

# 3M™ Scotch-Weld™ 结构双组分环氧胶粘剂 与机械紧固件性能对比

---

## 摘要

许多性能和经济方面因素驱动客户考虑并使用结构性胶粘剂来取代传统的连接方法--包括重量和能源的节省、劳动力成本的降低、美学方面的改进,以及复合材料和其他不适合传统粘合方法的材料的使用的增加。本文提供了从机械连接成功过渡到胶粘剂连接的背景资料。

## 介绍

连接零件的传统方法包括焊接、铆接、使用螺母和螺栓以及其他机械紧固件。设计和生产工程师原本对这些方法感到满意,但现在许多新的因素使这些方法的局限性变得难以接受,受到挑战。许多行业提高性能的一个关键因素,特别是依靠内燃机或电池供电的自供电器和设备的制造,是需要靠减轻重量以减少燃料使用、能源消耗和随之而来的排放来提高它的性能。这可以通过用较轻的铝、复合材料或塑料代替相对较重的钢制部件,减少使用的机械紧固件数量,或使用较薄的金属板来实现。这些变化对传统的连接方法提出了挑战,因为异种材料、塑料和复合材料根本无法焊接;而较薄的金属板部件在放置贯穿式紧固件(铆钉、螺栓)的集中点上将更容易变形和撕裂。在重负荷下或由于疲劳造成的金属变形和撕裂,会导致零件的可靠性、寿命和/或紧固件之间的间隙降低。金属也可能被传统的装配工艺所损坏,例如,焊接薄规格的金属会导致热变形甚至是焊穿。胶粘剂粘合的接头提供了一个良好的干净表面,使得在完成最终加工之前,表面处理工作的工作量可以降到最低。最后,胶粘剂可以预先使用在最终装配过程中无法进行机械紧固的区域;并且可以进行新颖的设计,从而进一步减少重量、成本和劳动力。

胶粘剂已经发展成为可以替代这些传统连接方法的程度,可以使用在许多应用中,包括金属面板的制造,如门和电梯,农业设备,公共汽车,卡车和铁路面板连接,以及其他。为了成功对胶粘剂进行改性,设计和生产工程师必须考虑诸多因素,如下所述。

## 胶粘剂的选择

市场上有各种各样的结构性胶粘剂化学配方。这些配方从氰基丙烯酸酯快干胶粘剂到单组分(热固化)环氧树脂薄膜胶粘剂。虽然所有胶粘剂都有其用途,但它们并不都适合替代在动态应力环境中需要结构强度(例如抗冲击和持续振动)的焊接/机械紧固件。对于这些高要求的应用,合适的胶粘剂化学成分的数量是有限的。

有三种主要的化学成分可以提供适合大面积粘接的结构强度(这里的结构强度是指根据标准的搭接剪切程序测量的超过1000psi的搭接剪切强度)。双组分聚氨酯的配方是在混合后固化,通常在室温下固化相当迅速,即使在厚厚的粘合线中也是如此(它不像单组分聚氨酯密封剂,在暴露于大气或基材水分后固化,固化速度很慢)。双组分聚氨酯可以提供这种强度,其柔韧性使其在紧贴基材时可以提供相对良好的抗冲击性和剥离强度。然而,它们的模量普遍较低,导致耐热性能相对较差。此外,聚氨酯可能还需要金属底漆,以便在具有挑战性的环境条件下,如长期接触水/湿度,保持对金属的附着力。

双组分丙烯酸树脂的配方可以在不使用金属底漆的情况下,与金属非常牢固地结合在一起(有时不需要去除金属上的加工或防锈油)。丙烯酸树脂比聚氨酯有更好的高温性能,但往往也更脆,这也导致剥离强度较低,低温下强度保持能力也较差。一些丙烯酸树脂正在尝试通过巧妙的配方设计,来克服这些限制,如加入弹性颗粒或环氧树脂。因此,在许多温度不太高的应用中,性能较高的丙烯酸和丙烯酸混合材料可以满足需求,它们的快速固化率和与塑料的强粘合能力特别有利。

为了获得最佳的抗振性和耐环境性,环氧树脂胶粘剂是首选的化学成分。然而,在环氧树脂之中,它们在抵抗冲击和振动应力、应对环境挑战的能力以及提供非常高结构强度的能力等方面存在很大差异。许多人只了解第一代环氧树脂胶粘剂,它们往往是刚性的,可能有相对较差的耐环境性。这些环氧树脂在20世纪50年代首次推出,类似于在五金店出售的消费型环氧树脂或用于业余爱好。然而,随着不断的改进,环氧树脂技术已经克服了这些限制。

在20世纪70年代,具有明显更大灵活性的环氧树脂胶粘剂被推出。这些胶粘剂大大提高了粘合的剥离强度,和抗冲击/热应力/疲劳性。柔性环氧树脂现在被用于包括飞机的蜂窝粘合和铁路的地板等应用中,在这些应用中,即使受到反复振动和热循环的挑战,它们也必须提供长期和可靠的服务寿命。

20世纪80年代,增韧环氧树脂问世。与柔性环氧树脂不同的是,柔性环氧树脂依靠相对较低的模量来提供抗冲击和抗疲劳性,而增韧环氧树脂是用较高模量的基体制成的,其中嵌入了非常小(微米大小)的橡胶颗粒。这些颗粒在压力下吸收能量,并能阻止微裂缝的扩展,因此提供了最终的抗冲击和抗疲劳能力。增韧环氧树脂现在被用于要求最严格的应用,如手机塔的粘合、武器装备的粘合、体育用品的制造(复合山地自行车框架和高尔夫球杆头与杆身的粘合)等。

增韧环氧树脂不会牺牲该类胶粘剂固有的耐环境特性,通常是要求非常高的焊接和机械紧固替代的最佳选择。

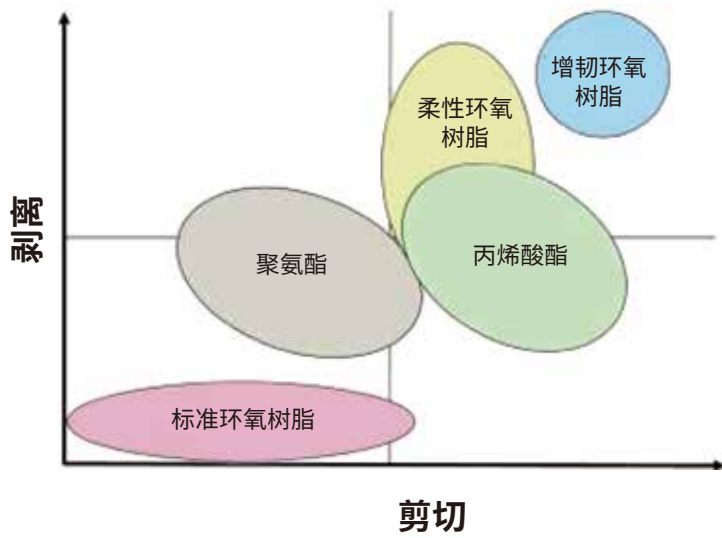


图1.比较剥离和剪切性能的双组分结构胶之间的相对关系。

## 胶粘剂连接设计

### 连接配置

结构性胶粘剂在剪切和拉伸模式下(尤其是压缩)性能最强,而在剥离和裂开模式下较弱,因为粘合处的所有力量都集中在剥离的前缘。因此,要设计以为剪切力和拉伸力为主的接头,而不是设计以剥离力和劈裂力为主的接头。下面的插图显示了几个重新设计接头以达到最大粘接强度的例子。汽车和大型设备制造商等资深客户将使用计算建模技术来评估各种设计接头所受的应力,并优化最终设计。

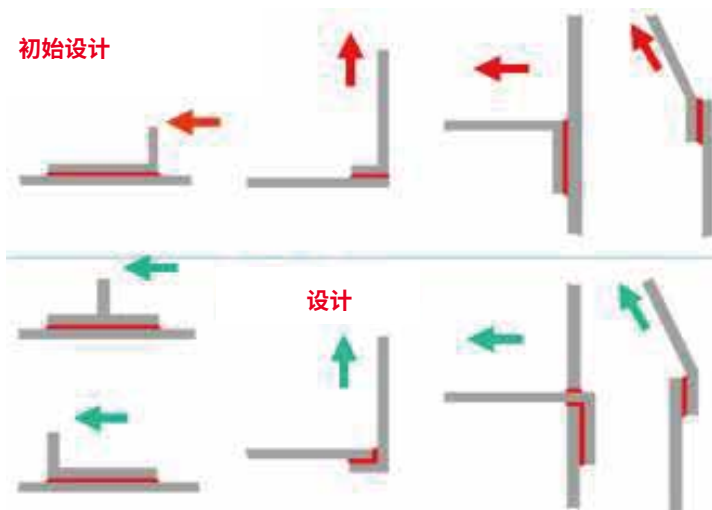


图2.重新设计接头以将胶粘剂置于首选模式的一些示例

## 表面处理

要粘合的部件也必须清洗干净。如果表面上有一层结合力较弱的材料(无论是氧化/生锈、油还是污垢),胶粘剂一般无法接触到块状金属表面,使得粘接失败。胶粘剂可能会紧紧地粘合在某些表面上(如钢铁上的磨屑),从而使表面从底层金属上脱落。因此,污染物或结合力较弱的表面层必须在粘合前被去除干净--通常是通过使用溶剂型脱脂剂或研磨的方法来去除氧化层。一个例外可能是使用某些丙烯酸胶粘剂,包括3M™ Scotch-Weld™金属粘接丙烯酸结构胶DP8407NS,它可以通过一些金属加工和保护性油来粘合金属。在使用这些胶粘剂时,将清洁后使用胶粘剂与未清洁过的胶粘剂进行比较试验可能表明,通常的清洁步骤可以减少或省略。通常情况下,像3M™ Scotch-Weld™环氧树脂胶粘剂DP420NS这样的增韧环氧树脂在干净的金属表面可以提供最强的粘合力,而像DP8407NS这样的丙烯酸胶粘剂将在有一层油或污染物的表面提供最强的粘合力。

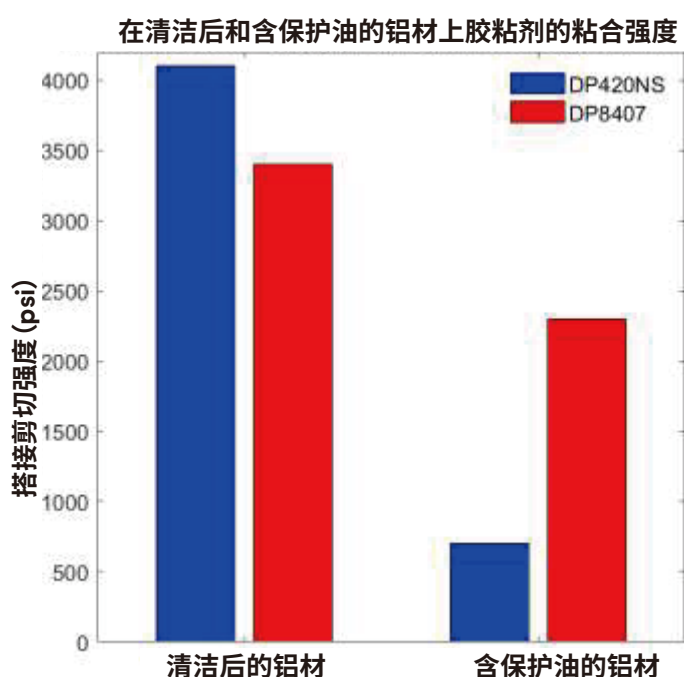


图3.3M™ Scotch-Weld™ 环氧胶,DP420NS黑色和3M™ Scotch-Weld™ 金属粘接丙烯酸结构胶DP8407NS,用于清洁和含保护油铝材。

## 加工注意事项

生产方法也需要考虑到最终选择结构胶的因素。必须考虑胶粘剂的三个关键参数:操作时间(混合胶粘剂和闭合接头之间的时间),达到操作强度的时间(胶粘剂凝胶到允许进一步加工的自固化状态所需的时间)和最终固化时间(胶粘剂基本上达到最终固化的时间)。这些时间因胶粘剂的化学性质和具体配方而异;并与环境或应用温度有关。虽然与焊接相比,结构性胶粘剂的实际应用过程相当快,但结构性胶粘剂本身需要一段固化时间,以产生足够的强度允许胶粘剂粘接接头在下游零件加工过程中承受进一步的应力。这在室温下可能短至15分钟,或长至数小时。这个时间可以通过加热来缩短(感应固化或大部件的加热灯、枪或毯子;或小部件的烤箱)。这个时间也可以通过化学方法控制,以提供一个特定的处理时间。此外,一旦双组分胶粘剂被混合,胶粘剂它就开始固化或“凝

胶化”。那么,在混合之间有一个有限的时间,两个要粘合的表面需要配合。如果胶粘剂在与表面对接之前处于混合状态的时间过长,胶粘剂会由于过度凝胶化而无法“润湿”表面——也就是说,它将无法与表面进行充分的紧密接触,并会大大降低最终的粘合强度。

最后,双组分胶粘剂通过化学反应固化;而不是通过干燥(如接触型胶粘剂)或冷却(如热熔型)。化学反应在较高温度下比在较低温度下发生得更快。因此,在设计生产过程中,应考虑到生产设备的温度和要粘合的基材等条件。如果温度变化很大(例如,从冬天到夏天的变化),可能需要改变生产工艺,或者需要改变使用的胶粘剂类型。

### **粘合测试和失效模式**

设计和生产是通过破坏性测试方法的统计应用进行验证,这些方法旨在复制实际粘接接头上的主要受力。这样的测试方法成本低,并且可以与各种环境条件相结合。这些方法可以包括搭接剪切、冲击、剥离和许多其他特定的应用方法。

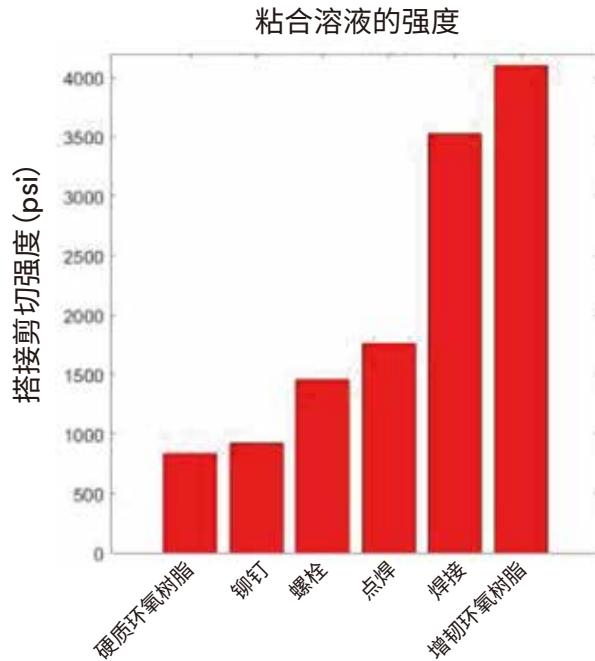
最常见的设计测试是搭接剪切试验,要考虑基材、表面处理和粘合方式。ASTM D1002提供了一种方法,该方法通常可以轻松定制,以产生验证拟议设计的测试数据。(由于高强度金属基材上的胶粘剂的强度很高,平面拉伸试验的试验可能更加困难和昂贵,因此通常会绕过这种试验,除非根据基材的内部强度,预估具有相当低的失效载荷的材料才采用这种方法(例如塑料或层压基材),更多的则采用搭接剪切试验)

搭接剪切试验可能是评估各种产品在各种基材上的附着力的最常用方法。它也适用于测试机械紧固件和焊缝的强度,可以在准备时允许金属板之间有足够的重叠区域以放置紧固件。使用标准方法可以获得比较,并证明增韧环氧树脂、刚性环氧树脂、机械紧固方法以及焊接的失效力(见图4)。

然而,标准的搭接剪切试验不能说明的是各种设计的抗冲击性。可以设计其他测试方法来检查抗冲击/抗疲劳性;有些是相当复杂和耗时的(如ASTM D3166);但往往一个简单的测试可以提供一个显著的比较结果。例如,一台简单的摆锤试验机可以说明不同粘合方法吸收冲击力的相对能力(见图5)。

另一种用于柔性基材的常用方法是剥离试验。剥离测试有各种类型,包括:ASTM D3167浮动辊式剥离法和ASTM D1876-T型剥离法。





**图4.**增韧环氧树脂可以达到或超过传统连接方法的极限剪切失效力。

结构性胶粘剂粘合通过减少对螺栓、铆钉和机械紧固等通常所需的其他部件的使用,能够生产更加轻质的材料。轻量化在航空航天和汽车工业中特别重要,因为减重直接影响性能和效率。



**图5.**增韧环氧树脂粘胶与点焊粘胶, T6061铝, 摆锤冲击试验 (3磅重的20英寸摆臂)

<http://www.youtube.com/watch?v=CPR28olqf5Y>

当基材用胶粘剂粘合时, 可以用胶粘剂覆盖整个接头。这就消除了任何应力的集中 (如沿连接处使用铆钉或螺栓时会发生应力集中)。应力沿接头的扩散可以减少应变下的金属变形, 并提高极限失效力。如果一个接头反复受力, 那么沿接头线的应力扩散可以提供更好的抗疲劳性和零件寿命。可以使用拉力试验机来检查胶粘接头与机械紧固接头的受力, 来检验这种效果 (见图 6)。这里间接展示了另一个优点, 较薄的钢板可以通过胶粘剂粘合在一起, 而不会发生金属变形 (由铆钉、螺栓和点焊引起的应力集中)。胶粘剂将使应力平均分布在更薄的金属和更大的面积上。因此, 可以使用更薄的金属来减轻重量, 而不牺牲强度或抗疲劳性。

结构性胶粘剂粘合通过减少对螺栓、铆钉和机械紧固等通常所需的其他部件的使用, 能够生产更加轻质的材料。轻量化在航空航天和汽车工业中特别重要, 因为减重直接影响性能和效率。



**图6.**T6061铝(0.063 英寸厚)用螺栓连接和铆钉施加拉伸力时的失效与胶粘剂粘接铝的失效。

沿着整个接头进行焊接会产生一个坚固的接头;但是, 焊接本身可能会产生其他不良影响 (包括高劳动力和能源成本以及由于焊接的热量导致的金属变形/弱化)。焊接和机械紧固件也可能需要更多的精加工, 以满足成品部件的美学要求。测试表明, 高端结构胶的极限失效力甚至可以达到全缝焊的极限失效力, 而不会出现因热而导致金属变形或弱化。在上面图4所示的测试中, 焊接试样在焊缝边缘失效, 可能是由于该区域铝的热弱化引起。与未焊接的铝片相比, 该金属的抗拉强度被削弱了40%以上。

对粘合接头的具体强度的进一步比较表明, 胶粘剂不仅在强度方面有优势, 而且在最大限度地减轻重量方面也有优势。



	硬质环氧树脂	铆钉	螺栓	点焊	焊接	增韧环氧树脂
接合处强度(psi)	840	920	1460	1700	3500	3770
相对重量 (最终重量/初始重量)	1.03	1.05	2.02	1.00	1.06	1.03
比强度 (强度/相对重量)	820	880	720	1760	3330	3660

## 概要

如上所述,各种驱动力正促使许多过去依赖标准连接方法(如焊接、钎焊、铆钉和螺栓)的公司考虑使用高性能增韧结构胶。这种胶粘剂可以在整体成本和减轻重量方面提供显著的优势,以及提高连接不同基材的能力和创造具有良好的应力分布和随之而来的良好抗疲劳和抗力的接头的的能力。增韧胶粘剂还可以提高美观度,并消除劳动密集型的精加工成本,如打磨掉点焊的焊渣。选择合适的胶粘剂至关重要,工程师应与其材料供应商密切合作,以选择合适的产品。此外,一些接头的重新设计和生产工艺调整可能会极大地影响最终项目的成功。然而,正如经验证明的那样,如果使用得当,结构性胶粘剂可以达到或超过传统连接方法(如焊接、铆钉和螺栓)的性能。

---

**技术信息:**本文或3M另行提供的其他文件包含的技术信息、指引和其他声明均基于3M认为具有可靠性的记录、测试或经验作出,但3M不保证这些信息的准确性、完整性和代表性。这些信息适用于具有丰富知识和技术技能的人员,以便对信息进行评估和应用自己的知情判断。上述信息不等被视为明示或默示地许可使用3M或其他第三方的知识产权。

---

**产品的选择与使用:**许多超出3M控制范围,以及属于用户所了解与控制范围内的因素,都会影响3M产品在特定应用中的使用和性能。因此,客户必须负责评估并确定产品是否符合其特定应用,包括进行工作场所危害评估和审查所有适用的法规和标准(如OSHA、ANSI等)。未正确评估、选择和使用3M产品,或者未使用适当的安全产品,或未遵守所有适用的安全规定,可能会导致人身伤害、疾病、死亡和/或财产损失。

---

**质保范围、有限补偿和免责声明:**除非在相关3M产品包装或产品资料上说明有额外的保证,否则3M仅保证在产品发运时每个3M产品均已达到相关3M产品规范。3M不作任何其他明示或暗示的保证或条件,包括但不限于任何关于适销性、适用特定用途或因某种原因而产生的暗示保证或条件。如果3M产品不符合上述保证,3M可自行决定更换该产品或返还产品购买价额,上述救济措施是唯一且排他的。

---

**责任限制:**除上述有限补偿外,以及在法律禁止的范围内,3M公司不对任何由3M产品引起的,或与之相关的损失或损害负责,不论是直接的、间接的、特殊的、偶然的或后果性的(包括但不限于利润或商业机会的损失),也不论所主张的法律或公平理论,包括但不限于保证、合同、过失或严格责任。



## 3M中国有限公司

总办事处

上海市上海市虹桥开发区兴义路8号万都中心38楼

邮编: 200336 电话: 86-21-62753535

传真: 86-21-62752343

网址: [www.3M.com.cn](http://www.3M.com.cn)

3M和Scotch-Weld为3M公司商标。

© 3M 2019