

机械工业 胶接密封技术

机械工业部科学技术司

机 械 工 业
胶 接 密 封 技 术

机 械 工 业 部 科 学 技 术 司

一 九 八 四 年 八 月

内 容 简 介

本书是机械工业部科技司为机械工业胶接密封培训班组织编写的教材。全书重点介绍胶接密封的应用技术，共分四篇，分别介绍胶接密封技术的应用、现状和基本理论；机械工业常用胶及其应用性能；系统介绍胶接、液态密封、铸件浸渗和螺栓防松等基本应用技术；胶接密封的检测技术。内容丰富，并有实例说明。

本书是培训胶接密封技术的良好教材，可供从事胶接密封技术的科研、设计、工艺技术人员和工人以及大专院校有关专业的师生参考。

机 械 工 业 胶 接 密 封 技 术

机械工业部科学技术司

出版：《机电工程》编辑部

杭州市劳动路122号

印刷：浙江省余杭县崇贤印刷厂

前 言

胶接密封是一种古老而新兴的技术，它涉及到许多科学技术领域。近年来发展很快，效果显著，推广应用的潜力很大，大有可为。为尽快把这一技术广泛深入地应用到机电产品，解决结合面长期存在的“三漏”，受压铸件试压过程中长期大量报废，螺栓松动，过盈配合损伤精度，以及常规工艺不能连接等技术关键，我们根据机械工业上质量、上品种、上水平和提高经济效益战略任务的要求，组织编写了《机械工业胶接密封技术》教材，供各省、市、自治区机械厅（局），各市、县和工厂组织培训班用，加快普及胶接密封技术知识，以促进在机电产品上推广应用，提高产品在国内外市场上的竞争能力。

本教材是在我部一九八一年举办的《胶接密封技术》培训教材的基础上，针对当前机电工厂普遍存在的问题，总结一些典型经验而编写的，注意了新技术的采纳和实用性。本教材共分四篇，第一篇着重阐述了胶接密封技术在机械工业中的地位、应用现状及发展前景，并简要地介绍了胶接密封理论的一些观点。第二篇叙述了机械工业常用胶粘剂和密封胶的性能，应用工艺和一些基本配方。第三篇是胶接和密封应用技术，它是本教材的重点，从胶接密封技术的涵义出发，全面地论述了应用过程中必须遵循的基本原则，重点的、全面的介绍了胶接技术，液态密封技术，浸渗技术，锁紧防松技术，并列举了典型实例。第四篇简要地介绍了胶接密封技术的检测技术，并展望了今后胶接密封质量监控技术的发展前景。本教材也可供机械工业从事胶接密封技术工作的教学、科研、生产、应用人员参考。

本教材由部机械科学研究院负责，上海材料研究所、广州机床研究所、浙江省机械研究所、湖南省机械研究所等单位组成编写组，分别派有关专业人员进行编写，浙江省机械研究所总编。最后由部机械科学研究院张叙公同志主持，邀请陈尔春、魏春鸣、陈继祥、沈公铭、张诗林、王锦林等同志审阅定稿。在编写过程中曾得到有关科研、大专院校和工厂等单位的大力支持，在此谨致谢意。

本教材由于编写时间较紧，经验不足，难免有不妥之处，请指正。

机械工业部科学技术司

1984年8月

目 录

第一篇 概 论

第一章 胶接和密封技术的作用和现状	2
第一节 胶接和密封技术在机械产品中的应用	2
第二节 胶接和密封技术的发展及现状	4
第二章 胶接和密封的机理	8
第一节 有关高聚物的一些知识	8
第二节 胶接机理	10
第三节 液态密封胶的密封机理	17

第二篇 胶粘剂和密封胶

第一章 胶的分类和进展	23
第一节 胶的分类	23
第二节 胶粘剂和密封胶的进展	24
第二章 环氧树脂胶粘剂	28
第一节 环氧胶粘剂的组成	28
第二节 环氧胶粘剂的固化反应机理	35
第三节 环氧胶粘剂的性能和用途	40
第四节 胶接工艺	50
第三章 酚醛树脂胶粘剂	53
第四章 橡胶型胶粘剂	61
第一节 概况	61
第二节 氯丁橡胶胶粘剂	61
第三节 氯丁—酚醛胶粘剂	64
第四节 聚硫橡胶胶粘剂	68
第五节 丁腈橡胶胶粘剂	70
第六节 硅橡胶胶粘剂	70
第七节 橡胶型胶粘剂的胶接工艺	72
第五章 聚氨酯胶粘剂	73
第六章 厌氧胶粘剂	83
第一节 概述	83
第二节 厌氧胶的组成和固化机理	84
第三节 厌氧胶的分类和用途	92

第四节	厌氧胶的性能	97
第五节	厌氧胶的应用工艺	106
第七章	无机胶粘剂	109
第一节	概述	109
第二节	无机胶粘剂的分类	109
第三节	常用的无机胶粘剂	110
第八章	液态密封胶	121
第一节	概述	121
第二节	组成和配方	122
第三节	主要性能	135
第四节	适用范围	136
第五节	通用的应用工艺	137
第九章	其它胶粘剂	138
第一节	α -氰基丙烯酸酯胶粘剂	138
第二节	第二代丙烯酸酯胶粘剂	141
第三节	热熔胶粘剂	147

第三篇 胶接和密封应用技术

第一章	胶接应用技术	152
第一节	胶粘剂的选择	153
第二节	胶接接头的破坏和力学性能	153
第三节	胶接接头的设计	163
第四节	胶接工艺	173
第五节	胶接技术在国外的应用及用例	183
第六节	胶接技术在国内的应用及用例	189
第二章	液态密封技术	210
第一节	液态密封的应用和应用范围	210
第二节	密封胶的选择	212
第三节	影响密封性能的因素	215
第四节	应用工艺和应用性能试验	221
第五节	涂布工具及装置	223
第六节	应用事例	232
第三章	浸渗技术	240
第一节	浸渗技术的作用和应用范围	241
第二节	浸渗方法和浸渗胶	242
第三节	无机浸渗胶的应用技术	245
第四节	厌氧浸渗胶的应用技术	252
第五节	聚酯类浸渗胶的应用技术	260

第四章	锁紧防松技术	262
第一节	厌氧胶锁紧防松的原理.....	262
第二节	厌氧胶的锁紧防松性能.....	265
第三节	锁紧防松用胶的选择.....	267
第四节	应用工艺.....	269
第五节	应用事例.....	270

第四篇 胶接密封的检测技术

第一章	胶接和密封的性能测试	273
第一节	胶粘剂和胶接接头性能的通用测试方法.....	273
第二节	厌氧胶的测试方法.....	286
第三节	液态密封胶的测试方法.....	289
第二章	胶接和密封质量的无损检测技术	294
第一节	声学检测技术.....	294
第二节	热学和光学检测技术.....	296
第三章	胶粘剂和密封剂的分析技术	299
第一节	红外光谱法.....	299
第二节	热分析法.....	302
第三节	裂解气相色谱法.....	304

第一篇 概 论

胶粘剂和密封胶及其应用技术已成为机械工业中一项新型工程材料和新工艺，正得到日益广泛的应用。为加快机械工业上质量、上品种、上水平、提高经济效益的步伐，基本解决产品的“三漏”、“松动”和常规工艺不易或不能完成的连接等技术关键，必须积极推广和应用先进的胶接和密封技术。

胶粘剂是指能使两个物体或材料粘合在一起的物质。用胶粘剂连接物体（材料）就称为胶接。密封胶又称液态垫圈，它没有胶粘剂那样的粘合力，在常温下是液态流动性的粘性物质，涂敷在工件接合面会形成粘性、粘弹性薄层或可剥性的弹性薄膜，填满接合面所有缝隙，达到密封止漏的作用，是一种新型的密封体系。

胶接和密封的主要优点在于：

1. 实现同种和异种材料（包括金属与非金属）的连接，解决用其它连接工艺，如焊、铆、螺栓等难以实现的连接；
2. 保证接头和接合面完全密封，并且改善抗蚀性能，因接合面间的胶能阻止电偶腐蚀，填满空隙使潮气和腐蚀性物质无法留存；
3. 接合面间的胶层对振动有阻尼作用，胶接接头有良好的吸振防松性能；
4. 利用某些胶极好的渗透性能，渗入多孔件、铸件、焊缝的微小气孔，能起到浸渗密封作用；
5. 取消或减少紧固件、固态垫圈等，适当降低工件接合面的加工要求，简化组装工艺，减少加工工时；
6. 胶接和密封一般可在常温下进行，最高工艺温度一般不会高于 200°C ，因此能减少工件受热变形并节约能耗；
7. 胶接件外观平整，应力分布均匀，有较高的疲劳强度；
8. 胶接和密封工艺操作简单，便于实现机械化和自动化。

当然，胶接和密封技术也有不足之处，例如：有机胶的耐热性有限，长期工作温度一般不超过 150°C ，个别的也只能达到 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 左右；胶接质量易受影响，性能的分散性较大；胶接质量的检测手段还不够完善等等。因此，要严格控制胶接和密封的工艺过程。

为在机械产品中更好、更广泛的应用胶接和密封技术，发挥优势，克服不足之处，就应该认真研究和掌握这项新材料和新工艺。

机械产品胶接和密封技术主要是指应用技术。其中包括：了解各种胶粘剂和密封胶的应用性能，正确选择胶并完成接头的正确设计；了解胶的应用工艺，正确选择工艺参数，编制胶的应用工艺和设计涂布工具；了解胶接和密封的质量检测方法，能针对产品的需要，制订确保产品胶接和密封质量所需的检测规范；了解其它与胶接、密封有关的技术，如安全技术、贮存和运输技术等。本教材将针对机械产品的需要，提供有关应用技术的一些基础知识。

第一章 胶接和密封技术的作用和现状

第一节 胶接和密封技术在机械产品中的应用

一、胶接和密封技术在机械产品中的主要用途

机械产品中胶接、密封技术有极其广泛的应用范围。主要有胶接、密封、浸渗、防松和维修等方面。以汽车为例，结构性胶接可用于刹车蹄和刹车片的连接，以取代传统的铆接，非结构性胶接可用于内饰件，顶蓬等的连接；汽车本身和发动机接合面的密封广泛应用了密封胶；发动机和机架螺栓的防松亦需用厌氧胶；气缸盖和气缸座铸件的微气孔渗漏是靠浸渗胶浸渗密封；发动机和驾驶室之间还要用防震隔热胶来吸震和隔热；挡风玻璃需要密封胶等密封或胶接。总之，汽车工业离不开胶。机床是机械工业的主要行业之一，机床中接合面的密封是靠密封胶解决的，复合材料和氟塑料导轨要靠胶粘剂胶接；机床中螺栓的防松可用厌氧胶锁紧；胶接拼装结构有可能实现机床的以小拼大，简化工艺，如1972年，上海自行车厂等单位以15块钢板拼装胶接成功的5台1—5吨油压机台面，正常使用至今；机床铸件的砂眼、气孔也可以通过胶粘剂填补。电机行业小到仪表电机大到几十万千瓦发电机都要应用胶，如小电机转子和轴可用胶接取代压配或整体浇铸；10万千瓦级的大电机硅钢片需要胶接防松。工艺装备在机械工业中是量大面广的，胶粘剂已成功用于刀具胶接，量具模具的胶接，不但提高工装的精度和使用寿命，还简化了制造工艺。由上可见，胶接和密封技术在各种类型的机械产品上都要应用，就连产品铭牌的胶接也引起人们广泛的兴趣。

二、胶接和密封技术与工艺技术进步的关系

胶粘剂和密封胶作为一项新型工程材料用于机械产品是工艺技术的进步。突出表现在产品质量提高、性能稳定可靠、工艺简便、成本降低等方面。以密封为例，过去为防止机床接合面泄漏，常采用磨削、刮研等办法提高加工精度和光洁度，增加了工时，提高了制造成本，而且还不能确保密封。若用液态密封技术，不但能保证机床接合面的密封，而且可以适当降低加工精度和光洁度，还可以取消原有的固态垫圈(片)。汽车上采用胶粘剂和密封胶可以取代部份铆、焊，简化组装工艺，防震、密封，减少噪音，以至减轻车辆自重等多种成效。国外汽车的单台用胶量已达到3—25公斤(货—客车)之多。如美国乐泰(Loctite)公司生产的厌氧胶已用在汽车和发动机的80多个部件上。胶接、密封技术已成为汽车制造中必不可少的常规工艺。又如，机械产品中的高速轴承与轴承座孔用胶接取代压配合组装，不但工艺简便，而且能提高组装质量，避免压配合引起的微量变形，还可适当降低配合面的加工要求，组装后的使用性能稳定可靠，这种组装连接对高速轴承具有很大的意义。像仪器仪表行业中的塑料与金属连接、光学镜头与金属框架的连接等更是只有用胶接工艺才能解决。胶接和密封技术推动了产品设计的改进，密封胶的应用带来了新的液态密封技术，为产品提供了新的静密封体系。胶接技术在汽车中应用改进了汽车的设计，如美国通用汽车公司设计了胶接的车身双层顶盖，有良好的刚性和防振性，并且可以减少一半冲压件。浸渗技术的应用促进产品毛坯(铸件、压铸

件)进一步薄壁化,有利于减轻产品重量,降低能源消耗。紧固件胶接防松的技术改进了产品防松设计,取消了原有的机械防松零件。机械产品从设计开始就应当考虑到应用胶接和密封技术,这样,不但能推动产品设计更新,而且也能充分发挥这项新材料和新工艺的优势。国外引进的产品可予借鉴,如国外的汽车发动机等动力机械产品,其接合面多数采用液态密封技术,紧固件螺纹多数采用厌氧胶锁紧。引进的机械产品,小到气动阀门,大到60万千瓦级发电机组都采用了胶粘剂和密封胶。如从美国西屋公司引进的60万千瓦汽轮发电机组就用了上百种胶。因此,在产品上用胶已不是一种权宜之计,而是技术进步的标志。

三、胶接和密封技术的经济效益

胶接和密封技术受到人们重视并得到广泛应用的主要原因之一就在于它有显著的技术经济效益。在国外,现代的结构胶胶接技术最早用于军工。飞机上与常用的铆条铆接结构比胶接结构有很大的优越性。不但消除了铆、焊和栓接固有的应力集中,提高疲劳强度,延长使用寿命,还减轻组装件的重量和工作制造的劳动量,从而降低生产成本。美国L-1011型大型客机采用大面积胶接壁板,每架飞机节省的紧固件件数可达25~100万件,机身的疲劳强度比铆接壁板提高5~10倍;C5A型大型军用机采用胶接蒙皮,提高了疲劳强度和使用寿命,降低金属消耗50%,节省劳动量50%,减轻结构重量25%;某直升机旋翼由于改成胶接结构,劳动量节省40~50%,成本降低一半,而使用寿命从500~600小时提高1500~6000小时。我国某水电站的4号水轮发电机组试运转时,由于水轮叶片转动部位漏油,每天损失润滑油1.2吨,后采用胶粘剂胶接,修正了密封圈直径,解决了漏油问题。微气孔渗漏是受压铸件常见现象,采用浸渗胶浸渗可以有效地密封止漏。如某内燃机厂自1975年来将无机浸渗胶用于汽车发动机缸盖等铝合金铸件的微气孔浸渗,几年来收益数百万元。密封胶用于机床接合面密封效益明显。以防止漏油为例,某汽车厂铸造分厂1—6号退火炉因油缸等处漏油,每月消耗油量达12000公斤,使用密封胶后下降至3000公斤,四个月内就节油5.5吨。胶接和密封技术用于维修所产生的经济效益更为显著。据某省1979年统计,胶接修复的农机具约有45.5万件,节约钢材5460吨,资金800多万元。总之,机械产品采用胶接和密封技术,提高了质量,改善了性能,是一项具有显著社会效益的技术措施。

四、我国机械产品中急需胶接和密封技术解决的问题

“三漏”问题在我国机械产品中普遍存在。实验表明,若一产品以每分钟一滴(0.04克)的速度渗漏,全年的漏油量就是21公斤。据有关部门估算,若以每台机床的平均年漏油量为5公斤计算,全国拥有各类机床数百万台,年漏油量高达一万多吨,损失在千万元以上。全国拖拉机拥有量约100多万台,若以有关资料介绍的每台平均年漏油量约为60公斤推算,全年漏油量近10万吨,损失将近亿元。我国汽车平均每台耗润滑油为130公斤左右,而美国只有16公斤左右,其中很大一部份是漏掉的,漏油不但造成经济损失,而且污染环境,影响产品性能,降低产品声誉,因此,已成为急需解决的大问题。机械产品中静密封泄漏约占总泄漏量的1/5到1/4,主要产生在产品接合面、螺纹接头等处,从设计和工艺上采用胶接密封技术是完全可能解决的,这已被国内外无数应用事例所证实。

铸件、压铸件和焊缝的微气孔渗漏通常并不影响产品结构强度,但因不能满足使用要求而不能采用。在国外,受压铸件因微气孔渗漏失效的废品率也有高达20%的,近年来由于采用了浸渗技术,废品率大幅度下降。如日本的受压铸件成品率达到96%,西德奔驰汽车为94

。在我国,此类产品废品率很高,据某省机械局统计,该省阀门1981年产量为7650吨,铸件微气孔渗漏废品约15%;柴油机年产40万马力,缸头废品约为10%;水泵年产8000吨,废品约10%。就以上三个行业的铸件微气孔渗漏废品损失就达200多万元。全国铸件产量1980年约为530万吨,其中因微气孔渗漏而报废的约占1—2%,每年损失价值在亿元以上,采用浸渗技术有可能挽回大部份损失,并能确保质量,达到与产品同寿命。机械产品中还存在着大量的异种材料和特殊材料连接、紧固件防松等问题,都需要应用胶接和密封技术才能解决。如某起重电磁铁厂在新产品高梯度磁选水器的铸铝线圈芯($\phi 1420$)中采用无机胶胶接,于200℃的蒸汽下正常工作,质量高于焊接,每台还可降低成本6500元;某开关厂在SW₄-110、220少油断路器中用环氧树脂胶接玻璃钢和钢套,保证了连接质量;某柴油机厂采用厌氧胶锁紧95型柴油机缸头螺栓,有效地防止了螺栓松动。胶接和密封技术在机械维修中也有广泛的用途。机械产品在使用中出现的机件损坏或开裂、磨损都可用胶胶接或填补;轴承、衬套使用中配合面松动打滑也可胶接固持,机器的密封防漏,锁紧防松都可以用胶解决。应急性修理是胶粘剂最合适的用途之一。胶接和密封技术用于维修,具有工艺简便,周期短,无需专门设备和熟练的操作技艺,对我国广大农村使用的机械产品的维修有极大的现实意义,应用的前景极为广阔。

总之,胶接和密封技术在机械产品中早已不是一项可有可无,修修补补的权宜之计,而是具有多种用途,能产生巨大经济效益的一项不可缺少的新材料和新工艺。在机械产品中合理地应用这项新技术,将促进产品设计更新和技术进步。

第二节 胶接和密封技术的发展及现状

胶接和密封技术是一门既古老又年青的技术,人们使用胶粘剂和密封胶已有悠久的历史。在5300年前人类就知道用水和粘土调合粘合石头。可以说胶接是所有连接技术(包括焊、铆、螺栓接等)中历史最悠久的一种。我国是应用胶接密封技术最早的国家之一,早在4000多年前就利用生漆粘制成漆器;3000年前的周朝已使用动物胶作为木船嵌缝的密封胶;著名的马王堆汉墓的保存也能从一个侧面说明我国古代高超的密封技术。

早期的胶粘剂基本是以天然物为原料的无机胶和动植物胶,应用面受到胶的性能限制。二十世纪以来,由于现代化大工业的发展,天然胶已远不能满足生产和发展的要求,因而促使合成胶粘剂的产生和发展。合成树脂胶粘剂的生产是从1909年贝克隆特(Backland)发明酚醛树脂开始的。随着高分子化学的进展和生产发展的需要,出现了各种各样的有机合成高聚物胶粘剂和密封胶,其主要类型和投入工业应用的年代见表1—1。短短几十年来,有机合成胶粘剂发展很快,品种越来越多,用途越来越广,大大超过了无机胶粘剂,处于垄断地位,但耐高温仍是有机胶粘剂难以逾越的障碍。近二十年来,由于宇航等尖端事业的发展,无机胶在日、美、英、苏联等国又有显著进展,以硅酸盐、磷酸盐或硼酸盐为主体的无机胶对金属、陶瓷等材料都有较好的胶接性能,使用温度为800~1000℃,有些品种甚至可达2900℃。应用范围也越来越广泛,出现了耐火焰胶、超高温胶、耐水胶、耐化学溶剂胶、应变胶等品种,发挥了无机胶的优势,成为胶粘剂不容忽视的一个分支。

胶粘剂和密封胶的应用在国外发展得极为迅速,就胶的销售量而言,1963年世界各国约

表1-1 胶粘剂与密封胶投入工业应用的年代

时 间	胶 种
二十世纪 二十年代	酚醛树脂胶粘剂、纤维素酯及醇酸树脂胶粘剂、环化橡胶胶粘剂
三十年代	脲醛树脂胶粘剂、压敏胶、丁腈、丁苯、氯丁橡胶胶粘剂 聚异氰酸酯胶粘剂 醋酸乙烯树脂胶粘剂
四十年代	三聚氰胺——甲醛胶粘剂 聚氨酯胶 氯丁橡胶——酚醛胶粘剂（作为结构型金属胶粘剂） 水玻璃型浸渍用无机胶
五十年代	环氧树脂胶粘剂、 α -氰基丙烯酸酯、厌氧胶、羧基弹性体胶 液态密封胶
六十年代	合成型热熔胶、新型氧化铜—磷 酸盐型无机胶
七十年代	第二代丙烯酸酯胶粘剂 厌氧性浸渍专用胶

为195万吨，1973年达400万吨（其中无机胶约占20%），而八十年代初已升至800万吨左右。美国、西德、苏联、日本等国的产量占80%。世界上用胶量最大的是粘合胶合板（占60%以上），机械产品的用胶量一般为总消耗量的5%左右。目前，胶的牌号已多到6000多种，但作为工程应用的主要有：环氧、有机硅、聚氨酯、改性丙烯酸酯、厌氧和氨基丙烯酸酯等六类，称为六大工程胶粘剂。这六类工程胶应用范围广泛，以美国、欧洲、日本为例，预计1988年产量将为1978年的二倍，见下页表1-2。

胶种和用量的发展一定程度上代表了胶接和密封技术的发展。下面简要介绍几种主要应用技术的进展。胶接是胶粘剂最早的应用技术，金属与金属的结构性胶接是从英国Aero公司于1941年发明“Redux”胶（酚醛——聚乙烯缩醛胶）开始的，这种胶成功地用在飞机主翼的结构胶接上。随着各种结构性和非结构性胶粘剂的出现，胶接技术已被机械、电机、仪表电器、汽车、船舶和农机等各机械行业广泛应用，成为一种新的组装连接工艺。在国外，胶接已和铆、焊和螺栓连接并列为主要连接工艺。以美国为例，胶接在产品总的连接中占的比例正逐年增加，目前其

费用值已占总费用的三分之一左右，见表1-3。为充分发挥各种连接方法的优点，还发展了胶接——焊接、胶接——铆接、螺栓——胶接等复合连接技术，胶接技术的应用使蜂窝夹层结构成为现实，这是一种有极好强度——重量比的新型结构，已广泛用于飞机和宇航飞行器，也可用在雷达、天线，甚至汽车、船舶和机床等产品。用胶接技术制造复合材料早已用于胶合板、木屑板、无纺布的制造中。六十年代开发的以胶粘剂为基体、以玻璃纤维为增强剂制成的玻璃钢已广泛用于机械产品，近年来用碳纤维、碳纤维胶合成的复合材料正崭露头角。因此，胶接技术又成为开发新材料的一种重要手段。

液态密封技术是密封胶的主要应用技术。二十世纪初，密封胶是以虫胶、硝化棉、油漆之类材料配制而成，涂在固态垫片二面，用以提高垫片的密封性能。管道接头螺纹则通常靠白铅油缠麻丝的方法密封。有机合成的液态密封胶是五十年代逐步发展起来的，由于涂布方便，性能可靠，被称为“牙膏管里的万能垫圈”。具有显著的经济效益，因而迅速在各

表1-2 六大工程胶消费量对比

胶 种	年 份	消 费 量 (百吨)			
		美 国	欧 洲	日 本	合 计
环 氧 树 脂	1978年	149.7	120.2	136.0	405.9
	1988年(预计)	210	177.8	242.7	630.5
有 机 硅	1978年	83.5	93.0	很少	176.5
	1988年(预计)	213.0	215.0		428.2
聚 氨 酯	1978年	23.6	39.9	0.5	64.0
	1988年(预计)	70.8	65.3	3.2	139.3
改性丙烯酸酯	1978年	0.9	很少	0.5	1.4
	1988年(预计)	68.0	28.1	6.8	102.9
硅 氧 胶	1978年	7.3	3.2	1.4	11.9
	1988年(预计)	27.3	8.2	2.3	38.2
氨基丙烯酸酯	1978年	3.2	1.4	2.3	6.9
	1988年(预计)	6.8	4.5	11.8	23.1
总 计	1978年	218.2	257.7	140.7	666.6
	1988年(预计)	596.5	498.9	266.8	1362.2

表1-3 美国的胶粘剂和其他连接耗费的比较

(百万美元)

连 接 种 类	1963— 1966年	1966— 1968年	1968— 1971年	1972— 1984年	1976年	1983年	1990年
胶粘剂与密封胶	458	560	669	1170	1655	3320	5190
螺栓、铆接等	1204	1653	1683	2400	2840	4800	7225
钉、销	161	175	196	278	320	510	825
焊、钎焊	366	400	455	537	699	1080	1660
总 计	2180	2798	3003	4385	5520	9710	14900
胶粘剂(%)	20.9	20	22.3	26.7	30.0	34.2	34.8

类机械产品中应用。六十年代中期,美国和日本等国都相应制订了液态密封胶的性能测试标准。根据应用需要,开发和提供了系列化液态密封胶产品,适用于各种不同的密封耐压等级和不同的工作介质,在涂布技术上逐步发展了“生产线涂布垫圈系统(OLGS)”,能直接在产品生产线上完成涂布作业。

浸渗技术是浸渗胶(剂)的应用技术,用浸渗胶渗入多孔性材料并不是一门新技术。很早以前,人们就懂得用米浆浆洗织物,用桐油浸渍木材防腐。并逐渐将这种技术用于工业生产如印染技术等。机械产品中应用浸渗技术还是从二十世纪四十年代发明了真空浸渗方法才开始的,主要用来解决微气孔渗漏。早期应用的浸渗胶是干性油如亚麻子油、桐油、蜂蜡等天然材料,及水玻璃、酚醛树脂等单一组分的浸渗胶,浸渗后使用效果并不理想,曾一度引起人们对浸渗

技术的怀疑,认为它是一种不可靠的修补方法。随着多孔性材料和化学工业的发展,加强了浸渗胶和浸渗工艺及装置的研究,六十年代开发了硅酸盐为主的无机浸渗剂。聚酯树脂等合成树脂浸渗胶,七十年代又出现了厌氧性浸渗胶。浸渗工艺和装备也日趋完善,浸渗效果显著提高,使浸渗技术进入崭新阶段,已成为解决机械产品铸件和焊缝的微气孔渗漏以及多孔件(如粉末冶金件)密封的行之有效的。浸渗技术作为一种新技术,在许多行业产品制造中成为不可缺少的一道工序。目前,美国、日本和欧洲各国在汽车发动机缸头、缸盖等铸件制造中都必须经过浸渗工序来消除微气孔渗漏,浸渗技术已成为一项专门性工艺。

锁紧防松也是胶粘剂一项独特的应用技术,其效果为普通机械防松方法所不及,因此受到人们的重视,广泛用于机械产品。厌氧胶就是由于对螺纹紧固件防松的优越作用而出名,

五十年代问世后，六十年代就成为机械产品不可缺少的防松手段，广泛用于国外机械产品。据称当前美国、日本、西德、苏联等国的汽车发动机上普遍采用厌氧胶锁紧防松。为方便应用，国外已生产出微胶囊型厌氧胶预涂布螺栓（钉），简化了组装工艺。

国外在扩大胶接和密封技术应用的同时，充分重视胶的固化和涂布技术的研究，以满足不同生产速率的要求，涂布工具已多样化，努力达到涂胶准、省、快。为满足大规模生产线的要求开发了紫外线固化、微处理机控制自动涂胶等新技术。

胶接和密封质量检测技术近年来也发展得很快，除建立胶的性能测试标准、加强胶的性能测试外，无损检测技术的研究正大力加强，部分检测技术已用于生产。

近年来，对胶接和密封形成、破坏等机理的理论探讨和实验在国外十分活跃。随着显微技术和电子计算机技术的进展，为理论研究创造了前所未有的条件。理论研究上的每项突破都将对实践有指导意义，将促使这项新技术提高到新的水平。

我国在解放前由于科学落后，基本没有胶粘剂工业。解放后在党的领导下，胶粘剂和密封胶有了较快的发展，机械产品中逐渐应用了胶接和密封技术。特别是在党的十一届三中全会后，国民经济迅速发展，胶粘剂和密封胶品种有很大发展，短短四、五年间，品种牌号已从原有的300多种增至600多种，产量也逐年增加，胶品种的开发也注意到机械产品的需要。主要工程胶种如环氧树脂、聚氨酯、厌氧胶、氰基丙烯酸酯以及橡胶型、酚醛—橡胶型都有多种产品供应。有机硅、第二代丙烯酸酯、热熔胶也有研制产品提供；无机胶方面，磷酸氧化铜胶已有十多个品种，硅酸盐胶也有研制产品供应；无机浸渗胶有作为商品销售的；液态密封胶在六十年代开始研究，七十年代中期开始供应商品，现有十多种商品供应，基本上能满足机械产品中低压密封要求。与国外相比，目前我国胶粘剂和密封胶的生产，确实还存在着质量不稳定，品种不全未形成系列，供应渠道不畅等问题。但从已研制成功的产品性能来看，大都已达到国外六、七十年代水平，个别产品已达到或接近国外目前水平。从国内胶的品种来看，除个别品种当需开发外，基本能满足机械产品的需要。而我国机械产品中胶粘剂和密封胶应用量，目前只有数百吨，即使与国外六十年代用胶量比差距也很大。以日本为例，1966年仅车辆和电机二行业的用量就为6000吨，七十年代达到18900吨。这说明我国机械产品中胶接、密封技术的应用开发工作比较落后，与国外对比，差距很大，与目前国内胶种的发展很不适应。近年来，机械部十分重视这一问题，已初步建立一支胶接和密封胶技术应用开发研究队伍，对国内胶种的评定，以及胶接、密封、锁紧、浸渗等主要应用技术开展研究。通过典型用例示范及技术培训等，促进了胶接密封技术的发展。

第二章 胶接和密封的机理

由于胶接和密封技术迅速发展,对其机理的研究自然成为各国学者关心的问题,在胶接理论方面曾提出了机械、吸附、化学键、扩散和静电等多种理论。近十多年来理论研究更为活跃,各种理论都有新的发展,胶粘剂和胶接技术已发展成为一门新的学科,称为胶接学(Adhesiology)。在密封机理研究方面,也出现了粘性流动和能量吸收等理论。这些理论对胶接和密封技术的论述都有正确的一面,也有不足之处,至今还未形成统一的理论。然而尽管如此,即使是定性的论述,对学习和掌握这项技术,选择最佳工艺条件等还是有十分重要的指导意义。

第一节 有关高聚物的一些知识

鉴于目前绝大多数胶粘剂和密封胶都由有机高聚物构成,在介绍有关胶接和密封机理前,有必要简单介绍有关有机高聚物方面的一些知识。

有机化合物实际上是碳氢化合物及其衍生物。从分子结构看,有机化合物分子中原子间靠共价键结合,而无机化合物主要靠离子键结合。不同的化学键类型决定了物性的差异。如离子间的相互作用力主要是静电引力,共价键分子间的作用为范德华力和氢键,其中范德华力包括取向力、诱导力和色散力。这些都是产生粘附的主要作用力,其能量见表2-1。

有机高聚物是以低分子有机化合物为原料由共价键结合起来的长链大分子,分子量可以从几千至几十万甚至上百万。分子量的高低对物理、机械性能有显著影响。了解高聚物的某些物性,对我们认识胶粘剂和密封胶是有帮助的。

一、高聚物分子量分布的多分散性

高聚物各分子的分子量并不相等,而是分布在一定范围内,即高聚物为组成相同而分子量不同的同系高分子组成的混合物,这一特性称为多分散性。分散性大小,显然会影响到高聚物的物理机械性能。

二、有机高聚物的结构特性

高聚物的性能与其结构类型密切相关。结构大致可分为线型、体型和支链型三种形式(图2-1)。

1. 线型高聚物:聚合时单体结合成线状的长链高分子,这些线型高聚物的各长链之间借助物理作用,即范德华力结合在一起,因此在热和溶剂的作用下,使这种结合减弱甚至消失,高聚物就呈可溶可熔的特性,热熔胶就以这类聚合物为主体。

2. 体型高聚物:当单体含有二个以上双键或三个以上活性官能团时,聚合反应进行时首

表2-1 原子—分子间作用力的能量

类 型	作用力种类	能 量(千卡/摩尔)
化 学 键 力 (主价力)	离 子 键	140~250
	共 价 键	15~170
	金 属 键	23~83
范 德 华 力 (次价力)	氢 键	> 12
	偶 极 力	> 5
	诱 导 力	> 0.5
	色 散 力	> 10

先形成线型分子，再进一步反应交联成网状的体型高聚物。这些分子链间是靠强的化学键联接。因此，对热和溶剂的作用都比线型高聚物稳定，呈不熔不溶的特性，很多胶粘剂固化后都属此型。

3. 支链型高聚物：在线型高聚物中，常含有支链数不多，长度不等的支链型高聚物。线型高聚物向体型高聚物转变过程中也会出现支链高聚物。支链高聚物通常具有线型高聚物的特点，随支链多少而性能介于线型和体型之间。

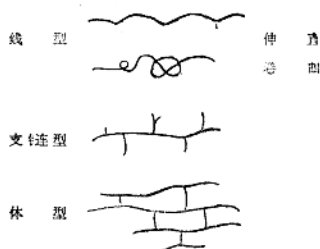


图 2-1 高聚物的结构

三、高聚物的热机械曲线

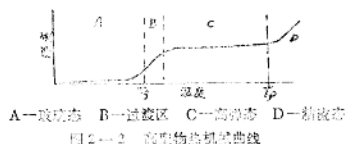
众所周知，线型非晶相高聚物可有三个不同的聚集状态，即玻璃态、高弹态和粘流态。

(1) 玻璃态：高聚物处于一定温度以下时，高分子链和链段二种运动单元都处在冻结状态，在外力作用下，链段能作微小伸缩，链角作微小改变，除去外力后即能很快恢复，此时高聚物呈现和低分子物完全一样的普弹形变，应力应变关系服从虎克定律，这种状态就是玻璃态，高聚物能保持玻璃态的极限温度称为玻璃化温度 T_g ，高于此温度，则失去普弹形变的特点。一般塑料的玻璃化温度高于室温，而橡胶则低于室温。

(2) 高弹态：若温度高于 T_g ，高聚物的链段运动被解冻，由于温度还不是很高，整个分子链仍不能运动。此时，在不大的外力作用下，高聚物会产生比普通形变大得多的形变。外力恒定时，形变会随时间增长而增大。除去外力后，形变不是立即恢复，而是经一定时间逐渐恢复，这种形变称为高弹形变。高聚物处在高弹形变的状态称为高弹态。各种橡胶在室温下就是处在高弹态。

(3) 粘流态：若温度再高些，超过某一温度范围时，分子热运动能量大到足以克服分子间的作用力，则整个大分子链都可自由运动。此时，高聚物就具有流体性质。外力下可产生很大的形变。除去外力，形变一般不能恢复，称为塑性形变。高聚物开始出现粘性流动的温度称为流动温度 (T_f) (软化温度)。高聚物处于产生不可逆形变的状态称为粘流态。应注意，此形变中还包含有可逆形变部分 (随时间恢复)

表示一定外力作用下，高聚物的形变与温度的关系曲线称为高聚物的热机械曲线，从图 2-2 可清楚地看出三种状态的关系。



四、有机高聚物的老化

有机高聚物在存放和使用过程中，随着时间的延长会导致物理性能恶化，如变色、变脆、发粘等，以致失去原有的机械性能，这种现象称为老化。实验证明，高聚物老化主要是由于环境因素，如：热、光、臭氧、水、酸、碱和生物等的长期

作用，使高聚物降解、交联所造成的。降解作用使高聚物聚合度下降，变软、发粘以至丧失机械性能。交联作用使线型高聚物转化为体型结构，失去弹性，产生脆裂，其中降解作用往往占主导地位。而降解作用大都按游离基连锁反应进行，所以老化具有自行加速的特点。

第二节 胶接机理

胶接是通过胶粘剂把被粘物连接在一起的过程。粗略地看,胶接接头是由三个均匀相即胶粘剂、二个被粘物和二个界面区构成(图2-3)。如果将受界面影响的边界层分开,这样就分为九层。每层都有其独特的性质。因此,胶接接头的结构要比机械的连接复杂得多。要形成一个牢固的胶接接头,除了要考虑到被粘物强度和胶粘剂内聚强度外,更重要的是要研究胶和被粘物界面的粘附力。这是一个复杂的有关物理化学的问题,已成为各国从事胶和胶接技术研究者所关心的问题。已对粘附现象提出了种种理论,力求进一步指导胶接实践。

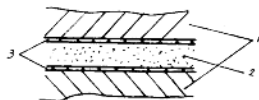


图2-3 胶接结构示意图

1. 被粘物 2. 胶粘剂 3. 界面

一、机械理论

机械理论是论述粘附机理最早的理论,它把胶接看成是胶粘剂与被粘物间的纯机械啮合或镶嵌作用,因为任何光滑的固体表面都不是真正平滑的,即使是超精研磨的表面,其粗糙度还有0.025微米左右,而且,固体表面常是多孔的,木材、皮革等本身就是多孔性的,金属表面的氧化薄层往往也是多孔性的。在被粘物这些凹凸不平、遍布沟壑的表面浸满胶粘剂,固化后就像铁锚似地与粘物机械地连接在一起(图2-4)。胶接中存在机械啮合和镶嵌力是大家所公认的。实验表明,用磷酸氧化铜无机胶胶接不同光洁度的套接试件测其压缩强度,其中带螺沟槽的试件最高,要比光洁度为 $\nabla 2-\nabla 3$ 的高 $300\sim 400\text{kgf/cm}^2$,比表面光洁度为 $\nabla 8-\nabla 9$ 的试件高 $800\sim 900\text{kgf/cm}^2$,但进一步探讨发现,单用机械理论是无法说明许多粘附现象的。如按机械嵌合力的观点,胶接强度只取决于胶和被粘物的内聚强度,一种胶应该可胶接各种材料,这些显然是不符合实际的。机械理论说明不了表面化学性能对胶接强度的显著影响。大量实践证明:机械嵌合作用并不是产生粘附力的主要因素。有些表面上看来是靠被粘物表面粗糙而提高胶接强度的现象,也并不是全靠机械嵌合作用实现的,如表面用砂纸打磨或喷砂处理能提高胶接强度,它可能是由于被粘物表面清洁而活性提高,表面积加大,利于湿润及加强机械嵌合等原因综合而得到的。



图2-4 胶和被粘物的机械嵌合

二、吸附理论

这是现今较为普遍的理论。很多学者认为粘附作用是胶粘剂与被粘物分子在界面层相互吸附而产生的。吸附力是分子之间的相互作用力——次价力引起的。粘附过程可分为二个阶段:首先是液态胶粘剂分子向被粘物表面扩散,逐渐靠近被粘物表面,第二阶段是当胶粘剂分子和被粘物分子间距离近至 $10\text{\AA}$ 时,次价力开始发生作用,产生吸附作用,并随距离进一步靠近而增至最强。这二个阶段是连续进行的,直至胶粘剂完全固化。对于不同的胶粘剂——被粘物体系,粘附作用可能是色散力的单独作用,也可能是色散力、诱导力、取向力和氢键等的