

合成胶粘剂丛书

第二册

陈道义 张军营 编著

胶接基本原理

科学出版社

合成胶粘剂丛书
第二册
胶接基本原理

陈道义 张军营 编著

科学出版社

1992

(京) 新登字 092 号

内 容 简 介

本书是《合成胶粘剂丛书》的第二册。在书中,作者从分子间作用力入手讨论了形成胶接力的基本原理;从粘附表面热力学入手讨论了形成理想粘附的条件;从聚合物材料的粘弹性入手讨论了胶粘剂本身的力学性能;从胶接接头的应力分析入手讨论了胶接接头的设计和性能测试,也介绍了胶接的基本工艺和提高胶接接头强度的具体措施。

本书可供从事胶粘剂的研究、生产和应用的人员阅读,也可供有关专业的教师和学生参考。

合 成 胶 粘 剂 丛 书

第 二 册

胶 接 基 本 原 理

陈道义 张军营 编著

责任编辑 朴玉芬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

北京市朝阳区东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年7月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1992年7月第一次印刷 印张: 6 1/2

印数: 1—1 700 字数: 149 000

ISBN 7-03-002817-1/O·526

定价: 6.00 元

《合成胶粘剂丛书》编委会

主 编 王致禄

副主编 杨玉崑

编 委 卢凤才 余云照 陈道义

郑飞勇 杨淑兰

《合成胶粘剂丛书》总目

- 第一册 合成胶粘剂概况及其新发展
- 第二册 胶接基本原理
- 第三册 合成胶粘剂的性质和性能测试
- 第四册 木材用胶粘剂
- 第五册 结构胶粘剂及胶接技术
- 第六册 耐高温胶粘剂
- 第七册 快固型胶粘剂
- 第八册 压敏胶粘剂
- 第九册 特种胶粘剂

《合成胶粘剂丛书》序

合成胶粘剂是一类重要的精细化工产品。据估计，目前全世界合成胶粘剂的年总产量已超过 700 万吨，在合成聚合物材料中仅次于塑料、橡胶、纤维和涂料，占第五位。合成胶粘剂的应用已遍及到木材加工、建筑、轻纺、航空航天、汽车和船舶制造、机械、电子电器以及医疗卫生和日常生活等领域。

我国合成胶粘剂的研制、生产和应用近30年（尤其是近5年）来得到迅速的发展，但目前无论在产量上，还是在品种、质量和应用水平上都与世界先进水平有较大的差距。为了促进发展我国的合成胶粘剂事业，科学出版社于1986年初组织了一批长期从事合成胶粘剂工作的专家，编写这套合成胶粘剂丛书。

这是一套有一定理论水平的胶粘剂材料和应用技术丛书，分九册陆续出版。前三册叙述合成胶粘剂概况和发展以及胶接原理、性能和测试等胶粘剂应用技术中的共同性问题，后六册则按应用分类，逐一介绍了各类重要的合成胶粘剂。每册书都各有侧重、自成体系，合在一起，又几乎涉及合成胶粘剂的所有方面。在编写过程中，作者们既注意系统介绍有关方面的基础理论知识，又密切结合我国的实际情况，介绍了许多实用配方、生产工艺和使用方法。其中许多内容则是作者们多年的研究成果和经验总结。

本丛书适于从事合成胶粘剂方面的科学研究人员以及合成胶粘剂生产、设计和应用的有关工程技术人员和广大工人阅读，也可作为高等院校和中等专业学校有关专业的教学参

考书。

欢迎广大读者对本丛书的编写及丛书中的错误和不妥之处不吝指正。

《合成胶粘剂丛书》编委会

前 言

合成胶粘剂在国民经济的各个部门都有广泛的用途，从日常生活到飞机、火箭和人造卫星的生产制造都要用到胶粘剂。胶接技术在国民经济中的地位不断提高，目前已经成为当代三大连接技术（机械连接、焊接和胶接）之一。近几年来，我国合成胶粘剂的科研、生产和应用队伍不断壮大，对有关胶接和胶粘剂书籍的种类和数量的需求也不断增加。虽然已经出版了几部有关胶接与胶粘剂的书籍，但是，这些书籍侧重于胶粘剂的合成、配方和具体应用，专门论述胶接原理的书籍尚未见到。本书是《合成胶粘剂丛书》的第二册，专门论述胶接基本原理。希望本书的出版能对胶接和胶粘剂的科研、生产和开发有一定的促进作用。

本书共分七章。第一、二、三章讨论胶接力的来源；第四章讨论形成胶接力的条件；第五章讨论聚合物胶粘剂的力学性能；第六章讨论胶接接头的应力分布和性能测试；第七章讨论制造胶接接头的方法。

本书由陈道义和张军营编写，其中第五章——聚合物胶粘剂的力学性能由王致儒编写。

由于编者水平有限，书中一定有不少错误之处，望读者批评指正。

编者

目 录

绪 论	1
第一章 粘附现象与胶接的吸附理论	4
1.1 粘附现象与分子(原子)间的作用力	4
1.1.1 离子键	7
1.1.2 共价键	9
1.1.3 极性分子间的作用力	11
1.1.4 偶极分子和非偶极分子的相互作用	15
1.1.5 非偶极分子之间的作用力	17
1.1.6 氢键	19
1.2 胶接的吸附理论与表面吸附现象	22
第二章 聚合物的相溶性和胶接的扩散理论	24
2.1 胶接的扩散理论	24
2.2 高聚物的相溶性和扩散	25
2.3 溶解度参数(δ)	27
2.4 聚合物-溶剂作用参数(χ)	32
2.5 相分离	37
2.6 聚合物的共混和增塑	41
2.7 凝胶、冻胶与交联聚合物的溶胀	44
2.7.1 凝胶和冻胶	44
2.7.2 交联聚合物的溶胀	45
第三章 被粘材料表面形态与胶接的机械结合理论	47
第四章 粘附表面热力学	49
4.1 表面张力现象	49
4.2 液体对固体表面的湿润	52
4.3 液体对固体表面的接触角与湿润	54

4.4 关于固体表面张力和固-液界面张力的研究	55
4.4.1 界面张力与表面张力的关系	55
4.4.2 临界表面张力	56
4.4.3 表面张力的成分问题	58
4.4.4 表面张力与其它物理量间的关系	60
4.5 粗糙固体表面的最佳湿润条件和湿润动力学问题	60
4.6 液体对固体的粘附功	62
4.7 湿润性、粘附功与胶接强度的关系	67
第五章 聚合物胶粘剂的力学性能	69
5.1 描述力学性质的基本物理量——应力和应变	70
5.1.1 拉伸应变和拉伸应力	71
5.1.2 剪切应力和剪切应变	71
5.1.3 压缩应变	72
5.1.4 弹性模量	72
5.2 聚合物分子运动的特点	73
5.2.1 聚合物的结构特点	73
5.2.2 聚合物分子运动的特点	74
5.3 聚合物的力学状态和热转变	75
5.4 聚合物的高弹性	76
5.4.1 高弹性的一般特点	76
5.4.2 高弹形变的热力学基础	76
5.5 聚合物的粘弹性	78
5.5.1 聚合物的蠕变现象	78
5.5.2 聚合物的应力松弛	81
5.5.3 动态力学行为	83
5.6 聚合物的塑性和屈服	83

5.6.1	应力-应变曲线的类型	83
5.6.2	聚合物屈服点的特征	85
5.6.3	聚合物的冷拉成颈	87
5.7	聚合物的破坏和强度	88
5.7.1	聚合物的理论强度	88
5.7.2	影响聚合物实际强度的因素	90
5.7.3	聚合物的冲击强度	97
第六章 胶接接头的应力分析和性能测试		98
6.1	胶接接头的应力分析和剪切强度的测试	98
6.1.1	剪切强度的测试	98
6.1.2	搭接接头在剪切力作用下的应力分布	100
6.1.3	影响搭接接头剪切强度的因素	105
6.1.4	压缩剪切强度的测试	110
6.1.5	扭转剪切强度的测试	110
6.2	拉伸强度的测试和影响胶接接头拉伸强度的因素	111
6.2.1	拉伸强度的测试	111
6.2.2	影响胶接接头拉伸强度的因素	112
6.3	剥离强度和劈裂强度的测试与胶接接头“线受力”时的应力分析	113
6.3.1	剥离与劈裂	113
6.3.2	剥离强度与劈裂强度的测试	115
6.3.3	胶接接头“线受力”时的应力分布	119
6.3.4	影响剥离强度和劈裂强度的因素	122
6.4	冲击强度	128
6.4.1	测试方法	128
6.4.2	影响冲击强度的因素	129
6.4.3	“T”剥离冲击试验	131
6.5	接头的持久强度和蠕变	131
6.5.1	持久强度和蠕变长度的测定	131

6.5.2	胶接接头在持续应力作用下的破坏过程	133
6.5.3	影响持久强度的因素	134
6.5.4	胶粘剂的蠕变	136
6.6	胶接接头的疲劳强度	137
6.6.1	疲劳强度的测定	137
6.6.2	影响疲劳强度的因素	139
6.7	胶接接头的耐老化性能和环境试验	145
6.7.1	胶接接头的大气老化	145
6.7.2	胶接接头的热老化	151
6.7.3	人工加速老化试验法	152
第七章	胶接基本工艺	155
7.1	胶粘剂的选择	155
7.2	胶接接头设计	159
7.2.1	对接接头设计	161
7.2.2	角接和“T”形胶接接头的设计	166
7.2.3	平面胶接接头的设计	167
7.2.4	胶接同其它连接形式的混合连接	167
7.3	被粘材料的表面处理	169
7.3.1	除去表面的污染物, 改善胶粘剂对表面的湿润性和粘附性	170
7.3.2	改变表面形态, 增大真实表面积, 以便提高胶接强度	171
7.3.3	改变表面化学结构, 形成牢固的高能表面, 以便提高胶接强度	172
7.4	被粘材料表面的处理方法	173
7.4.1	被粘材料表面的脱脂方法	173
7.4.2	机械加工、打磨和喷砂	174
7.4.3	化学腐蚀法	174
7.4.4	涂底胶法	175
7.4.5	等离子体处理方法	176

7.4.6 辐照接枝改性法	176
7.5 胶粘剂的固化	176
7.6 消除胶接接头的内应力, 提高胶接接头的力学强度	177
参考文献	179
附录	185
I 离子键键能和键力的理论推导	185
II 常用溶剂的沸点、摩尔体积、溶度参数和极性分数	188
III 聚合物的溶度参数	191
IV 摩尔引力常数 E	191
V 混合溶剂溶解能力的提高	192
VI 聚合物的表面张力	193
VII 一些聚合物间的界面张力	196
VIII 金属材料表面的处理方法与适用的胶粘剂	198
IX 高分子材料表面的处理方法与适用的胶粘剂	203

结 论

胶接亦称为粘接、胶粘、粘合等，是指同质或异质物体表面用胶粘剂连接在一起的一种技术。胶接具有应力分布连续、重量轻、工艺温度低、可密封等特点，特别适用于不同材质、不同厚度、超薄规格和复杂构型构件的连接，因此胶接技术作为三大连接方法（机械连接、焊接和胶接）之一，已广泛地应用于国民经济各个领域。随着胶接技术的发展和普及，性能各异的胶粘剂应运而生。一种胶粘剂能否投入使用，关键在于胶接接头的使用价值，而胶粘剂最基本的使用价值就是指在特定环境条件下连接物体的承载能力。目前主要还是通过破坏性试验来评价胶接接头的承载能力，如果破坏胶接接头，则破坏必发生在最薄弱的部位。根据破坏的部位可把破坏分为四种基本类型（图1）：（a）发生在胶粘剂内部的内聚破坏；（b）发生在胶粘剂与被粘材料界面处的粘附破坏；（c）发生在被粘材料内部的内聚破坏；（d）上述破坏同时发生的混合破坏。

破坏类型与胶粘剂与被粘物之间的界面作用力有关，如果界面作用力很小，低于被粘材料的内聚力，也低于胶粘剂的内聚力，则发生（b）型的破坏；当界面间作用力比较大，大于被粘物或胶粘剂的内聚力时，则发生（a），（c）和（d）型的破坏。因为被粘物的内聚强度已由专门的学科来研究，所以胶接理论所涉及的对象主要是胶粘剂与被粘物的界面作用。

粘附破坏是粘合过程的逆过程，两物体界面间的结合力

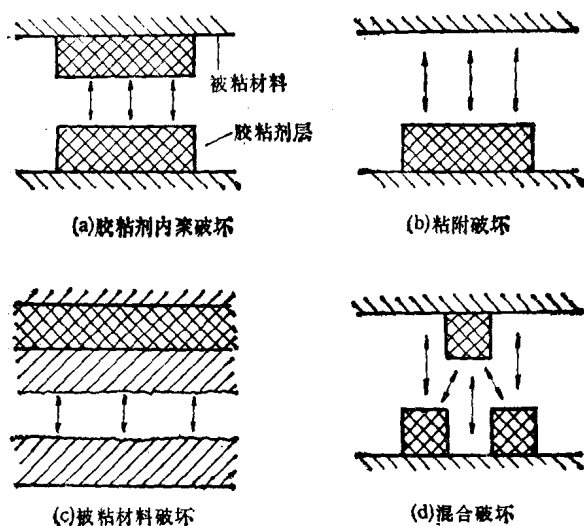


图 1 胶接头破坏的类型

是支配胶接强度的重要因素。虽然有许多学者对两物体界面间的作用力进行了研究，但是由于物体表面结构很复杂，目前还没有一种能测得真实界面粘合力方法，胶接的理论研究还远远落后于胶接实践，这些研究成果可归为两大类：

一、机械的粘合作用：胶粘剂分子渗入被粘材料表面的空穴内，经固化后胶粘剂起机械上的锚定咬合作用。

二、分子水平的微观粘合作用：不管被粘材料的表面结构及形态如何，胶粘剂分子与被粘材料分子真正接触（两者距离数 $\text{\AA}$ 以内）时，分子间就会产生某种作用力，从此意义上考虑的理论有：

1. 界面分子间的键能，该理论认为界面层上的分子形成了某种作用力，从而使两表面结合起来，这种作用力可以是化学键、配位键、氢键和范德华作用力。

2. 扩散理论：两个同种或异种聚合物之间，由于分子链段相互扩散而发生粘合。就其实质而言，这种界面作用力兼有机械锚定作用和分子间作用。由于相互扩散，分子间接触的链节增多，分子链间作用力增大。当分子链间的作用力大于主链强度时，在外力作用下分子间不会滑脱而产生聚合物的主链断裂。从某种意义上讲，聚合物的链段扩散也相当于机械锚定咬合作用。

3. 静电理论：该理论认为，当胶粘剂与被粘材料接触时，胶粘剂——被粘材料体系形成双电层，可看作是一个电容器由于两种不同物质接触而充电，接头的破裂就和分开电容器一样，界面的作用力就是双电层间的作用力。由于该理论的局限性很大，只是在某些特定条件下可以认为有这些作用力的贡献，本书不作进一步介绍。

从热力学的观点来说，当接头发生破坏时，由一个界面生成两个新表面，如果不考虑胶粘剂和被粘材料的塑性变形，则所做的破坏功等于体系自由能的增加。可把粘附破坏看成粘合过程的逆过程，任何胶粘剂在使用过程当中都要经过湿润和固化，则可从粘合过程中的湿润及接触角入手对胶接强度进行估计及研究，这就是粘附表面热力学理论。

从界面相互作用入手所求得的胶接强度是静态理论强度，与实际相差较大。实际上，胶接接头的破坏过程是一个渐进过程，胶接强度直接受作用力的性质、胶粘剂和被粘材料的性质、破坏条件（包括测试方法、测试速度、测试温度和试件形状）、弱边界层等因素影响。因此研究胶粘剂的结构形态、性能、测试方法、胶接工艺等也是本书不可缺少的内容。只有进行综合的解析，才能对胶接问题有正确的认识。

第一章 粘附现象与胶接的吸附理论

粘附现象指的是胶粘剂与被粘物在胶接界面上的相互作用。应当注意，粘附与胶接是两个不同的概念。粘附现象只发生在胶接界面上。胶接过程中，除了发生粘附现象之外，还会有超越界面的扩散现象和机械锚钩现象发生。

1.1 粘附现象与分子（原子）间的作用力^[1,2]

如果把粘附界面放大到能见到分子大小的程度，粘附界面就是被粘物的分子（原子）与胶粘剂的分子（原子）的接触面了。所谓粘附力，当然也就是被粘材料分子（原子）与胶粘剂的分子（原子）间作用力的宏观表现。如果说一个材料本身的力学强度来自组成材料的同种分子作用力——内聚力，那么，粘附强度不过是来自被粘材料分子（原子）与胶粘剂分子（原子）间的作用力——粘附力而已。粘附力与两互相接触的物体的粘附界面的结构有关，从结构出发，可分为分子间的聚集作用和化学作用两大类。分子间的相互作用常叫做范德华力。一般范德华力包括取向力、诱导力和色散力三个部分。它是决定物质熔点、沸点、溶解度等物理化学性质的一个重要因素。分子间的相互作用是一种弱相互作用，对聚合物胶粘剂而言，胶粘剂分子是由链节经化学键联结成的大分子，链节重复几千以上的大分子之间相互作用的总和一般要比链节间的化学键大很多。当两界面的基团间相互作用发生化学反应生成化学键时，当然可以产生更大

• • •