

汽车扣件热处理概要

文/Laurence Claus

大约20年前我曾经与一家汽车煞车系统供应商合作过。这家公司的某一种卡钳产品使用了“Collette 销”煞车卡钳设计，这些卡钳透过沿着两件式销系统滑动来运作。其头部有一支有攻孔的Collette销和固定螺栓。固定螺栓连结Collette销的表面至活塞本体凸缘的背面，让活塞托架可以在煞车运作时沿着这些销自由滑移。

某日这家煞车制造商在组装卡钳时突然在固定螺栓时发生螺栓断裂。整个组装过程一如往常且断裂并非频繁发生，它们立刻进行螺栓调查。他们很快地发现断裂的螺栓虽然必须要达到10.9级的强度，实际上却近乎软钢程度，没有失效的部件则具备了合适的10.9级强度。

最后确定了热处理厂商并没有完全清空炉体输送带上的部件以及把假设已经清空的桶架推到炉体之后以便在制程末端收集热处理后的部件。因此，他们不慎地把一些未经热处理的部件与有经过热处理的部件混在一块。最后这些部件被进行热浸镀处理，导致无法分辨那些有经过热处理，那些没有经过热处理。

在类似的案例中，2017年七月福特曾进行产品召回，许多车款都因为座椅和座椅安全带锚栓爆裂或可能发生爆裂而被召回。福特中央实验室调查问题后得出结论表示部件在热处理时有回火问题。随后确定了T2热处理商在2014年4月17日处理一批部件时发生停电问题，因此导致部件没有被适当地回火。

虽然这些产线失效都已是过去式，但却显现合适汽车扣件热处理相当重要以及程序出错可能发生危险的最佳写照。很多汽车系统非常倚赖扣件是否能适当地发挥功能。因此合适的热处理流程设计、载明和执行就变得非常关键。本文将进一步探讨汽车扣件所使用的三种热处理流程。

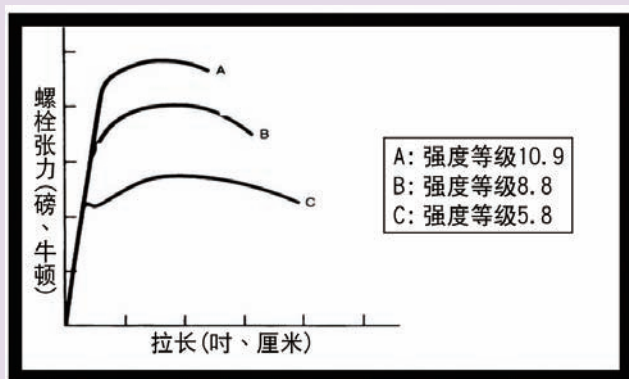
淬火及回火：

在我们实际看到透过淬火和回火来强化部件的步骤前，首先我们必须考虑到使用于接合处的扣件是如何运作的。记得栓合处有一支外螺纹螺栓或螺丝以及一颗内螺纹可自由转动或被固定住的螺帽本体。不论是哪一种案例，一旦接合处被贴合定位后，额外的螺丝紧固应该会使螺丝开始出现弹性拉伸并产生可以有效挤压和固定接合处的负荷。因此，若要使螺栓或螺丝正常运作，其就必须有弹性拉伸的能力。不过，这种能力并非毫无限制，其最终会在扣件材料无法再承受所受压力的临界点后产生塑性变形。根据螺栓的强度等级，有些会比其他承受更多塑性变形，但最终都会产生断裂。



图一显示这种拉伸作用以及低强度螺栓和高强度螺栓之间的比较。该图清楚显示两项对比强度等级更重要的原则，首先是若设计师需要产生很多「支撑力」(业界常称夹紧负荷，此图中称作张力)，就必须使用高强度螺栓；第二，我们看到当强度提高，部件会变得更加脆弱。这显现在低强度部件在断裂前塑性延伸与高强度扣件相较之下的相对距离。

图一



考虑到第一点，只要设计师结论认为需要较高强度的螺栓，若使用的是钢铁，部件就必须透过热处理进行强化。最常用来达到强化目的的程序就是「淬火和回火」、「透淬硬」或「中性热处理」。不论用什么称呼，最终结果都是一样的，也就是部件通过热处理流程，然后出来时强度更坚硬。

在汽车领域，几乎所有扣件都是以公制来设计和生产。因此，设计师必须使用公制材料标准规定部件所需的强度。在汽车领域，每一家代工厂通常都会有自己的内部标准来规范螺栓、螺丝和螺帽强度。纵使每一个代工厂商都会出版自己的标准，但几乎所有针对外螺纹部件都是以ISO 898 第一部分为基准，内螺纹部件则是以ISO 898第二部分为基准。

这些标准阐明了不同的强度等级(也称作性能分级)。它们通常从4开始然后一般来说都会到12(级数与级数通常会有一些间隔)。因此在外螺纹部件的部分会有4.8、5.8、8.8、10.9和12.9的选择。在内螺纹部件的部分，也会有相对应的等级，但是在小数点后面没有额外的数字，只有4、5、8、10和12。在外螺纹的部分，这些数字是有意义的，第一个数字代表公称最小拉力强度乘以100兆帕；第二个数字代表降伏强度相对于拉力强度比例乘以10。举例来说，强度等级8.8的部件必须有800兆帕的公称最小拉力强度以及该数值80%或640兆帕的降伏强度。

汽车设计师使用这些数字来区分汽车扣件强度等级，但8.8 (8)和10.9 (10)显然已经超过常用的任何一种等级。有一些应用需要使用12.9级扣件，但很多供应商在这部分因为其具备高强度、关键性和易氢脆则显得非常谨慎。不过，无法避免的有些应用可能会需要12.9级所能提供的额外强度。

所以淬火和回火流程究竟是甚么？不管是淬火回火、透淬硬和中性硬化事实上都提供我们所需的不同资讯来了解这些流程。首先是淬火和回火说明了加热部件的一般流程，将其淬火然后再将其加热至比第一次加工程序所使用还要低的温度。第二个透淬硬处理说明了此程序如果被妥当地完成其为结构和性能会完全一致。举例来说，这意味M12部件的中心会跟其表

面具有相同的性能特征和微结构。最后，中性硬化说明了部件首次被加热的加工程序。围绕部件的气体必须产生保护作用，所以当表面与周边气体元素产生化学反应后不会有任何改变。

加工流程可以被主要分成三个部分：奥斯田铁化、淬火和回火。第一个加工流程是奥斯田铁化。这是提高和维持部件温度直至整个微结构已经转变成钢铁高温结构奥斯田铁的步骤。有很多变数会决定整个程序会耗时多久，因此热处理厂商必须非常小心地设定加工参数以确保所有部件都能在热处理阶段达到完整的性质转化。在可以产生所需变化的温度下，钢铁会变得很容易跟特定元素产生反应。因此在加工程序第一道步骤的另一项重要考量是去确保环绕部件的气体是「中性的」且不会产生有害的化学反应。

在部件到达奥斯田铁化的温度后且维持一段时间到性质完全改变，下一个步骤就是对部件进行淬火。也就是快速使其冷却，快速地把热能移除。常用淬火材料包括油性溶液、水和混有其他成分的水。

虽然外面有一些材料不会对淬火产生反应，但钢铁会。这种淬火程序快速地冷却部件并迫使奥斯田铁转化成全新的麻田散铁结构。麻田散铁非常强壮和坚硬，因此是非常受欢迎的钢铁结构。不幸的是麻田散铁(又称未经回火的麻田散铁)在实际使用时太过容易脆裂。

因此，加工流程的最终阶段就是部件回火。此流程部分会让部件回复一些金属韧性(减低脆裂性)。不过要回复这些特性也要做一些牺牲，也就是部件强度和硬度降低了。回火必须在比奥斯田铁化的温度还要低的温度下完成，因为热处理厂商想要保留住在加工程序初期所形成的麻田散铁结构。

目前，大部分汽车扣件都会经过热处理流程。从大部分扣件都被要求要能具备多重负载功能且会产生可以紧紧固定接合处的负荷来看这就显得非常合理了。

渗碳氮化:

渗碳氮化或更常讲的表面硬化是另一个汽车扣件用的典型加工程序。表面硬化暗示了成品在进行此流程后会呈现的状态。在这样的例子中，该流程会在内部没有获得明显强化的状态下产生一个非常坚硬的外壳。经表面硬化的部件有点类似有坚硬外壳和较软内部结构的口香糖。

在我们做进一步探讨前，我们要再观察一下产品以及这类型热处理的理由。这种热处理几乎只单独使用于螺纹成型螺丝，尤其是那些在软钢进行螺纹成形的螺丝。虽然其也可能被使用于塑胶或铝进行螺纹成形的螺丝，这些材料现今更常用的则是有经透淬硬处理的螺纹成型螺丝(理由是对这些材料进行螺纹成形不需要高硬度和表面强度，且透淬硬处理后的部件也不是那么容易脆断)。

因此，思考一下以下这种应用情况，有人有支钢制螺丝想要在软钢上形成内螺纹，如果两边的强度类似，螺纹成形简单来说绝对不会成功，要让螺纹成形发生的话，螺丝上的螺纹必须相对坚硬才能够完成整个螺纹成形过程。因此螺丝本身必须比要钻入的材料基质还要更硬更强。虽然软钢材料与受透淬硬且强度达10.9或12.9级的扣件之间硬度和强度不同，也不太可能可以完全避免螺丝螺纹发生崩解的情形。

因此，螺纹成形螺丝相较于其欲钻入形成螺纹的基质在硬度和强度上必须有明显差别才能有效正常运作。正常来说，

这可以透过表面硬化来达成。不幸的是，表面硬化有其缺点。最显着的是螺丝更容易脆断且也很容易发生弯曲的现象。同样地在较小部件或细牙部件上，螺纹也可能存在完全表面硬化的情况。虽然这可以产生很坚硬的螺纹，但其也非常容易脆断或是在安装时发生断裂或切断。

表面硬化的流程相似于淬火和回火。事实上，大多数表面硬化流程可以很轻易地转变成透淬硬流程，反之亦然。部件被奥斯田铁化、淬火和回火。不过最显着的不同是环绕部件的气体不再呈现中性。事实上，在表面硬化中，气体中充斥着碳和氮。充斥这些元素的气体以及部件中不相同的元素密度将让部件吸走这些元素。这将会让部件表面充斥着碳和氮，使其比具更少碳元素和极少或没有氮元素的表层底部更强硬。

再者，表面硬化会产生非常适合用在螺纹成形或其他表面硬度和强度很重要的扣件。不过最大的缺点是经表面硬化的螺丝并不是非常具有韧性。其外部容易脆断且核心部位很少具备太高强度。此外，它们也很容易弯曲，过度外部硬化(外部延展至部件断面)或容易发生氢脆。

透淬硬及感应硬化(高周波淬火):

在一些汽车产业应用中设计师可能会选择螺纹成形螺丝，但同时要求其不能脆断。以座椅安全带托架或连接汽车结构座椅滑轨的锚栓为例。在汽车发生严重撞击的极少例子中，这些扣件被预期要能有完美性能，意味着其必须牢牢固定座椅和座椅安全带且不会断裂。

不过一支经渗碳硬化的部件在严重车辆事故的情形下很容易发生断裂。因此要如何设计出一支具抗撞击不会断裂的韧性且仍保有足够强度硬度在软钢中达到螺纹成形目的的部件？

解决办法就是使用两阶段热处理步骤。步骤一是对部件(多数是10.9的强度)进行透淬硬处理。步骤二是透过感应硬化(高周波淬火)选择性硬化某些区块。让所选择螺纹成形发生的区域具备要求的强度来进行螺纹成形程序，同时部件本体又不会脆断，因此可以抵抗冲击发生时所产生的严重冲击负荷。

感应硬化(高周波淬火)是唯一有选择性的硬化程序。这意味着其程序可以只针对部件上的某一区块进行。在锚栓应用领域，也可以用来进行单点硬化，或是在其他常见的汽车领域(避震和操控接合点)被用来硬化一部分球型头部区域来避免磨损和刻痕。

在此流程中，部件会通过感应线圈。这是很重要的强力电力场，可以在线圈内快速针对部件的特定区域进行加热。此受热区会转变成奥斯田铁。部件会被移除和淬火，形成麻田散铁。在一些案例中，部件经过回火，在某些案例中则没有。

在上述所描述的锚栓应用中，部件常常未经回火。只要经感应硬化的区域通过紧固接合处就可以接受。这个区域可能容易脆断，但没有关系，因为接合处材料内部不会脆断。经硬化的点可以发挥功能来产生螺纹且因为接合处的锚栓部分全部经过透淬硬处理，所以没有很大关联性。

在一些少数情况下，汽车部件可能也会使用到退火、渗碳或软氮化热处理流程，但本文中所提到的三种方式仍然是汽车扣件所采用的主流。不过就如前言中所提到的故事，设计师和热处理厂商都清楚了解情况是很重要的。很多极度重要的事往往取决于是否把一些细节的事做对。 □