

复合材料部件的连接和粘合—— 结构胶的优点

复合材料在制造和降低成本方面的最新趋势和进展,除了在航空领域的传统用途外,还增加了它们在运输、工业和许多其他市场的使用。由于政府对车辆排放的规定增加,对轻量化的需求,以及最终消费者对更高性能产品的需求增加,复合材料和部件正日益成为工程师日常设计规范的一部分。复合材料用途广泛,可减少重量、改善环境阻力、美观、设计选择更多、刚度重量比更强。

本文提到的复合材料主要是聚合物基复合材料——纤维增强塑料,包括热固性和热塑性塑料。使用这些复合材料的工作带来了挑战,即如何将复合材料部件与自身和多种材料(如钢或铝)连接。本文讨论了用于粘合复合材料部件的结构性胶粘剂的特点和好处,胶粘剂与复合材料特有的机械坚固的优点,复合材料的典型装配和应用类型,如何选择适当的胶粘剂以最大限度地提高您的产品、部件或接头,以及复合材料部件粘合的测试和原型设计。

复合材料粘结用胶粘剂的优点

复合材料需要新的粘合或连接方法(超越传统的机械和热力方法),以便进行设计和性能优化。幸运的是,由于结构性胶粘剂(如环氧树脂、丙烯酸树脂和聚氨酯)的改进,不采用机械紧固件、铆钉或焊接,设计师也可以创造出符合结构完整性要求的产品。此外,这些结构性胶粘剂与包括塑料、金属和复合材料在内的多种基材配合使用良好,并且不会降低其性能特性。即使是低表面能(LSE)的塑料,如热塑性聚烯烃(TPO)、聚丙烯(PP)和聚乙烯(如HDPE),过去必须用机械连接或热焊接,现在也可以用特种结构胶粘合。

为了连接复合材料或混合材料,机械附件(如夹子、螺丝等)几乎可以用于任何表面,但它们需要额外的步骤来为附件成型或创造特征。这可能导致应力集中,这可能导致塑性开裂和过早失效。另外,在复合材料上钻孔,由于在基体和增强纤维中引入了不连续的因素,会导致强度降低。所有的机械连接方法都会导致重量的增加,而且往往会导致较差的美学效果。对于某些复合材料而言,热焊接和摩擦焊接是一种常见的选择。然而,这些焊接技术是能源和工具密集型的,并且在可处理的几何形状和基材组合方面受到限制。

除了形成牢固的粘接,结构性胶粘剂可以降低总体成本,同时提高产品的耐用性;而且通常比机械紧固件的重量更轻。胶粘剂将应力分布至整个粘合区域,因而耐久性得到改善,而机械紧固件、铆钉和点焊会产生应力集中,导致整个基材出现薄弱点。

此外,使用胶粘剂还能密封整个粘结区域,同时形成高强度接合。胶粘剂粘合的另一个巨大的考虑和优点是,与传统的机械方法相比,它可以轻松地将不同的材料结合起来。例如,结构性胶粘剂可以防止异种金属之间的电化学腐蚀。最后,与机械紧固件相比,更洁净的粘结接口可以保证外形更美观、产品构造更高效,无需额外人工精加工。因此,胶粘剂粘合可能是加入下一代工程复合材料和塑料的最佳选择。

轻量化

轻量化是许多行业的一大趋势。减少部件重量有很大的好处,从改进产品设计/性能和降低最终用户成本到减少对环境的影响。在运输业,轻量化的趋势至关重要,部分原因是新的政府法规和提高燃料效率的行业压力。下图1显示了在未来产品结构中使用越来越多的不同材料以减轻重量和改善产品功能的明显趋势。

通常情况下,轻量化会涉及设计变化和材料变化,包括各种复合材料在内的轻量化选择越来越多。结构性胶粘剂是一项有利于这些新设计的技术。

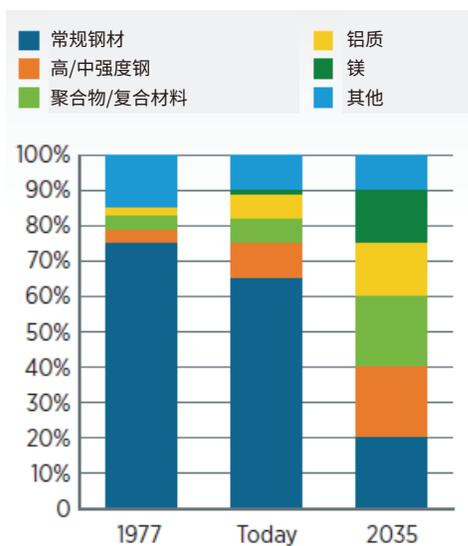


图1: 汽车的典型组成——材料趋势 (来自美国能源部, 2010年)

复合材料基材一般分为两类：

a) 热固性复合材料:玻纤填充的聚酯树脂,如片状模塑料(SMC),以及更高性能的碳纤维增强的环氧树脂,这些树脂可以被定义为具有永久成型的形状,通常涉及增强材料和树脂的铺设组装过程,然后在压力机或高压锅中加热和压力固化。

b) 热塑性复合材料:玻璃填充的聚乙烯、聚丙烯、尼龙等,可以用传统的塑料成型技术,如用颗粒状的原材料进行注射成型,形成相当复杂的零件。

无论是从减轻重量还是从机械性能的角度来看,这些重量较轻的聚合物基材料都更适合于通过胶粘剂粘合而不是传统的机械固定来进行制造和组装。

无论是从减轻重量还是从机械性能的角度来看,这些重量较轻的聚合物基材料都更适合于通过胶粘剂粘合而不是传统的机械固定来进行制造和组装。

复合材料的胶粘剂粘结--应用举例说明

i) 图3展示了使用3M™ Scotch-Weld™ DP8010结构塑料粘接结构胶,蓝色将ABS嵌件粘合在玻璃填充的聚丙烯保险杠上的附着情况。在不进行预处理的情况下,这是为两个表面提供良好附着力和永久结构性粘接的唯一解决方案——审美方面非常理想。3M™ Scotch-Weld™ DP8010NS结构塑料粘接胶塑料结构胶,蓝色在外部应用中也证明是非常耐用的。



图3: 使用3M™ Scotch-Weld™结构胶,将ABS与玻纤填充的聚丙烯粘合起来

ii) 粘合车辆的内部装饰板。采用重量较轻的热塑性复合材料,制造为内饰提供结构性支持的大型轻质模制内饰板,已形成趋势。图4显示了3M™ Scotch-Weld™ DP8010NS结构塑料粘接胶将热塑性塑料散装头部件粘合在铝框上。



图4: 用3M™ Scotch-Weld™ DP8010NS结构塑料粘接胶 将轻质玻纤填充聚烯烃散装头模具粘合在铝框上

iii) 特种车辆的制造 (这里指的是商用巴士和客车) 可以利用一些不同的粘合选项。图5显示了, 采用3M公司的聚氨酯胶粘剂密封剂, 将玻璃强化塑料 (GRP) 侧板粘合在涂层钢架上。3M公司的密封胶, 既能承受在使用过程中施加在面板上的负荷, 也能承受振动和热膨胀差所产生的必要运动。这一应用的一个有趣的特点是, 客户还使用了少量的3M™ VHB™ 丙烯酸泡沫胶带与密封胶结合使用, 以提供快速的处理强度, 加快生产速度。



图5: 使用3M™胶粘密封剂将GRP面板粘合到钢材上

iv) 复合材料在石油勘探和海洋应用中找到了越来越多的用途。减少钻井平台重量,可抽出更多石油并将其储存在平台上。此外,使设备运输、以及在难以进入的环境下进行安装变得更加容易。新型具有革命性意义的轻质页岩振动器设计,采用了大量碳纤维复合材料,已经开发出使用增韧、高性能的3M™ Scotch-Weld™ DP490结构环氧树脂胶粘剂的装配方案。这些粘合的接头(包括碳纤维与碳纤维之间、不锈钢和碳纤维之间)已经过彻底的现场测试,证明其结实耐用,它们可以抵抗动态负荷(振动器/过滤器每分钟振动几百次,负荷高达7g)。这些粘合接头,也能抵抗在80至100°C左右温度条件下流动的原油/碳氢化合物“泥浆”/岩石碎片的混合物。



图6: 采用3M™ Scotch-Weld™增韧环氧树脂胶粘剂,将碳纤维复合板粘结在不锈钢上,以用于轻质石油振动器。

v) 含有3M玻璃微球的合成泡沫复合材料,在海洋应用中得到广泛使用,有助于降低密度,增加浮力,并减少总重量。3M™ Scotch-Weld™ 2216环氧树脂胶粘剂和3M™ Scotch-Weld™ DP8010NS 结构塑料粘接胶(用于基于聚烯烃的合成泡沫)已被证明是耐用和可靠的,甚至在海水中浸泡的应用中耐用可靠。

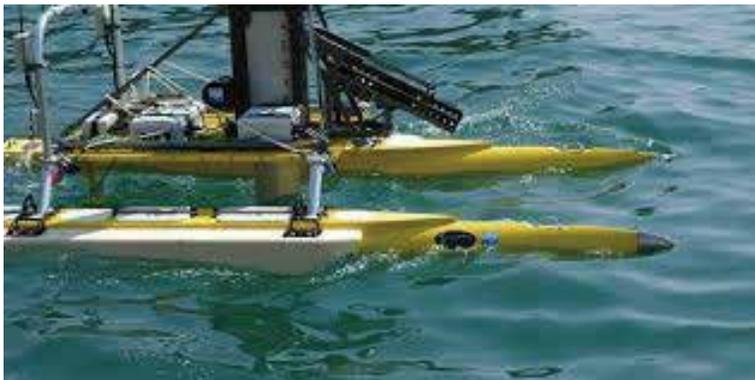


图7: 使用3M™ Scotch-Weld™ 2216环氧胶粘剂,将合成泡沫浮力辅助剂粘合到铝材上

通过接头设计和胶粘剂选择实现性能最大化

为设计选择具有适当物理特性胶粘剂的重要性。

特别是对于纤维增强材料来说,接头的耐久性取决于胶粘剂将载荷均匀地分布到复合材料上层基体的能力,以防止因应力集中而过早失效;此外,接头的性能取决于基材的模量以及胶粘剂的模量。然而,在所有情况下,使接头中的实际应力保持低于胶粘剂的粘结能力至关重要,并应选用适当的安全系数。由于基材和胶粘剂的相对模量在复合材料粘结中非常关键,而且胶粘剂的伸长率也很关键(将在下文讨论),因此在选择一组产品进行测试时,考虑胶粘剂的一些基本特性至关重要。

应力-应变曲线,对于了解胶粘剂的物理特性以及它对应力的反应至关重要。当施加负载时,聚合物(胶粘剂)一般会首先作出弹性反应,应力会以恒定的速度增加。在某一点上,聚合物骨架将不再能够承受所施加的应力,并开始发生塑性变形(具有永久性变形)。根据聚合物的变形能力,它将被拉长,直到最后断裂。曲线下面积代表聚合物在这个过程中吸收的能量。这块面积越大,使胶粘剂样品断裂所需要的能量越大。

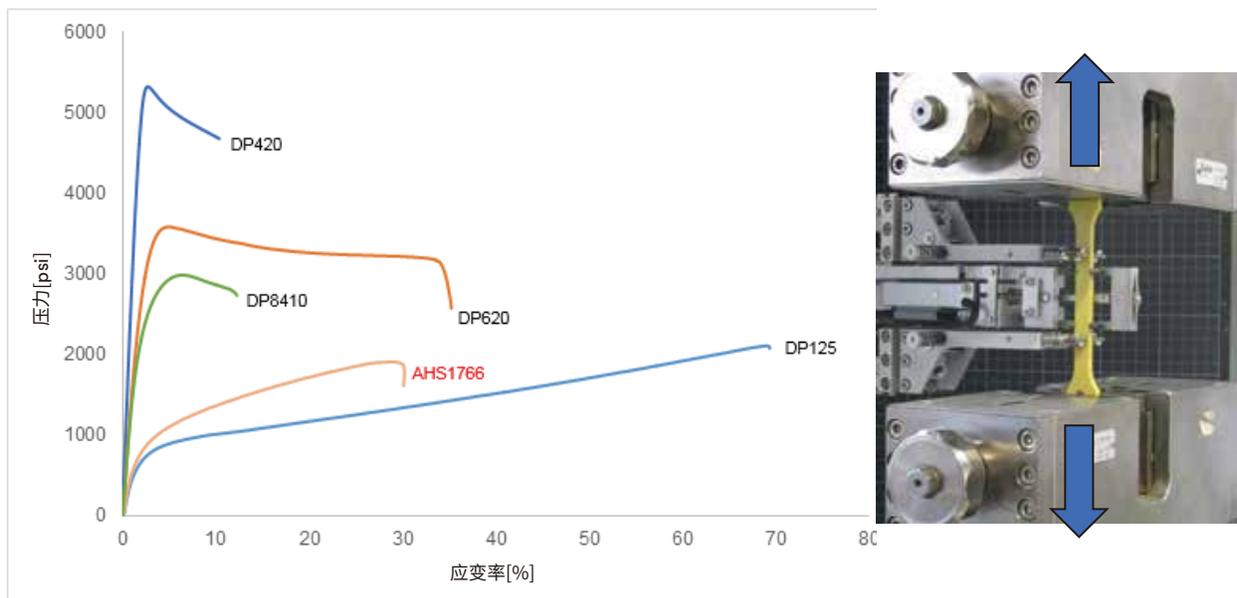


图8:上面的图片显示了一些精选的胶粘剂的应力-应变曲线。为此,负载被施加到哑铃状的试样上,如右侧所示。曲线代表不同系列的胶粘剂。增韧环氧树脂结构胶(DP420),增韧聚氨酯结构胶(DP620),甲基丙烯酸酯结构胶(DP8410),柔性聚氨酯(DP6330NS)结构胶和柔性环氧树脂结构胶(DP125)。

搭接剪切值是需要考虑的第二个数据点。这个数值代表了胶粘剂对基材表面的粘附力,结合了胶粘剂作为固化聚合物的内聚强度。粘附性取决于胶粘剂和基材之间的化学相容性,允许胶粘剂充分润湿基材的表面并与之产生化学结合。一般规则是平衡润湿基材表面的能力,通过所需的内聚强度,产生足够的粘附力(通过搭接剪切测试)以保证设计的能力(与应力/应变曲线有关)。第一个标准与非固化胶粘剂的化学性质密切相关,而后者则是固化胶粘剂性质和成分的一个函数。

然而,搭接剪切力也取决于模量以及与基材的附着力。

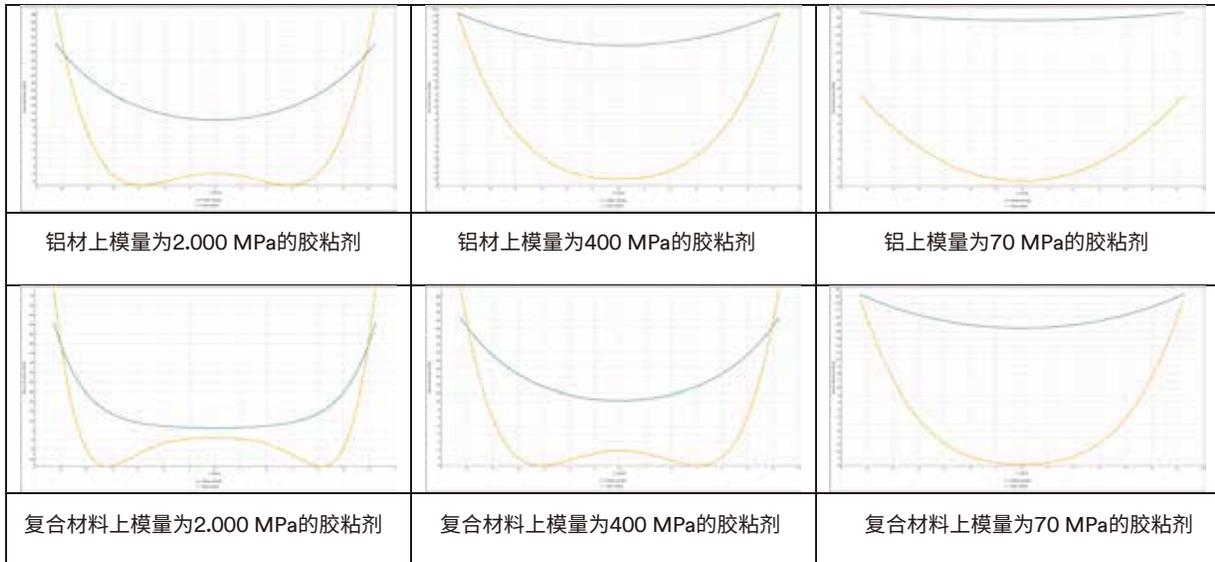


图9: 作为基材和胶粘剂模量的函数,胶粘剂接头内应力的封闭式计算

上述图片(图9)显示了在铝(上部图片)和纤维增强复合材料(下部图片)上单次搭接,在整个剪切试样长度上的计算剪切(蓝色)和剥离(黄色)曲线。铝的模量约为70 MPa,复合材料(GF-聚酯)的模量约为10 MPa。该计算所用负荷为每毫米粘合长度200N。胶粘剂厚度为0.3毫米,基材厚度为2毫米。用封闭式计算很容易得出结论,对于铝来说,非常坚硬的胶粘剂(高强度的EP, 2.000 MPa)是一个很好的选择,而同样的胶粘剂会导致复合材料上几乎两倍的剥离力。对接头而言,这可能非常不利,因为复合材料的上层基质层可能会失效,导致过早断裂。模量约为400 MPa的一种胶粘剂,是复合接头可比较的一个方案(中心的图片,复合材料)。铝材上的400 MPa胶粘剂和复合材料上的70 MPa胶粘剂也有同样的趋势。在这些情况下,使用这些将最大限度地减少接头两端的剥离力,并导致以剪切力为重点的负载情况,从而使粘合线更加耐用。

因此, 对于一个坚固的接头, 内聚强度(胶粘剂的内部强度)必须足够高, 以保证接头的结构强度, 但胶粘剂也需要证明有适合基材的硬度。

为玻璃纤维增强的聚酯选择适合的胶粘剂

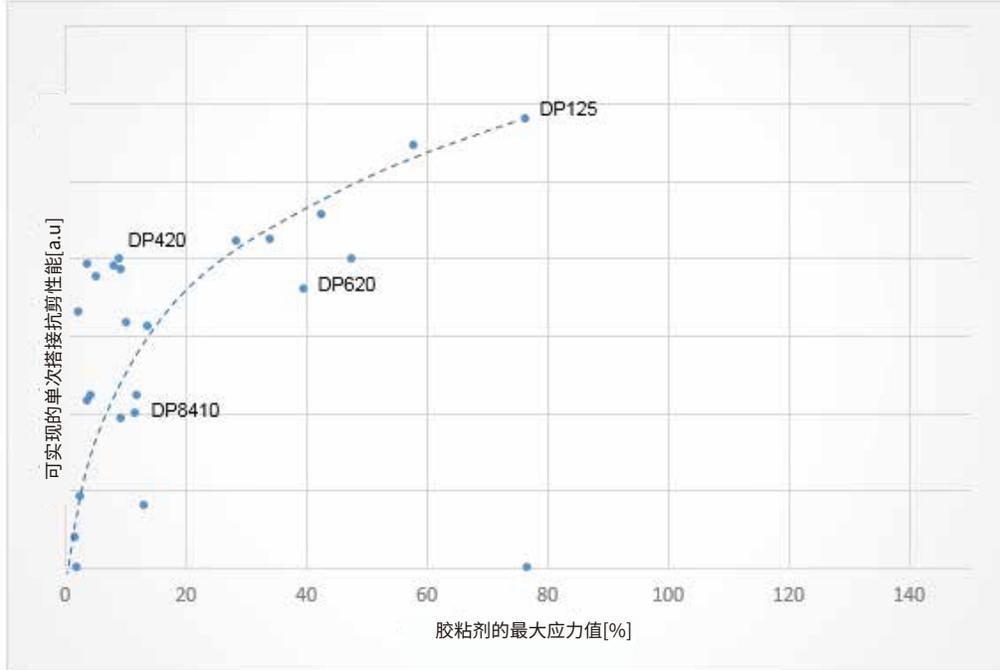


图10: 上图显示了部分胶粘剂在磨损的玻璃纤维增强聚酯基材上可实现的最大搭接剪切性能

参照上面的图10, 该系列中性能最好的胶粘剂是3M™ Scotch-Weld™环氧树脂胶粘剂DP125。它在室温下的模量约为60 MPa, 明显低于大多数环氧树脂胶粘剂。这里的重要教训是, 较硬(高模量)的胶粘剂并不总是最佳选择, 特别是当涉及到金属以外的材料时。

粘合复合材料部件时, 决定希望得到哪种连接的失效模式也很重要。在很多情况下, 特别是对于热塑性复合材料来说, 最好能产生一个能承受比基材本身更多负载的粘合接头。在这些情况下, 接合处会因为基材断裂而失效。这是一个很好的方法, 可以让自己确信胶粘剂是优势部件, 并且接头是保守设计。然而, 在那些复合材料部件极其昂贵的情况下, 即高强度碳纤维增强的环氧树脂部件, 重要的是——即使连接处发生故障——它也是在胶粘剂层内以凝聚的方式发生的。这样一来, 在规定检验和释放胶粘剂后, 可能可以再次使用这些部件。

有三个主要的结构性胶粘剂系列: 丙烯酸酯(MMA)、聚氨酯(PU)和环氧树脂(EP)。在所有的胶粘剂家族中, 他们的产品在固化速度、最终强度和可实现的伸长率方面会有很大差异。由于这些家族在化学构成和一般物理特性方面各不相同, 因此, 对于某些类型的基材或负载情况, 每一个胶粘剂家族都有一些理想的特性。但在这三个系列之间和内部进行选择, 是为某一应用寻找合适的胶粘剂时面临的巨大挑战。

为了能够在应用的设计阶段为客户提供实质性的帮助, 3M公司为复合材料提供了一个精选的产品组合, 为胶粘剂的选择提供了有用的指导。这些产品的必要的物理和热性能数据以及搭接的剪切强度, 都可以达到。

复合材料的应用 - 粘合需求	粘合性能	3M™ Scotch-Weld™ 结构胶	链接到网页
一般复合材料粘结	聚氨酯	3M™ Scotch-Weld™ 复合材料粘结聚氨酯胶粘剂DP6330NS	DP6330NS
普通复合材料粘接剂	双组分环氧树脂	3M™ Scotch-Weld™ 环氧结构胶DP125 灰色	DP125
高强度和耐用性粘接剂	增韧环氧树脂	3M™ Scotch-Weld™ 环氧结构胶DP420 黑色	DP420
具有一定灵活性的牢固粘合粘接剂	柔性环氧树脂	3M™ Scotch-Weld™ 环氧结构胶DP190 灰色	DP190
粘结灵活	柔性聚氨酯	3M™ Scotch-Weld™ 聚氨酯结构胶DP620NS 黑色	DP620NS
坚韧、耐用, 塑料和金属	丙烯酸酯	3M™ Scotch-Weld™ 丙烯酸结构胶DP8410NS 绿色	DP8410NS
聚烯烃--低表面能	LSE丙烯酸树脂	3M™ Scotch-Weld™ DP8010 结构塑料粘接胶 蓝色	DP8010
密封和粘接--大型部件的层压	胶粘剂和密封剂	3M™ 密封胶 760 UV 白色	760

图11: 涵盖复合材料粘结应用需求范围的产品样本组合 在您的设计中测试和制作原型

一旦根据其应力/应变行为和对各种类型的复合材料的亲和力确定了一些合适的候选胶粘剂, 对特定应用的胶粘剂进行适当测试是最重要的。

对某些复合基材进行附着力和粘接强度的测试, 有一个简单但非常有用的方法, 就是测试搭接剪切强度。该测试的准备和执行都很简单, 对于比较不同胶粘剂、基材或表面处理方法的性能非常有用。然而, 这些结果是针对特定等级的复合材料的, 所以在设计中测试实际材料是很重要的。其他需要进行的测试是剥离和冲击测试。这些测试不仅高度依赖于胶粘剂的性能, 而且还依赖于基材的性能和接头的几何形状。因此, 公布的数字只有在代表完全相同的试验条件时才有意义, 因此也可以用来对特定基材和几何形状上的各种胶粘剂的性能进行相对比较。

如下图12所示,许多胶粘剂都能很好地粘附在磨碎的纤维增强树脂(如玻璃纤维增强的聚酯或碳纤维增强的环氧树脂等)上,达到结构强度(超过1000磅/平方英寸)。然而,有些复合材料非常难以粘合,需要特殊的胶粘剂。例如,3M™ Scotch-Weld™ DP8010塑料结构胶,蓝色是一个独特配方,可与LSE塑料(如聚丙烯、聚乙烯、聚烯烃)进行结构性粘合--通常不需要任何表面预处理。这些是双组分、无溶剂、室温固化的胶粘剂,以方便的双包装形式出现,或者对于大型应用,以散装形式出现。

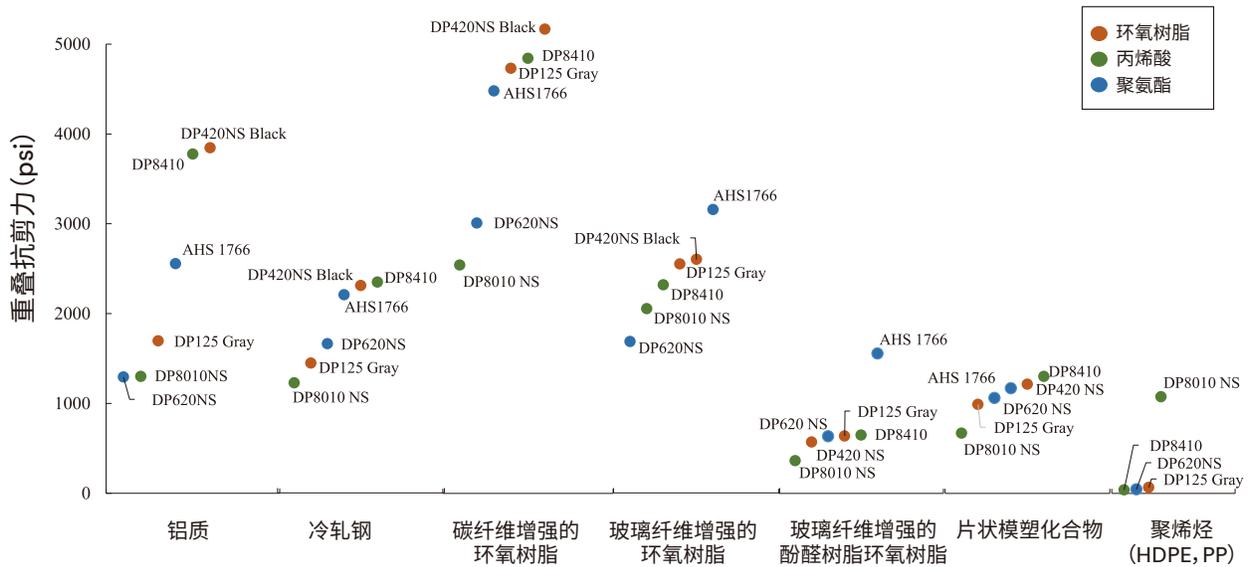


图12: 基材推动了潜在的候选胶粘剂的选择;并且在其粘合能力方面也有所不同。这反映了基材的表面能量和化学成分的差异。在这种类型的标准化测试中,胶粘剂的化学成分和模量也会影响测量的接头强度。如上所述,与基材的粘附力是一个关键的标准;如果没有导致内聚破坏强大的粘附力,就无法根据基材和胶粘剂的机械性能进行设计。由于具体的复合材料组成种类繁多,设计工程师应测试要粘合的具体产品,并在做出最终的胶粘剂选择之前验证必要的表面处理要求。与3M公司这样的胶粘剂供应商合作很重要的,他们不仅可以提供材料特性数据,还可以协助您进行筛选测试,以确保做出稳健的选择。

使用胶粘剂的接头设计

整体性能是由纳入整体设计的接头决定的。如上所述,为了有效设计一次或二次连接,工程师需要知道并理解被连接的部件和胶粘剂的几个关键材料特性。这些性能包括:拉伸强度、模量、断裂伸长率、搭接剪切强度、剥离、热膨胀系数、玻璃化温度等。了解连接在一起两个部件的热力学性能与机械性能一样重要。例如,由于热膨胀系数不同,纤维增强的复合材料和金属之间可能会出过早现粘合失败,这可能会给粘接处带来不良的负荷;因此,如果在最终使用中预计会出现温度变化,就应该提前做出调整。一般而言,在剪切、压缩或拉伸载荷情况下胶粘剂强度最高;因此,建议任何接头的设计都要在剪切中传递所施加的载荷,并尽量减少剥离和劈裂力。

对于任何由胶粘剂连接的接头设计,最好是与具有丰富经验的胶粘剂制造商合作。重要的是,供应商要提供有用的相关数据,以便能够充分理解为接头设计而选择的每种胶粘剂的好处。这将包括关于胶粘剂的热和机械性能方面的信息,以及它们对普通基材的一般亲和力。然而,在进行原型设计之前,与特定基材和几何形状有关的测试将是有益的。在3M公司,技术服务部门提供丰富的经验,帮助您选择适合您的特定应用和所选基材的胶粘剂。可以生成一个技术服务请求,进行适当的资格测试,以更好地了解适合您的应用的最佳胶粘剂。

结论性意见

复合材料用途越来越广泛,可以减轻重量,提供更好的耐环境性,改善美学,提供更多的设计选择,提高刚度与重量比。由于胶粘剂自身重量轻,能分布应力,不存在由于钻孔而可能造成的零件损坏的情形,能美观连接几乎所有形状且后期处理最少,这些独有的特点,使它适用于将复合材料彼此相互连接和连接到不同的材料上。

为了使胶粘剂设计的结果最大化,充分理解影响胶粘剂性能的因素非常重要,以便于迅速确定一套潜在适用的胶粘剂,用于后续测试和原型制作。与有能力提供数据和技术帮助的胶粘剂制造商合作,将是实现复合材料胶粘剂粘合的最经济有效的方法。

技术信息: 本文包含的技术信息、建议和其他声明均基于3M认为可靠的测试或经验,但3M不确保这些信息的准确性和完整性。

产品用途: 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产品在某一用途中的使用和性能。考虑到存在影响3M产品的使用和性能的各种因素,用户应自行负责评估3M产品,并决定其是否适用于某一特定用途以及是否适合用户的应用方法。

保修、有限补救和免责声明: 除非在适用的3M产品包装或产品手册中另有明确表述的额外保修条款,3M仅保证每件3M产品在发货时满足适用的3M产品规格。3M不作其他明示或暗示的保证或条件,包括但不限于对产品适销性或适用特定用途作出的任何暗示性保证或条件,或是因交易过程、商业习惯或惯例而产生的任何暗示的保证或条件规定。若3M产品无法满足该保修条款,则唯一的补偿是由3M决定,更换该3M产品或返还该3M产品的花费。

赔偿责任的限制: 除非法律禁止,否则3M公司不承担因使用3M产品而造成的任何直接、间接、特别、偶然或必然性损失,无论法理如何定性,包括担保、合同、疏忽或严格责任。



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

3M、Scotch-Weld和EPX为3M公司的商标。

© 3M 2016