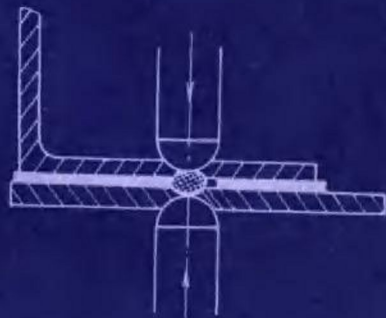


机械工程材料丛书

胶接与密封材料

季德俊 范太炳 编著



机械工业出版社

一架波音 747 大型客机竟有 1255m^2 的零部件是采用胶接连接的；震惊世界的美国挑战者号航天飞机空难竟是由于一个密封件失灵引起的。胶接及密封材料在现代技术中的作用已不再鲜为人知了。

本书讲述了胶接及密封材料的基本概念、基本原理、各类胶接及密封材料的典型配方、主要性能及适用范围，其中包括合成树脂胶粘剂、橡胶胶粘剂、无机胶粘剂和固体高分子密封材料、液体高分子密封材料等。本书还用较大篇幅介绍了胶接及密封技术及其在机械工业中的主要应用。

本书适用于机械设计、工艺施工、设备维修等方面的工程技术人员，也可作为工科大学大中专师生学习工程材料课程的参考书。

胶接与密封材料

季德俊 范太炳 编著

*

责任编辑：张蔼玲 版式设计：吴静霞

封面设计：刘 代 责任校对：熊天荣

责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787\times 1092^{1/32}$ ·印张 $6^{1/8}$ ·字数 132 千字

1990年 3 月北京第一版·1990年 3 月北京第一次印刷

印数 0,001—3,450 ·定价：4.60 元

*

ISBN 7-111-01204-6/TG·305

《机械工程材料丛书》出版说明

国民经济及科学技术的飞速进步，使机械工业产品朝着大型化、高速化、高性能、高精度方向发展。因而对材料科学提出愈来愈高的要求，新的材料不断出现。为了帮助在机械工程行业工作的中、高级技术人员开拓工程材料的知识领域，进行知识更新，正确选择和使用材料，充分发挥材料的性能潜力，使机械工业产品的水平得到进一步提高；同时也考虑到高等工业学校非材料专业本科生及研究生的机械工程材料课程涉及内容广泛而学时数有限，为使学生在学习机械工程材料课程时，有一套教学参考用书加以配合，我们组织编写了这套《机械工程材料丛书》，拟陆续出版十分册。这十分册是：《工程陶瓷材料》、《模具材料》、《工程塑料》、《低温材料》、《耐热钢及耐热合金》、《复合材料》、《胶接与密封材料》、《高强度与超高强度钢》、《耐磨及减摩材料》、《铝合金及钛合金》。

这套丛书的读者对象是：机械行业的中、高级技术人员，高等工业学校非材料专业的本科生及研究生。

丛书的内容以机械工程结构材料为主，适当介绍一些功能材料。内容的重点在于应用和选材，一般性谈及机理。阐述工程材料性能时，以使用性能为主，适当介绍其它性能，同时力求文字简洁，通俗易懂，便于自学。

由于条件和水平限制，特别是编审小组缺乏组织丛书编写的经验，因此丛书内容难免有不妥之处。希望读者尤其是各高等工业学校从事机械工程材料教学的教师提出宝贵意

IV

见，帮助我们改进提高。

高等工业学校机电类
《机械工程材料及物理化学》教材编审小组
1985.2

前 言

一架波音 747 大型客机竟有 1255m^2 的零部件是采用胶接连接的；震惊世界的美国挑战者号航天飞机空难竟是由于一个密封件失灵引起的。胶接及密封材料在现代技术中的作用已不再鲜为人知了。

随着科学技术的飞速进步，新材料不断涌现，传统的连接与密封工艺，如焊接、铆接、螺栓连接等已不可能完全适应。胶接与密封技术的发展，做为传统工艺的重要而且必要的补充，在国民经济的各个部门愈来愈多的得到广泛应用。

本书编写的目的，是为使机械设计、工艺施工、设备维修等方面工程技术人员开拓新材料的知识领域，指导他们在实践中正确选择和使用各种胶接与密封材料。本书也可作为高等工科院校学生学习机械工程材料课程的参考书。

本书从实用出发，重点介绍各类胶接与密封材料的原料组成、施工方法、适用范围以及性能特点等，便于读者应用和选材。

本书编写过程中，得到哈尔滨工业大学应用化学系魏月贞教授、金属材料工艺系张吉人教授的指导及审阅；王淑英、李秀华两位同志参加了部分编写工作，谨于此表示感谢。

由于作者水平所限，书中缺点、错误一定很多，敬请读者批评指正。

目 录

第一章	概述	1
§ 1-1	胶粘剂与胶接	1
§ 1-2	胶接的基本原理	6
§ 1-3	胶粘剂的分类	14
第二章	热塑性树脂胶粘剂	17
§ 2-1	聚醋酸乙烯及其衍生物胶粘剂	17
§ 2-2	乙烯共聚物胶粘剂	20
§ 2-3	丙烯酸酯类胶粘剂	22
§ 2-4	聚酰胺胶粘剂	31
第三章	热固性树脂胶粘剂	33
§ 3-1	环氧树脂胶粘剂	33
§ 3-2	酚醛树脂胶粘剂	62
§ 3-3	聚氨酯胶粘剂	70
第四章	橡胶胶粘剂	75
§ 4-1	天然橡胶胶粘剂	75
§ 4-2	氯丁橡胶胶粘剂	78
§ 4-3	其它合成橡胶胶粘剂	86
第五章	无机胶粘剂	89
§ 5-1	磷酸盐型无机胶	89
§ 5-2	硅酸盐型无机胶	94
第六章	固体高分子密封材料	98
§ 6-1	密封与密封材料概述	98
§ 6-2	橡胶型固体密封材料	99
§ 6-3	塑料型固体密封材料	106

第七章	液体高分子密封材料	111
§ 7-1	可硫化弹性密封胶	111
§ 7-2	厌氧密封胶	121
§ 7-3	非硫化型液体密封胶	130
第八章	胶接与密封工艺	139
§ 8-1	胶接与密封接头设计	139
§ 8-2	胶接与密封表面处理	146
§ 8-3	胶粘剂 (含密封胶) 的选用	152
第九章	胶接与密封性能测试	156
§ 9-1	胶接强度及其测试	156
§ 9-2	密封性能及其测试	163
第十章	胶接与密封的应用	165
§ 10-1	蜂窝夹层结构的胶接	165
§ 10-2	金属材料的胶接点焊	167
§ 10-3	在机械制造方面的应用	170
§ 10-4	在设备维修方面的应用	176
§ 10-5	在挽回加工废品方面的应用	180
§ 10-6	密封技术的应用	182
主要参考资料		187

第一章 概 述

§ 1-1 胶粘剂与胶接

一、定义、特点

胶粘剂又称粘合剂、粘接剂等，简称为胶。胶粘剂能通过本身在连接面上产生的机械结合力、物理吸附力和(或)化学键合力而使两个构件连接成为一个整体。用胶粘剂连接构件的工艺方法称为胶接。

胶接与传统的机械连接工艺——焊接、铆接、螺栓连接等相比较，具有以下特点：

1. 胶接可连接各种金属及非金属材料，例如各种金属与玻璃、陶瓷、塑料、橡胶、木材、织物之间的连接，又如超薄材料（金属箔材）、超硬材料（淬火钢板）的连接。

2. 胶接接头能在整个胶接面上承受载荷，因而承载能力高。例如连接两块厚度为 1mm 的铝合金板材，当搭接面积为 $30 \times 30 \text{ mm}^2$ 时，胶接（采用室温固化环氧胶）的承载能力为 11.1kN，而点焊连接（焊点直径 3mm）承载能力仅为 2.85kN，铆接（采用直径 3mm 硬铝铆钉）承载能力仅为 2.28kN。在上述条件下，胶接的承载能力分别为焊接或铆接的四至五倍。

3. 胶接可避免焊接的应力变形和铆接、螺栓连接由于钻孔造成的应力集中，因而胶接接头应力分布比较均匀。

应力集中的消除，对提高构件的疲劳寿命具有重要作用。国外曾在图 1-1 的工字梁结构上进行了铆、焊、胶三种

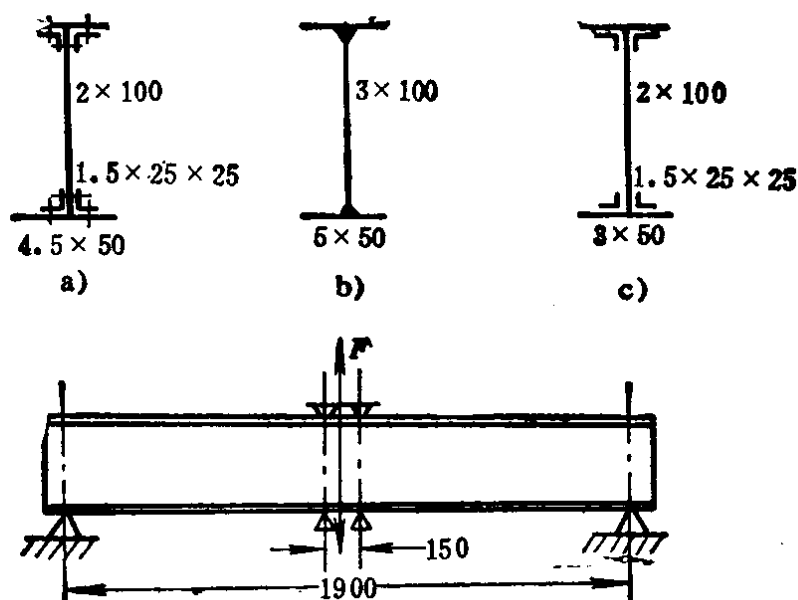


图1-1 铆、焊、胶三种结构工字梁尺寸示意图
(尺寸单位mm)

a) 铆接结构 b) 焊接结构 c) 胶接结构

工艺的对比试验。为了便于比较，采用了不同尺寸的结构件以保证三种结构具有相等的阻力矩（如图），在相同的交变弯曲应力作用下试验，其结果是胶接结构的疲劳寿命最高，分别为焊接结构和铆接结构的五倍和六倍。

4. 胶接接头一般都有较好的密封性能，如配合适当的接头形式，密封接头可耐压达30MPa，真空密封可达 $1.33 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。胶粘剂通常都具有电绝缘性，其绝缘电阻率因胶粘剂不同而异，最高可达 $10^{14} \sim 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 。为满足某些电器元件的导电连接，可采用导电胶。导电胶的导电率可接近水银的程度。胶粘剂通常还都具有防腐性能，胶接接头一般不需再做防腐处理。

5. 胶接工艺简单，与焊接、铆接相比，不需复杂的专用设备，工艺操作通常是在室温或较低的温度下进行，因而

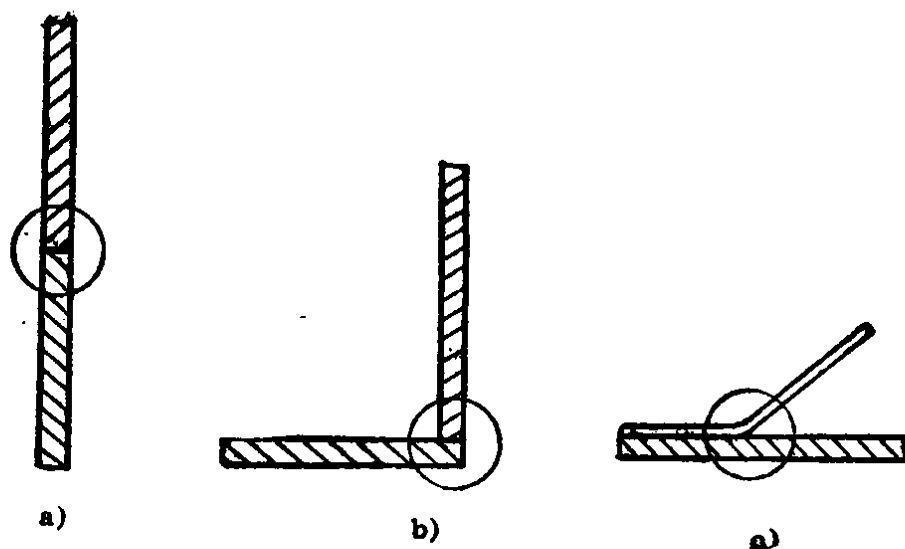


图1-2 几种不宜采用胶接的接头形式

a) 对接 b) 角接 c) 剥离接头

效率高，成本低。

当然，胶接也存在一些缺点，应用范围受到一定限制。这些缺点主要是：

1. 胶接强度比较低，一般仅能达到金属母材强度的10～50%。胶接接头的承载能力依赖于较大的胶接面积，对胶接面较小的平板对接或角接接头，以及与胶接面积关系不大的承受剥离力的接头（图 1-2），都不宜采用胶接。

2. 胶粘剂的耐热性一般都较低，通常有机胶粘剂使用温度在150℃以下，可在250℃以上使用的胶粘剂品种不多。以硅酸盐、磷酸盐等为基料的无机胶粘剂虽然可耐800～1000℃的高温，但由于性能较脆，只适于某些特殊结构的胶接。

3. 胶粘剂的老化问题尚待进一步解决。以有机高分子化合物为基料的天然或合成胶粘剂在温度变化、潮湿、紫外线照射等条件下，性能变坏的趋势比金属或其它无机材料更

为严重，但在合成高分子材料中，由于胶粘剂多应用于密封的缝隙之中，因而它比工程塑料、油漆涂料等工作环境好，耐老化寿命也相对更长些。然而，胶粘剂的老化机理及防老化措施的研究，一直是胶接研究者的重要课题。

二、历史、发展及应用

胶粘剂的应用已有几千年的历史，无论是埃及的金字塔、中国的万里长城，还是各地的出土文物，考古学家都发现了胶粘剂的痕迹。然而直至本世纪初，人类应用的胶粘剂多为骨胶、皮胶、松脂胶、淀粉胶等天然产物，随着合成高分子化学工业的发展，本世纪30年代出现了合成树脂、合成橡胶等合成高分子材料，为胶粘剂的开发提供了丰富的原材料，以合成高分子材料为基料的合成胶粘剂，其胶接强度、耐热、耐介质、耐老化等性能都大大优于天然胶粘剂，使胶接的应用范围开始从文具纸张、竹木家具、建筑结构等向机械工业发展，尤其是在第二次世界大战期间，胶接技术用于飞机制造，显示了独特的优点，从而使胶接连接成为焊接、铆接和其它连接形式所不能代替的一种新型连接工艺。

目前，胶接技术应用的主要部门之一仍然是航空工业，由于飞机结构采用了胶接工艺，可以减轻结构重量，提高疲劳寿命，又能大大简化工艺过程，因而许多国家都把胶接看成是飞机制造工艺的新方向，几乎所有的机种都不同程度地应用了胶接的金属板金结构和金属或非金属蜂窝夹层结构，而且随着新机种的设计，胶接结构的应用逐步扩大，以美制运输机为例，1953年设计的C-130型，胶接面积为 9m^2 ，1962年设计的C-141型，胶接面积为 560m^2 ，1965年设计的C-5A型，胶接面积增大到 3200m^2 。另据报导，美制B-58轰炸机，机身表面积的85%都采用了胶接结构。

胶接在机械工业中广泛用于各种非金属材料以及与金属材料之间的连接。典型的应用实例是离合器或刹车蹄摩擦材料的胶接,与传统的铆接相比,可简化工艺,增大摩擦面积,又能提高使用寿命。国外在1944年就有关于坦克车离合器采用胶接的报导,国内也在汽车的刹车蹄和拖拉机的离合器上进行了大量的胶接试验,并在许多车种上应用。

胶接在机械工业中还广泛用于设备的维修,机床导轨、轴、套的磨损或划伤,铸件的裂纹或砂眼都可用添加不同填料的胶粘剂来修补,甚至破裂的壳体,断裂的轴杆都可通过选用适当的接头形式或辅以适当的加固措施用胶接来修复。此外,胶接在机械装配上代替键紧配合连接(如轮船的尾轴与螺旋桨的连接)可降低对配合精度的要求,减少加工工时,提高装配效率。

胶接在其它工业领域应用也很广泛,就用量而言,木材加工业应居首位,世界各国都几乎有百分之七十的胶粘剂是用来加工胶合板、纤维板以及各种贴面板。在轻工生产中,胶接应用较多的是产品包装、书籍装订、制革制鞋、文体用品、工艺美术等。在建筑业,胶接技术主要用于室内外装修,如大理石、瓷砖的粘贴,随着有机新型建筑材料的广泛应用,如泡沫天花板、塑料门窗、壁纸等都离不开胶接。

在医学上,胶接技术用于牙科修补、外科手术、节育措施等方面,并都取得了可喜的效果。

合成胶粘剂的应用仅有五、六十年的历史,现代胶接技术还属发展中的新工艺,随着使用方便、无污染、高性能胶粘剂的不断涌现,胶接技术在国民经济中的应用将更加广泛;随着材料领域的不断革命,合成材料逐渐代替天然材料,非金属材料逐渐代替金属材料,胶接工艺在机械连接工

艺中的地位将越来越重要。

§ 1-2 胶接的基本原理

一、胶接接头破坏的形式

胶接接头破坏发生在胶层时，可能有两种情况，一种情况是发生在胶层内部，破坏时胶粘剂分布在两个胶接面上（图 1-3 a），称为内聚破坏；另一种情况是破坏发生在胶粘剂与被胶接物界面处，破坏时胶粘剂全部留在一个胶接面上（图 1-3 b），称为粘附破坏。

由此可见，为了获得一个理想的胶接接头，必须同时提高胶粘剂本身的内聚强度和胶粘剂对被胶接面的粘附强度。内聚强度主要取决于胶粘剂的性质和固化工艺条件，粘附强度不仅与胶粘剂有关，而且还取决于被胶接材料的性质和表面状态。胶接理论主要是研究粘附强度的本质及其产生的机理。

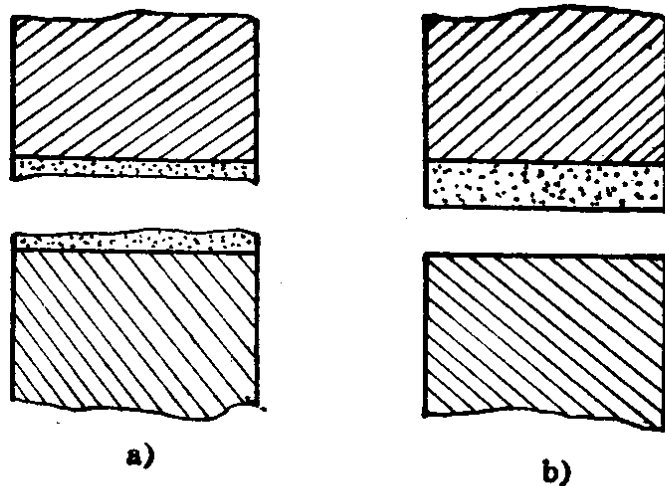


图1-3 胶接接头破坏的形式

a) 内聚破坏 b) 粘附破坏

二、产生粘附力的条件

1. 胶粘剂对被胶接材料表面的浸润 一滴液体接触固体表面后，接触面积自动增大的过程叫做浸润，这是液体分子与固体表面相互作用的结果，液滴切面与固体平面之间的夹角 θ 称为浸润角，浸润角的数值表示浸润程度的大小，当 $\theta = 0^\circ$ 表示液体对固体表面完全浸润，当 $\theta = 180^\circ$ 表示完全不浸润。通常情况下，液体对固体表面呈不完全浸润状态，即 $0^\circ < \theta < 180^\circ$ 。

胶粘剂一般为粘稠液体，某些固体胶粘剂如胶膜、胶棒等，在胶接过程中也需通过加热使其变为粘流态。粘流态的胶粘剂对固体表面的浸润与一般液体相似，然而浸润角 θ 达到平衡值的时间较长，因为胶粘剂对固体表面的浸润不仅取决于它们之间的浸润热力学条件，即两界面间相容性参数、表面能等，还与界面分子间接触过程中的动力学即浸润或散开速度有关，后者又与胶粘剂的粘度和被胶接表面状态（粗糙度、清洁度等）有直接关系。

2. 胶粘剂对被胶接材料表面的作用 胶粘剂对被胶接材料表面的浸润是产生粘附力的必要条件，而界面上发生的机械、物理和化学作用是产生粘附力的充分条件。对不同的胶粘剂和不同的被胶接表面而言，各种作用对最终产生的粘附力其贡献大小是不同的。

（1）机械作用 任何固体材料表面，都不可能是绝对光滑和无缺陷的，当进行胶接时，由于胶粘剂有流动性，很容易渗入被胶接材料表面的微小凹陷和孔隙之中，胶粘剂固化后，就被镶嵌在里面，形成许多微小的胶粘剂“销钉”，将两个固体表面连接在一起，这就是机械作用。

被胶接材料表面加工成一定程度的粗糙度，能显著地提

高胶接强度，这显然与粗糙表面比光滑表面增大了有效胶接面积有关，同时与上述机械作用也是分不开的，尤其是对高模量的胶粘剂，由于“销钉”作用增强，粗糙表面的机械作用也就更重要。

(2) 扩散作用 在胶接界面上，由于分子的热运动，使胶粘剂与被胶接材料表面分子彼此扩散到对方当中，从而界面消失，这也是产生粘附强度的一个因素。然而在一般情况下，这种扩散作用很不明显，产生的粘附力也很小。当用有机高分子胶粘剂胶接塑料、橡胶、合成纤维等高分子材料时，由于大分子及其链段的热运动，胶粘剂与被胶接材料分子相互扩散、形成相互“交织”的结合，界面消失，产生很高的粘附强度。

(3) 吸附作用 根据物理学的观点，任何物质的分子相互接触到一定程度，便产生作用力，这种作用称为吸附。

在胶接过程中，胶粘剂大分子或其链段的热运动，使其极性基团部分向被胶接材料表面靠近，当它们之间的距离小于零点几纳米时，分子间便产生了吸附力，由于大分子含有极性基团甚多以及众多大分子产生吸附力有加合性，所以总吸附力较强，一般认为这是产生粘附力的主要因素。

破坏某些胶接接头时，常发现有放电现象，如以 $2.7 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ 的速度剥离聚氯乙烯与玻璃的胶接体系，发现在剥离面上有发光的放电现象，用验电器也在界面上验出有静电荷，上述现象说明在胶接界面上存在有双电层，双电层间的静电引力也是产生粘附力的因素。当然，静电作用的实质与吸附作用一样，也是由于大分子极性基团的相互作用引起的。

(4) 化学作用 在某些胶接接头上，胶粘剂分子能与

被胶接材料表面的某些基团相互作用形成化学键，化学键的形成需要特定的条件，但这种化学的结合却是比较牢固的。

三、影响胶接强度的因素

从上述对形成粘附力条件的分析，可以得知影响胶接强度的主要因素是胶粘剂的性质、被胶接材料表面状态和胶接工艺三方面。

1. 胶粘剂主体材料的性质

(1) 分子量的影响 在一般情况下，分子量较低的高分子化合物，其粘度（或熔点）也较低，因而浸润及粘附性能较好，但分子量过低的高分子化合物本身内聚强度低。

用不同分子量的聚异丁烯溶液胶接玻璃纸，测其剥离强度如表 1-1 所示。

表1-1 分子量对胶接性能的影响

聚异丁烯的相对分子质量	剥离强度①/(N·m ⁻¹)	破坏特征
7000	0	内聚破坏
20000	3.96×10^2	混合破坏
100000	0.67×10^2	粘附破坏
150000	0.67×10^2	粘附破坏

① 剥离强度的概念详见 § 9-1。

聚异丁烯的相对分子质量在 20000 左右时，粘附强度与内聚强度相当，表现出最高的胶接强度；相对分子质量低于 20000 时，内聚强度低；高于 20000 时粘附强度低。对不同的分子化合物，具有最佳胶接强度的相对分子质量值是不同的，如聚异丁烯为 20000，而聚醋酸乙烯酯为 10000 左右。

(2) 分子结构的影响 做为胶粘剂的高分子化合物，当分子结构中含有较多和较强的极性基团时，一般胶接强度

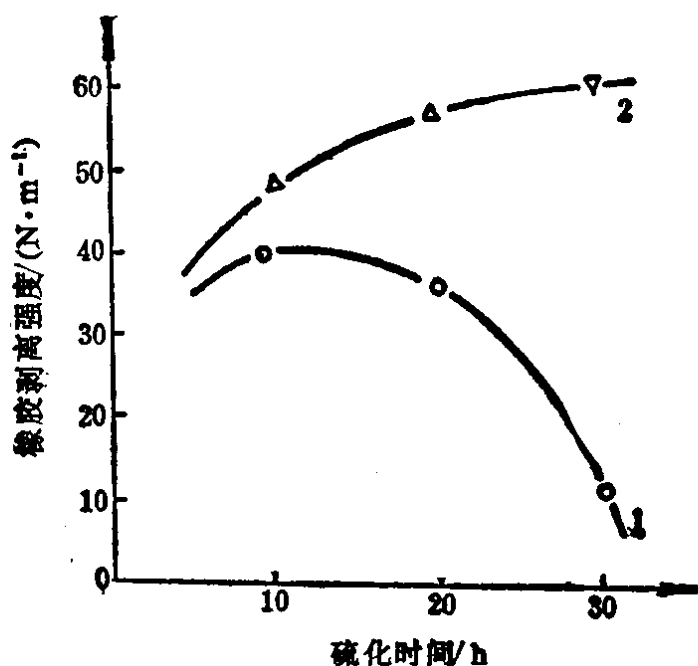


图1-4 硫化对橡胶胶接强度的影响

1—含硫化剂的天然橡胶 2—不含硫化剂的天然橡胶

较高，如环氧树脂、酚醛树脂、丁腈橡胶等，含有极性的醚键（—O—）、羟基（—OH）、腈基（—CN）等，常被用做胶粘剂的主体材料，而不含强极性基团的聚乙烯、聚丙烯很少被采用。

高分子化合物的交联程度越高，粘附性能越差，天然橡胶由于硫化交联而大大削弱了硫化橡胶的粘附性能（图1-4）。

2. 被胶接材料表面状态

（1）表面清洁度的影响 被胶接材料表面沾有污物会大大降低胶接强度。试验证明，当铝合金试件上涂有机油、石蜡油、润滑油时，环氧胶粘剂的胶接强度将分别降低15%、20%和100%。

（2）表面粗糙度的影响 经验证明，被胶接材料表面具有一定的粗糙度，能够提高胶接强度，这是由于粗糙表面