

玻璃制造中的缺陷



● [联邦德国] H·基甫生—马威德 R·布吕克纳 著

● 黄照柏 译 贾循德 校

● 轻工业出版社

玻璃制造中的缺陷

〔联邦德国〕 H.基甫生-马威德

R.布吕克纳

著

黄照柏 译

贾循德 校

轻工业出版社

内 容 提 要

本书分为玻璃材料及识别其缺陷的方法、玻璃熔体中的缺陷和玻璃制品上的缺陷三个部分。第一部分介绍了可成为玻璃缺陷“潜在”根源的玻璃熔体性质（如粘度、表面张力、析晶等）和玻璃性质（如密度、比热和应力等）；第二部分阐述了气泡、析晶、条纹、玻璃熔体与耐火材料之间的相互作用、玻璃的色差等；第三部分叙述了瓶罐玻璃和平板玻璃等各种玻璃制品上的各种缺陷产生的情况及其质量控制等。

本书所介绍的都是些实际经验，具体、实用，对研究玻璃缺陷的产生和防止很有参考价值，适合于从事玻璃生产、加工和研制的技术人员和有关院校师生阅读。

Glastechnische Fabrikationsfehler

Hans Jebesen-Marwedel

Rolf Brückner

Springer-Verlag

Berlin·Heidelberg·New York 1980

玻璃制造中的缺陷

〔联邦德国〕H.基甫生-马威德 著

R.布吕克纳

黄照柏 译

贾循德 校

轻工业出版社出版

（北京广安门南滨河路25号）

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/16 印张：36⁴/16 字数：808千字

1988年2月 第一版第一次印刷

印数：1—4,300 定价：9.55元

ISBN 7-5019-0343-3/TS·0222

前 言

本书第二版脱销以后，很快就提出了发行新版本的要求。

前一版本的作者和编者认为有必要吸收一名编辑来协助第三版的编写。双方一致认为，虽然有关科学知识和经验资料日益增多，本书的插图及文字仍应保持在可容许的篇幅范围以内。

为了使层次更加清楚，将全书的具体内容作了重新安排和整理。要求突出重点，避免重复，并删去了目前已不甚重要的内容而使之更符合当前的科学水平。在这方面特别突出的是第四、六、十二各章。全书共十三章，除在各章中增加了新的内容外，还编进了内容全新的两章（第二、三章），篇幅也比较长。第二章介绍了玻璃的一些典型性质。这些“危险”的性质在只研究正常情况的工艺学中是不大去考虑的，而它们却可能具有产生缺陷的“潜在”根源的作用。第三章提供了目前使用的一些传统的和现代的操作方法。这些方法可以用来识别和检验玻璃缺陷以及进行生产上的监测。这样就完成了从玻璃制造缺陷的举例和描述到缺陷的消除这个重要的步骤，也就是从“病理学”到“治疗法”。第三章中还介绍了一些费用十分高的检验方法，所用设备也十分昂贵，不是每一个玻璃工业企业内部所能采用的。但是应该指出，虽然要借用外单位力量的援助，这些不寻常的检验方法获得效益的基本可能性对许多玻璃工厂是存在的。

一般说，本书的原则和任务没有改变。它仍然是在学习专业时从玻璃在“正常”情况下所学到的专业知识的补充，主要介绍一些“实际经验”。基本上还是从这样一个观点出发，即从带有缺陷或错误的事物中能学到的东西要比从一切都是正确进行的过程中学到的多得多。在日常生活中是这样，在生产技术中也是这样。要使工作做得卓有成效，必须遵循一定的规律。可是这些规律的基本观点却是从认真观察那些不希望出现的偏差和不能容许的失误中得出的。玻璃这种材料在文化、技术及经济领域中都十分重要。本书主要研究玻璃在手工操作以及工业生产过程中可能出现的各种有关问题。

如果本书的有关内容也像过去的版本那样在不久的将来能促使生产上由于废品所造成的损失明显减少，在与其他国家的专业团体的友好合作上有所贡献，对于编者以及协助编写本书的作者将是莫大的欣慰。

德国玻璃技术协会（DGG）对本书的编写与对前版一样提供了大量文献资料，并担负了一部分费用，谨表衷心感谢。

特别值得一提的是一些企业自愿提供了自己的生产经验资料，从而促进了专业技术界的友谊和团结合作。

编者

1980年5月

目 录

第一部分 玻璃材料及识别其缺陷的方法

第一章 绪论	(1)
1.1 玻璃是物质的一种特殊形态	(1)
1.1.1 玻璃材料是一种独特的处于热力学状态的材料	(2)
1.1.2 工业玻璃中的迟滞现象	(2)
1.1.3 玻璃缺陷是具有独自热力学系统的某一部分容积处于某一 发展阶段而形成的	(3)
1.2 生产中的缺陷是工艺学中“病态的”异常状态	(4)
1.2.1 材料缺陷是获得工艺技术知识的来源	(4)
1.3 成型过程中的物理变化	(5)
1.3.1 粘度变化的特定区域 (“长性”及“短性”玻璃)	(5)
1.3.2 实际运用	(6)
1.4 缺陷的分类	(7)
1.4.1 “可允许”的缺陷 (缺点) 的概括	(7)
1.4.2 玻璃制造工序及其产生缺陷的根源	(8)
1.4.3 生产中的几种缺陷之间有不可分割的联系 (举例)	(9)
1.4.4 缺陷的“潜在”根源的探索	(11)
1.5 玻璃向最佳性能发展	(12)
1.5.1 经验与科学研究	(12)
1.5.2 多元系统中的工艺技术区	(12)
文献	(14)
第二章 玻璃熔体及玻璃材料的性质	(16)
2.1 可成为缺陷“潜在”根源的熔体性质	(16)
2.1.1 密度及浮力	(16)
2.1.2 粘度	(18)
2.1.2.1 粘度与温度的关系	(18)
2.1.2.2 粘度随时间的变化	(20)
2.1.2.3 粘度与化学组成的关系	(21)
2.1.3 快速变形及大幅度变形时的粘弹性	(22)
2.1.4 表面张力、界面张力、润湿及界面对流	(23)
2.1.5 扩散、溶解和对流	(26)
2.1.6 蒸发及分解	(27)
2.1.7 多相的形成 (分相)	(29)

2.1.7.1	析晶(结晶)	(29)
2.1.7.2	分相	(32)
2.1.8	冻结状态、缺陷与玻璃同时冻结	(34)
2.2	可以成为缺陷“潜在”根源的玻璃性质	(35)
2.2.1	密度及热膨胀系数	(35)
2.2.1.1	α 与阳离子场强之间的简单关系	(37)
2.2.1.2	简单组成的玻璃的热膨胀系数硅酸盐玻璃	(37)
2.2.2	温度低于凝固点时玻璃的流动	(39)
2.2.3	含热量及热传导	(40)
2.2.3.1	比热	(40)
2.2.3.2	热传导	(41)
2.2.3.2.1	导热	(41)
2.2.3.2.2	给热系数(或传热分系数) α 和传热系数 k	(42)
2.2.3.2.3	辐射传热	(43)
2.2.3.2.4	辐射散热	(43)
2.2.4	热应力、耐温度剧变性和热应力数	(45)
2.2.4.1	冷却应力的产生	(45)
2.2.4.1.1	暂时应力(热应力)	(45)
2.2.4.1.2	永久应力	(46)
2.2.4.1.3	耐温度剧变性(TWB)和热应力数	(47)
2.2.4.2	退火过程(消除应力过程)	(47)
2.2.5	力学及断裂强度	(49)
2.2.5.1	应力与伸长的一般关系	(49)
2.2.5.2	几种不同负荷情况下的最大应力	(52)
2.2.5.3	裂纹附近的应力	(56)
2.2.5.4	强度判据	(56)
2.2.5.4.1	强度判据概述	(56)
2.2.5.4.2	影响强度的参数	(57)
2.2.6	化学稳定性	(60)
2.2.6.1	玻璃表面反应活性来源于玻璃结构	(60)
2.2.6.2	有水存在时玻璃与外界发生化学变化的基本情况	(60)
2.2.6.3	热作用下化学稳定性的变化	(63)
2.2.7	光学性质	(64)
2.2.7.1	折射率	(64)
2.2.7.2	反射	(66)
2.2.7.3	吸收率及透过率	(67)
2.2.7.4	光散射	(68)
	文献	(70)

第三章 玻璃缺陷的识别及检查方法——生产监控	(75)
3.1 检查外形缺陷的方法	(75)
3.1.1 基本概念	(75)
3.1.2 几种概念的规定	(76)
3.1.3 测定方法	(77)
3.1.3.1 光学法	(79)
3.1.3.1.1 光源法	(79)
3.1.3.1.2 透射光或反射光下线条格子的观察	(79)
3.1.3.1.3 阴影图(投影法)	(79)
3.1.3.1.4 干涉法(参阅3.2.3节)	(81)
3.1.3.1.5 条纹法	(83)
3.1.3.1.6 光学扫描法(维特豪尔仪)	(83)
3.1.3.2 光电法	(84)
3.1.3.2.1 透射光中的测定法	(84)
3.1.3.2.2 反射光中的测定法	(85)
3.1.3.3 机械法	(85)
3.1.3.3.1 探针法	(85)
3.1.3.4 机电结合法	(85)
3.1.3.5 气压法	(86)
3.1.3.6 电测法	(86)
3.1.3.6.1 电容法	(86)
3.1.3.7 射线法	(86)
3.1.3.8 显微镜法	(86)
3.2 检查条纹的光学方法	(86)
3.2.1 关于条纹的概念	(86)
3.2.2 条纹的光学检验法概述	(87)
3.2.3 干涉法	(88)
3.2.4 托普拉条纹法	(93)
3.2.5 阴影法	(95)
3.2.6 横断面切片的检查	(100)
3.2.7 条纹的应力光学检验法	(101)
3.3 检测应力的方法	(102)
3.3.1 玻璃中应力检测方法概述	(102)
3.3.2 应力光学法	(103)
3.3.2.1 应力光学的基本规律	(103)
3.3.2.2 用线偏振光的简单应力光学测定法	(106)
3.3.2.3 用回旋偏振光的简单应力光学测定法	(107)
3.3.2.4 赛纳蒙(Senarmont)的补偿法	(110)

3.3.2.5	贝瑞克(Berek)、巴比纳特 (Babinet) 与巴比纳特-索来尔 (Soleil) 补偿法	(111)
3.3.3	平板玻璃的自动记录应力测定	(112)
3.4	条纹的分析及夹入异物的检定——原料、质量及产品的监控	(115)
3.4.1	玻璃分析概述	(115)
3.4.2	条纹的检查	(117)
3.4.2.1	从形状上检查条纹	(117)
3.4.2.2	借助玻璃与条纹之间的全反射检查富含 Al_2O_3 的条纹	(118)
3.4.2.3	根据条纹的被侵蚀情况用干涉显微镜检查	(119)
3.4.2.4	从局部的化学组成测定来检查条纹	(120)
3.4.2.5	将条纹物质从周围的玻璃中分离出来进行检查	(121)
3.4.3	夹入异物的检查方法	(122)
3.4.4	显微镜下检定晶体的各种特征——硅酸盐结晶光学的基本知识	(124)
3.4.5	晶体的X-射线照相分析	(128)
3.4.5.1	前言	(128)
3.4.5.2	试样制备	(129)
3.4.5.3	摄影操作	(130)
3.4.5.4	显微镜与X-射线绕射组合	(130)
3.4.5.5	图像分析	(131)
3.5	解析的研究法——现代方法	(133)
3.5.1	用透射电子显微镜及扫描电子显微镜检查玻璃缺陷	(133)
3.5.1.1	电子显微镜在玻璃检查中的分辨能力、成像清晰深度、探测灵敏度, 试样制备以及电子显微镜的选择	(133)
3.5.1.2	玻璃缺陷、玻璃性质及其在电子显微镜下的检查效果	(137)
3.5.2	X-射线光谱分析及X-射线荧光分析	(141)
3.5.2.1	操作原理	(141)
3.5.2.1.1	电子冲击	(141)
3.5.2.1.2	荧光激发	(142)
3.5.2.2	X-射线检波器	(142)
3.5.2.3	射线测定仪	(142)
3.5.2.4	谱线深浅信息的分析	(143)
3.5.2.5	小结、仪器、使用范围	(143)
3.5.3	电子束微型探针	(144)
3.5.3.1	操作原理	(144)
3.5.3.1.1	非弹性散射电子(二次电子)	(144)
3.5.3.1.2	弹性散射电子(后向散射电子)	(145)
3.5.3.1.3	电磁波	(145)

3.5.3.2	对分析试样的要求	(146)
3.5.3.3	使用可能性的分析	(146)
3.5.3.4	在玻璃制造方面的使用情况	(147)
3.5.4	原子吸收光度计(AAS)	(147)
3.5.5	二次离子质谱仪(SIMS)、激发射线的光谱分析法(IBSCA或SCANIR)在玻璃、玻璃表面、沉积物层及气体分析中的应用	(149)
3.5.5.1	仪器设备	(149)
3.5.5.2	使用SIMS、IBSCA或SCANIR法分析固体物表面,特别是玻璃表面以及检定元素、分子或分子碎片的可能性	(151)
3.5.5.2.1	二次离子质谱分析法(SIMS)	(151)
3.5.5.2.2	由冲击离子或原子激发的射线的光谱分析	(152)
3.5.5.2.3	用SIMS、IBSCA或SCANIR法检查玻璃及定量分析时须注意的问题	(152)
3.5.5.3	SIMS及IBSCA法的使用举例	(154)
3.5.6	玻璃中的气泡及气体的分析	(155)
3.5.6.1	玻璃的气泡中所含气体的分析	(155)
3.5.6.1.1	分析方法上的要求	(155)
3.5.6.1.2	气泡分析方法	(158)
3.5.6.2	玻璃中气体含量的测定	(161)
3.5.6.2.1	通用方法	(162)
3.5.6.2.2	按照物料特点采用的方法	(162)
3.5.6.3	从气泡中的气体分析作出气泡缺陷的诊断	(163)
3.5.6.3.1	测定气泡中气体含量随时间的变化情况	(163)
3.5.6.3.2	气体含量分布及分布宽度的意义	(166)
3.5.6.3.3	从气体含量分布、可信区域、分析次数区分缺陷类型	(167)
3.5.6.3.4	其他判据	(168)
3.5.6.3.5	通过实验室规模的熔体澄清试验诊断无法接近的熔化池中缺陷	(169)
3.5.6.3.6	可接近的熔化池中的缺陷诊断	(170)
	文献	(172)

第二部分 玻璃熔体中的缺陷

第四章	玻璃熔体中的气体(气泡)	(183)
4.1	概述	(183)
4.2	配合料的熔化	(183)
4.2.1	熔化时配合料中的温度分布	(184)
4.2.2	配合料堆反应及初熔	(185)

4.2.3	熔化过程中气体的析出	(185)
4.2.4	影响熔化及澄清的措施	(189)
4.2.4.1	碎玻璃的作用	(189)
4.2.4.2	配合料中水分的作用	(191)
4.2.4.3	配合料中各组分颗粒度的作用	(191)
4.2.4.4	助熔剂的作用	(192)
4.2.4.5	将配合料压实(制成片状、块状或粗粒状)及预热的作用	(193)
4.2.5	玻璃中气泡的形成	(193)
4.3	气体在玻璃熔体中的溶解及扩散	(195)
4.3.1	气体在玻璃熔体中的物理溶解度	(195)
4.3.2	气体在玻璃熔体中的化学溶解度	(197)
4.3.2.1	水蒸气的溶解度	(197)
4.3.2.2	玻璃熔体中 CO_2 的溶解度	(199)
4.3.2.3	三氧化硫的溶解度	(200)
4.3.2.4	还原性硫化合物的溶解度	(202)
4.3.2.5	氮在玻璃熔体中的化学溶解度	(204)
4.3.2.6	氧在玻璃熔体中的化学溶解度	(205)
4.3.3	气体在玻璃熔体中的扩散	(208)
4.4	从熔体中排出气泡及气体(澄清、排气及均化)	(210)
4.4.1	玻璃熔体中气泡的上升	(211)
4.4.2	气泡从玻璃熔体中排出	(213)
4.4.3	化学澄清	(213)
4.4.3.1	化学澄清机理	(213)
4.4.3.2	氧澄清	(215)
4.4.3.3	硫酸盐澄清	(216)
4.4.3.4	氧化还原条件对硫酸盐澄清的影响	(218)
4.4.3.5	其他澄清剂	(223)
4.4.4	物理澄清法	(224)
4.4.5	均化及澄清	(225)
4.4.6	玻璃液流对玻璃澄清的作用	(226)
4.5	玻璃中的气泡	(228)
4.5.1	三种气泡类型的定义	(228)
4.5.2	气泡缺陷诊断的运用	(228)
4.5.3	澄清气泡	(230)
4.5.4	溶解的气体形成的气泡(再生气泡、重沸)	(230)
4.5.4.1	物理的原因(热重沸、机械重沸)	(231)
4.5.4.2	化学的原因:溶解度的变化:不同熔体之间的反应	(233)
4.5.4.3	电化学原因	(236)

4.5.5	由杂质产生的气泡	(237)
4.5.5.1	由气态杂质产生的气泡	(237)
4.5.5.2	固态或液态夹杂物造成的气泡	(242)
4.5.5.3	盐泡	(247)
	文献	(249)
第五章	熔化残余物、夹杂物、“结石”及析晶	(257)
5.1	概述	(257)
5.2	结石、节瘤、析晶中可能出现的结晶类型	(258)
5.2.1	二氧化硅 SiO_2	(258)
5.2.2	氧化铝 Al_2O_3	(262)
5.2.3	二氧化锆(斜锆石) ZrO_2 及硅酸锆(锆英石) $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	(263)
5.2.4	其他金属氧化物	(264)
5.2.5	硅酸钙	(264)
5.2.6	硅酸铝	(268)
5.2.7	硫酸盐	(271)
5.2.8	从结晶类型寻找缺陷根源	(272)
5.3	“结石”及节瘤的来源	(272)
5.3.1	来源于配合料及碎玻璃中的杂质	(272)
5.3.1.1	二氧化硅结石及节瘤	(275)
5.3.1.2	黑色结石	(276)
5.3.1.3	金属夹入物	(278)
5.3.2	来源于耐火材料的结石	(279)
5.3.2.1	液滴与节瘤	(282)
5.3.3	来源于玻璃熔体(析晶)	(283)
5.3.3.1	析晶形状概述	(284)
5.3.3.2	由析晶识别条纹及结石中的物质	(287)
5.3.3.3	工业玻璃的阶段析晶及晶体共生	(288)
5.4	光学玻璃方面出现的故障	(292)
	文献	(294)
第六章	条纹(玻璃中的玻璃)	(295)
6.1	玻璃中条纹的基本概念	(295)
6.1.1	定义及概述	(295)
6.1.2	各种条纹类型的形成过程	(296)
6.2	熔体中的均匀性故障	(297)
6.2.1	均匀度的概念	(297)
6.2.2	配合料的均匀度	(298)
6.2.3	初熔过程中的不均匀性	(299)
6.2.4	澄清过程的均化作用	(302)

6.2.5	物料的挥发性与粉尘是条纹产生的根源	(303)
6.2.5.1	粉尘	(304)
6.2.5.2	物料的挥发	(304)
6.2.5.2.1	含碱组分的挥发	(305)
6.2.5.2.2	含硼组分的挥发	(305)
6.2.5.2.3	含铅组分的挥发	(306)
6.2.5.2.4	含氟组分的挥发	(306)
6.2.5.2.5	其他挥发现象	(306)
6.2.6	窑炉气氛对条纹形成的作用	(308)
6.2.7	加入碎玻璃而形成的条纹	(311)
6.2.8	更换配合料而造成条纹	(315)
6.3	耐火材料壁面及其他部位出现的条纹	(316)
6.4	来自熔窑上部结构的条纹	(318)
6.4.1	窑上部结构结渣成为条纹产生的根源	(318)
6.4.2	来自窑璇的故障	(319)
6.5	对流及变形对条纹消散的作用	(321)
6.5.1	大容积中的液流: 通过扩散和变形达到均化(“扩散变形”).....	(321)
6.5.2	系统本身的局部流动: 密度差自然对流及界面对流	(324)
6.6	条纹在熔制过程中及成型过程中的状况	(326)
6.6.1	条纹的特殊性质在熔制过程及成型过程中发生的影响	(326)
6.6.2	条纹的排列通过成型而固定	(328)
6.6.3	隐藏的条纹	(333)
6.6.4	热条纹	(334)
	文献	(335)
第七章	玻璃熔体与耐火材料之间的相互作用	(342)
7.1	耐火材料	(342)
7.1.1	耐火砖及耐火灰泥的性质	(342)
7.1.2	耐火砖质量的分类	(342)
7.1.2.1	含氧化铝-二氧化硅的耐火砖.....	(342)
7.1.2.2	含SiO ₂ 的耐火砖.....	(343)
7.1.2.3	碱性砖	(343)
7.1.2.4	硅酸锆砖及灰泥	(344)
7.1.2.5	含碳化硅的制品	(344)
7.1.2.6	碳砖	(344)
7.1.2.7	熔铸砖	(344)
7.1.2.8	金属材料	(344)
7.1.3	隔热砖及轻质耐火砖	(344)
7.1.4	耐火砖的规格尺寸	(345)

7.1.5	由耐火材料产生的玻璃缺陷	(345)
7.2	耐火材料被玻璃熔体侵蚀时界面对流的特殊作用	(346)
7.2.1	优先在水平方向造成的侵蚀(“液面线腐蚀现象”).....	(346)
7.2.2	垂直方向的侵蚀(“气泡穿孔”及“金属滴穿孔”).....	(349)
7.2.3	防侵蚀措施的提示	(353)
7.3	来源于耐火材料的玻璃缺陷	(354)
7.3.1	隙缝和裂纹为侵蚀的入侵点	(354)
7.3.2	共熔侵蚀	(357)
7.3.2.1	熔渣流反应顺序的影响	(359)
7.3.2.2	由杂质引起的熔渣	(362)
7.3.2.3	硅砖碳顶结渣及其危害	(364)
	文献	(368)
第八章	玻璃的色差	(370)
8.1	色差是什么	(370)
8.2	色差的作用	(370)
8.2.1	色差对使用价值的作用	(370)
8.2.2	色差在熔制工艺技术上的作用	(370)
8.3	色差的判断	(371)
8.3.1	目测判断	(371)
8.3.2	定量的颜色测定	(371)
8.4	玻璃中颜色的来源	(374)
8.4.1	由于铁含量引起的色差	(375)
8.4.1.1	铁的来源	(376)
8.4.1.2	熔体内部的作用(“化学脱色”).....	(376)
8.4.1.3	外部对玻璃色差的影响	(378)
8.4.2	其他杂质造成的色差	(378)
8.4.3	改变色调	(379)
8.4.3.1	加入少量着色剂以调整色调(“物理脱色”).....	(379)
8.4.3.2	光线改变色调	(379)
8.4.4	颜色玻璃的色差	(380)
8.4.4.1	碳黄玻璃的色调	(381)
8.4.4.2	棕色玻璃药瓶的色调	(381)
	文献	(382)

第三部分 制品上的缺陷

第九章	瓶罐玻璃和压制玻璃制品上的成型缺陷及表面缺陷	(383)
9.1	成型过程的有关基本概念	(383)
9.2	玻璃容器的各部分和几种极重要的口型	(384)

9.3	玻璃成型机的成型操作原理	(385)
9.3.1	玻璃瓶	(385)
9.3.1.1	IS-成型机	(385)
9.3.1.2	罗朗特 (Roirant) S10 成型机	(388)
9.3.2	压制玻璃制品	(389)
9.4	表面缺陷	(391)
9.4.1	表面上的皱纹及折痕(鼓泡、麻斑等)	(391)
9.4.2	流线波纹	(392)
9.4.3	玻璃表面撕裂(粘模)	(394)
9.4.4	瓶口“粗糙”	(394)
9.4.5	模子表面造成的印纹	(395)
9.4.6	玻璃与冲头或芯子粘连, 玻璃拉丝	(397)
9.4.7	由杂质造成的印纹	(399)
9.4.8	刮伤或擦伤	(399)
9.4.9	玻璃表面的火斑(灰尘点)	(399)
9.4.10	通过加热将玻璃烫平	(400)
9.4.11	成品加工及精加工中的表面缺陷	(401)
9.4.11.1	研磨及刻花	(401)
9.4.11.2	彩绘珐琅画面缺陷	(405)
9.4.11.3	酸蚀装饰	(406)
9.5	裂纹及断裂	(407)
9.5.1	成型过程中形成的裂纹	(407)
9.5.2	玻璃的粘连	(409)
9.5.3	成型后出现的裂纹	(410)
9.5.4	从口部崩落玻璃碎片	(410)
9.5.5	成型后的破损	(410)
9.6	玻璃熔体中的不均匀物	(410)
9.7	壁厚的分布	(411)
9.8	合缝线	(414)
9.8.1	玻璃容器上不同部位的合缝线	(414)
9.8.2	剪料切痕	(416)
9.8.3	压制玻璃的合缝线	(416)
9.9	外形的缺陷、重量及容量	(417)
9.9.1	吹制及压制的玻璃器皿的不完整部分	(417)
9.9.2	成型后变形造成的外形缺陷	(419)
9.9.3	规格准确程度(尺寸、重量、容量)	(420)
9.10	质量控制	(421)
	文献	(422)

第十章	平板玻璃的成形缺陷	(424)
10.1	引言	(424)
10.2	各种平板玻璃共同的成型缺陷	(425)
10.3	浮法玻璃的成型缺陷	(428)
10.4	引上法平板玻璃(机制玻璃板)的成型缺陷	(429)
10.4.1	弗克法玻璃的缺陷	(430)
10.4.2	利比-欧文斯法玻璃的成型缺陷	(430)
10.4.3	匹兹堡法玻璃的成型缺陷	(431)
10.5	研磨及抛光的压延玻璃的成型缺陷	(431)
10.5.1	滚压过程中产生的成型缺陷	(432)
10.5.2	研磨造成的成型缺陷	(433)
10.5.3	抛光产生的成型缺陷	(434)
10.6	压延玻璃制品的成型缺陷	(436)
10.6.1	夹丝玻璃的成型缺陷	(438)
10.6.2	压花玻璃的成型缺陷	(439)
10.6.3	火焰抛光表面的压延玻璃成型缺陷	(440)
10.7	弯曲玻璃板的成型缺陷	(441)
10.8	安全玻璃中的缺陷	(443)
10.8.1	热钢化安全玻璃中的缺陷	(443)
10.8.2	夹层安全玻璃中的缺陷	(444)
10.9	由表面机械擦伤造成的缺陷	(445)
10.10	研磨等后加工造成的缺陷	(446)
	文献	(450)
第十一章	玻璃表面的化学变化	(451)
11.1	引言	(451)
11.2	由化学反应引起的表面变化	(453)
11.2.1	有水参与的变化	(453)
11.2.1.1	水分过量的情况	(453)
11.2.1.2	水分不足的情况(潮湿)	(456)
11.2.1.3	关于玻璃发乌的倾向以及形成斑点的几种检验法	(460)
11.2.2	有酸参与所发生的变化	(462)
11.2.2.1	过量的酸性水溶液	(462)
11.2.2.2	气态的酸(工厂中的烟气)	(463)
11.2.3	有碱参与的表面变化	(465)
11.2.3.1	过量的碱	(465)
11.2.3.2	不足量的碱	(466)
11.3	对玻璃表面的特殊化学作用(不希望发生的)	(466)
11.3.1	水在玻璃表面的润湿作用被破坏	(466)

11.3.2	浮法玻璃上的特殊化学变化	(469)
11.3.3	表面上重金属氧化物的还原	(471)
11.3.4	从玻璃表面逸出有害离子(铅溶出)	(471)
11.3.5	洗涤机中冲洗后玻璃表面的变化	(473)
11.4	使玻璃表面产生化学变化的技术	(476)
11.4.1	用离子交换达到化学钢化	(477)
11.4.2	与气体离子交换加工玻璃(特别是提高玻璃容器的抗水性能).....	(478)
11.4.3	表面涂层以改善玻璃的质量	(479)
11.4.3.1	玻璃容器内表面的硅烷化	(481)
11.4.3.2	玻璃容器外表面涂层以提高抗冲击强度或降低表面磨损	(482)
11.4.3.3	平板玻璃表面涂层以改变其光学性质	(483)
11.4.3.4	关于涂层的其他方面	(484)
11.5	用热处理改变玻璃的表面	(486)
	文献	(488)
第十二章	玻璃中断裂的形成及其发展	(495)
12.1	断裂力学的理论基础	(495)
12.1.1	线弹性断裂力学原理概述	(495)
12.1.2	负荷类型 I 的裂口附近的应力及其移动情况	(496)
12.1.3	负荷类型 II 的裂纹附近的应力及移动情况	(498)
12.1.4	各种裂纹形状的应力强度系数 K_I	(498)
12.1.4.1	在拉伸应力作用下板上或板内的单一裂纹	(499)
12.1.4.2	玻璃板在弯曲应力作用下的表面裂纹	(500)
12.1.4.3	远离板边在拉伸应力作用下的椭圆形内部裂纹	(501)
12.1.4.4	拉伸应力作用下的椭圆形表面裂纹	(501)
12.1.5	负荷类型 I 及 II 叠加时的应力	(502)
12.1.6	几道裂纹共同作用下的 K -系数	(503)
12.1.7	裂纹扩大时的能量转化	(504)
12.2	形成断裂的基本过程	(505)
12.3	各种静负荷下的断裂形成	(509)
12.3.1	玻璃丝在拉伸试验中的断裂形成	(509)
12.3.2	由弯曲形成的断裂	(510)
12.3.3	玻璃瓶爆裂时的断裂现象	(512)
12.3.4	热效应导致的暂时应力参加下的断裂形成	(513)
12.3.4.1	实际事例	(514)
12.3.4.2	对解释热效应造成破裂问题的探索	(516)
12.3.5	永久热效应应力参与下的断裂过程	(519)
12.3.5.1	均一玻璃体在预制应力作用下造成的破裂	(519)
12.3.5.2	由于玻璃与金属封接点的应力造成的破裂	(522)

12.3.6	由压力负荷造成的破裂	(524)
12.4	在冲击负荷下产生的破裂	(525)
12.5	裂纹扩大	(529)
12.5.1	裂纹扩大的方向; 由弹性波造成的断裂面的变化情况	(529)
12.5.1.1	超声波线	(529)
12.5.1.2	瓦尔纳 (Wallner) 线	(532)
12.5.2	裂纹发展速度的大小	(535)
12.6	断裂面的形态学	(536)
12.6.1	部分裂纹前缘之间的交界线——断裂双曲线及断裂抛物线	(536)
12.6.2	柳叶刀形裂纹	(538)
12.6.3	停顿线及过渡线	(540)
12.6.4	裂纹分枝	(541)
12.6.5	典型断裂面形状举例	(544)
12.6.5.1	弯曲造成的断裂面	(544)
12.6.5.2	预制应力玻璃的断裂面	(545)
12.6.5.3	玻璃板中裂纹系统的侧视图	(545)
12.7	玻璃的“切割”	(546)
12.8	玻璃的研磨及抛光	(551)
	文献	(554)
第十三章	玻璃“缺陷”作为装饰	(558)
	文献	(561)