

树脂基纤维增强复合材料

丁 辛

(中国纺织大学)

【摘要】 树脂基纤维增强复合材料是由高性能纤维和高分子树脂两部分经复合而成的,是一种先进的、具有很大应用价值的结构材料。本文列举了几种常见的增强纤维和树脂材料,阐述了该类材料的特点和应用,并介绍几种新发展的材料和加工方法。

一、概述

在当今材料工业的领域里,复合材料以其优异的性能,正在受到各行各业的密切关注,对于该方面的研究工作也是当今在高科技领域中十分活跃的课题。树脂基纤维增强复合材料(亦称之纤维增强塑料,以下简称FRP材料)是先进复合材料的一种类型,它是由具有高性能的纤维,通过各种不同的加工成形手段(包括传统的纺织加工),形成所谓的骨架结构(亦称为预成形体);然后在该结构的纤维间隙中注入高分子树脂基材进行固化,使骨架结构稳定而最终形成的结构材料。

与其他类型的复合材料相似,FRP材料也是由两种(或两种以上)不同性能的材料,按照给定的方式组合起来,从而使最终生成的材料性能优于单一组分材料。在FRP材料中增强纤维对整体材料的性能起主导的作用。图1将常见的增强纤维材料性能与传统的金属材料作一比较。

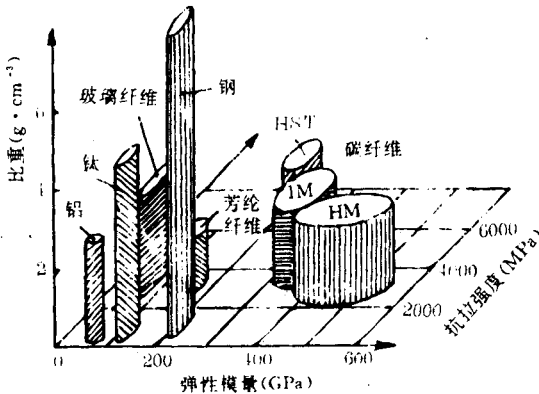


图1 增强纤维与金属机械性能比较

作为FRP材料基本组分的高性能纤维,不仅因其具有良好的机械性能,而且由于其本身所特有的形状,建立了其在结构材料中的地位。例如在平板玻璃上只要存在微小的裂缝,就会导致整块玻璃的破碎;而由玻

璃纤维构成同样的板材,在外力的作用下,部分纤维可能产生断裂,但这并不意味着整体材料的失效。

但是由纤维经加工成形的骨架是不能构成结构材料,必须通过与固化基材的复合,将纤维在结构中的位置固定后才能成为最终产品。若能正确地设计并加工骨架结构的形式、选择纤维与树脂的匹配以及复合工艺,则可使FRP材料的优点得到充分的体现。常用的FRP材料的一些特性如图2所示^[1](注:材料由单向纤维,经铺层排列,再由树脂固化而成)。从图中可以看出,在相同重量的前提下,FRP材料比常规金属材料的机械性能优异得多。

二、纤维

高性能纤维是FRP材料的基本组成部分,如前所述,纤维的性能在很大程度上决定了最终产品的性能。常用作增强纤维材料的有玻璃纤维、碳纤维及芳纶纤维。

玻璃纤维作为增强纤维的历史最长,应用也最广泛。与其他作为增强纤维的材料相比,玻璃纤维的最大优点是价格便宜。玻璃纤维具有较大的断裂伸长,在需要材料有较大变形的场合(例如用玻璃纤维增强的FRP材料平板弹簧)得到广泛的应用。除外,玻璃纤维有较高的抗拉强度,但其韧性较差,且比重较大。

碳纤维具有高的强度及刚度,且比重较小。最先应用碳纤维增强复合材料的领域是航天航空业。近年来,碳纤维的应用范围逐步拓宽到运动器材和汽车制造业。碳纤维一典型特性是其在纤维长度方向的负热膨胀系数。由于树脂基材通常具有正的热膨胀系数,因此通过纤维与树脂的适当匹配以及纤维在整体材料中的排列分布,可以使最终产品具有“零热膨胀系数”的性能。该性能对于工作在高温状态下的结构材料有着非常明显的意义。

作为增强纤维的另一常见材料是芳纶纤维。该类

纤维的特点是良好的缓冲和能量吸收能力,并且具有较小的比重,因此适应于一些对构件重量有严格限制、工作在动载荷状态下、且对抗冲击性能有较高要求的场合。作为处于运动状态下的构件,较小的材料比重导致较低的惯性力,且良好的能量吸收能力又可使惯性力的峰值得以缓和。因此以芳纶纤维作为增强纤维的FRP材料近年来得到广泛的应用。

所有热固性树脂基的FRP材料均有其共同点,即最终固化成形必须通过树脂的化学交联反应来实现。化学交联度的不同,材料的脆性和热成形稳定性也不同。高的交联度使热成形稳定性增加,但脆性也随之上升,后者将导致材料的断裂伸长、能量吸收能力及化学稳定性的降低。因此,交联反应必须兼顾材料在热成形稳定性和韧性之间的要求。热固性树脂基还具有不可

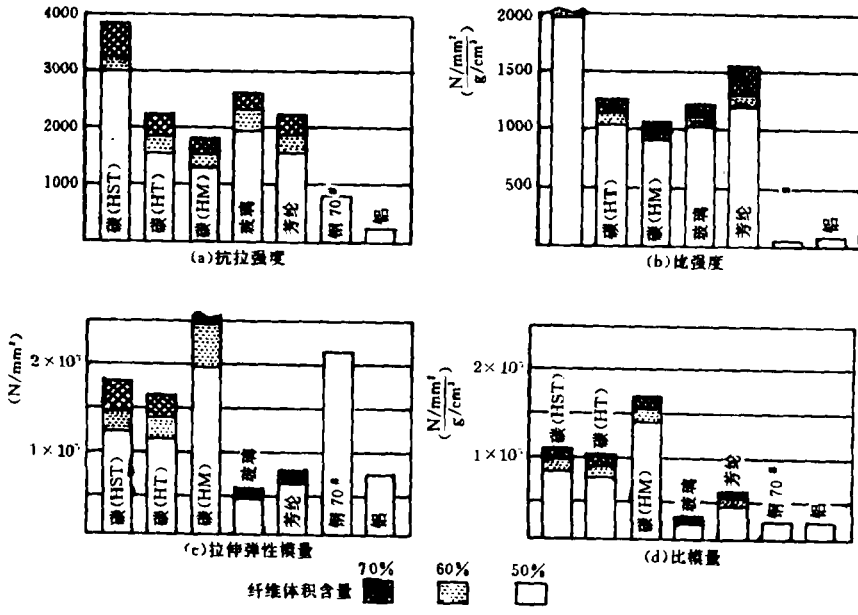


图2 FRP材料与金属机械性能比较

溶解、不可熔化、不可焊接及在高温下炭化等特点。

热塑性树脂的开发很好地解决了FRP材料在热成形稳定性和韧性之间的矛盾。该类FRP材料具有良好的抗冲击性能及对周围环境条件的稳定性能,但在高温下有蠕变的倾向。除此之外,由于热塑性树脂粘度大,渗透性差,增加了FRP材料固化成形的难度。热塑性树脂具有一条非常有用的特性,即其经加热后可以恢复到原先的塑性状态,可以反复多次地进行热成形加工,这给FRP材料的回收利用提供了可能性。另外,许多热塑性树脂可溶解于有机化学剂,并且

还具有可焊接性。

三、树脂

FRP材料的另一重要组成部分是高分子树脂,其作用(1)通过固化作用,使纤维在整体材料中的空间取向和排列固定下来;

(2)传递纤维所承受的载荷,并承受构件的压力载荷;(3)保护增强纤维,使其免受周围环境因素的影响。

目前常用树脂有热固性和热塑性两大类。

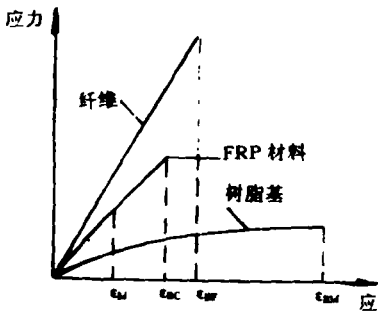


图3 FRP材料应力—应变曲线

四、增强纤维和树脂基的复合

要获得具有良好机械性能的FRP材料,不仅要了解纤维和树脂的性能,更重要的是要研究这两种材料复合后所可能表现出的性能。举FRP材料的拉伸变形为例。通常,增强纤维的应力和应变呈线性关系,而树脂基呈非线性关系,如图3所示。当FRP材料拉伸应力尚未达到其最大值时,在应力的集中处,树脂基就开始产生微裂缝。由于这种现象的产生,水份或其他化学物质可能因此渗入材料的内部,导致材料失效。大多数热固性树脂基的延展性均较小,在拉伸状态下通常会出現上述的现象。再之,相对于纤维而言,树脂基的弹性模量较低($E_{纤维}/E_{树脂} > 10$),在拉伸应力的作用下,FRP材料的失效通常由纤维和树脂基的脱离所致。因此,在选择纤维和树脂时,应当注意两者的匹配,使其

具有良好的亲和力。除此之外,对于纤维在加工过程中所使用的油剂、浆料等都要严格筛选,或在固化前要彻底清除,以免降低纤维与树脂间的粘附力。

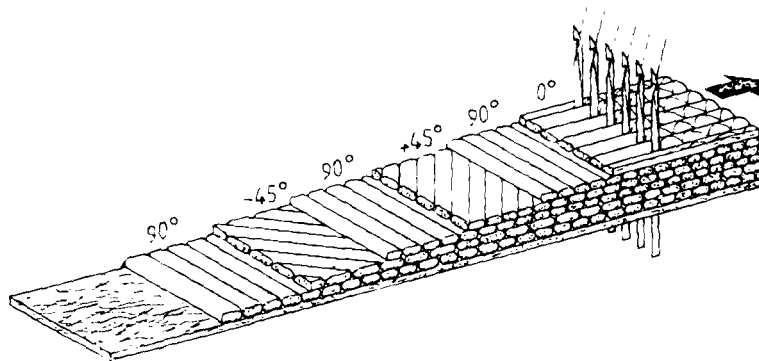


图4 多向铺层及纵向增强加工方法

在提高纤维与树脂间的粘附力方面,一种新的加工方法^[2]值得注意。众所周知,热塑料树脂因粘度大,不易渗透到骨架结构的深处。针对这问题,人们将热塑性树脂先纺成短纤纱,然后利用摩擦纺纱的原理将其包覆在增强纤维的外层,形成包芯纱结构。在随后的加工过程中,这种包芯纱结构即在骨架的成形加工时对增强纤维起保护作用,又使热塑性树脂在固化加工前就已进入到骨架结构的内部,改善了热塑性树脂对骨架结构的渗透,有利于提高FRP材料的质量。

FRP材料一显著特征是其机械性能在很大程度上依赖于增强纤维的取向。在纤维的长度方向,FRP有良好的机械性能;当外力的方向逐步偏移纤维的长度方向时,材料的机械性能急剧下降。这种各向异性是大多数FRP材料所固有的,关键是如何在材料的结构设计时予以应用。对于各向同性的材料,正应力仅产生正应变,切应力仅产生切应变;而对于FRP材料而言,这种相互对应的关系在大多情况下是不成立的。

FRP材料的另一特征是在动载荷下具有较缓和的失效过程。传统金属材料在动载荷下的失效过程往往极为短促,且预兆不显著。对于FRP材料而言,当每

次的载荷峰值超过某极限值时,材料的硬化程度有了微小的变化。若长时间工作在该动载荷下,其硬化程度的变化将逐步累加。利用这种特征,可以实现对材料的失效进行预报。但是FRP材料对冲击载荷十分敏感,在断裂前其应力/应变几乎呈线性关系,应力的峰值不能通过材料的塑性变形来缓和。

对于采用铺层法加工而成的FRP材料,在冲击载荷作用下最常见的失效形式是分层,即在剪应力的作用下层间树脂基产生断裂失效。其主要原因是不同层的纤维取向通常设计为不一致,从而由于FRP材料层之间性能的差别,导致层间应力的产生而最终失效。为了克服此现象,通常采用层间增强的方法,以增加层与层之间的剪切强度。图4表示了一种新的加工方式^[3]。不同层纤维的取向不一,以实现多向增强的目的。在厚度方向,利用针织成圈的原理,实行增强。这是一种可实现批量生产FRP材料的加工方式,已经引起人们的关注。

五、结 语

高性能FRP材料的研究和发展,给材料工业的发展注入新的活力,也给纺织工业带来新的挑战。对于纤维的加工和织物的形成有着丰富经验的纺织工业,如何将成熟的纺织加工技术有机地移植到对高性能纤维及复合材料的加工方面,是当今也是今后相当长的一段时间内纺织高科技的重大课题。

参 考 资 料

- [1] Michaeli, W., Wegener, M., Einführung in die Technologie der Faserverbundwerkstoffe, Carl Hanser Verlag, Muenchen, Wien, 1989.
- [2] Kardenhoff, K., Wulfhorst, B. Hybridized Textiles Structures for the Continuous Manufacture of Consolidated Sheet, 39th International SAMPE Symposium, April 1994.
- [3] Hoersting, K., Wulfhorst, B., SAMPE Journal, Vol. 29, No. 1, 1993.