

谈塑胶应用环境的螺丝锁固

文 / Laurence Claus



很久之前我曾经做过一个很有趣的计画。在美国，一台新车被组装好後，它会被送上卡车或火车运送出去。在这个案例中，我客户的新车型被送上火车运往全国各地。当它抵达目的地後，这些车却无法被发动，也不能被卸下。花了很长时间才发现，手套箱门在路途中被开启，导致手套箱的灯亮了，然後一直亮到没电。马上调查这个问题发生的原因後知道，用来固定手套箱门上螺丝的塑胶ABS树脂饰钉完全碎断了。所使用的AB型螺丝施加过多的辐射应力在塑胶ABS树脂饰钉上，造成塑胶脱落，门弹开，所以新车抵达目的地後无法启动。

这只是众多螺丝锁固塑胶案例中的千分之一而已。也许不太像其他常用的材料，塑胶的种类有上百种，且性能特徵又不一样。这让它很难有一款可以适用全部应用的紧固策略（这也是大多数紧固接合被设计的模式）。

在常用产品上使用塑胶是近期才发展起来的。虽然有一些塑胶是在二战期间被首次大量使用，但直到40年前塑胶被使用在日常用品上才开始加速普及。如同任一种技术革命，若要促进某一种基础技术的发展，其他可以支持其发展的技术就需要被开发出来。这在塑胶紧固上尤其如此。很不幸的，早期紧固塑胶的方法使用的是现有的技术，而这些技术被用在这类型应用上会有缺陷，且会造成性能不足(最好的情况下)或是失效和废弃(最坏的情况)。基於这些理由，会形成螺纹的扣件要成为紧固塑胶的零部件并流传开来，还需要很长的时间。

塑胶概要

要了解为什麼塑胶锁固是非常具挑战性，就必须对材料科学有一些基本认识。塑胶泛指一系列由重复排列长链分子(泛称聚酯)所组成的材料。这些聚酯材料可细分成三大类：热塑性、弹性体和热固性。这三种塑胶都有非常不一样的特性和性能特徵。热塑性塑胶是由直列且稍微分岔的分子链所组成，因此可以被反覆地重新加热和使用。热塑性塑胶比热固性塑胶强度低但更具弹性。热固性塑胶则含高度十字交叉排列的分子链形成坚固的材料，且不能被重新加热熔化。

当热塑性塑胶自熔点状态冷却，有些会结晶，有些则不会。冷却後产生结晶的结构部分并没有相当完美且会被视为半结晶热塑性塑胶。很多常见半结晶热塑性塑胶的案例有：聚乙烯、聚丙烯和尼龙。没有形成半结晶结构的热

塑性塑胶被称为非结晶塑胶，这些材料有时候被称作聚酯玻璃。不过这些非结晶材料最显著的特徵是其承受应力的强度有限。换句话说，它们对任何形式的施加应力都非常敏感。很多常见的这类塑胶有聚碳酸酯、ABS树脂以及PMMA（塑胶玻璃）。

了解非结晶塑胶、半结晶塑胶和热固型塑胶的差异对扣件工程师来说极度重要，因为它决定了塑胶饰钉在螺丝锁入後是否会发生开裂、剥落或白斑。

了解塑胶的其它特性或许非常重要。举例来说，在设计使用於固定螺纹螺丝的塑胶饰钉时，弯曲模量或是塑胶硬度的数值就很重要。在类似的方法中，塑胶分子重量和基底塑胶是否含有玻璃或云母都会大幅影响塑胶接合是否可以被设计妥当。

总结来说，对设计师或扣件工程师而言，了解和螺纹扣件一起搭配来锁固塑胶的基本样式和特性就很重要。不像某些呈现许多共同特徵的金属材料，任何一种塑胶所呈现的特性都不相同。事实是，一些塑胶因为如此不同，所以若被使用在「没有特殊尺寸要求」的螺纹扣件锁固环境下可能会有风险或直接无法使用。

热塑性塑胶紧固件

第一支被使用於热塑性塑胶的螺丝非常可能是木螺丝。理由很简单，在当时也只有它可以选择。不过问题是木螺丝的设计并非非常精密且螺纹公差颇大。更不用说，它们在这样的环境下根本不好用。之後才衍生出各式各样的螺丝，然後慢慢范围缩小至螺纹切销螺丝和螺纹成形螺丝、HiLo[®]、Plastite[®]和AB螺丝。

这些选择都有缺点。螺纹切销螺丝会产生碎屑，组装後有很大变异性。目前我们知道它们无法提供热塑性塑胶良好的锁固效果。HiLo[®]高低牙螺丝所产生的组装效果也常常不稳定，且可能也比其他螺纹样式的螺丝更容易发生自发性松脱。Plastite[®] s[®]螺丝是针对软钢所设计出瓣型轧纹螺丝的变异型，在这些选择之中，Plastite[®] s[®]螺丝或许是最具风险性的，因为其瓣状设计会在瓣上形成应力集中。虽然这现象在软钢的螺纹成型时具备很多优势，但在非结晶塑胶上却是灾难的开始。AB（或称板金）螺丝会创造很大的辐射应力，造成饰钉开裂或需要使用更多塑胶来强化塑胶饰钉的圆周长度。

直到1980年代初期，EJOT Verbindingstechnik才发表出可以紧固热塑型塑胶的螺丝产品，也就是第一代的PT[®]螺丝。其导入了类似「刀片」的螺纹设计以减少被施加於饰钉上的辐射应力，可以预防松脱且让材料的流动不受阻碍。在1990年代晚期第二代的PT[®]螺丝，也就是Delta PT[®]螺丝被发表出来，其改良了前一代设计。特别是，调整过後的螺纹设计可以降低材料流动迟滞的风险，并提高刀片状螺纹的优点。此外，内凹的螺牙根部仍可提供大量的空间让材料流动其间且增加主要线径使其可以在较高弯曲模量的材料中可以提供更高的螺丝强度。头部被设计来尽可能产生最大承受表面，并用全硬化取代表面硬化来减少氢脆风险。

自从PT[®]螺丝在将近40年前被导入後，市场上陆续又有其他可以处理专属於塑胶特性和特徵问题的设计被发表出来。这些螺丝都远不及Delta PT[®]螺丝所能达到的效果，但整体来说，还是比早期那些性能较差的设计还要好，也让使用者有信心认为螺纹成型是可行也是最好的办法。

螺纹成型如何运作

要被螺纹成型的材料是哪一种并不重要，因为螺纹成型的科学大同小异。图1显示典型的螺纹成型应用。当螺纹被钻入饰钉後，使螺丝可以向前进的扭力量稳定地增加。不过，如图所示在循环初期扭力最显著的增加发生在第一道螺纹被成型时的瞬间（点1）。这是大家熟知的螺纹成型扭力。理论上，下一道螺纹以及之後的每道螺纹都会承受相同的螺纹成型扭力。因此，在螺丝钻入过程中不存在扭力突然攀升的情况。不过与新成型螺纹接触的摩擦力却存在且会随著每道新螺纹的产生和越来越多螺纹与塑胶料的接触逐渐累积。图1很明显地可以看到扭力在初始螺纹成型扭力产生後持续以稳定的线性速率增加。

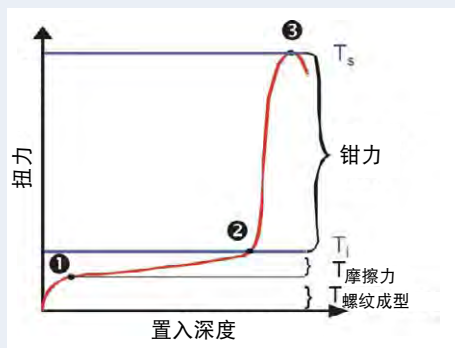


图1: 螺纹成型螺丝典型扭力与时间进程的对应关系

当螺丝头部刚与即将被钳住的材料接触後，整个过程的钻入阶段就算完成，而点2所量测出的扭力代表常被称作钻入扭力的值。在这个时间点，螺丝持续的旋转会导致接合处开始受挤压，因为钳力负荷产生了。这在扭力—时间关系对应表上将近垂直的扭力值上升中可以看出。千万要记得螺丝的强度远比塑胶强度大上很多，塑胶材料最後会负荷过大，然後塑胶内螺纹会从饰钉上剥落（点3）。这就是大家常说的「剥离扭矩」或「最终失效扭矩」。

这些数值对扣件工程师来说非常重要。工程师和设计师会执行很多反覆测试来从他们可以推断出的最大钻入扭力和最小剥离扭力取得相关统计数据。一旦他们手上有这些数值，他们就可以算出建议的紧固扭力（也就是安装者用来设定螺丝的参考扭力），以达到更安全和稳定的接合效果。

其他观点

也许这之中最重要的观点但也最常被忽略的就是接合处维持住钳力负载的能力。少了钳力负载，接合处会变松且非常容易产生自发性松脱。它也会让欲钳住的部件移动，产生不想要的嘎嘎声、晃动声或接合失效。因此，了解应力松弛作用就很重要。对塑胶来说，解决这问题常常跟我们先前传统扣件工程学所学到的知识反其道而行。传统上关于栓合的想法是我们产生的预负载力（螺栓拉伸量）越大越好。如同预负载力一般会随著扭力增加而提高一样，在塑胶接合情况下，较高的扭力也会获得更高的负载力。不过，我们必须回想一下我们对於塑胶的认识以及我们一般认为塑胶跟应力不一样。塑胶承受越多应力或是应力越集中，塑胶将更容易松脱。因此，较高的钳力负载实际上可能不如我们所愿，因为材料会比其在较低钳力负载下松脱更严重。在一些案例中，所有钳力负载都丧失了也有松脱的情况。为了回应这样的情况，合适的紧固工程常常意味要使用较小的扭力，才能让松脱受监控且钳力负载也不会完全丧失。

钻速也是要受到规范的重要数值。钻速越高，摩擦力和安装时产生的热能越多。在一些较不精密的塑胶上，这样的热能足以减低塑胶的机械性能并导致较低的最终失效扭力。虽然能尽可能提高钻速对许多安装者来说非常诱人，一般来说会建议控制在每分钟500转以下。

设计最佳化非常重要。使用正确的导孔尺寸、螺纹啮合、平底扩孔尺寸和深度对达到最好的接合性能来说相当关键。一个很常见且也应当被避免的错误是相信针对单一螺丝样式所想出的接合设计若用另一种螺丝仍会达到相同的性能效果。设计师和末端使用者在各种螺丝样式相继被开发出的时候应当特别留心。

结论

也许就跟上述文章所讲的一样明显，对塑胶饰钉进行螺纹成型绝对不是一件小事。事实上，它需要具备很多关于不同塑胶材料如何作用的专业知识。把所有塑胶都当成一样的话，就形同问题发生和潜在失效的开始。生产和销售这类产品的厂商应该有具备螺纹成型和塑胶领域知识的人才，如此一来才能设计出最有可能的最佳设计来提供末端用户协助。