

殷立新 徐修成 编著

胶粘基础与胶粘剂

航空工业出版社

胶粘基础与胶粘剂

殷立新 徐修成 编著

航空工业出版社

1988

d

9

内 容 提 要

全书分两部分,前三章讲述胶接的基础知识,包括胶接表面与界面结合力、胶接技术的力学基础以及胶粘剂的配合技术。后四章分别介绍了胶接极性材料用非结构胶和结构胶、胶接橡胶和塑料用胶粘剂以及特殊用途和特种工艺胶粘剂。附表还介绍了典型胶种的配方、工艺及性能。

本书可作为高等学校高分子材料及非金属材料专业的教材,也可供从事胶接工作的技术人员参考。

胶粘基础与胶粘剂

殷立新 徐修成 编著

航空工业出版社出版发行
(北京市和平里小关东里14号)
全国各地新华书店经售
北京海淀东升印刷厂印刷

1988年8月第1版

1988年8月第1次印刷

开本:787×1092毫米1/16 印张:13

印数:1—7050

字数:324千字

ISBN 7-80046-063-0/TQ·001

定价:2.55元

前 言

《胶粘基础与胶粘剂》是航空工业部统编教材。原教材《胶粘剂与胶接工艺》于1981年由国防工业出版社出版。根据1983年教材会议提出修订第一轮统编教材的精神和当前高等学校教学改革的需要，对原教材进行了重新编写。

本书加强了胶接的基础知识，着重介绍胶接表面与界面结合力、胶接技术的力学基础和胶粘剂的配合技术。为了使体系完整，在胶粘基础部分简单介绍了胶接工艺。本书讲述各类胶粘剂时，突出按胶接对象的特性来选择和配合胶粘剂。如对胶接金属、无机材料和热固性塑料用非结构胶及结构胶，突出讲述胶接刚性的极性材料用胶粘剂；对胶接橡胶和塑料用胶，主要介绍胶接柔韧的弱极性和非极性材料胶粘剂；对特殊用途胶粘剂中胶接木材、纸张用胶，主要介绍胶接多孔性和吸水性材料用胶粘剂。上述编排形式属初次尝试。

本书由北京航空学院殷立新和徐修成编写。殷立新编写第二~七章。徐修成编写第一章，并对全书作了文字修改。

西北工业大学林德宽、张懋炯审阅本书，并提出了宝贵的意见，在此特致谢意。由于编者水平所限，本书中一定会有不少缺点和错误之处，恳请读者批评指正。

编者

1988年2月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 胶接技术的发展与分类	(1)
一、胶接技术的发展.....	(1)
二、胶粘剂的应用.....	(1)
三、胶接技术的特点.....	(2)
四、胶粘剂的分类.....	(3)
第二节 胶接接头	(5)
一、胶接接头的构成.....	(5)
二、胶接接头的破坏类型.....	(5)
第二章 胶粘基础	(8)
第一节 胶接表面与界面结合力	(8)
一、胶接表面的湿润.....	(8)
二、胶接理论.....	(10)
三、胶接界面结合力.....	(14)
第二节 胶接技术的力学基础	(16)
一、胶接接头受力形式与性能测试.....	(16)
二、单搭接接头受拉伸剪力作用时的应力分布.....	(18)
三、胶接接头“线受力”时应力分布.....	(20)
四、胶粘剂与胶接强度.....	(23)
五、胶接接头设计.....	(27)
第三节 胶接工艺	(29)
一、被粘物表面性质.....	(29)
二、被粘物表面处理.....	(32)
三、胶粘剂配胶、涂敷和晾置.....	(39)
四、胶粘剂的固化.....	(41)
五、胶接件的质量检验.....	(44)
第三章 胶粘剂的选择与配合	(46)
第一节 胶粘剂的组成与选胶原则	(46)
一、胶粘剂的组成与类型.....	(46)
二、胶粘剂的选择与配合原则.....	(49)
第二节 胶粘剂配合	(51)
一、胶粘剂力学性能与增韧.....	(51)
二、胶接接头内应力与配合.....	(54)
三、胶粘剂的固化与配合.....	(56)
四、胶粘剂的粘度与配合.....	(58)
五、胶接接头的老化与配合.....	(60)
第四章 胶接金属、无机材料及热固性塑料用非结构胶粘剂	(67)
第一节 胶接对象、技术要求与选胶原则	(67)

一、胶接对象.....	(67)
二、技术要求.....	(67)
三、胶粘剂选用.....	(68)
第二节 低温、室温和中温固化环氧树脂胶.....	(68)
一、组成分析.....	(68)
二、室温和低温固化的环氧胶粘剂.....	(77)
第三节 耐高温环氧树脂胶粘剂.....	(79)
一、组成分析.....	(79)
二、耐高温环氧树脂胶粘剂.....	(82)
第四节 不饱和聚合物胶粘剂.....	(84)
一、分类.....	(84)
二、不饱和聚酯胶粘剂.....	(84)
三、(甲基)丙烯酸聚酯胶粘剂.....	(86)
四、氰基丙烯酸酯胶粘剂.....	(86)
第五节 有机硅树脂胶粘剂.....	(88)
一、组成与分类.....	(88)
二、纯有机硅树脂胶粘剂.....	(88)
三、酚醛改性有机硅胶粘剂.....	(89)
第六节 无机胶粘剂.....	(89)
一、分类、性能和用途.....	(89)
二、磷酸-氧化铜胶粘剂.....	(89)
第五章 结构胶粘剂.....	(92)
第一节 胶接对象、技术要求及选胶原则.....	(92)
一、胶接对象.....	(92)
二、技术要求.....	(92)
三、选胶原则.....	(93)
第二节 低分子量橡胶改性环氧胶粘剂.....	(94)
一、聚硫橡胶改性环氧树脂胶粘剂.....	(94)
二、液体丁腈橡胶改性环氧树脂胶粘剂.....	(95)
第三节 环氧-聚合物胶粘剂.....	(99)
一、固化剂选择.....	(99)
二、环氧-丁腈胶粘剂.....	(100)
三、环氧-尼龙胶粘剂.....	(103)
四、环氧-聚砜胶粘剂.....	(105)
第四节 橡胶改性丙烯酸酯胶粘剂.....	(106)
一、组成.....	(106)
二、性能与用途.....	(107)
第五节 酚醛-聚合物胶粘剂.....	(108)
一、酚醛树脂结构与类型.....	(108)
二、酚醛-聚乙烯醇缩醛胶.....	(109)
三、酚醛-缩醛-有机硅胶粘剂.....	(112)
四、酚醛-丁腈胶粘剂.....	(114)
第六节 杂环高分子胶粘剂.....	(119)
一、高温结构胶.....	(119)

二、聚酰亚胺胶粘剂	(120)
三、聚苯并咪唑胶粘剂	(122)
第六章 胶接橡胶和塑料用胶粘剂	(124)
第一节 胶接对象、技术要求及选胶原则	(124)
一、胶接对象	(124)
二、技术要求及选胶原则	(124)
三、胶粘剂类型	(124)
第二节 热塑性塑料(橡胶)-溶剂胶粘剂	(125)
第三节 不饱和聚合物胶粘剂	(126)
第四节 聚氨酯胶粘剂	(126)
一、特性与分类	(126)
二、组成	(128)
三、聚氨酯胶粘剂性能与用途	(130)
第五节 橡胶胶粘剂	(132)
一、特性与分类	(132)
二、氯丁橡胶胶粘剂	(133)
三、氯丁橡胶以外的改性橡胶胶粘剂	(136)
第六节 胶接非极性高分子材料用胶粘剂	(137)
一、聚烯烃类胶粘剂	(137)
二、氟树脂胶粘剂	(138)
三、硅橡胶胶粘剂	(138)
第七章 特殊用途和特种工艺胶粘剂	(143)
第一节 胶接木材、纸张用胶粘剂	(143)
一、粘接对象与胶粘剂类型	(143)
二、酚醛树脂和氨基树脂胶粘剂	(144)
三、聚醋酸乙烯和聚乙烯醇胶粘剂	(145)
第二节 特殊用途的胶粘剂	(148)
一、点焊胶粘剂	(148)
二、密封胶剂和灌封胶粘剂	(150)
三、导电、导磁、导热胶粘剂	(153)
四、应变胶粘剂和抗蠕变胶粘剂	(154)
第三节 特种工艺胶粘剂	(157)
一、热熔胶粘剂	(157)
二、压敏胶粘剂	(159)
三、厌氧胶粘剂及光敏胶粘剂	(161)
附表1 金属材料、无机材料表面处理	(165)
附表2 高分子材料表面处理	(167)
附表3 胶接金属、无机材料、热固性塑料用非结构胶粘剂	(169)
附表3-1 低温(快速)固化环氧树脂胶粘剂	(169)
附表3-2 室温固化环氧-脂肪胺-增塑剂-填料胶粘剂	(170)
附表3-3 室温固化环氧-聚酰胺胶粘剂、室温水下固化环氧胶粘剂	(171)
附表3-4 中温固化环氧胶粘剂、高温固化耐热环氧胶粘剂	(172)
附表3-5 高温固化耐热环氧胶粘剂、普通不饱和聚酯胶粘剂	(173)

附表3-6 丙烯酸聚酯胶粘剂、氨基丙烯酸酯胶粘剂	(174)
附表3-7 有机硅树脂胶粘剂	(175)
附表3-8 无机盐胶粘剂	(176)
附表4 结构胶粘剂	(177)
附表4-1 液体聚硫橡胶改性环氧树脂胶粘剂	(177)
附表4-2 液体丁腈橡胶改性环氧树脂胶粘剂	(178)
附表4-3 环氧-丁腈橡胶胶粘剂	(179)
附表4-4 环氧-缩醛胶粘剂、环氧-尼龙胶粘剂	(180)
附表4-5 环氧-聚酰胺胶粘剂	(181)
附表4-6 酚醛-缩醛胶粘剂	(182)
附表4-7 酚醛-缩醛-有机硅胶粘剂、酚醛-丁腈胶粘剂	(183)
附表4-8 酚醛-丁腈胶粘剂、杂环高分子胶粘剂	(184)
附表5 胶接热塑性塑料和橡胶用胶粘剂	(185)
附表5-1 热塑性塑料(橡胶)-溶剂胶粘剂	(185)
附表5-2 聚氨酯胶粘剂	(186)
附表5-3 氯丁橡胶胶粘剂、氯化橡胶胶粘剂	(187)
附表5-4 氟树脂胶粘剂、硅树脂胶粘剂	(188)
附表6 胶接木材、纸张用胶粘剂	(189)
附表6-1 未改性酚醛树脂胶粘剂	(189)
附表6-2 氨基树脂胶粘剂、聚酰胺乙烯类胶粘剂	(190)
附表7 特殊用途胶粘剂	(191)
附表7-1 胶接点焊胶粘剂	(191)
附表7-2、7-3 密封胶剂和灌封胶粘剂	(192)
附表7-4 导电胶粘剂	(194)
附表7-5 应变胶粘剂	(195)
附表8 特种工艺胶粘剂	(196)
表附8-1 热熔胶粘剂	(196)
附表8-2 压敏胶粘剂	(197)
附表8-3 厌氧胶粘剂和光敏胶粘剂	(198)
主要参考文献	(199)

第一章 概 论

第一节 胶接技术的发展与分类

一、胶接技术的发展

胶粘剂，又称“胶”，是能把两个物件胶接在一起，并且在结合处有足够强度的物质。用胶粘剂连接两个物件的连接技术称胶接技术。

胶粘剂及胶接技术的应用，在人类历史上有着悠久的历史，许多出土文物已经证明，在三、四千年前，我们祖国就有了性能良好的胶粘剂。我国是应用胶接技术最早的国家之一，远在秦朝时，以糯米、石灰制成的灰浆就用于长城基石的胶接，使得万里长城至今仍屹立于亚洲东方，成为中华民族古老文化的象征。但早年使用的胶粘剂大都属于天然高分子材料，由于它本身的胶接强度不高，其它性能（如耐水、耐温、耐老化、耐介质等）也较差，因此，在使用上有很大的局限性。

到本世纪30年代，由于高分子材料的出现，现代工业部门，特别是航空工业发展的需要，出现了以合成高分子材料为主要成分的新型胶粘剂。在二次大战期间，由于当时飞机制造上的要求，胶粘剂得到了迅速的发展，出现了酚醛-缩醛胶，聚氨酯胶等新胶种。

在50年代，开始出现了环氧树脂胶粘剂。环氧胶具有强度高、种类多、适应性强的特点，成为主要的结构胶粘剂。在1957年，美国伊斯曼公司发明了氰基丙烯酸酯类快干胶，洛太公司生产了厌氧胶。60年代出现了热熔胶，近年来又涌现出第二代丙烯酸酯胶和第三代丙烯酸酯胶等等。胶粘剂工业的发展历史虽然不长，但其发展速度很快，当前已成为一个不可缺少的独立工业部门。

我国在解放前，基本上没有合成高分子工业，当然也就谈不上胶粘剂工业。新中国成立后，由于国民经济的发展，特别是合成高分子工业的飞速发展，我国出现了一系列高分子材料，为胶粘剂的合成和制造提供了丰富的物质基础；为胶接技术的发展，开辟了广阔的前景，使胶接这一古老的技术，获得了新的生命力。另外，由于合成胶粘剂的研制、生产和应用的技术队伍在全国各地相继建立并不断扩大，使胶接技术在生产中发挥了越来越大的作用，现在我国已有了一些研究胶粘剂的部门和生产胶粘剂的专业工厂，研制品种已达近千种。随着我国四化建设的发展，胶粘剂工业定将在社会主义建设中发挥更大的作用。

二、胶粘剂的应用

胶粘剂在国民经济的各个部门有着广泛的用途，从儿童玩具、工艺美术品的制作到飞机、火箭的生产，处处都要用到胶粘剂。

胶粘剂最早应用于木材加工部门中。直到现在，从用量角度来说，木材加工中消耗的胶粘剂仍然保持着首位。木材加工中用量最多的是脲醛树脂胶粘剂，其次是酚醛树脂和三聚氰

环氧树脂胶粘剂及乙酯热熔胶粘剂。

在建筑方面，胶粘剂的消耗量也是很大的，主要用于室内装修和密封两个方面。例如大理石、瓷砖、天花板、塑料护墙板、塑料地板等等都可以用胶粘剂来胶接和粘合。另外，预构件之间的密封需要大量的胶粘剂；地下建筑的防水密封已经采用了室温固化硅橡胶胶粘剂。

在医学上合成胶粘剂的应用有着美好的前景。在口腔科，用合成胶粘剂作为填充料预防和治疗龋齿已经取得了较好的疗效，近几年来又广泛地开展了用胶接方法代替传统补牙工艺的研究。在外科手术方面，用胶粘剂粘合皮肤、血管、骨骼和人工关节等也已有许多临床实例。例如有一种叫止血胶的，能粘合人体表面伤口和内脏器官，半分钟能结成薄膜而止血。

在轻工业部门中，胶粘剂消耗量最大的是包装和装订两个方面。快速自动包装机的使用必须有快速固化的胶粘剂相配合；日益增加的塑料包装箱、包装袋的使用也要求更多的胶粘剂。装订书籍以前用线缝或者用明胶等天然胶粘剂，现在用合成胶粘剂进行无线装订，不但实现了自动化快速装订，而且质量更高，很厚的书本都可以完全摊平来阅读。在包装和装订方面乙酯热熔胶的发展很快。此外，在制鞋和皮革工业中也可以用粘合代替缝合。在体育用具、乐器、文具和日用百货中胶粘剂的使用也是很普遍的。在工艺美术品中用粘合技术代替传统的镶嵌工艺可使制作工效大大提高，产品质量也很好。在文物的修复和古迹的保护中胶粘剂也起到了重要的作用。

在电子工业和仪器仪表制造中胶粘剂的应用起着重要的作用，除了一般性的胶接、定位普遍使用胶粘剂外，还使用了许多具有特殊性能的胶粘剂。例如用导电胶可以代替原来的锡焊连接；用具有高度绝缘性能的合成胶粘剂制作和粘贴的应变片在应力测量技术中是非常重要的；在光学仪器中，透镜和元件之间的组合用一定折光率的透明胶粘合，可以达到折光率匹配，降低因界面反射所引起的能量损失；在真空系统中，已广泛采用真空密封胶来密封和堵漏。

在飞机制造工业中，使用合成胶粘剂大约从40年代开始，发展到现在世界各国采用胶接结构的飞机已经有一百多种。有些飞机，胶接已经成为整个飞机设计的基础，例如，制造一架波音747喷气式客机，需用胶膜2500m²、密封胶450kg；三叉戟飞机的胶粘面积占全部连接面积的67%；一架B-58超音速轰炸机用400kg胶粘剂代替了15万只铆钉。

在航天工业方面，人造地球卫星、载人宇宙飞船的发射和返回，要穿过厚厚的大气层，表面受高速气流冲刷，温度高达上千度，要用耐高温的烧蚀材料来保护。烧蚀材料与金属壳体之间的连接，用铆和焊是无法办到的，只有靠胶。这种胶叫作高温胶粘剂。现代火箭是用液态的氢或氧作推进剂的。要把气态的氢或氧变成液态，一定要冷却到-253℃和-183℃以下。保存液氢、液氧的容器要用多种保温材料保温，保温材料与容器外表的固定，也要靠胶粘剂，这种胶称作超低温胶粘剂。

综上所述，不难看出，现代科学技术的发展，对胶粘技术提出了越来越高的要求。我们深信，随着新胶种的大量出现，胶的性能的逐渐完善及胶的用量的不断增加，胶粘剂在各个方面的应用会越来越广泛。

三、胶接技术的特点

胶接技术是一种新颖的连接方法，与铆接、焊接、螺接等传统连接方法相比，具有独特

的优点。

1. 适用范围广。不受材料种类和几何形状的限制。不管厚与薄、硬与软、大与小、不同材质之间，不论极小、极脆的零件，都能胶接，这是铆、焊、螺等连接方法所无法相比的。

2. 无应力集中，耐疲劳强度高。胶接接头处的应力，能均匀地分布在整個胶面上，不象铆接、螺接那样需要钻孔，容易产生应力集中。胶接时，不需加很高的热，不会产生热变形、裂纹和金相组织的变化，接缝的内应力小。一般胶接的反复剪切疲劳强度破坏为 4×10^6 次，而铆接只有 3×10^5 次，疲劳寿命要高出几倍。胶接薄板，其耐振性要比铆接与螺接高40~60%。

3. 胶接物件重量轻，节省材料比较显著。可省去大量的铆钉、螺栓。没有焊缝，不会起皱，表面光洁，外形美观。采用胶接可使飞机重量减轻20~25%，成本下降30~35%。

4. 胶接连接可达到完全密封。可堵住三漏（漏气、漏水、漏油），有良好的耐水、耐介质、防锈、耐腐蚀性能和绝缘性能。

5. 胶接工艺、设备要求比较简单，操作容易，利于自动化生产，生产效率高。

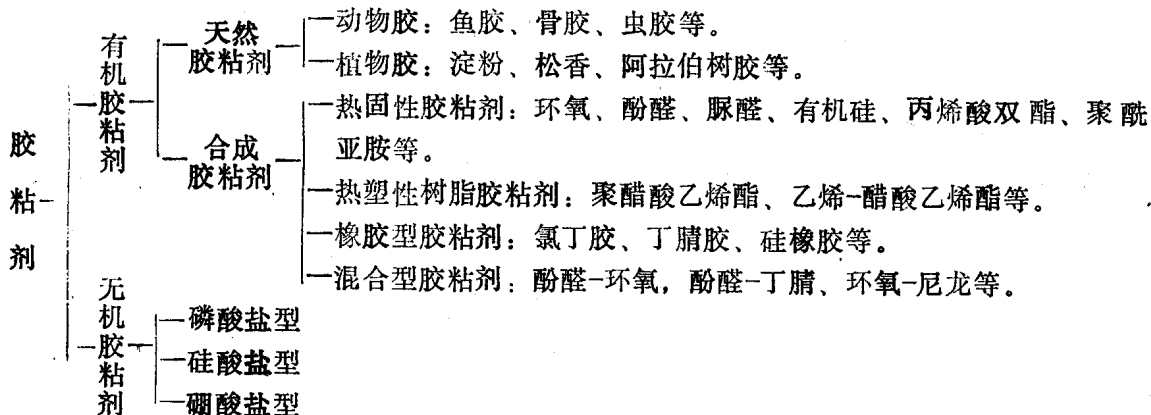
但是，胶接技术不是十全十美的、万能的，尤其目前还处在发展之中，尚存在以下应注意的问题：

1. 胶接的不均匀扯离和剥离强度低，容易在接头边缘首先破坏。
2. 使用温度有很大的局限性。一般结构胶仅能在150℃以下使用，少数胶能在200~300℃范围内使用。
3. 胶接质量因受多种因素的影响，不够稳定，而且无损检验手段不够完善。

四、胶粘剂的分类

胶粘剂品种繁多，用途不同，组成各异，如何进行合理的分类，尚未统一。现将几种常用的分类方法介绍如下：

1. 按主要组成成分分类



2. 按胶接强度特性分类

(1) 结构型胶粘剂

这种胶粘剂必须具有足够的胶接强度，不仅要求它有足够的剪切强度，而且要求它有较

高的不均匀扯离强度，能使胶接接头在长时间内承受振动、疲劳和冲击等各项载荷，同时要求这种胶粘剂必须具有一定的耐热性和耐候性，使胶接接头在较为苛刻的条件下进行工作。

(2) 非结构型胶粘剂

这种胶粘剂的特点是在较低的温度下剪切强度、拉伸强度和刚性都比较高，但在一般情况下，随温度的升高，胶层容易发生蠕变现象，从而使胶接强度急剧下降。这种类型的胶粘剂主要应用于胶接强度不太高的非结构部件。

(3) 次结构型胶粘剂

这种胶粘剂具有结构型胶粘剂与非结构型胶粘剂之间的特性，它能承受中等程度的载荷。

3. 按固化形式分类

(1) 溶剂型

溶剂型胶粘剂的固化特点是：溶剂从胶接端面挥发，或者因被胶物自身吸收而消失，形成粘接膜而发挥粘接力。这是一种纯粹的物理可逆过程。固化速度随环境的温度、湿度、被胶物的疏松程度、含水量、胶接面的大小及加压方法等而变化。

(2) 反应型

反应型胶粘剂的固化特点是：由不可逆的化学变化引起固化。这种化学变化，系在基体化合物中加入固化剂，通过加热或不加热进行的。按照配制方法及固化条件，可分为单组分、双组分甚至多组分的室温固化型、加热固化型等多种形式。

(3) 热熔型

以热塑性的高聚物为主要成分，由不含水或溶剂的粒状、圆柱状、块状、棒状、带状或线状的固体聚合物通过加热熔融胶接，随后冷却固化发挥胶接力。

4. 按外观形态分类

(1) 溶液型

主要成分是树脂或橡胶，在适当的有机溶剂中溶解成为粘稠的溶液。

(2) 乳液型

属分散型，树脂在水中分散称乳液，橡胶的分散体系称为乳胶。

(3) 膏糊型

膏糊型胶粘剂是一种充填性优良的高粘稠的胶粘剂。

(4) 粉末型

属水溶性胶粘剂，使用前先加溶剂（主要是水）调成糊状或液状。

(5) 薄膜型

以纸、布、玻璃纤维织物等为基材，涂敷或吸附胶粘剂后，干燥成薄膜状，通常与底胶配合使用。

(6) 固体型

热熔型胶粘剂等属于此类。

5. 按用途分类

(1) 通用胶

通用胶有一定的胶接强度，对一般材料都能进行胶接，如环氧树脂胶粘剂等。

(2) 特种胶

特种胶是指为满足某种特殊性能和要求而研制出的一种胶粘剂。这类胶粘剂品种很多，有高温胶、超低温胶、热熔胶、厌氧胶、压敏胶、光敏胶、应变胶、透明胶、快干胶、导电胶、导磁胶、导热胶、止血胶、织物胶、水下胶、防腐胶、密封胶及点焊胶等。

第二节 胶接接头

一、胶接接头的构成

一个胶接接头是一个多相体系，由三个均匀相和两个界面区域构成。如图 1-1 所示，最外两层 1, 5 为被粘物本体；2, 4 为被粘物表面层；中间层 3 为胶粘剂本体。

在胶接接头中，发生在界面区的粘合作用仍是以离子、原子或分子间的作用力为基础。因此，在界面区域虽然有胶粘剂与被粘物表面的机械啮合力，但主要还是胶与被粘物表面分子间的作用力。界面区可能产生的作用力有：机械力、主价力、次价力等。界面上的力都能导致胶接作用的产生，不过化学力不具有普遍性，而次价力则是产生胶接的主要作用力。

胶接接头的形成是一个复杂的过程。一般认为产生胶接的过程可分为两个阶段：第一阶段是液态胶粘剂分子借助布朗运动向被粘物表面扩散并逐渐靠近被粘物表面。压力作用或胶本身由于加温使粘度降低都有利于胶粘剂分子及其链节与被粘物表面的接触。第二阶段是产生吸附作用，当胶粘剂分子与被粘物表面的分子间的距离接近至 1nm 时，次价力便开始起作用并随距离进一步减小而增至最大，这两过程不能截然分开，在胶液变为固体前都在进行。从以上可看到促进胶粘剂与被粘物表面分子的接触是产生胶接的关键，而胶粘剂对被粘物表面的湿润则是使胶的分子扩散到表面并产生胶接作用的必要条件。

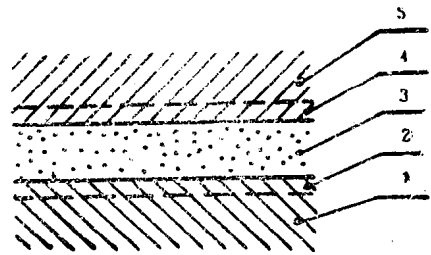


图1-1 胶接接头结构

- 1,5—被粘物；
- 2,4—被粘物表面层；
- 3—胶粘剂

二、胶接接头的破坏类型

胶接接头是由许多部分组成的，它们彼此的力学性能相差很大，例如金属被粘材料是刚性弹性体，而胶粘剂则是粘弹性体，因此，胶接接头在承受外力作用时，应力分布是非常复杂的。

另外，在胶接接头形成及使用过程中，由于(1)胶粘剂固化造成的体积收缩；(2)被粘物、胶粘剂不同的热膨胀系数；(3)受到环境介质的作用等，都造成接头中的内应力，而内应力的分布也是不均匀的。

外应力和内应力的共同作用，构成胶接接头在受载时极为复杂的应力分布。而由于胶接接头内部缺陷(如气泡、裂缝、杂质)的存在，更增加了问题的复杂性，造成了局部的应力集中。当局部应力超过局部强度时，缺陷就能扩展成裂缝，进而导致接头发生破坏。而破坏可能在三个均相部分或是在两个界面区域发生。根据发生破坏的地方不同，一般分为五种破

坏类型，如图1-2所示：

- (1) 被粘物破坏；
- (2) 胶粘剂层的内聚破坏（简称内聚破坏）；
- (3) 界面破坏或称粘附破坏；
- (4) 混合破坏；
- (5) 被粘物表面层破坏。

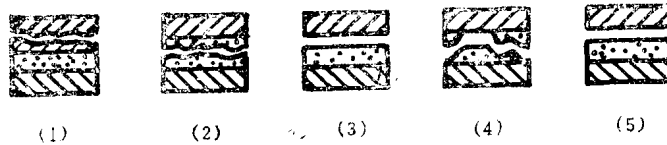


图1-2 胶接接头的破坏类型示意图

- (1) 被粘物破坏；
- (2) 内聚破坏；
- (3) 界面破坏；
- (4) 混合破坏；
- (5) 被粘物表面层破坏。

当胶粘剂本身强度足够高而且与被粘物间的粘合力也足够大时，即胶粘剂本身强度及其与被粘物间的胶强度比被粘物本身强度还大时，在外力作用下就可能发生被粘物破坏。在发生被粘物破坏时，破坏一般都是在接头的邻近处发生，因为那里的应力最为集中。

在外力的作用下，胶接接头的破坏若发生在胶层内部，则叫作内聚破坏。此时，破坏试件的端面上都粘有胶，破坏面凹凸不平。在发生内聚破坏时，接头的破坏强度主要取决于胶粘剂的内聚强度。但必须指出，此时的胶接强度和胶粘剂本体浇注料的破坏强度也不完全相同。例如，某种环氧-聚酰胺胶粘剂胶接的接头，在发生典型的内聚破坏时，室温拉伸强度为66.1MPa，而同样条件下浇注料的拉伸强度却只有59.9MPa。

在外力的作用下，当破坏发生在胶层与被粘物表面之间的界面上，叫作界面破坏。此时，在破坏的试件上只有一个胶合面上粘有胶，破坏面光滑平整。我们通常所指的界面破坏实际上总是伴随着发生被粘物或胶粘剂的表面层的破坏。因为大量实验证明，在发生界面破坏的被粘物表面上，即使用肉眼看不到胶粘剂的残留物，但用显微镜或更精细的仪器却总能检测到这些残留物。这时的破坏强度既与胶粘剂及被粘物的表面层强度有关，也与胶粘剂和被粘物之间的粘附强度有关。

在外力的作用下，当接头的破坏兼有内聚破坏和界面破坏两种类型时，叫做混合破坏。此时，试件的破坏面上一部分光滑，一部分毛糙。混合破坏常以两种破坏类型各自所占破坏总面积的百分比来表示其破坏的情况。

被粘物表面层是指被粘物表面氧化层或低分子污染物层。由于表面层内聚强度低，或是表面层与被粘物界面结合力低等原因，将导致被粘物表面层破坏。此时，破坏断面特征与界面破坏的相似，只是在进一步显微镜分析时才能区别这两类破坏。

对于上述五种胶接接头的破坏类型，在实际工作中，都力争达到图1-2中的(1)种情况，而避免(3)和(5)种情况的发生。当破坏是(2)种情况时，则应尽量提高胶粘剂的内聚强度，并使胶粘剂有相适应的模量和断裂伸长率。(4)种情况一般能得到较好的胶接强度。这

说明要实现牢固胶接，必须使胶粘剂与被粘物有良好的粘附。同时，胶粘剂有足够的内聚强度。

综上所述不难看出，胶接接头承载能力与胶接接头结构及其各部分的结合力有密切关系。因此，对构成接头两相或三相系统结构与性能的研究，对界面结合力的研究以及对外界因素（如外力形式、环境温度和湿度等）影响的研究都是十分重要的。

第二章 胶 粘 基 础

在外力作用下，载荷如何在胶接接头内传递，这是研究胶接技术首先要解决的问题。外载是由被粘物甲经过胶接界面传至胶层，又由胶层经过胶接界面传至被粘物乙。可见，分析胶接界面层和胶层的应力状态是胶接技术的重要基础。本章除了阐述胶接界面结合力和胶层应力状态外，还将介绍胶接工艺。

第一节 胶接表面与界面结合力

胶接的可靠性和胶接界面结合力的形成，是使用胶粘剂的人们共同关心的问题，也是胶接技术领域中的基本问题。本节通过胶接表面的湿润和界面结合力来阐述所提出的问题。

一、胶接表面的湿润

湿润是液态物质在固态物质表面分子力的作用下均匀分布的现象。胶接的首要条件是胶粘剂均匀分布在被粘物上。因此，胶粘剂完全湿润被粘物是获得高强度胶接接头的必要条件。如果湿润不完全，就会产生胶层缺胶，导致胶接强度下降。湿润过程中最重要的是热力学问题和动力学问题。

(一) 湿润的热力学问题

有关表面化学或表面能的参数有：湿润接触角、最大热力学胶粘功、极限表面张力、最大胶粘剂渗透性及溶解度参数等。而这些参数与胶接强度关系的研究是从湿润接触角的热力学概念开始的。这里重点分析湿润平衡方程和湿润过程中体系自由能变化。

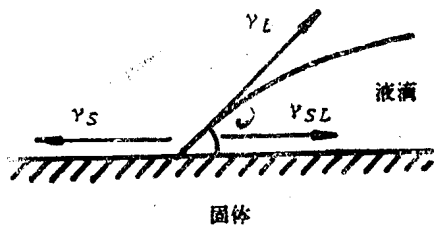


图 2-1

如果在一个水平的固体表面上放一滴液体，如图2-1所示。经过一定时间，液滴处于平衡状态，可得到湿润平衡方程：

$$\gamma_{SL} + \gamma_L \cos \theta = \gamma_S$$

这个方程称为Young氏方程。式中： θ 称为接触角； γ_S ， γ_L ， γ_{SL} 分别为固体的表面张力、液体的表面张力以及固体和液体之间的界面

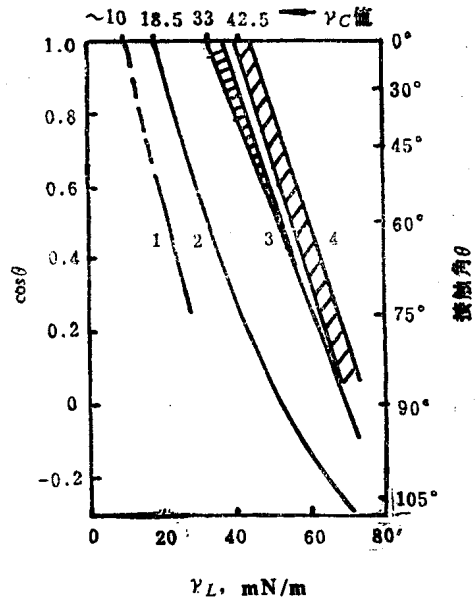


图 2-2 各种液体对聚合物表面的湿润
1. 聚甲基丙烯酸全氟辛酯；2. 聚四氟乙烯；
3. 聚乙烯；4. 聚氯乙烯；

张力。显然，若 $\theta = 0$ ，即 $\gamma_{sL} + \gamma_L = \gamma_s$ ，则液体能够在固体表面自动展开，并湿润整个表面。这就是扩展湿润的热力学条件。

Zisman等人测定了一系列表面张力不同的同系物液体对同一种固体表面的接触角，发现将 $\cos\theta$ 或 θ 对液体的表面张力作图可以得到一条直线，如图2-2所示。将直线外推至 $\cos\theta = 1$ ，可得到一个反映该种固体表面特征的数值 γ_c ，称为极限表面张力。也就是说，当一种液体的表面张力低于极限表面张力，即 $\gamma_L \leq \gamma_c$ 时，此种液体能在该固体表面上自动展开。

畑敏雄进一步测定了非极性的、极性的以及有氢键的有机液体对氟代烯烃聚合物的接触角，发现在 $\cos\theta - \gamma_L$ 图中点子并不是落在一条直线上，而是分别落在三条直线上。将直线外推可以得到三个极限表面张力的数据，分别用 γ_c^A 、 γ_c^B 和 γ_c^C 来表示。 γ_c^A 适用于非极性液体， γ_c^B 适用于极性液体， γ_c^C 适用于有氢键的液体。Zisman和畑敏雄所测的结果见表2-1。

表2-1 聚氟代乙烯的极限表面张力 (mN/m)

聚合物名称	γ_c^A	γ_c^B	γ_c^C	γ_c (Zisman)
聚四氟乙烯	19.3	21.4	14.3	18.5
聚三氟乙烯	22.2	26.4	29.0	22
聚偏二氟乙烯	26.0	39.1	40.0	25
聚氟乙烯	—	43.4	44.2	28
聚乙烯	—	38.3	30.9	31

由热力学平衡状态时方程可知 $\gamma_c = \gamma_s - \gamma_{sL}$ 。用不同种类液体测得的 γ_c 值有显著差别，显然是由于其界面张力 γ_{sL} 的不同所引起的。 γ_{sL} 越小， γ_c 值就越大； γ_c 的极限值就是固体的表面张力 γ_s 的数值。

上述是液体在固体表面上自动展开的条件。而液体湿润固体表面的条件则与湿润过程自由能的变化有关。

在使用胶粘剂时，我们用外力把胶粘剂涂布于被粘物表面上，因为固体的表面是粗糙的，实际上我们只要求胶粘剂能自发地湿润表面上的凹处和狭缝就行了。因为表面上的凹处或小狭缝的体积比整个胶粘剂的体积小得多，因此可以假定湿润凹处或一个狭缝时其余部分能量不发生变化，湿润过程中体系自由能的变化和体系所做的功是：

$$-\Delta F = W$$

$$-\Delta F = A_{sV} \cdot (\gamma_s - \gamma_{sL}) + A_{LV} \cdot \gamma_L$$

式中： $-\Delta F$ 为体系自由能变化； W 为体系所做的功； A_{sV} 为被湿润的固体的真实表面积； A_{LV} 为湿润以后液体的表面积，也即被湿润固体的表观面积，真实面积与表观面积之比可以衡量固体表面的粗糙度。用湿润平衡方程代入上式得：

$$-\Delta F = \gamma_L \cdot A_{LV} \{ (A_{sV}/A_{LV}) \cdot \cos\theta + 1 \}$$

由上式可见，当 $\theta < 90^\circ$ 时，等式右边为正，体系做正功，使体系自由能减少，即湿润过程能自发进行。只有当 $\theta > 90^\circ$ ，且 $|(A_{sV}/A_{LV}) \cdot \cos\theta| > 1$ 时， $W < 0$ ，从而 $\Delta F > 0$ ，此时才出现热力学不完全湿润的情况。同时还可以看出：当 $\theta < 90^\circ$ 时，表面粗糙度增加，在热力学上有利于湿润；只有当 $\theta > 90^\circ$ 时，表面粗糙度增加才不利于热力学湿润。

在绝大多数的情况下，胶粘剂对被粘物的接触角小于 90° ，在热力学平衡时均能完全湿润被粘物表面。