

金属基体上的金属覆盖层
(电沉积层和化学沉积层)
附着强度试验方法

UDC 621.793.83
:620.179.4

GB 5270—85

Metallic coatings on metallic substrates —
Electrodeposited and chemically deposited
coatings — Review of methods available for
testing adhesion

本标准规定了电沉积层和化学沉积层附着强度的定性检验方法。

本标准不包括定量测定覆盖层与基体之间附着强度的试验方法。

当各种覆盖层的国家标准中包含有某些附着强度的试验方法时,应当优先使用那些标准中的方法,并事先由供需双方认可。

本标准等效采用国际标准ISO 2819—1980《金属基体上金属覆盖层—电沉积层和化学沉积层—附着强度试验方法的评价》。

1 试验方法

1.1 摩擦抛光试验

当镀件的局部面积被摩擦抛光时,覆盖层有加工硬化和吸收摩擦热的倾向。对于薄覆盖层,在此条件下,附着强度不良的区域,覆盖层会起泡而与基体分离。

若镀件的形状及尺寸允许时,在面积小于 6 cm^2 的镀覆面上,以一根直径为 6 mm 、顶端加工成平滑半球形的钢条作抛光工具,摩擦 15 s ,所施加的压力应在每一行程中足以擦光覆盖层,但不应削去覆盖层。附着强度差时,覆盖层会起泡,继续摩擦,泡会不断增大。如果覆盖层的机械性能不良,泡可能破裂,覆盖层将从基体金属上剥离。

本试验只适用于相当薄的覆盖层。

1.2 钢球摩擦抛光试验

将试样放在一个内部装有直径为 3 mm 钢球的滚筒或振动抛光机内,并以肥皂水溶液作润滑剂进行摩擦抛光试验。当覆盖层的附着强度非常差时会起泡。

本试验适用于相当薄的覆盖层。

1.3 喷丸试验

借助重力或压缩空气流使铁丸或钢丸落到试样的表面上,由于锤击作用使覆盖层变形。如果覆盖层与基体结合不良,将会起泡。

为使附着强度不良的覆盖层起泡所必须的喷射强度,视覆盖层的厚薄而不同,薄覆盖层需要的喷射强度比厚覆盖层要小。

试验方法之一是用一个长 150 mm 、内径 19 mm 的管子作为铁丸和钢丸(直径约为 0.75 mm)的储存器,并联接一个喷嘴,向该装置中通入压力为 0.07 至 0.21 MPa^* 的压缩空气,喷嘴与试样之间的距

* $1\text{ MPa} = 1 \times 10^6\text{ N/m}^2$ 。

离为3至12mm。

另一种试验是采用一种用于钢件喷丸的标准气动装置,具体方法见附录A(补充件)。这种方法最适于检验生产过程中厚度为100 μm 至600 μm 银镀层的附着强度。

如果银镀层结合不良,将延伸或变形,并且会起泡。

1.4 剥离试验

本试验适用于厚度小于125 μm 并且表面基本平坦的覆盖层。

试验之一是将一种长75mm、宽10mm、厚0.5mm的镀锡低碳钢带或黄铜带,在距一端10mm处弯成直角,并且将较短一边的平面钎焊在覆盖层表面,将一个垂直于焊接面的拉力施加在未焊接的一端。如果覆盖层的附着强度小于焊接点的强度,覆盖层将与基体分离;若覆盖层的附着强度大于焊接点的强度,则在焊接处或在覆盖层内部将发生断裂。

此方法未被广泛使用。其原因是,在焊接过程中达到的温度可能会改变附着强度。

此外,也可采用有足够抗拉强度的固化合成树脂粘结剂,代替钎焊来完成这一试验。

另一种试验(胶带试验)是将一种纤维胶带的粘胶面粘附在覆盖层上,用一个固定重量的滚筒在上面仔细滚动,以除去所有的空气泡。这种纤维胶带的附着强度值大约是每25mm宽度为8N。10s后,以一稳定的垂直于覆盖层表面的拉力将胶带剥去。若覆盖层没有剥离现象,则表明附着强度好。

本试验特别适用于检验印刷电路中导体和触点上覆盖层的附着强度,其试验面积至少应为30mm²。

1.5 锉刀试验

锯下一块镀件,夹在虎钳上,用一种粗齿扁锉(只有一排锉齿),锉其锯断面,力图锉起覆盖层。锉动的方向是从基体金属至覆盖层。锉刀与覆盖层表面大约成45°角,附着强度好的覆盖层,试验中不应出现剥离。

本试验对于非常薄的覆盖层以及锌、镉等软金属覆盖层均不适用。

1.6 磨、锯试验

用一砂轮,磨削镀件的边缘,磨削的方向是从基体金属至覆盖层,如果附着强度差,覆盖层会从基体上剥离。

本试验可以用钢锯代替砂轮,但要注意对钢锯所施加的力的方向,应力图使覆盖层与基体分离。

磨、锯试验对镍和铬这些较硬的金属覆盖层特别有效。

1.7 凿子试验

凿子试验通常用于相当厚的覆盖层(大于125 μm)。

试验方法之一是将一锐利的凿子,置于覆盖层突出部位的后面,然后给一猛烈的锤击。若附着强度好,即使覆盖层可能破裂或凿穿,基体金属和覆盖层之间的结合强度也不会受到影响。

另一种“凿子试验”是与“锯子试验”结合进行的。试验时,先垂直于覆盖层锯下一块试样,如果附着强度不好,覆盖层会剥落;如果断口处覆盖层无剥落现象,则用一锐利的凿子在断口边缘尽量撬起覆盖层。若覆盖层能够剥下相当一段,则表明覆盖层的附着强度差。每次试验前,凿子的刃口应磨锋利。

对于较薄的覆盖层可以用刀代替凿子进行试验,并且可以用一个锤子轻轻敲击,也可以不用。

凿子试验对于锌、镉等软金属覆盖层不适用。

1.8 划线、划格试验

用一刃口磨成30°锐角的硬质钢划刀,划两条相距为2mm的平行线。划线时,应施以足够的压力,使划刀一次就能划破覆盖层达到基体金属。如果两条划线之间的覆盖层有任何部分脱离基体金属,则认为附着强度不好。

本试验的另一划法是:划边长为1mm的正方形格子,观察格子内的覆盖层是否从基体上剥落。

1.9 弯曲试验

弯曲试验是将镀件进行弯曲或拐折。弯曲的程度和方式将随基体金属的种类、形状、覆盖层的性质以及基体金属与覆盖层的相对厚度不同而不同。

本试验通常用手或钳子进行。将试样先向一边,然后向另一边尽可能急骤地弯曲,直到试样断裂。弯曲的速率和半径可用合适的机械装置控制。

本试验会在基体金属和覆盖层之间产生切应力,如果覆盖层具有延展性,则由于覆盖层的滑移使切应力大为减小,甚至当基体金属断裂时,也不会引起覆盖层剥落。

弯曲时,脆性覆盖层会断裂,即使如此,本试验仍然能够提供一些有关附着强度的情况;应对断裂处进行检查,确定覆盖层是否剥落或是否能用刀或凿子剥去。

任何剥离、碎裂、片状剥落的迹象可认为是附着强度不好。

试样弯曲时,覆盖层可以在试样的里侧,也可以在试样的外侧。一般只需检查试样的外侧,就可判断覆盖层的附着强度如何;但是,在有些情况下,检查弯曲试样的里侧,有可能使判断更全面。

1.10 缠绕试验

本试验是将试样(通常为带状或线状)沿一心轴缠绕,试验的每一部分都能标准化:带的长度和宽度,弯曲速率,弯曲动作的均匀性及缠绕试样所用圆棒的直径。

任何剥离、碎裂、片状剥落的迹象都可认为是附着强度不好。

试样缠绕时,覆盖层可以在试样的里侧,也可以在试样的外侧。一般只需检查试样的外侧,就可判断覆盖层的附着强度如何;但是,在有些情况下,检查缠绕试样的里侧,有可能使判断更全面。

1.11 拉力试验

本试验仅适用于镀覆过的标准拉力试件。试件在拉伸时承受张应力直到断裂。在断口附近,覆盖层通常会出现明显的裂缝,但不应看到覆盖层从基体金属上剥离。

1.12 热震试验

许多覆盖层的附着强度都可用将镀件先加热,然后骤冷的方法来检验。本试验利用的原理是覆盖层和基体金属之间膨胀系数不同。

当覆盖层与基体金属的膨胀系数二者有明显的差别时,可采用本方法。

试验的过程是:将试样放在炉中加热至表1中所规定的温度,温度误差为 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。某些易氧化的金属应在惰性气氛或还原气氛中加热,也可在适当的液体中加热。

表1 热震试验的温度

基体金属 \ 覆盖层金属	铬, 镍, 镍+铬, 铜, 锡-镍	锡
钢	300 $^{\circ}\text{C}$	150 $^{\circ}\text{C}$
锌合金	150 $^{\circ}\text{C}$	150 $^{\circ}\text{C}$
铜及铜合金	250 $^{\circ}\text{C}$	150 $^{\circ}\text{C}$
铝及铝合金	220 $^{\circ}\text{C}$	150 $^{\circ}\text{C}$

加热后,将试样放入室温水骤冷,覆盖层不应出现起泡、片状剥落等与基体分离的现象。

须知,加热一般会改善电镀层的结合强度*。因此,任何加热试样的试验,都不能准确表明试验所得覆盖层的结合强度恰好表征了镀覆的结合强度。

1.13 深引试验

*除此之外,覆盖层向基体金属内部扩散还会产生一个脆性层,而使覆盖层剥离,其剥离原因是由于断裂而不是由于附着强度不好。

深引试验常常用来检验薄板金属镀件的附着强度。最常用的方法是“埃里克森杯突试验”和“罗曼诺夫凸缘帽试验”。

上述试验是用某种冲头把覆盖层和基体金属冲压成杯状和凸缘帽状。

在埃里克森试验中,采用了一种适当的液压装置,将一直径为20mm球形冲头,以0.2至6mm/s的速度压入试样中至要求的深度。附着强度差的覆盖层只要经过几毫米的变形就会起皮或剥落。当覆盖层的附着强度好时,即使冲头穿透基体金属,覆盖层也不会起皮。

罗曼诺夫试验装置由普通压力机组成,并配有一套用来冲压凸缘帽的可调式模具。凸缘直径为63.5mm,帽的直径为38mm,帽的深度可在0~12.7mm之间调整。一般将试样试验到帽破裂时为止。深引后的未损伤部分将表明深引如何影响覆盖层的结构。

上述方法特别适用于较硬的金属覆盖层,如镍和铬。

在所有的情况下,都必须谨慎地处理试验结果,因为试验过程涉及到覆盖层和基体金属两者的延展性。

1.14 阴极试验

把镀覆过的试样放在溶液中作为阴极,阴极上只有氢析出。通电时由于析出的氢气通过某些覆盖层扩散,并且在覆盖层和基体金属之间任何不连续的部位积累,所产生的压力将会使覆盖层起泡。

本试验是将试样放在90℃的5%的氢氧化钠(密度 $\rho 1.054\text{g/mL}$)溶液中,通以 10A/dm^2 的电流处理试样2min,在附着强度差的地方会形成许多小泡。如果15min后覆盖层仍未起泡,可以认为附着强度好。另外也可用5%(重量比)的硫酸溶液在60℃时通以 10A/dm^2 的电流进行阴极试验。试验中,附着强度差的覆盖层在5~15min内会起泡。

本试验只限于用在使阴极上析出的氢气能渗透的覆盖层。镍或镍+铬覆盖层附着强度差时用此试验很有效;本试验对铅、锌、锡、铜或镉等金属覆盖层不适用。

2 试验方法的选择

上述试验方法,由于不需要特殊的设备和很熟练的技巧,因此,宜于作为生产中控制产品质量的试验方法。

每种方法适用于检查那些常用金属覆盖层的结合强度列于表2。其中,大多数试验对覆盖层及试样都有破坏作用,而某些试验仅破坏覆盖层。即使试验表明覆盖层附着强度好,也不破坏试样,但仍然不能认为试样未受损伤。例如摩擦抛光试验(见1.1)可能使试样变形;热震试验(见1.12)可能使试样的金相组织发生不能允许的变化。

表2 各种覆盖层金属所适合的附着强度试验

覆盖层金属 附着强度试验	铜	铬	铜	镍	镍+铬	银	锡	锡-镍 合金	锌	金
摩擦抛光	•		•	•	•	•	•	•	•	•
钢球摩擦抛光	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
剥离(焊接法)			•	•		•		•		
剥离(粘胶法)	•		•	•		•	•	•	•	•
锉刀			•	•	•			•		

续表 2

覆盖层金属 附着强度试验	铜	铬	铜	镍	镍 + 铬	银	锡	锡 - 镍 合金	锌	金
凿子		•		•	•	•		•		
划线、划格	•		•	•	•	•	•		•	•
弯曲和缠绕		•	•	•	•			•		
磨、锯		•		•	•			•		
拉力	•		•	•	•	•		•	•	
热震		•	•	•	•		•	•		
深引 (杯突)		•	•	•	•		•	•		
深引 (凸缘帽)		•	•	•	•	•		•		
喷丸				•		•				
阴极处理		•		•	•					

注：黑点“•”表示覆盖层所适用的试验方法。

附录 A

银沉积层 (100~600 μm) 的附着强度的测定

(补充件)

A.1 适用范围

本方法用来评价钢铁基体上厚度为100~600 μm 的银覆盖层的附着强度。试验结果只是定性的,如果覆盖层的附着强度好,本方法不损坏试样。

A.2 参考文献

国家标准GB 4956—85《磁性金属基体上非磁性覆盖层厚度测量 磁性方法》。

A.3 试验设备

A.3.1 喷丸设备

普通的压缩空气钢丸喷射器或离心式钢丸喷射器。

A.3.2 钢丸

平均直径为0.4mm及硬度不小于HV 350的圆形钢丸,通过筛选确定尺寸大小,并且要符合下表给出的要求。

筛 眼 mm	% 剩余钢丸
0.707	≤ 10
0.420	≥ 85
0.354	≥ 97

每周至少要对钢丸的尺寸检查一次,其方法是从喷嘴中取出100g钢丸进行筛选。

A.4 程序

喷丸前,所有试样应在 $190 \pm 10^\circ\text{C}$ 条件下保温2 h以消除应力。

保护所有不须喷丸的表面。

用非破坏性的方法(例如磁性方法)测量银镀层的厚度。

凡是银镀层厚度小于100 μm 或大于600 μm 以及最大和最小厚度之差大于125 μm 的试样均应舍去。标出可喷丸试样的最大厚度,并将它们分组摆放,各组间的最大厚度差是125 μm 或更小。

对镀银表面喷丸时,所需最小喷射强度与测得的镀层最大厚度的关系如图A 1所示。

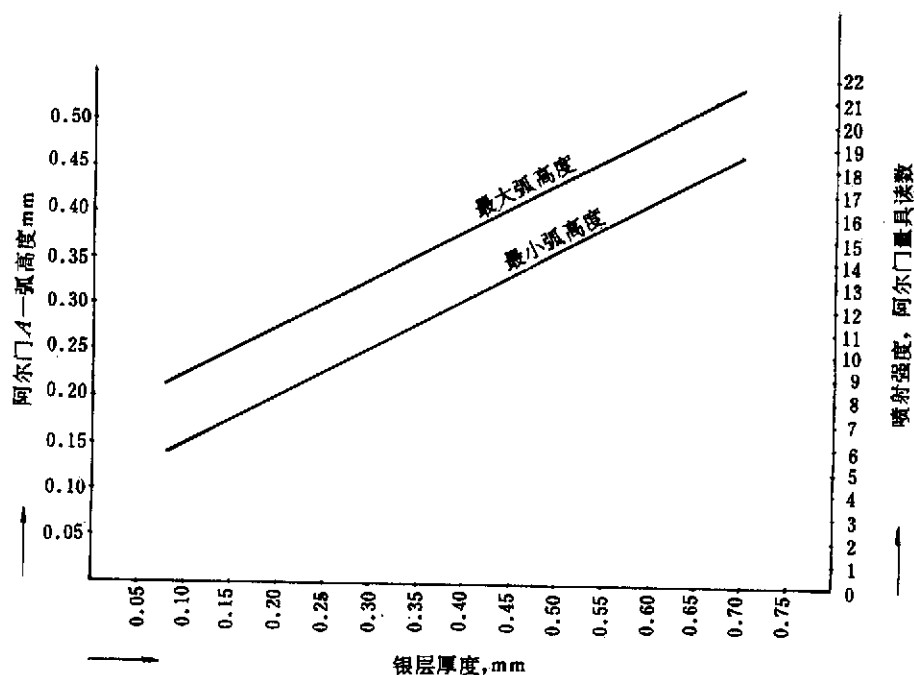


图 A 1 喷丸强度与银镀层厚度的关系

处理每组试样前, 必须在 A.6 的标准试样上试验调整喷丸强度。

每小时至少在标准试样上调整一次喷射强度。

除去未喷丸的表面上的屏蔽物。

用肉眼检查已喷丸的表面是否全部喷到, 没有喷到的部位必须重喷。检查被喷表面是否有钢丸嵌入镀层, 若有, 应用空气吹除干净。

A.5 评价

用肉眼仔细检查银镀层表面。试验中, 银镀层附着强度不良的部位将会起泡或起皮, 或者覆盖层剥落。

A.6 喷射强度的调整

用厚度为 1.6 mm 的碳钢片加工成标准试样: 长 76 ± 0.2 mm, 宽 19 ± 0.1 mm, 厚 1.30 ± 0.02 mm, 其硬度范围是 HV₃₀400 至 HV₃₀500*。

按下述规定测量时, 其弧高度不应超过 38 μm。

如图 A 2 所示, 将试样紧固在夹具中, 对暴露面喷丸。

喷丸后将试样从夹具中取出, 用一深度规测量喷丸表面的曲率。测量时, 试样以四个直径为 5 mm 的球支撑, 形成一个 32 mm × 16 mm 的矩形。在试片上, 沿着与试片的中心位置对称的一直线上, 在 32 mm 的长度内, 以深度规测量试样中心的弧高度。弧高度值的测量精度为 25 μm。弧高度不合要求时, 可调整喷丸条件, 以便得到图 A 1 所要求的弧高度。

* 此规格的试样国际上称之为阿尔门 A (Almen A) 试样。

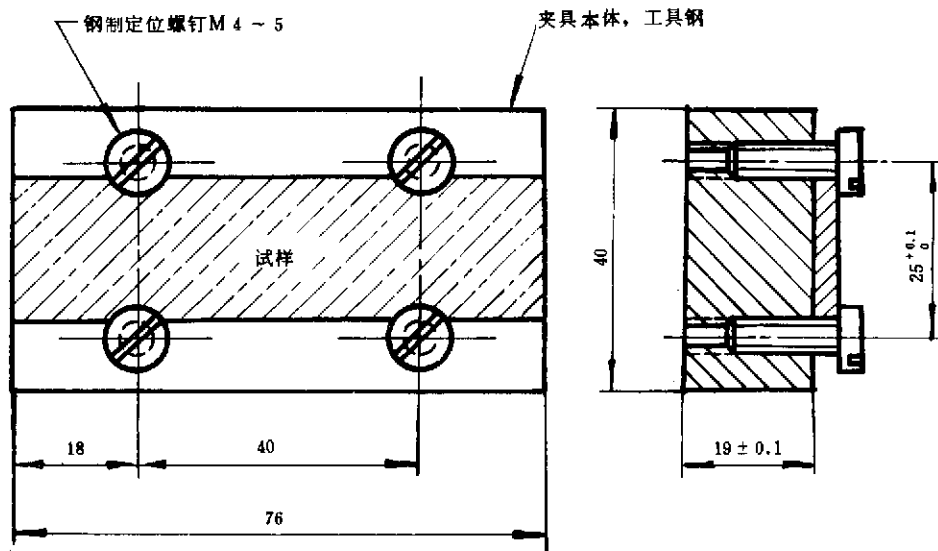


图 A 2 试样喷丸时的夹具

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部提出,由武汉材料保护研究所归口。

本标准由武汉材料保护研究所负责起草。

本标准主要起草人胡铁骑、陶维正、王渝。