



钢铁扣件电镀层之处理与试验

文/王维铭

扣件扮演著许多硬体连接部分的用途,将两个或两个以上的硬体物件连接在一起,这种接合对於众多产品的制造及其整个行业的至关重要。与焊接不同,扣件通常不是永久性的物件接合。硬体接点及物体的存在应该是和谐的,需要考虑接合点相关之间的物理及化学性质有害不利的变化,如焊接及扣件、扣件及物体,这并不奇怪。其性能的影响回应远远超出硬体接头和物件的形状和大小。

在使用扣件时,扣件暴露在空气或其工作环境中。空气或工作环境的气氛应存在一定的腐蚀条件,引起材料的化学反应。有害腐蚀的现象会导致负效应对扣件物理性能的影响。表面处理後,应改善扣件的外观、光学性能或电气性能。重要的是要提高加强防锈及耐腐蚀能力。表面处理也同时提高了产品的使用寿命。

扣件大多由铁的合金相形态的钢材料制成,如果没有适当的金属、材料或其他化学品的保护,铁合金容易受到攻击、反应、变质而腐蚀。扣件表面处理的主要技术包括磷酸盐涂层或铬酸盐涂层、化学镀层、电镀、热浸镀锌、阳极氧化、涂装等化成皮膜层处理。电镀是藉由水解反应将一种金属电镀到另一种金属的过程。对扣件而言通常是必要的,因为扣件的形式,无论是螺栓、螺丝、螺母还是螺旋桩,都是由钢制成的。电镀镀层与其他镀层的相互作用及应用即成为电镀镀层系统。

电镀镀层系统特性

扣件上的金属镀层或合金镀层

钢铁扣件的电镀镀层系统主要用於防腐及功能特性,如扭矩夹紧力关系。此

外,还可其他功能特性或装饰性能等特定性质,如耐化学性、导电性、镀锌腐蚀、清洁性。**表1**显示了常用的电镀镀层及其主要用途及相关ISO标准的参考。

基本电镀镀层系统的建立及原理如**图1**所示。化成皮膜层可增强对锌、锌合金和镉涂层的防腐蚀保护。化成皮膜层可以是钝化层(不含六铬)或铬化层(含六铬)。化成皮膜层还可以为额外的皮膜层及/或额外的颜色/漆料提供更好的附着力。

可选择额外的密封皮膜层/外端面层(带或不带整体润滑剂),以提高耐腐蚀性并实现其他特定性能(例如扭矩夹紧力特性、耐化学品性、机械电阻、方面、颜色、热稳定性、更高的电阻、抗UV紫外线辐射)。密封皮膜层或外端面层的性质的选择,应基於所需的额外性能。可使用附加润滑层来调整或修正扭矩夹紧力关系。

表1 常用的电镀镀层组合及其主要用途及相关 ISO 标准的参考。

电镀膜层+无机膜层		
金属膜层	无机膜层	ISO standard
镍(Ni), 镍(Ni)+铬(Cr), 铜(Cu)+镍(Ni)及铜(Cu)+镍(Ni)+铬(Cr) 电镀膜层	无机膜层	ISO 1456
钢铁上之锌(Zn)膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 2081
具无六价铬(Cr(VI)-free)处理之钢铁上锌(Zn)或锌合金(Zn alloys)膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 19598
钢铁上镉(Cd)膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 2082
锡(Tin)(Sn)电镀膜层	未有无机膜层	ISO 2093
银(Ag)或银合金(Ag alloys)电镀膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 4521
金(Au)或金合金(Au alloys)电镀膜层	未有无机膜层	ISO 4524-3, ISO 4524-6
在塑胶上之镍(Ni)+铬(Cr)电镀膜层	未有无机膜层	ISO 4525
工程用途之镍(Ni)电镀膜层	未有无机膜层	ISO 4526
工程用途之铬(Cr)电镀膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 6158
锡铅(tin-lead)电镀膜层	未有无机膜层	ISO 7587
具镍(Ni),钴(Co)之锌(Zn)电镀膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 15726
镍-陶瓷(Ni nickel-ceramics)复合电镀膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 19487
电气电子工程用途之金(Au)或金合金(Au alloys)电镀膜层	未有无机膜层	ISO 27874
其他膜层+无机膜层		
其他膜层	无机膜层	ISO标准
无电镀镍磷合金膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 4527
机械性沉积之锌(Zn)膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 12683
以电磁屏蔽用途于无电镀铜上之无电镀镍膜层	未有无机膜层或添加无机膜层	ISO 17334

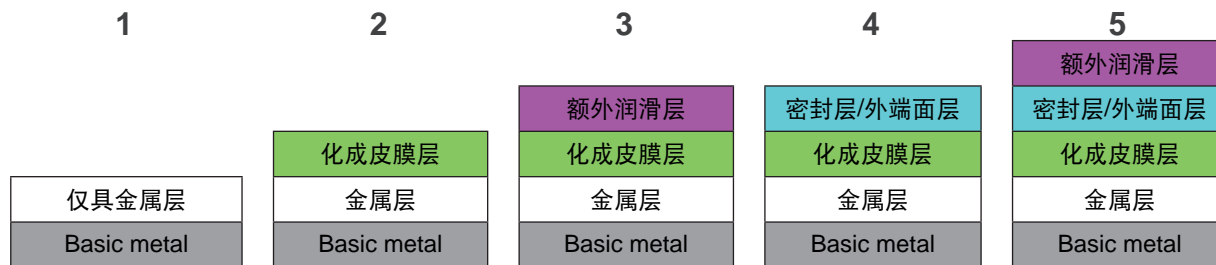


图1 基本电镀层系统的建立图示

电镀镀制过程

在选择电镀镀层系统及相关的镀制过程以及氢脆的考虑因素时，应考虑扣件的类型和几何形状。

扣件的类型和几何形状议题如下：

- 扣件的螺纹形状；
- 具固定华司的扣件；
- 华司及类似的扣件；
- 具黏合物或补修物的扣件；
- 预置扭力螺帽；
- 具凹槽、内部驱动、洞或孔槽的扣件；
- 使用自成型形成对应螺纹形状之螺丝；
- 夹件及维持环圈。

在选择电镀镀层系统之前，应考虑元件的所有功能和条件，而不仅仅是扣件。应考虑扣件装配的功能特性，如可组装性、可安装性、耐化学性、导电性、镀锌腐蚀、清洁度等。

电镀镀层系统可应用于散装使用滚桶或机架吊挂制程进行镀制。密封层/外端面层通常使用自旋浸渍制程进行镀制。扣件电镀通常是一个大量产制过程。当许多的小批量要进行镀制时，可能需要一个合适的镀制线和/或镀制制程，以达到所需的镀层性能及扣件性能。对于大尺寸或大质量的扣件，或在减少或避免螺纹损坏的风险时，可以考虑吊挂制程镀制而不是滚桶加工镀制。

当外端面层应用时，其固化过程（特别是在温度较高、持续时间较高或持续时间较长的情况下）会对扣件的性能产生不利影响，例如：冷加工扣件的扣件，用于在加热后轧制的螺纹扣件，对于具有非金属介在物的预置扭矩螺帽，将使有意引入的残余应力的降低（不足）。

润滑层及/或外端面层通常用于提高锌为基底之电镀镀层系统的耐腐蚀性。如果需要耐化学性，在电镀镀层系统中应用的有机外端面层通常比无机外端面层或密封层更具有耐酸和硷性化学性能。具有密封层的电镀涂层系统的电导率通常足以用于电泳涂层和抗静电目的。电镀镀层系统与密封层及外端面层相结合，通常不适合电气接地。为了降低电位腐蚀的风险，应考虑扣合元件的

每个部分（扣件镀层及夹紧部件）。具镀层之扣件直接接触金属未有镀层保护之夹紧部件应予以避免，特别是对于不锈钢、铝、镁、铜或铜合金、碳纤维材料及填充碳的橡胶。有机外端面层漆料由于其较高的绝缘效果，可以提高对电腐蚀的抵抗力。为降低电位腐蚀风险，最适合的措施是与为夹紧部件具有相同或类似电势的扣件选择镀层或电镀镀层系统。

内部氢脆化 (IHE)

氢脆是电镀镀层系统的镀制过程，由于氢引入和随后扩散到金属中，氢化物形成金属变得脆弱及断裂。对氢引起的裂开「脆化」的敏感性通常是在成型、镀制、电镀、清洁及精加工过程中引入氢的结果，通常被称为「内部脆化」。氢也可以随著时间的推移、腐蚀过程（特别是电腐蚀）、阴极保护及/或来自产生的氢通过涂层的腐蚀。即所谓的「外部脆化」，通过环境接触（土壤和化学品，包括水）。

如果扣件同时存在以下三个条件，则存在内部氢脆(IHE)的风险：

- 具有较高的抗拉强度或硬度、或已硬化和回火或冷加工到高硬度，
- 在拉伸应力状态下，以及
- 已经有吸收氢的。

随著扣件材料硬度的增加，对IHE的敏感性也随之增加。

表2为ISO标准中建议铁或钢应采用各种清洁、镀制前处理或镀制后处理，以降低氢脆的风险。

表2 ISO 标准中建议铁或钢应采用各种清洁、镀制前处理或镀制后处理，以降低氢脆的风险

各式处理准备	ISO标准
镀制前处理	ISO 9587
镀制后处理	ISO 9588
铁基金属及合金之金属表面清洁及准备	ISO 27831-1
非铁基金属及合金之金属表面清洁及准备	ISO 27831-2

ISO4042:2018中规定了根据硬度对淬火及回火扣件进行IHE的适当预防措施。如表3所示。适用于符合ISO898-1、ISO898-1、ISO898-1和ISO4042:2018的扣件。

表4列出了符合ISO898-1、ISO898-2、ISO898-3扣件预防IHE相关措施，这些措施用于硬度360HV及390HV之间的扣件。

当电镀扣件最大硬度超过390HV时，规定需要烘烤。



表3 用于淬火及回火扣件，以硬度考量之预防IHE的适当措施

360HV		390HV
A	B	C
以考虑内部氢脆化(IHE)而言，无补充追加过程查证或产品测试。无烘烤之必要性。	以考虑内部氢脆化(IHE)而言，补充追加过程查证及/或产品测试，或烘烤(由制造厂商选项决定)。	以考虑内部氢脆化(IHE)而言，补充追加过程查证及/或产品测试，及烘烤(烘烤温度时间应予以指定)。

表4 用于ISO 898-1, ISO 898-2, ISO 898-3扣件，以强度等级或硬度考量之预防IHE措施

依据ISO 898-1之螺栓螺丝螺柱	性质等级		
	≤ 9.8	10.9	12.9 and 12.9.
有关内部氢脆化(IHE)之衡量区分	A	B	C
依据ISO 898-2之螺帽	性质等级		
	≤ 12		
	具最大硬度小于等于360 HV之螺帽		具最大硬度大于360 HV之螺帽
有关内部氢脆化(IHE)之衡量区分	A		B
依据ISO 898-3之扁平华司	性质等级		
	≤ 200HV	300 HV	380HV
有关内部氢脆化(IHE)之衡量区分	A	B	C

追加补充的处理

在进行烘烤时，包括温度及烘烤持续时间在内的烘烤条件，应基于扣件材料的特性、电镀制程及镀层材料。烘烤通常在应用化成皮膜层之前及/或在应用额外的密封层/外端面层之前进行。在钝化的情况下(有或没有密封层)，并根据烘焙温度，在钝化及/或密封条件下烘烤可能是合适的，前提是**不损害耐腐蚀性**。

最低烘烤温度及持续时间的因素是温度、持续时间、镀层的渗透率和镀层厚度。对于电镀锌氢脆敏感性高的扣件(例如：心部硬度高于390HV)，在190°C至220°C下8小时至10小时是建议的最低烘烤时间。在大约190°C下烘烤4小时电镀锌扣件的常见做法不足以提取氢，因为锌是氢扩散的有效屏障。事实上，4小时的烘烤时间甚至可能是有害的，偶尔会导致失败。

依照ISO898-1中的规定，以预期材料和冶金特性正确制造的强度等级属10.9级的扣件不容易因IHE而失效，也不需要烘烤。强度等级属10.9级的扣件有时是为了防止制造错误或失控的过程，这可能会使材料易受影响。

烘烤过程中使用的最高温度和持续时间受到以下考虑因素的限制。它不应超过扣件最初回火的温

度，也不应影响涂层的性能。温度及/或持续时间的过高会影响热处理後螺紋轧制的有益效果。

镀锌扣件通常在不高于220°C的温度下烘烤。镀镉扣件通常在不高于200°C的温度下烘焙。

ISO2081、ISO9588和ISO19598中规定的扣件标准是降低IHE风险的参考及建议。

表面硬化及回火的扣件包括自攻螺丝(请参阅ISO 2702)、金属材料螺紋成型螺丝、自钻螺丝(见ISO10666)和软材料螺丝(如塑胶、木材)。这些螺丝的表面通常是刻意硬化，以履行其特定的功能。表5规定了表面硬化及回火的扣件考量之预防IHE措施要求(软材料的自攻螺丝及螺丝除外)。软材料自攻螺丝及螺丝的要求见表6。

表5 表面硬化及回火扣件考量之预防IHE措施

表面硬化回火之扣件	心部硬度	
	≤370 HV	> 370 HV
有关内部氢脆化(IHE)之衡量区分	B	C
	以考虑内部氢脆化(IHE)而言，补充追加过程查证，及产品测试及/或烘烤。	以考虑内部氢脆化(IHE)而言，补充追加过程查证，及产品测试及/或烘烤，及每一制造批之产品测试。



防腐蚀及试验

耐腐蚀性被认为是一种产品特性,可由於以下因素而改变,如处理及运输对电镀层系统造成的物理损害,环境的反应。在潮湿环境曝露的频率及持续时间、接触腐蚀性化学品以及接触其他金属和材料(电腐蚀/接触腐蚀)都会影响镀层的防护性能。锌、锌合金及镉的镀层为钢基金属提供阴极保护。相反,如果镀层损坏或凹坑,金属及镀层不能提供阴极保护(例如镍、铜、银),则会加剧扣件的腐蚀。加速试验通常用於评估金属及镀层系统的耐腐蚀性。一般采用ASTM B117、ISO9227、DIN 50021或IS Z2371规定的中性盐喷雾试验(NSS)来评估金属镀层系统的耐腐蚀性。二氧化硫测试(Kesternich试验)适用于具有锌涂层系统的户外建筑扣件。如果有指定二氧化硫测试,DIN50018、ISO6988、ISO3231、ASTM G87或ASTM G85附件4则适用。另外的试验方法AASS(醋酸盐水喷雾试验)、CASS(铜加速醋酸盐水喷雾试验)等方法亦可以应用於评价金属及镀层系统的耐腐蚀性。

电镀镀层系统的防腐蚀保护在很大程度上取决於金属层的厚度。化成皮膜层及锌、锌铁、镍及镉镀层上的密封层提供了防止镀层金属腐蚀(形成白色腐蚀)的保护。从而提供额外的保护,防止基础金属腐蚀。镀层厚度对测量性和可装配性有显著影响,因此应考虑螺纹的公差和间隙。在外螺纹的情况下,涂层不应导致超过零线,在内螺纹的情况下也不得低於零线。表7中其中任一种试验方法均可应用於确定金属层的局部厚度。

经电镀制之扣件应无起泡状况。层状剥离及未镀制区域会对腐蚀防护产生不利影响。局部镀制层过剩(例如在外端面层的情况下),不得损害功能特性(可测量性、扭矩/夹紧力关系等)。可以在钝化或色谱液中添加染料颜料,以便给化成皮膜层提供彩色的方面。通常用於区分目的。染料/颜料也可以添加到密封层/外端面层,以获得彩色表面。

如果考虑到扣件使用的环境温度,高温会影响镀层扣件的防腐性能。应进行与温度相关的耐腐蚀性。耐腐蚀性可在指定的加热周期後进行测试。温度和持续时间应商定。例如:在120°C时1个周期1小时、在1个周期时每2小时1个周期至24小时、在150°C时每1小时1个周期。在规定的周期内,将扣件在零件温度下加热後,耐腐蚀性仍应达到规定的要求。表7应用于决定金属镀层局部厚度的试验方法

表6 软材料自攻螺丝及螺丝考量之预防IHE措施

以软材料使用为目的之自攻螺丝及螺丝	心部硬度	
	≤390 HV	> 390 HV
有关内部氢脆化(IHE)之衡量区分	B	C
	以考虑内部氢脆化(IHE)而言,补充追加过程查证,及产品测试及/或烘烤。	以考虑内部氢脆化(IHE)而言,补充追加过程查证,及产品测试及/或烘烤,及每一制造批之产品测试。

表7 应用于决定金属镀层局部厚度的试验方法

试验方法	标准	注意事项
X光技术	ISO 3497	
库仑法	ISO 2177	当存在额外的非电导膜层时,不宜使用此方法。
显微镜法	ISO 1463	可用于扣件任何表面区域
磁感应技术	ISO 2178	在添加任何密封层及额外润滑层之前,这种方法也可以用来确定局部的总厚度
涡电流(相位灵敏性)试验	ISO 21968	

扣件扭矩夹紧力关系,亦可以通过电镀镀层系统来确定,包括密封层及/或带有整体润滑层及/或隨後添加的润滑层的外端面层。试验方法应与其他有关技术规范商定。例如,具有ISO公制螺纹的扣件应符合ISO16047。如有需要,应按照ISO3613:2010的规定确定六价铬Cr(VI)的存在或不存在。

每批经电镀制之扣件都应进行下列强制性测试:

- 镀层厚度;
- 扣件尺规量测及组装配合性;
- 外观;

Reference:

ISO 4042:2018 Fasteners -- Electroplated coating systems
 ISO 9587:2007 Metallic and other inorganic coatings -- Pretreatment of iron or steel to reduce the risk of hydrogen embrittlement
 ISO 9588:2007 Metallic and other inorganic coatings -- Post-coating treatments of iron or steel to reduce the risk of hydrogen embrittlement
 ISO 27831-1:2008 Metallic and other inorganic coatings -- Cleaning and preparation of metal surfaces -- Part 1: Ferrous metals and alloys
 ISO 27831-2:2008 Metallic and other inorganic coatings -- Cleaning and preparation of metal surfaces -- Part 2: Non-ferrous metals and alloys.