

全国卫生院校高职高专教学改革实验教材

口腔材料学 基础

● 口腔医学、口腔医学技术专业用 ●

主编 马莉



高等教育出版社

全国卫生院校高职高专教学改革实验教材

口腔材料学基础

口腔医学、口腔医学技术专业用

主 编 马 莉
编 者 (以姓氏拼音为序)
蒋 菁 (唐山职业技术学院)
兰仁刚 (辽东学院医学院)
马 莉 (唐山职业技术学院)
潘 灏 (苏州卫生职业技术学院)
闫亚平 (济宁医学院附属医院)
杨家瑞 (广州医学院)
赵 军 (日进齿科材料有限公司)
赵宗富 (荆门职业技术学院)

高等教育出版社

内容简介

本教材着重介绍各种口腔材料的性能特点与应用,为学习其他口腔专业课打下良好的基础。本教材打破现有各口腔材料学版本的传统模式,从体现教材的应用性入手,按材料的用途分为印模材料,模型材料,包埋材料,义齿材料,充填、粘固材料,粘接材料,种植材料,口腔预防保健材料和其他材料等九部分内容。同时注意了教材的实用性,增加了一些在同类教材中未见出现的插图和彩图。

本教材适用于高职高专口腔医学与口腔医学技术专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

口腔材料学基础/马莉主编. 北京:高等教育出版社,2005.9

口腔医学、口腔医学技术专业用

ISBN 7-04-017886-9

I. 口... II. 马... III. 口腔科材料-高等学校: 技术学校-教材 IV. R783.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 104328 号

策划编辑	秦致中	责任编辑	应丽贞	封面设计	于文燕	责任绘面	朱 静
版式设计	马静如	责任校对	张 颖	责任印制	韩 刚		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 11
字 数 270 000
插 页 3

版 次 2005 年 9 月第 1 版
印 次 2005 年 9 月第 1 次印刷
定 价 18.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17886-00

前 言

本教材致力于贯彻以全面素质为基础,以能力为本位的教育观念,以适应社会需要为目标,从社会对卫生技术专业人才需要的实际出发,尽力将口腔医学及口腔工艺技术领域的新技术、新知识、新思想、新理论和新工艺在教材中反映出来。与同类教材相比,着重体现了教材的应用性与实用性,改变按材料的性能分类介绍的传统模式为按材料的用途分类介绍。同时简化了一些较复杂的反应原理,突出了材料的性能与应用。全书共附有黑白插图 71 幅、彩图 28 幅,更有利于学生学习与掌握。

通过本教材的学习可使学生了解和掌握口腔专业各种常用材料的性能与应用,为学习其他口腔专业课打下良好的基础。

阅读本教材时应将学习重点放在各种材料的应用特点上,并注意与各专业临床课特别是口腔修复学相结合。

本教材总学时数为 72 学时,其中建议理论学习 46 学时,实际操作 26 学时。建议学时分配如下:

编写内容	建议学时分配		编写人员
	理 论	实 践	
第一章 绪论	2		潘灏、赵军
第二章 印模材料	4	4	
第三章 模型材料	6	6	蒋菁、马莉
第四章 包埋材料	6	6	杨家瑞
第五章 义齿材料	12	8	闫亚平、蒋菁、兰仁刚
第六章 充填、粘固材料	6	2	赵宗富
第七章 粘接材料	2		马莉
第八章 种植材料	2		兰仁刚
第九章 口腔预防保健材料	2		
第十章 其他材料	4		
合计	46	26	

本教材所使用的名词以“全国自然科学名词审定委员会”公布的医学名词为准。采用我国法定计量单位。

本教材的插图及实验部分得到了日进齿科材料有限公司的大力支持,在此深表谢意。

在教材编写过程中,除得到各编者单位的大力支持外,还得到厦门市口腔医院及姚江武院长的大力支持,在此一并敬致谢意。

由于我们水平有限,本教材难免有不妥和错误之处,真诚希望广大读者批评指正。

马 莉

2005 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1	四、印模蜡	31
第一节 概述	1	小结	31
一、口腔材料学的发展简史	1	思考题	31
二、口腔材料的标准和标准化组织	2	第三章 模型材料	33
三、口腔材料的分类	3	第一节 蜡型材料	33
第二节 口腔材料的性能	3	一、概述	33
一、物理性能	3	二、铸造蜡	34
二、机械性能	5	三、基托蜡	35
三、化学性能	10	四、其他蜡型材料	35
四、生物性能	10	第二节 石膏类模型材料	36
小结	12	一、熟石膏	36
思考题	12	二、硬质石膏	38
第二章 印模材料	13	三、超硬石膏	39
第一节 概述	13	四、特殊用途石膏	39
一、印模材料应具备的条件	13	小结	39
二、印模材料的分类	13	思考题	40
三、印模材料的性能	14	实际操作	41
四、印模材料与模型材料的关系	16	实验一 印模材料的调和及其尺寸	
第二节 弹性印模材料	17	变化实验(4 学时)	41
一、藻酸盐类印模材料	17	实验二 蜡型材料的应力松弛形变	
二、琼脂印模材料	20	实验(2 学时)	43
三、硅橡胶印模材料	23	实验三 石膏的调和实验(2 学时)	44
四、聚硫橡胶印模材料	24	实验四 石膏的固化实验(2 学时)	46
五、聚醚橡胶印模材料	26	第四章 包埋材料	48
六、丙烯酸类功能印模材料	28	第一节 概述	48
第三节 非弹性印模材料	28	一、分类及特点	48
一、印模膏	28	二、性能要求	49
二、氧化锌丁香酚印模糊剂	29	第二节 中熔合金铸造包埋材料	50
三、印模石膏	30	一、组成	50

二、性能	51	实验七 包埋料对铸件尺寸精度的 影响(6学时)	102
三、应用	55	第六章 充填、粘固材料	107
第三节 高熔合金铸造包埋材料	56	第一节 水门汀	107
一、磷酸盐包埋材料	56	一、磷酸锌水门汀	107
二、硅胶包埋材料	59	二、氧化锌丁香酚水门汀	109
第四节 其他特殊包埋材料	60	三、氢氧化钙水门汀	110
一、铸钛包埋材料	60	四、聚羧酸锌水门汀	111
二、铸造陶瓷包埋材料	62	五、玻璃离子水门汀	112
小结	62	第二节 根管充填材料	114
思考题	62	一、固体类根管充填材料	115
第五章 义齿材料	63	二、糊剂类根管充填材料	116
第一节 基托树脂	63	三、液体类根管充填材料	117
一、概述	63	第三节 复合树脂	118
二、加热固化型基托树脂	64	一、种类	118
三、室温化学固化型基托树脂	68	二、组成	119
四、光固化型基托树脂	70	三、性能	121
第二节 人工牙	70	四、应用	123
一、树脂牙	70	第四节 银汞合金	124
二、陶瓷牙	72	一、组成	125
第三节 陶瓷材料	72	二、固化反应	125
一、概述	72	三、性能	126
二、烤瓷材料	74	四、银汞合金的应用及防护	129
三、金属烤瓷材料	77	小结	129
四、铸造陶瓷材料	79	思考题	130
第四节 金属材料	81	实际操作	131
一、概述	81	实验八 水门汀调和实验(2学时) ...	131
二、锻造合金	85	第七章 粘接材料	133
三、铸造合金	86	第一节 概述	133
第五节 义齿软衬材料	96	一、种类	133
一、丙烯酸酯类义齿软衬材料	96	二、应用范围	133
二、硅橡胶类软衬材料	97	第二节 粘接机制	134
小结	98	一、粘接力的形成	134
思考题	98	二、粘接力形成的必要条件	134
实际操作	99	三、粘接技术要点	134
实验五 义齿基托树脂的固化 实验(2学时)	99	第三节 各种表面处理技术	135
实验六 加热固化型基托树脂的聚合 与尺寸精度实验(6学时) ...	100	一、牙釉质的表面处理	135
		二、牙本质的表面处理	135

三、修复体表面处理方法	136	二、牙粉	152
第四节 常用粘接剂	136	三、邻间清洁刷	152
一、牙釉质粘接剂	136	四、牙签、牙线	152
二、牙本质粘接剂	136	小结	153
三、骨及软组织粘接剂	137	思考题	153
小结	137	第十章 其他材料	154
思考题	138	第一节 切削与研磨材料	154
第八章 种植材料	139	一、切削与研磨的特点	154
第一节 概述	139	二、切削与研磨材料的种类及性能	155
一、种类	139	第二节 分离剂和清洁材料	157
二、性能	140	一、分离剂	157
第二节 金属种植体	141	二、清洁材料	158
一、种植用金属材料	141	第三节 义齿稳定材料	160
二、金属种植体的用途	141	一、组成	160
第三节 种植陶瓷材料	143	二、性能	160
一、种类与组成	143	三、应用	160
二、性能	144	第四节 颌面缺损修复材料	161
三、应用	144	第五节 成品材料	161
小结	144	一、义齿修复用成品材料	161
思考题	144	二、正畸用成品材料	162
第九章 口腔预防保健材料	145	三、颌面外科用成品材料	164
第一节 概述	145	四、牙体缺损修复用成品材料	165
第二节 窝沟点隙封闭剂	145	第六节 焊接材料	165
一、组成	145	一、焊接合金	165
二、性能	146	二、焊媒	166
三、应用	147	第七节 其他辅助材料	167
第三节 牙刷与牙膏	147	一、咬合调整材料	167
一、牙刷	147	二、压接赋形材料	167
二、牙膏	149	小结	167
第四节 其他口腔保健材料	152	思考题	167
一、防龋摩擦剂	152	参考文献	168

第一章 绪 论

学习要点 口腔材料学的发展简史;口腔材料的分类;口腔材料的各种性能

口腔材料学是口腔医学的重要组成部分之一,口腔材料学的发展推动了口腔医学的进步,同时口腔医学也带动了口腔材料学的发展。口腔材料的良好性能是临床应用安全有效的保证。本章介绍口腔材料学的发展简史、口腔材料的标准和标准化组织、口腔材料的分类。并分别从口腔材料的物理性能、机械性能及其相关的测试方法、化学性能、生物性能等方面进行了系统介绍。

第一节 概 述

口腔医疗可改善口腔疾病患者的健康状况,提高生活质量。在实施口腔医疗的过程中,为达到治愈或防治的目的,必须使用各种口腔材料。因此,口腔医学的发展与口腔材料学的进步,有密不可分的联系。该学科随着科学技术的进步而发展,并受到众多边缘学科的直接影响。每种材料具有不同的特性,根据不同的用途,需选择不同的材料。特别对于口腔工艺技术专业,口腔材料学是与口腔解剖学同等重要的学科。在充分掌握牙体解剖形态、颞下颌系统的生理功能,以及口腔材料正确的使用方法后,才能学习后续课程。在临床应用过程中经常会遇到陶瓷修复体上会出现气泡;修复体在工作模型上密合性很好,但在口腔内无法就位等问题。因此,在学习口腔材料学的过程中,需把理论与实践相结合,认真做好每次实验记录,并加以总结,才能真正掌握口腔材料学的实质。

一、口腔材料学的发展简史

在人类发展的历程中,一直受到口腔疾病的困扰。不同的年代,人们就地取材,尝试使用相关的材料,治疗口腔疾病。因此,口腔材料的应用与口腔医疗活动几乎是同时产生和发展的。据马可·波罗(1254—1324)的游记记载:“这个省区的男人和女人,都有用金箔包牙的风俗,且依照牙齿的形状包镶得十分巧妙,并能保持与牙齿的一致性”。

近代,我国口腔材料的发展经历了比较艰辛的过程。解放前由于基础工业落后,大部分口腔临床材料无法自给自足。与此同时,二战后欧美及日本的口腔材料工业飞速发展,几乎垄断了整个行业。新中国成立后,我国重视口腔材料的研发,大部分省会城市和直辖市都建立了口腔器材工厂。同时,为满足教学和科研需要,各个医学院校的口腔系,设立了口腔材料学教研组。当时,由于生活水平所限,口腔材料的整体水平不高。改革开放后,国外知名的口腔材料生产商纷纷来

我国建厂,带来了先进的管理理念、研发手段,促进了我国口腔材料行业的繁荣。随着经济全球化、商品贸易自由化的发展,国外各大厂商几乎都在我国建立了商品流通的渠道。迄今,高端口腔器材的消费已接近平民化。同时,随着我国综合国力的不断提升,国内口腔材料的研发也得到飞速发展,与发达国家产品的差异正逐渐减小,部分产品的质量已接近国际先进水平。一些落后的观念、落后的工艺和设备正被迅速更新,带动我国口腔医学逐渐形成一个崭新的局面,推动我国的口腔材料行业早日登上世界的舞台。

为整体规划医疗器械行业的发展,提高我国人民的生活质量,1999年国务院发布了《医疗器械监督管理条例》,并委托国家食品药品监督管理局对口腔材料的生产及销售制定了新的政策。自2000年4月1日起口腔材料的生产和销售需具备生产(销售)企业许可证、医疗器械产品注册证、合格证后,才能从事该行业的生产和销售,为口腔材料的安全性提供了有效的保障。

二、口腔材料的标准和标准化组织

在口腔材料的长期生产、使用和研究过程中,产品的标准化工作越来越受到企业、科研机构和政府主管部门的重视。为了保证口腔材料的安全有效性,推动口腔材料的发展,需要建立统一的技术要求和测试手段,也是对共同的对象能重复使用的规则。

口腔材料的标准是评价该材料各种性能的技术文件,包括材料的生物相容性、理化性能、检测方法及判定标准、包装标识的要求。该标准能保证口腔材料的安全有效性,同时也能保证其正确地使用。口腔材料关系到人身健康,在任何国家,产品标准都是作为其上市生产销售的注册申请需提交的基础技术文件,需经相关主管部门审核批准。上市后,生产企业必须保证产品符合该标准并随时接受市场监督。生产企业还应主动通过不断提高产品标准来提高产品质量,服务社会。

我国口腔材料的标准分为企业标准、行业标准及国家标准。行业标准由国家食品药品监督管理局批准颁布,国家标准由国家技术监督局颁布。按照国家规定,企业可制定行业标准,国家鼓励企业制定高于国家标准或行业标准的企业标准。

在口腔医学界中,美国牙科协会率先开展标准制定的工作。自1928年来已制定60多项美国牙科协会标准。为建立国际统一的测试标准,国际牙科联盟和国际化组织(ISO)等积极制定了多项口腔材料和器械的技术规范。

ISO是一个国际性、非政府性组织,其主要目标是制定国际标准。ISO由143个国家的标准化团体组成,中国国家技术监督局代表中国作为ISO的成员。在国际牙科联盟的建议下,ISO成立了牙科技术委员会,即ISO/TC 106 - Dentistry,作为ISO的分支机构。该委员会的责任是为各种口腔材料、器械和设备制定标准化的专业技术术语、测试方法和质量规范。

中国是国际标准化组织牙科技术委员会的成员。全国口腔材料和器械设备标准化技术委员会(简称TC99)成立于1987年12月,该委员会受国家食品药品监督管理局和国家技术监督局的委托,负责我国口腔材料和器械设备的国家标准和行业标准的规划、制定和管理等工作。它还承担了与ISO/TC106对口的业务工作。每年该委员会都积极参与口腔材料和器械设备的国际标准的制定工作,代表中国政府和企业提出自己的立场和意见,还积极组团参加每年国际标准制定审核的年会。至今,我国已制定了40余项口腔材料的行业标准。尤其在20世纪末,随着我国市场经济体制的逐步完善,对外开放的进一步扩大,以及加入WTO的要求,结合国内口腔材料的生产、销售和使用情况,全国口腔材料和器械设备标准化技术委员会,积极转化、更新现有的ISO口腔材料的国际

标准为中国行业标准,提升了国内相关口腔材料的技术要求,提高了国内产品的市场竞争力。

三、口腔材料的分类

口腔材料的品种繁多,分类标准和分类方法各异,可从不同的角度分类。

(一) 材料用途分类

1. 印模材料
2. 模型材料
3. 包埋材料
4. 义齿材料
5. 充填、粘固材料
6. 粘接材料
7. 种植材料
8. 口腔预防保健材料
9. 其他辅助材料

(二) 按材料性质分类

1. 有机高分子材料
2. 无机非金属材料
3. 金属材料

(三) 按材料的应用部位分类

1. 非植入人体的材料
2. 植入人体的材料

(四) 按材料与口腔组织的接触方式分类

1. 直接、暂时与口腔组织接触的材料
2. 直接、长期与口腔组织接触的材料
3. 间接与口腔组织接触的材料

第二节 口腔材料的性能

一、物理性能

对于口腔材料,物理性能非常重要,例如制作义齿时,合金的熔化及温度的改变会产生与热反应相关的尺寸变化,此外还涉及与美观相关的光学性能。

(一) 尺寸变化

在不同环境下,使用各种口腔材料,受物理及化学因素的影响,成型体的尺寸会产生不同程度的形变,称为尺寸变化(dimensional change)。尤其对于印模材料、模型材料、包埋材料、充填材料、蜡型材料的影响最大。研发上述材料时,应尽量减少尺寸变化。但临床应用时,受操作环境及其方法的影响,人为因素较多,实际尺寸变化远大于实验室数据,应引起大家注意。

其表达方式为

$$\text{尺寸变化率} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: L_0 为原长(mm); L 为变化后的长度(mm)。

(二) 热膨胀

通过上升 ΔT 的温度, 长度为 L_0 的物质, 延伸出 ΔL (图 1-1), 或者体积为 V_0 的物质, 增加出 ΔV 的部分, 计算式如下:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \text{ 或 } \Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

式中: 常数 α 为线膨胀系数(linear expansion coefficient); β 为体膨胀系数(cubic expansion coefficient)。

对于立方体, 所有方向的边长均等增加时, 体积也相应增加。线膨胀与体膨胀的关系为 $\beta = 3\alpha$ 。

温度升高时, 物体沿着一定方向的长度的增加, 称为线膨胀。

一般物体受热时, 体积增大的现象, 称为体膨胀。

热膨胀系数(thermal expansion coefficient)是表征物体长度(或体积)随温度变化的物理量。部分口腔材料的热膨胀系数, 见表 1-1。

表 1-1 牙质及口腔材料的热膨胀系数(单位为 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

材 料	热膨胀系数	材 料	热膨胀系数
嵌体蜡	350~450	金合金	15.0
聚硫橡胶印模材料	140	金属熔附陶瓷	12.0
窝沟封闭材料	80	牙质	11.4
丙烯酸树脂	76	氧化铝陶瓷	6.6

口腔材料中, 热膨胀系数对金属陶瓷修复体、包埋材料和充填材料有很大影响。包埋材料的热膨胀系数直接关系到修复体的精度, 若不密合则为不良修复体, 将引发龋病。充填体与牙体热膨胀系数差异过大, 易使充填体产生微裂或与窝洞之间产生缝隙, 引发继发龋及牙髓炎。金属与陶瓷的热膨胀系数差异过大, 将影响金属与陶瓷的结合, 易使陶瓷脱落。

(三) 热导率

有温度差的 2 个物体相接触, 热量从高温侧(T_2)向低温侧(T_1)传导, 最终达到两者的温度相等的状态(图 1-2)。

牙釉质与牙本质的热导率(thermal conductivity)小, 易于保护牙髓少受热刺激。

患牙充填修复体后, 热刺激将通过修复体传导到牙髓, 产生危害作用。此外, 树脂基托的热导率小于钴铬合金或钛合金等金属基托, 食物的温度难以传导到口腔黏膜。

(四) 流电性

若用不同金属制作修复体, 在口腔环境中(唾液相当于电解质溶液)异种金属相接触, 根据原电池原理,

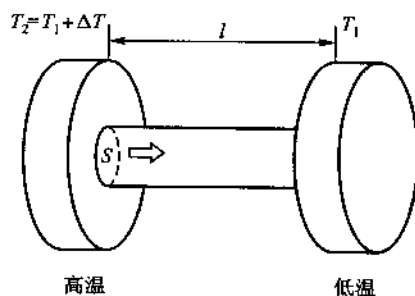


图 1-2 导热示意图

不同金属之间的电势不同,将会产生电势差,导致微弱的电流产生,这种性质称为流电性(galvanism)。为防止发生该现象,对同一患者,原则上采用同一种金属制作修复体为宜。

(五) 润湿性

不同性质的物质相接触的面称界面。液体在固体表面扩散的趋势称为液体对固体的润湿性。润湿性越好越容易扩散,接触面积越大;反之,润湿性越差表示越不容易扩散,接触面积越小。

(六) 色彩性

口腔医疗不仅应修复硬软组织的形态,恢复生理功能,还应恢复口唇的美观。因此,需掌握色彩的和谐性,正确把握患者对美观的需求。

颜色由非彩色和彩色构成。彩色指黑白以外的所有颜色。彩色由三个特性构成。

色调:色名,也是彩色的特性,如红、蓝、绿。

彩度:色的纯度。

明度:明亮度,反映物体对光的反射本领。

颜色的测定一般采用分光光度色彩计、光电色彩计和视感色彩计等测定,以及用比色板进行比色。

由于各个患者的年龄、性别、牙色不同,为恢复美观效果,临床上通常采用比色板为色样,或使用专业比色机,在特定的环境中比色。

(七) 光的折射与反射

光从折射率为 n_1 的物质 I 开始,进入到折射率为 n_2 的物质 II。在界面,光的一部分为反射光,其余为折射光进入物质 II 中(图 1-3)。入射光与折射光成 $\sin i / \sin r = n_2 / n_1 = n_{12}$ 的关系。 n_{12} 是物质 II 相对于物质 I 的相对折射率。反射光的强度由折射率 n_1 及 n_2 决定。例如,钻石的折射率较高(2.417),光从界面垂直射入后,约有 34% 的光被反射。此外,玻璃的折射率(1.517)接近与空气,约 4% 的入射光被反射。由此可见,折射率的差越大,反射光越强。

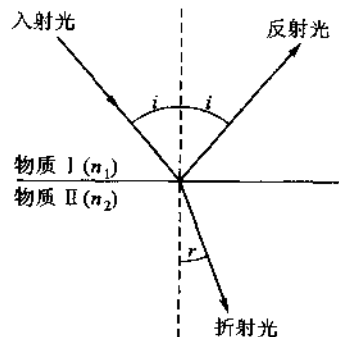


图 1-3 光的反射与折射

对于口腔美容修复的陶瓷及光固化材料,除了在修复体表面被反射的光外,射入修复体内部的光,遇到细微的颗粒被重复反射或折射,产生光的扩散,成不透明状。

在涉及陶瓷等口腔美容修复时,不同年龄的患者,牙齿的表面性状也有所不同。因此,反射与折射的情况也有所差异。

即使修复体的色调与余留牙一致,由于光泽的区别,难以达到理想的修复效果。应仔细观察邻牙的光泽和致密度,必要时可预先准备不同光泽的修复体样品,与余留牙对照。由于陶瓷材料与牙体物质的组成不同,可采用必要的技术手段,例如陶瓷修复体上釉前,用砂纸锥、小布轮蘸取石英砂抛光等,使修复体的表面性状尽量接近余留牙。

二、机械性能

机械性能是所有口腔材料所具有的基本性能,在口腔材料学中占有独立的地位。在使用各种不同的口腔材料时,需充分理解其强度、硬度及延伸率等机械性能。

(一) 应力与应变

如图 1-4 所示,材料受到压缩力、拉力、剪断等外力产生变形时,材料的内部发生与外力相对抗的内力。该内力称为应力(stress)。因此,应力以同等的力对抗外力。

应力表述为单位面积的力:

$$\sigma = P/S$$

式中: σ 应力(MPa); P 外力(N); S 受力面积(mm²)。

材料受外力引发变形,其变形量称为应变(strain)。应变以长度的变化量除以材料原长来表示。

$$\epsilon = \Delta L/L$$

式中: ϵ 为应变(可以用绝对值或百分比表示); ΔL 为长度变化量(mm); L 为实验体原长(mm)。

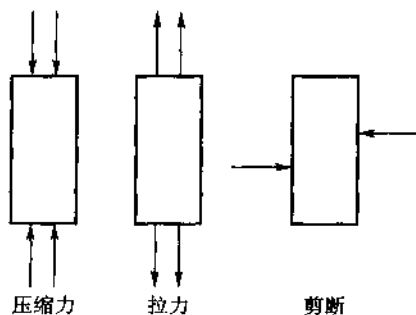


图 1-4 材料受力之一

(二) 应力-应变曲线

采用万能试验机拉试件,应力与应变的关系如图 1-5 所示,形成应力-应变曲线(stress strain curves)。OP_L 表示应力与应变的比例关系,其上限 P_L 称为比例极限。超过 P_L 到达 E_L 的阶段,应力与应变间不再是直线关系,但卸载后可恢复应变,这种弹性变形范围内的最大应力,称为弹性极限。继续受力超越弹性极限后,即使卸载,试件也无法恢复原有长度。应变增加时的最小应力称为屈服点 Y_L。通常残留的永久应变达到 0.2% 时的应力称为负荷能力。超出 E_L 点,卸载后实验体也无法恢复的变形,称为塑性变形。经过极限强度 U_T,在 X 点断裂。

试件至断裂点 X 的最大应力 U_T,按应力的方向,称为拉伸强度、抗压强度或剪切强度,以 MPa 表示。

但陶瓷材料几乎不具备塑性变形,难以通过施加拉伸获得正确的拉伸强度。为此,可换用其他测试方式。如图 1-6 所示,把圆柱或圆片状实验体从直径方向施加压缩力,以试件内部产生的拉应力,测得拉伸强度。此时,由于拉应力产生在相对于载荷方向的垂直方向,折断面拉伸强度的测算方式如下:

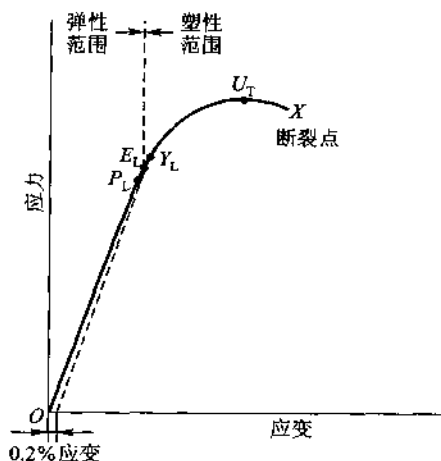


图 1-5 应力-应变曲线

P_L: 比例极限; E_L: 弹性极限; Y_L: 屈服点; U_T: 极限强度

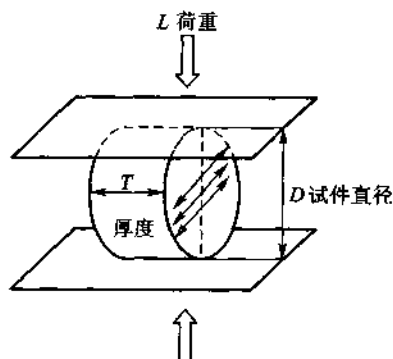


图 1-6 径向压缩试验

$$\text{拉伸强度} = 2L / (\pi D)$$

式中: L 为折断时的荷重; T 为试件的厚度; D 为试件的直径。

(三) 应变-时间曲线

受到外力后,理想的弹性体能瞬间达到平衡形变,与时间无关;当受到外力时,理想的黏性体形变随时间线性变化;而口腔材料以及牙体硬组织介于理想弹性体和理想黏性体之间,其受力应变情况与时间存在更复杂的关系,这种关系可以用应变-时间曲线(strain-time curves)来描叙。载荷时间越长或载荷越大,其形变越大。

(四) 弹性模量

比例极限内应力与应变成正比关系,可测得弹性模量(modulus of elasticity)。

$$\sigma = E\varepsilon$$

式中: σ 为应力; ε 为应变; E 为常数,称为弹性模量。

(五) 弹性能率、回弹性与韧性

未发生永久变形的材料吸收的能率,称为回弹性(resilience),其最大值称弹性能率,相当于图 1-7 的阴影区域,可以 $\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$ 为单位,计算式如下:

$$R = (P/E) \times (P/2) = P^2 / (2E)$$

式中: P 为应力; E 为弹性模量。

可用该计算式表示正畸金属丝等材料的弹性。

承受破坏的能力,称为韧性(toughness)。韧性不同于弹性能率,易通过外力产生永久变形,俗称不易剪切的性能。在单纯的拉伸试验中,可从图 1-8 阴影部分的面积中获得数据。该图表明材料 A 比材料 B、C 具有更好的韧性。相反,材料 B 的强度及弹性模量大,属于几乎无塑性形变、剪切时脆性大的材料。这种无塑性形变材料的剪切性能,称为脆性。其中以陶瓷材料为代表。因此,拉伸强度大的材料,并非韧性都好。

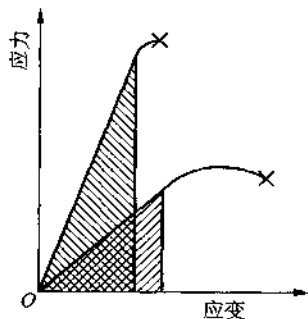


图 1-7 弹性能率

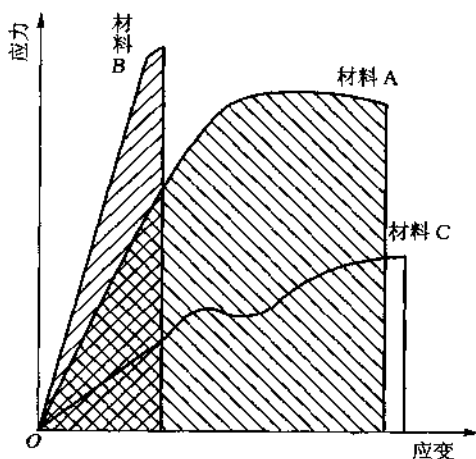


图 1-8 韧性

(材料 A 在三种材料中韧性最大)

(六) 延性与展性

通过压缩载荷,在不发生破损或龟裂的情况下,把材料加工成薄片状的性能,称为展性(mal-

leability)。通过拉伸载荷产生塑性变形的性能称为延性(elongation capacity)。金具有最大的延性和展性,其次是银。

(七) 挠曲强度

挠曲试件的两端置于支点上,在该试件的中部施加负荷,试件断裂时的最大应力称为挠曲强度(flexure strength),也称弯曲强度(bending strength),以 MPa 为单位(图 1-9)。试件不仅受压缩和拉伸,还受剪切力的作用。

$$F = 3wl / (2bd^2)$$

式中: F 为挠曲强度; w 为最大载荷; l 为支点间距离; b 为试样的宽度; d 为试样的厚度。

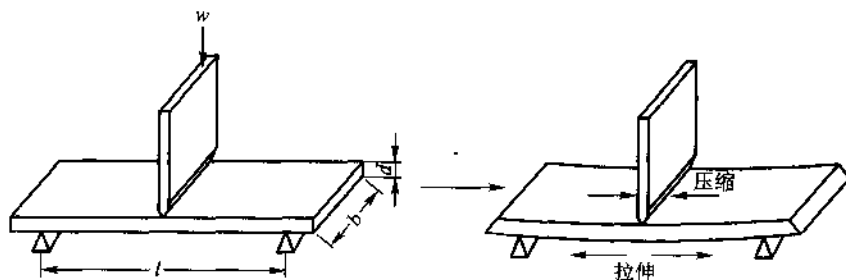


图 1-9 挠曲试验

(八) 疲劳限度

即使材料承受低于最大强度的细小外力,反复施加该力可使材料折断,该现象称为疲劳。所有的口腔修复体,在咀嚼时反复受外力作用。此外,修复体在口腔中,易受应力腐蚀,增加了修复体损坏的可能性。

如图 1-10 所示,对试件施加一定大小的挠曲或扭力等应力,直至断裂为止的循环次数获得疲劳强度的数据。应力(S)与循环次数(N)的关系中,发生疲劳破坏的最大应力,称为疲劳限度(fatigue limit)。

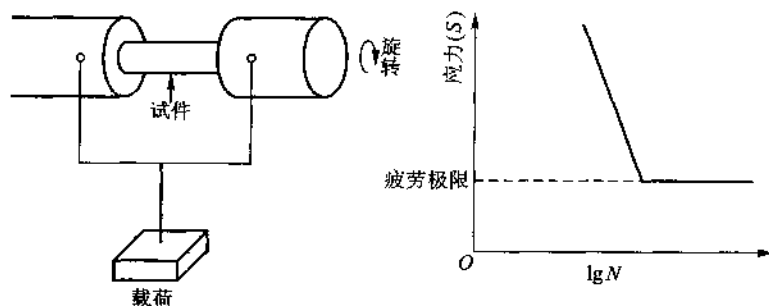


图 1-10 疲劳试验与 S-N 曲线

(九) 冲击强度(impact strength)

把有缺口的试件按图 1-11、图 1-12 固定,以摆臂头部的据锤敲击试件,读取在试件破碎时吸收了全部能量的摆臂上升幅度的落差,以摆锤冲击试验值或悬臂梁式冲击试验值表示。该冲击能量数值越低,则试件脆性越大。

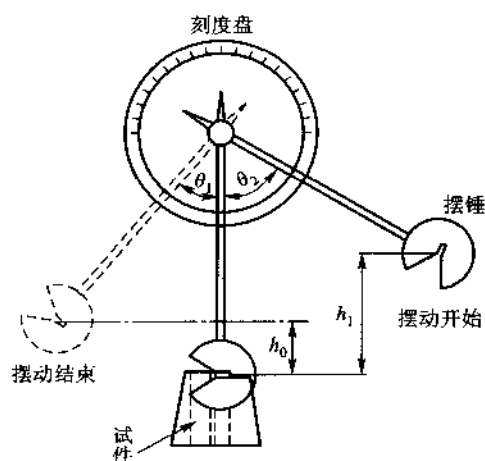


图 1-11 夏氏冲击试验机

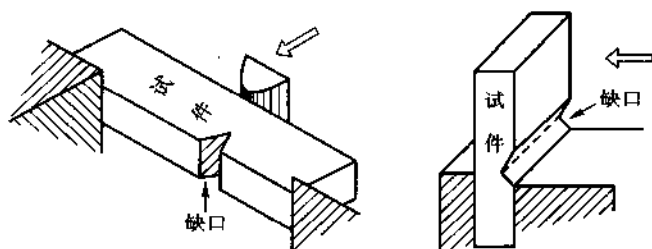


图 1-12 冲击试验模式图

(十) 蠕变

蠕变是在恒应力作用下，塑性形变随时间不断增加的现象。即在一定的载荷或一定的应力下，随着时间的推移，材料发生蠕变(creep)。该应力常远远小于屈服应力。有些材料对这一现象是敏感的，甚至在不变载荷下上述应变可以连续增长直至断裂，如银汞合金。

(十一) 硬度

表 1-2 努氏硬度的比较

组织或材料	硬度/MPa	组织或材料	硬度/MPa
丙烯酸树脂	211	金箔	690
磷酸锌粘接剂	380	牙釉质	3430
牙骨质	400	钴铬合金	3910
牙本质	680	陶瓷	5910

硬度(hardness)是固体材料抵抗弹性形变、塑性形变或破坏的能力，或抵抗其中两种或三种情况同时发生时的能力。不同的测试方式，数据各不相同。因此，硬度难以用数据来表现。测试方式大致分为压入法、划痕法、冲击法等。

1. 压入法

以一定的载荷，将具有一定几何形状的压头，用一定的时间压入试件的表面。通过测试压痕的深度或面积来计算硬度。表 1-2 为牙体组织及某些修复材料的努氏硬度值。

2. 划痕法

以带角锥的金刚石在试件上划痕，按条痕的宽度与载荷来测算硬度，称为马顿斯划痕硬度(图 1-13)。

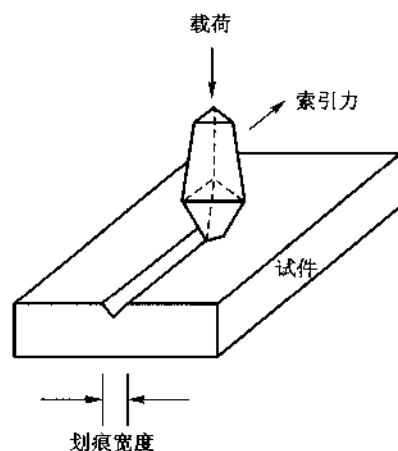


图 1-13 划痕法