链还会舒展开来，其构象发生变化，于是产生高弹形变。

由于高分子聚合物在流动过程中，不仅有真实流动的塑性形变，而且还伴随有非真实流动的高弹形变，所以在外力除去后便会产生回缩现象。例如，橡胶在压出后会产生直径方面的膨胀和长度方向的收缩，从而表现出具有弹性记忆的特性。

1.2.2 牛顿流体和牛顿型流动

通常流动分为层流和湍流两种。层流也称为稳流，湍流也称为紊流。

层流和湍流的区分是以雷诺数（ Re ）为依据的，当 $Re < 4000$ 时为层流，当 $Re > 4000$ 时为

湍流。英国物理学家雷诺（Reynolds）首先给出的流体流动状态由层流转变为湍流的条件是

$$Re = \frac{Dv\rho}{\eta} > Re_c \quad (1-1)$$

式中 Re ——雷诺数，为一无量纲的数群；

D ——流体流动管道的直径（m）；

v ——流体的流速（m/s）；

ρ ——流体的密度（ 10^3 kg/m^3 ）；

η ——流体的粘度（ $\text{kg/m}^3 \cdot \text{s}$ ）；

Re_c ——临界雷诺数。其值与管道的断面形状和管道壁的表面粗糙度等有关，对于光滑的金属圆管， $Re_c = 2000 \sim 2300$ 。

由于 Re 与流体的流速成正比，与其粘度成反比，所以流体的粘度越大，其流速就越小，越难以呈现湍流状态。各种橡胶在注射成型、压注成型和模压成型时都具有很大的粘度，故其流动时的 Re 值远小于 Re_c ，一般不大于 10。所以橡胶成型流动时，其流动呈现为层流的流动状态。

一般，大多数低分子流体在以切变的方式流动时，其切应力与剪切速率之间存在着线性关系。通常将符合这种关系的流体称为牛顿流体。

牛顿流体流动的特征是，当初应力 $\tau = 0$ 时，剪切速率 $\dot{\gamma} = 0$ ，它服从于牛顿粘度定律，即切应力与剪切速率成正比，公式如下

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1-2)$$

式中 τ ——切应力（Pa）；

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率，它表征垂直于流动方向的单位距离内的速度变化程度（ $1/\text{s}$ ）；

η ——剪切粘度系数 [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$]。

牛顿流体的流动曲线如图 1-1 所示。

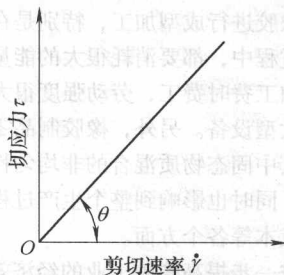


图 1-1 牛顿流体的流动曲线

$$\left(\tan \theta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \eta \right)$$

1.2.3 非牛顿流体

凡流体以切变方式流动,但其切应力与剪切速率之间为非线性关系的均称为非牛顿流体。

非牛顿流体流动的特征是:它不服从牛顿粘度的定律,其粘度不是一个常数,随着切应力和剪切速率的变化而变化。

非牛顿流体的类型有宾汉流体、假塑性流体和胀塑性流体等。非牛顿流体的流动曲线如图1-2所示。

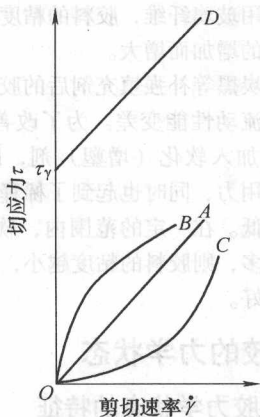


图1-2 非牛顿流体的流动曲线

(1) 宾汉流体 这种类型的流体也称为宾汉塑性体,如牙膏、油料、地质钻探用的泥浆等都是宾汉流体。其流动曲线如图1-2中的D曲线。它与牛顿流体的流动曲线(图1-2中A曲线)特征相同,均为直线型,只是它不通过原点,其含义是只有切应力超过一定值 τ_y (屈服应力)之后才开始流动。这是因为只有超过 τ_y ,才能破坏静止时形成的高度空间结构而实现流动。

(2) 假塑性流体 图1-2所示的曲线B为假塑性流体的流动的特征曲线,该流体的流动曲线弯向剪切速率坐标轴一侧,表征其粘度随着切应力、剪切速率的增大而逐渐降低的特性,因此被称为切应力变稀的流体。大多数热塑性塑料、橡胶和高分子聚合物溶液等都属于此类流体。

(3) 胀塑性流体 图1-2所示的曲线C为胀塑性流体流动的特征曲线。该曲线弯向切应力坐标轴一侧,表征其粘度随切应力、剪切速率的增大而逐渐升高的特性,因此被称为切应力增稠的流体。

1.2.4 影响橡胶粘度的因素

影响橡胶粘度(即流动性)的因素如下:

(1) 橡胶的分子结构 分子结构是由橡胶品种自身所决定的,橡胶流动性的好坏首先取决于橡胶分子链的结构,这是内因。

流体的粘度是分子间内摩擦性能的表现,若分子间作用力大,则分子链的柔顺性差;若分子间作用力小,则分子链的柔顺性就好。分子链中的链段数越多,而且越短。则其链段的活动能力就越强,通过链段运动所产生的大分子相对位移也就越大,宏观表现出来的就是橡胶的流动性越好。在橡胶的分子结构中,影响其柔顺性的因素有主链组成、相对分子质量及其分布、取代基、支化程度等。

(2) 剪切速率 橡胶的粘度(即流动性)随着剪切速率的增大而降低,于是将这种关系称为流变性。

流变性对于橡胶的加工工艺来说至关重要。剪切速率大,则粘度小,流动性好,胶料成型及充型也就容易;橡胶在停放时,因剪切速率为零,所以粘度增大,于是半成品具有较好的挺性。

但是,如果剪切速率太大,则分子链来不及松弛,此时所压出的半成品,其膨胀或收缩较大,表面就较为粗糙。

橡胶流变性的大小与许多因素有关。例如,相对分子质量越大,流变性就越大,出现非牛顿流动的剪切速率值就越低。因为相对分子质量大,需要松弛的时间就长,流动过程中分子不易松弛收缩,于是就减少了收缩这部分的阻力。此外,因相对分子质量大,结点多,有些结点在力的作用下易于解脱,所以粘度也会有所下降。

相对分子质量分布宽的橡胶,其流变性较强,出现非牛顿流动的剪切速率值就较低,这个规律与相对分子质量分布宽者具有较高的相对分子质量级分有关。

对于不同的橡胶来说,其粘度(即流动性)对剪切速率的依赖性不同。例如天然橡胶的粘度,其变化对剪切速率的敏感性较大。天然橡胶和丁苯橡胶的粘度对比,在加工前后正好相反。对剪切速率敏感的橡胶,可以通过调节加工设备的速度来调节其流动性。相反,对剪切速率敏感性小的橡胶,则可通过调节温度来调节其流动性。

在橡胶加工过程中,不能盲目地提高剪切速率,要具体情况具体分析,采取有针对性的技术措施,否则对设备的安全运行是不利的。

(3) 温度 橡胶的粘度随着温度的升高而降低。因为温度的升高使分子活动能力提高,分子间距离增大,内摩擦减小,所以其流动性提高。此外,分子链在流动时用于克服分子间作用力所需要的能量,会随着温度的升高而提高,由此也可以表征出流动性对温度的依赖性。这就是在一定范围内,温度升得越高,粘度降低得越多。

橡胶品种不同,随着温度的升高而使粘度下降的程度也不相同。一般来说,分子链柔顺性较好的橡胶(如天然橡胶),其分子链本来就比较容易活动,温度升高时,虽然分子活动性增大,但增大的幅度并不大,分子间力下降的幅度也有限,所以温度升高,其粘度下降并不太多。相反,丁苯橡胶、丁腈橡胶等刚性较大的橡胶其热塑性较大,对温度更加敏感。因此,在加工过程中要严格控制其成型温度。

(4) 压力 由于高分子聚合物具有长链结构,分子内旋转容易产生较多的空洞,所以在其加工温度下的压缩比要比普通液体的压缩比大得多。在10.13MPa的压力下,压缩比一般小于1%,但压力高时体积收缩大,分子间作用力增大,粘度增大,有时甚至会增加一个数量级,这对于加工工艺来说是不能不考虑的。

粘度与压力的关系可用下式来表示

$$\eta_p = \eta_{p_0} e^{b(p-p_0)} \quad (1-3)$$

式中 η_p ——压力 p 下的剪切粘度系数 [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$];

η_{p_0} ——大气压 p_0 下的剪切粘度系数 [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$];

e ——自然对数的底,其值约为2.71828;

b ——压力系数,其值与空洞体积成正比,与热力学温度成反比, b 值约为 0.21Pa^{-1} ;

p ——压力 (MPa);

p_0 ——大气压 (MPa)。

这意味着压力增大到68.9MPa,粘度则提高35%。由此可见,压力的效应非常明显。对于高分子聚合物的流动性来说,压力的增加相当于温度的降低。一般高分子聚合物在加工时,温度的

降低将使其粘度增大。

(5) 配合剂 对于粘度影响较大的配合剂有炭黑及其他补强剂、填充剂和软化(增塑)剂。

炭黑在胶料中的用量较大,由于它与胶料既有物理结合,又有化学结合。所以一般加入炭黑后会增大胶料的粘度。

白炭黑加入硅橡胶会生成结合橡胶,从而使胶料的粘度随着白炭黑用量的增加而增大。如果在胶料中使用玻璃纤维,胶料的粘度也会随着玻璃纤维用量的增加而增大。

添加了炭黑等补强填充剂后的胶料,由于粘度较大而使流动性能变差。为了改善其流动性,常在配方中加入软化(增塑)剂,以减小橡胶分子间的作用力,同时也起到了稀释作用,使胶料的粘度降低。在一定的范围内,软化(增塑)剂的用量越多,则胶料的粘度越小,加工时的流动性也就越好。

1.3 橡胶的力学状态

1.3.1 橡胶力学状态的特征

普通的低分子物质,其力学状态(或称物理状态)是气态、液态或固态。橡胶是高分子材料,高分子物质没有气态。因为这类物质的相对分子质量大,汽化的温度很高,如果对其加热,未等到汽化就被分解了。橡胶这类高分子物质的液态在常温时粘度很高,随着温度的升高,其粘度逐渐降低,在熔融状态下呈现为粘流态。

橡胶在固态时又呈现出多种力学状态,如线型分子结构的生橡胶(即未硫化橡胶)具有突出的可塑性。如果进行了硫化反应,其线型分子就成为立体网状结构。此时,橡胶的力学性能就更加丰富,如高弹性、高耐磨耗性、高硬度、高抗撕裂强度、高抗冲击振动等,此时的状态为高弹态。如果,温度降低一定程度,橡胶就进入了玻璃态,呈现为硬而脆的力学状态。

上述就是橡胶所具有的粘流态、高弹态和玻璃态三种不同的力学聚集态。

由于这三种状态是在不同的温度范围内出现的,所以也称为热-力学状态。各种状态的特征,主要从其变形能力(一般以伸长率或压缩率来表示)表征出高聚物从一个力学状态随着温度的改变

而过渡到另一种力学状态,如图1-3所示。

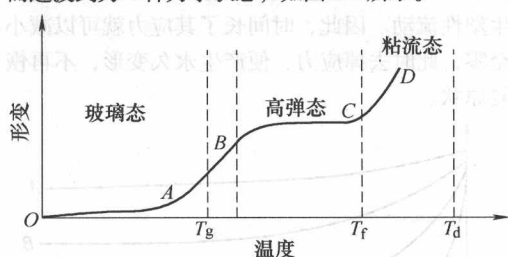


图1-3 线型橡胶在恒定应力作用下的

变形温度曲线

A—玻璃态区 B—过渡区 C—高弹态区

D—粘流态区 T_g —玻璃化转变温度

T_f —流动温度 T_d —分解温度

1.3.2 橡胶玻璃化转变的意义

在实际应用中,橡胶的玻璃化转变有着重要的意义

作为高分子聚合物的橡胶,从其用途上来看,是要充分地利用它的最为突出的高弹性性能。因此,在工程应用中,总是希望橡胶能在宽阔的温度范围内保持其高弹性状态。宽阔的温度范围,就是要求橡胶要具有尽可能低的玻璃化转变温度。玻璃化转变温度越低,说明橡胶具有的耐寒性越好。因此,不论在橡胶的合成方面,还是在橡胶的加工方面,工程技术人员都在不断地从改进大分子化学结构上或配合剂的选用上进行研究,想方设法降低橡胶的玻璃化转变温度。

在橡胶的工程应用中,检验橡胶的耐寒性能时不是直接来测定橡胶的玻璃化转变温度,因为测定方法比较复杂。实际中,通过测定橡胶的脆化温度来确定其耐寒的能力。

橡胶脆化温度的工业测定方法是在一定的外力冲击下,将试样的温度逐渐降低,直到试样断裂的最高温度,就是橡胶的脆化温度。

1.3.3 橡胶高弹态的特征

橡胶由玻璃态转变为高弹态时,其大分子没有运动,而是其链段发生运动的结果。可以这样设想,当温度高于橡胶的玻璃化转变温度时,再逐渐升高温度,则各原子的动能增大,运动增强。由于受热的结果,大分子结构中增加了空穴的位置,这就给链段的运动创造了条件。链段的运动依赖于键的自由旋转,所以,橡胶的高弹态是建立在其链段运动的基础上的,这种特征为高

分子物质所独有。由于低分子物质不存在链段和链段运动,因而也就不具备高弹态和高弹性。橡胶高弹态的特征如下:

(1) 橡胶的弹性性质 随着温度的升高,橡胶由玻璃态转变为高弹态时,链段运动的规模比原子振动大,所以反映出变形的能力较大。此外,链段运动是依赖于键的自由旋转,需要的力较小,故其变形模量较小。如图1-4所示,橡胶的应力很小时,就会产生很大的变形。

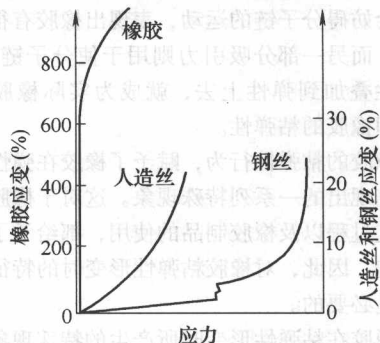


图1-4 三种材料的应力应变曲线

橡胶高形变能力与气体压缩张力有相似之处,两者在形变时发生的热效应也相似(即橡胶和气体都是在形变时发热,在恢复原状时变冷)。因此可以认为,两者的形变机理相似。

为了讨论橡胶高弹性的实质,必须将橡胶理想化,使其满足以下两个条件:①橡胶的形变,只是其分子链形状的改变,并不涉及分子间距离的改变,即容积不变;②橡胶在形变时,分子间的作用力没有改变,且键长和键角不发生变化。因此,由橡胶分子之间的距离决定的橡胶分子相互作用的内能在形变时不起变化。也就是说,在一定限定的形变中,橡胶的弹性也同气体一样,其弹性与分子间的相互作用无关。因气体的弹性是分子的热运动引起的,那么可以作出推断,理想化橡胶的弹性也取决于它的分子通过热运动所表现出来的高度活动性。

(2) 橡胶弹性热力学 形变可以分平衡态的形变(即可逆过程的形变)与非平衡态的形变(即松弛过程)两种情况。

所谓平衡态是指热力学的平衡态,在橡胶这类高分子聚合物中,也就是指其分子链具有平衡态构象。平衡状态形变理论,在理论上有其意义,而在实际中,虽然不大可能达到完全的平

衡,但却可以帮助人们去理解问题。

(3) 橡胶的粘弹性性质 理想化的橡胶弹性行为,是以假想橡胶分子之间没有作用力、形变时其体积保持不变为基础的,形变时橡胶所产生的张力或应力完全是由于卷曲的分子形变所产生的,其应力和应变的关系完全处于平衡状态,与橡胶的化学组成无关。但是在实际中,橡胶却不是这样,其分子间有吸引力存在,而且橡胶品种不同,这种吸引力的大小也不相同。一部分吸引力会妨碍分子链的运动,表现出橡胶有很大的黏性。而另一部分吸引力则用于使分子链变形,把黏性叠加到弹性上去,就成为实际橡胶的弹性,即橡胶的粘弹性。

橡胶的粘弹性行为,赋予了橡胶在弹性形变时所表现出的一系列特殊现象。这对于橡胶的加工工艺过程以及橡胶制品的使用,都给予了极大的影响。因此,对橡胶粘弹性形变时的特征进行讨论是必要的。

橡胶在粘弹性形变时所产生的特殊现象主要有形变时的应力松弛现象、在周期作用力下的松弛现象、蠕变现象以及形变时所产生的滞后现象等。这些现象都从本质上反映出橡胶粘弹性性质,若对这些现象有所了解,就能进一步深刻地理解橡胶所具有的粘弹性。

1) 应力松弛:迅速将一橡胶试片拉伸至一定长度,并保持此长度不变,则其应力因时间的延长而在逐渐减小,如图 1-5 所示,称为应力松弛。

此外,对于硫化橡胶的网状结构,在应力作用下,如果时间很短,橡胶的粘度又很大,力的作用不可能是均匀的。于是,有些链段没有被拉得很直,键角被扭;有些大的链段还没有动。此时,橡胶是处于紧张的状态,其内应力很大。

然而,经过一定的时间以后,橡胶的分子链逐渐地适应了外力的作用而产生移动,使内应力逐渐消除,从而达到了平衡状态,此时的应力减小到了理想的平衡值。

由于橡胶的化学结构、相对分子质量以及硫化配合剂等的不同,即使是在相同的松弛条件下,应力松弛速度(即应力减小的速度)的差异也是很大的。如图 1-6 所示的应力松弛过程,可从几秒钟乃至几天的期间。也就是说,应力松弛到平衡状态所需的时间差异很大。

生橡胶的应力松弛与硫化胶的应力松弛不

同,因为生橡胶没有交联键存在,在变形时会产生塑性流动。因此,时间长了其应力就可以减小至零,此时去掉应力,便产生永久变形,不再恢复原状。

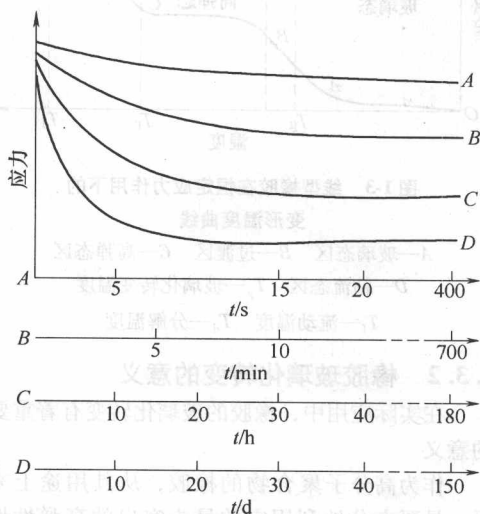


图 1-5 橡胶的应力松弛曲线

2) 蠕变:在恒定应力作用下,橡胶的形变量随着时间的增加而增加的现象称为蠕变。橡胶发生蠕变的机理与其应力松弛很相似,研究蠕变也能说明橡胶的粘弹性性质,它与应力松弛的研究起着相互补充的作用。

3) 滞后现象:首先先来观察两种情况:第一种情况,当用非常慢的变形速度拉伸或收缩橡胶时,由于松弛时间远大于变形时间,在这种情况下,橡胶的应力与应变是互相平衡的;第二种情况,当拉伸力的速度非常快,因分子链来不及张开,此时的形变属于晶体弹性,橡胶的应力与应变也是相互平衡的。这两种情况均不出现应变滞后于应力的现象。

当橡胶的变形速度处于上述两种情况之间时,由于分子链受外力作用改变其构象时,自身的粘度使它不能立刻移动。所以,应力增加时形变来不及完全发展,而应力减小时,收缩亦跟不上。所以,形变总是滞后于应力。这种现象称为橡胶的滞后现象。

橡胶滞后现象的产生也和松弛现象一样,其根本原因是由于橡胶大分子之间存在着黏性,即在外力作用和外力减小的过程中,橡胶分子链的形变一直落在应力的后边。

橡胶滞后损失的大小与应力作用的速度有关,也与温度的影响有关。在高温下,相当于应力作用的时间很长;在低温下,则相当于应力作用的时间很短。因此,在温度很高或很低时,滞后损失都很小。

滞后损失能量的大小可由滞后环的面积求得,损耗的机械能则转化为热能放出,使橡胶发热。因此,这与橡胶的疲劳有着直接的关系。

滞后现象的实质是橡胶的粘弹性性质,是应力松弛和蠕变现象的结果。应力松弛现象和蠕变现象越显著,表现出来的滞后现象越明显。滞后现象对橡胶制品的使用性能和使用寿命会产生很大的影响。在有的情况下会产生不利因素,例如轮胎经过长时间行驶,其形变生热很高,甚至是加速了轮胎的疲劳、增大了老化速度;在有的情况下却会发挥有利的作用,例如橡胶制品的消声与减振的作用。

4) 橡胶的动态力学性质(在周期力作用下的松弛现象):以上所描述的应力松弛及蠕变等性质,都是静态下橡胶的粘弹性性质。但实际上,橡胶制品多数都是在动态情况下使用的,例如滚动的轮胎、传动的胶带、吸收振动的减振器等,这些都是在外力不断往复作用下而使用的。因此,对于橡胶除了研究静态粘弹性性质外,还应研究其动态的力学性能。

柔性高分子聚合物流动的第一种特性是分段移动,各链段在大分子中作无规的布朗运动。所以,流动对链段来说,可以看做是一种扩散过程。第二种特性是橡胶的粘度随相对分子质量的增加而显著增大。普通液体的粘度约为 $0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,粘度很大的液体,其粘度约为 $10^2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,而橡胶的粘度则为 $10^{12} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。第三种特性是橡胶在流动时,其分子链有构象的改变。

柔性高分子链在自由状态下总卷曲着,当在外力作用下流动时,其分子链伸展,此时便增加了与其他分子的接触面。于是,相互之间摩擦力增加。因此,在流动过程中粘度逐渐增加,直到松弛现象完成为止。所以,高分子的流动,不是单纯的黏性流动,同时也伴随着高弹性形变。因此,使得黏性流动的理论复杂化,而且也常常易于使塑性与弹性相混淆。在测定时必须等待很长的时间,使松弛达到平衡后,才能得到真实的粘度。

流动性是液体重要特性之一,液体的流动

速度取决于外力的大小和液体的粘度。其规律是外力越小,其流动速度越大;粘度越小,流动速度越大。

影响橡胶粘流温度高低的因素很多,最明显的因素是橡胶的相对分子质量和其配方中的增塑剂。相对分子质量大的橡胶,其粘流温度就高;增塑剂的加入可以降低分子间的作用力,并增加其流动性,同时也可以降低橡胶的粘流温度。

对橡胶粘流态的研究具有工程应用的实际意义。对橡胶进行塑炼,其目的就是要降低其粘流温度,使它在混炼的温度条件下处于粘流状态,以便使配合剂在混炼过程中能够进行有效分散;对于压延和压出而言,同样要求胶料具有一定的粘流性,以利于片状半成品和其他各种断面半成品的制造,或者与布类织物粘着。也就是说,橡胶的加工成型过程必须通过粘流态来实现。

1.4 橡胶的弹性记忆效应

1.4.1 橡胶的弹性记忆特征

橡胶胶料被压出的尺寸和断面形状与口型的尺寸和形状不相同,这种膨胀与收缩的现象称为橡胶的“弹性记忆效应”,也称为巴拉斯效应(Baras Effect)。这种现象就是橡胶粘弹性的表现。该现象是橡胶分子链在压延、压出等加工过程中来不及松弛而形成的,即在流动过程中,不仅有可逆的塑性形变(真实流动),同时还有可逆的弹性形变(非真实流动)。

橡胶在压出流动过程中,之所以有弹性形变,主要有以下两个原因:

第一,橡胶在压出流动过程中存在着“入口效应”,即胶料进入口型之前,由于料筒直径较大,胶料在其中的流动速率较小,进入口型后,直径变小,则流动速度大,在口型的入口处,胶料的流线是收敛的。所以,在此处出现了沿流动方向的速度梯度。于是,对胶料产生了拉伸力。拉伸力对其分子链起着拉伸作用,使分子链的一部分变直。此时,在体积基本不变的情况下,产生了可恢复性的弹性形变。

胶料如果在口型中有足够的停留时间,即部分被拉直的分子链还可以得到松弛,就能够消除其弹性形变,不将形变带出口型之外,只带出真正的塑性形变。如果是这样的话,胶料压出后就不会有膨胀与收缩现象。然而,由于胶料被压出