



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 42352—2023/ISO 22778:2006

## 金属覆盖层 钢铁上物理气相沉积镉涂层 技术规范与试验方法

Metallic coatings—Physical vapour-deposited coatings of cadmium on  
iron and steel—Specification and test methods

(ISO 22778:2006, IDT)

2023-03-17 发布

2023-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	1
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	3
4 需方向供方提供的资料 .....	3
5 标识 .....	3
5.1 通则 .....	3
5.2 基体金属 .....	3
5.3 沉积前去应力热处理 .....	4
5.4 镉涂层的类型与厚度 .....	4
5.5 铬酸盐转化膜和其他后处理 .....	4
5.6 涂覆后热处理 .....	5
5.7 涂层标识举例 .....	5
6 技术要求 .....	5
6.1 通则 .....	5
6.2 沉积涂层前的去应力热处理 .....	6
6.3 沉积涂层要求 .....	6
6.4 后处理 .....	7
6.5 中性盐雾腐蚀试验 .....	7
6.6 特殊试样 .....	8
7 抽样 .....	8
8 不合格品 .....	8
附录 A (资料性) 设备、基体处理和工艺参数的补充信息 .....	9
附录 B (规范性) 镉涂层平均厚度的确定 .....	11
附录 C (规范性) 附着性测试方法 .....	12
附录 D (规范性) 抽样 .....	13
参考文献 .....	14

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件等同采用 ISO 22778:2006《金属覆盖层 钢铁上物理气相沉积镉涂层 技术规范与试验方法》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国金属与非金属覆盖层标准化技术委员会(SAC/TC 57)归口。

本文件起草单位：中国科学院兰州化学物理研究所、武汉材料保护研究所有限公司、合肥东方节能科技股份有限公司、厦门瑞德利校准检测技术有限公司、桐乡市铁盛线路器材股份有限公司、佛山桃园先进制造研究院、湖北泰和电气有限公司、湖北省标准化与质量研究院。

本文件主要起草人：姜栋、高晓明、翁立军、段海涛、赵仕章、易娟、徐少辉、沈洪卫、陈志坤、骆仁星、鲁曦。

jcvba.cn, qejc.cn, 微信qejc21

# 金属覆盖层 钢铁上物理气相沉积镉涂层 技术规范与试验方法

**警告:**本文件的使用过程中可能涉及有害的材料、危险的操作过程和设备。本文件没有提及使用时所有与安全有关的问题。在使用前,本文件使用者有责任建立适当的安全和健康措施,并确定与相关法律法规的适应性。

## 1 范围

本文件规定了在钢、铁及其他基体金属上物理气相沉积高纯度镉涂层的技术要求。本文件描述了涂层性能要求的试验方法,以及镉涂层、铬酸盐转化膜和其他后续处理的标识方法。

镉涂层不适用于使用过程中温度达到 225 °C 以上产品零(部)件的处理,或是能接触到达到该温度其他零(部)件的情况。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范化引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 1463 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法 (Metallic and oxide coatings—Measurement of coating thickness—Microscopical method)

注: GB/T 6462—2005 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法 (ISO 1463:2003, IDT)

ISO 2064 金属和其他非有机覆盖层 关于厚度测量的定义和一般规则 (Metallic and other inorganic coatings—Definitions and conventions concerning the measurement of thickness)

注: GB/T 12334—2001 金属和其他非有机覆盖层 关于厚度测量的定义和一般规则 (ISO 2064:1996, IDT)

ISO 2080 金属及其他无机覆盖层 金属及其他无机覆盖层表面处理 词汇 (Metallic and other inorganic coatings—Surface treatment, metallic and other inorganic coatings—Vocabulary)

注: GB/T 3138—2015 金属及其他无机覆盖层 表面处理 术语 (ISO 2080:2008, IDT)

ISO 2177 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 阳极溶解库仑法 (Metallic coatings—Measurement of coating thickness—Coulometric method by anodic dissolution)

注: GB/T 4955—2005 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 阳极溶解库仑法 (ISO 2177:2003, IDT)

ISO 2360 非磁性导电基体上非导电覆盖层 厚度测量 振幅感应涡流法 (Non-conductive coatings on non-magnetic electrically conductive basis materials—Measurement of coating thickness—Amplitude-sensitive eddy-current method)

注: GB/T 4957—2003 非磁性基体金属上非导电覆盖层 覆盖层厚度测量 涡流法 (ISO 2360:1982, IDT)

ISO 2819 金属基体上的金属覆盖层 电沉积和化学沉积层 附着力试验方法评述 (Metallic coatings on metallic substrates—Electrodeposited and chemically deposited coatings—Review of methods available for testing adhesion)

注: GB/T 5270—2005 金属基体上的金属覆盖层 电沉积和化学沉积层 附着强度试验方法评述 (ISO 2819:1980, IDT)

ISO 2859(所有部分) 计数抽样检验程序 (Sampling procedures for inspection by attributes)

注: GB/T 2828(所有部分) 计数抽样检验程序[ISO 2859(所有部分)]

ISO 3497 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 X射线光谱法(Metallic coatings—Measurement of coating thickness—X-ray spectrometric methods)

注: GB/T 16921—2005 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 X射线光谱方法(ISO 3497:2000, IDT)

ISO 3543 金属与非金属覆盖层 覆盖层厚度测量  $\beta$ 射线背散射法(Metallic and non-metallic coatings—Measurement of thickness—Beta backscatter method)

注: GB/T 20018—2005 金属与非金属覆盖层 覆盖层厚度测量  $\beta$ 射线背散射方法(ISO 3543:2000, IDT)

ISO 3882 金属和其他无机覆盖层 厚度测量方法评述(Metallic and other inorganic coatings—Review of methods of measurement of thickness)

注: GB/T 6463—2005 金属和其他无机覆盖层 厚度测量方法评述(ISO 3882:2003, IDT)

ISO 3892 金属材料上的转化膜 单位面积膜质量的测定 重量法(Conversion coatings on metallic materials—Determination of coating mass per unit area—Gravimetric methods)

注: GB/T 9792—2003 金属材料上的转化膜 单位面积膜质量的测定 重量法(ISO 3892:2000, MOD)

ISO 4518 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 轮廓仪法(Metallic coatings—Measurement of coating thickness—Profilometric method)

注: GB/T 11378—2005 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 轮廓仪法(ISO 4518:1980, IDT)

ISO 4519 电沉积金属覆盖层和相关精饰 计数检验抽样程序(Electrodeposited metallic coatings and related finishes—Sampling procedures for inspection by attributes)

注: GB/T 12609—2005 电沉积金属覆盖层和相关精饰 计数检验抽样程序(ISO 4519:1980, IDT)

ISO 4520 电镀锌和电镀镉层的铬酸盐转化膜(Chromate conversion coatings on electroplated zinc and cadmium coatings)

注: GB/T 9800—1988 电镀锌和电镀镉层的铬酸盐转化膜(eqv ISO 4520:1981)

ISO 9220 金属覆盖层 厚度测量 扫描电镜法(Metallic coatings—Measurement of coating thickness—Scanning electron microscope method)

注: GB/T 31563—2015 金属覆盖层 厚度测量 扫描电镜法(ISO 9220:1988, MOD)

ISO 9227 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验(Corrosion tests in artificial atmospheres—Salt spray tests)

注: GB/T 16125—2021 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验(ISO 9227:2017, MOD)

ISO 9587 金属和其他无机覆盖层 为减少氢脆危险的钢铁预处理(Metallic and other inorganic coatings—Pretreatment of iron or steel to reduce the risk of hydrogen embrittlement)

注: GB/T 19349—2012 金属和其他无机覆盖层 为减少氢脆危险的钢铁预处理(ISO 9587:2007, IDT)

ISO 9588 金属和其他无机覆盖层 为减少氢脆危险的涂覆后钢铁的处理(Metallic and other inorganic coatings—Post-coating treatments of iron or steel to reduce the risk of hydrogen embrittlement)

注: GB/T 19350—2012 金属和其他无机覆盖层 为减少氢脆危险的涂覆后钢铁的处理(ISO 9588:2007, IDT)

ISO 12686 金属和其他无机覆盖层 电镀镍、自催化镀镍、电镀铬及最后精饰的自动控制喷丸硬化前处理(Metallic and other inorganic coatings—Automated controlled shot-peening of metallic articles prior to nickel, autocatalytic nickel or chromium plating, or as a final finish)

注: GB/T 20015—2005 金属和其他无机覆盖层 电镀镍、自催化镀镍、电镀铬及最后精饰 自动控制喷丸硬化前处理(ISO 12686:1999, MOD)

ISO 16348 金属及其他无机覆盖层 外观的定义及习惯用法(Metallic and other inorganic coatings—Definitions and conventions concerning appearance)

注: GB/T 34627—2017 金属及其他无机覆盖层 外观的定义及习惯用法(ISO 16348:2003, IDT)

IEC 60454 电气用压敏胶粘带 第2部分:试验方法(Specifications for pressure-sensitive

adhesive tapes for electrical purposes—Part 2; Methods of test)

注: GB/T 20631.2—2006 电气用压敏胶粘带 第2部分: 试验方法(IEC 60454-2:1994, IDT)

EN 12508 金属和合金的腐蚀防护 表面处理、金属和其他无机覆盖层 词汇(Corrosion protection of metals and alloys—Surface treatment, metallic and other inorganic coatings—Vocabulary)

### 3 术语和定义

ISO 2064、ISO 2080、ISO 2859、ISO 4519 和 EN 12508 界定的术语和定义适用于本文件。

### 4 需方应向供方提供的资料

依照本文件订购物理气相沉积镉涂层的产品时,需方应以书面形式在合同、订购单或工程图纸中提供以下资料:

- a) 标识(见第5章);
- b) 基体金属的规格、冶金状态、处理温度(见6.1.2)和喷丸处理的技术要求[见6.1.3 c)];
- c) 应着重关注的表面,包括要求沉积涂层的孔洞、凹槽及装夹部位(见6.1.1和6.3.1);
- d) 敏感材料的详细说明及沉积过程是否需使用超高纯氦气(见6.1.2);
- e) 强化要求,如玻璃珠喷丸(见6.4.1);
- f) 沉积涂层厚度(见5.4和表1)和铬酸盐转化膜的技术要求(见5.5和6.4.2);
- g) 其他后处理(如涂装)及有机精饰的技术要求(见5.5和6.4.3);
- h) 沉积涂层附着性的技术要求(见6.3.3和附录C);
- i) 特殊试样及其测试方法的技术要求,如破坏性测试或非破坏性测试(见6.6);
- j) 抽样和检验要求(见第7章和附录D)。

### 5 标识

应在工程图纸、订购单、合同或详细的产品技术说明中给出标识。标识应标明基体金属、气相沉积镉涂层前的去应力要求、气相沉积镉涂层的标称成分和厚度、铬酸盐转化膜类型、气相沉积镉涂层后处理及降低氢脆敏感性的热处理条件。

#### 5.1 通则

标识包括下列内容:

- a) 术语:气相沉积涂层;
- b) 本文件编号:GB/T 42352;
- c) 连字符:-;
- d) 基体金属的化学元素符号;
- e) 斜杠:“/”;镉涂层符号,以及在沉积镉涂层前后可能用到的其他涂层符号,按沉积涂层顺序排列,符号之间以斜杠(/)分开,沉积涂层类型应包括以 $\mu\text{m}$ 为单位的涂层厚度值。

#### 5.2 基体金属

基体金属应采用化学元素符号进行标识,如果是合金,则标识其主要成分。如:

- Fe:表示铁和钢;
- Zn:表示锌合金;

—Cu:表示铜和铜合金;

—Al:表示铝和铝合金。

具体的某一种合金可用通用标准代码(如 UNS 代码,或等同于此代码的其他国家或地区性标准代码)加以确认。标准代码应置于尖括弧“< >”内,如:Fe<G434000>。见参考文献[3]。

### 5.3 沉积前去应力热处理

某些基体金属在沉积前可进行去应力热处理,以方括弧内标注字母 SR 及热处理温度(单位:°C)和时间(单位:h)来表示,且温度应放在圆括弧内,如[SR(210)1]。

### 5.4 镉涂层的类型与厚度

镉涂层可用化学符号 Cd 标注,后缀数字表示涂层的最小局部厚度(单位:μm),如 Cd5 表示最小局部厚度为 5 μm 的镉涂层。气相沉积镉涂层的厚度应与表 1 要求相一致。

对于螺纹件和尺寸公差小的零(部)件,应在零(部)件加工过程中预留出镉涂层的厚度。

表 1 物理气相沉积镉涂层的最小厚度要求

应用范围	最小局部厚度 μm
钢,一般需求	15
公称直径少于 20 mm 的螺纹件,包括: <3 mm 3 mm~<6 mm 6 mm~<10 mm ≥10 mm	4 5 6 8
具有孔径的零(部)件,包括: <3 mm ≥3 mm	5 8
其他细小零(部)件	8

### 5.5 铬酸盐转化膜和其他后处理

铬酸盐转化膜和其他后处理类型用表 2 和表 3 中给出的符号标识。

表 2 铬酸盐转化膜的符号

代码	类型	典型外观	涂层面密度 g/m <sup>2</sup>
	名称		
A <sup>a</sup>	透明	透明,或微带淡蓝色	≤0.5
C	彩虹	黄彩虹色	>0.5~<1.5
D	不透明	橄榄绿	>1.5
F	黑色	黑色	0.5~1.0

<sup>a</sup> 表示可能有六价铬,也可能没有。



表 3 转化膜以外的后处理

代码	处理类型
T1	涂料、清漆、粉末涂层或类似涂层材料的涂装
T2	有机或无机密封剂的封闭
T3	染色
T4	油、脂或其他润滑剂的涂覆
T5	蜡封

注：铬酸盐转化膜及其他后处理的作用是为了延缓或阻止在腐蚀气氛中涂层表面白色腐蚀产物的形成，或延缓钢表面镉涂层出现红锈。黄彩虹色到草绿色铬酸盐膜层对于后续涂漆的应用是令人满意的，但漂洗或淋洗铬酸盐转化膜不建议用作物理气相沉积镉涂层的后续精饰处理。

不含六价铬的化学转化膜已商品化，其中某些含有三价铬，某些为无铬转化膜。替代品应满足表 4 给出的耐腐蚀性要求。

## 5.6 涂覆后热处理

为降低高强度钢的氢脆敏感性，一般可对其进行热处理（见第 8 章），以方括弧内标注字母 ER 及热处理温度（单位：℃）和时间（单位：h）来表示，且温度放在圆括弧内，如 [ER(400)12]。

## 5.7 涂层标识举例

在钢基体(Fe)上物理气相沉积厚度为 8 μm 的镉涂层后，进行黄彩虹色(C)铬酸盐转化膜处理。

示例 1: 物理气相沉积 GB/T 42352-Fe/Cd8/C。

在钢基体(Fe)上物理气相沉积厚度为 5 μm 的镉涂层后，进行透明或无色(A)铬酸盐转化膜处理，再用有机密封剂(T2)进行封闭处理。

示例 2: 物理气相沉积涂层 GB/T 42352-Fe/Cd5/A/T 2。

高强度钢去应力热处理(150 ℃, 2 h)后，物理气相沉积厚度为 5 μm 的镉涂层，再进行黑色(F)铬酸盐转化膜处理。

示例 3: 物理气相沉积涂层 GB/T 42352-Fe/[SR (150) 2]/Cd5/F。

## 6 技术要求

### 6.1 通则

#### 6.1.1 基体金属

本文件对物理气相沉积前基体金属的状况、加工及表面粗糙度等未做规定。尽管如此，基体金属表面应当平滑，且不存在氧化物、机加工痕迹、点蚀、晶间腐蚀及其他缺陷。

#### 6.1.2 设备与原材料

设备和原材料符合下列规则。

- a) 物理气相沉积镉涂层的设备、工艺、原材料应确保制备涂层的均匀性，并保证涂层能完整覆盖所有需沉积涂层的表面，包括螺纹底部、凹槽、尖角、孔洞，及在工程图、合同或订购单上注明需沉积涂层的其他区域。

注：为确保待沉积涂层工件表面清洗洁净，并使沉积涂层的厚度达到要求，可使用合适的转动工件架和夹具。

- b) 基体金属清洗和沉积涂层时应使用高纯氩气( $\geq 99.995\%$ ),对于敏感性材料应使用超高纯氩气( $\geq 99.998\%$ )。
- c) 沉积镱涂层时设备的本底真空度应优于  $7 \times 10^{-4}$  Pa。  
当采用水冷冷却真空室壁或真空室内存在水冷表面时,采用某种方式加热冷却水,避免真空室暴露大气时发生表面结露现象。
- d) 镱靶材的纯度要求质量分数不应低于 99.95%,汞不应超过 0.004%,且总杂质含量不应超过 0.05%。镱靶成分不应通过化学分析方法确定,而应通过光谱学方法确定其中所含杂质的含量。
- e) 设备和工艺应保证其产生的温升不会对零(部)件和涂层的性能及涂层-基体结合强度产生不利的影响[见 4 b)]。

附录 A 包含关于设备、材料及工艺参数的其他相关信息。

### 6.1.3 表面预处理

表面预处理符合下列规则。

- a) 抗拉强度大于或等于 1 000 MPa 的钢材,在沉积涂层前应采用非电解性的碱性或阳极碱性清洗剂进行清洗,以避免清洗过程产生的氢脆。对于其他材料,应选择合适的清洗工艺,或按工程图纸、合同或订购单中标注的清洗工艺进行清洗。
- b) 已使用过的磨料,不应再用于其他不同金属或合金的研磨。不同合金种类的零(部)件(如铁及其合金、铝及铝合金等)其研磨清洗介质也不应混用。研磨清洗后,应清除干净表面残留物后再进行下一工序。
- c) 基体金属的喷丸处理应在最终清洗和沉积涂层前按照 ISO 12686 进行[见第 4 章中的 b)]。
- d) 只有相似基体材料的零(部)件才应一起处理。

### 6.2 沉积涂层前的去应力热处理

抗拉强度大于或等于 1 000 MPa 的钢件,以及经过机加工、磨削或冷成型加工过程产生张应力的钢件,在清洗和沉积涂层前应按照 ISO 9587 要求或需方提供的工艺进行去应力热处理。

### 6.3 沉积涂层要求

#### 6.3.1 外观

涂层应覆盖所有主要表面,且应光洁、连续、均匀、可靠附着、晶粒细密,无污点、烧蚀、起泡、凹陷、节结、裂纹、气孔、未覆盖区域、边缘堆积和其他缺陷。镱涂层上应看不到污染或不适当操作留下的痕迹,如粉尘或沾污等。沉积涂层的孔洞,涂层的覆盖深度应符合图纸、合同或订购单的要求[见第 4 章中的 c)]。

遮挡物应从非主要表面完全移除,遮挡区域应洁净、无缺陷、无镱层。涂层区和无涂层区的界线应清晰,涂层边缘不应起翘。

应使用供需双方认可的试样外观来判定最终处理后的镱涂层表面外观是否合格(见 ISO 16348)。

注:在图纸、合同或订购单中标注的或事先得到需方认可的不可避免的零(部)件装夹痕迹是允许的。

#### 6.3.2 厚度

涂层类型中标注的涂层厚度是涂层的最小局部厚度。最小局部厚度应在可与直径 20 mm 的球相接触的沉积涂层表面上任一部位测得。最小局部厚度应符合表 1 要求。

气相沉积镱涂层的最小局部厚度可通过下列方法之一进行测量:ISO 1463、ISO 2177、ISO 2360、ISO 3497、ISO 3543、ISO 3882、ISO 3892、ISO 4518 或 ISO 9220。在 ISO 1463、ISO 3497 或 ISO 9220

中指明了测试的标准方法。根据 ISO 3892 测定镉涂层平均厚度,见附录 B。

### 6.3.3 附着性

涂层应附着于基体金属上,无碎裂、剥落或其他损伤,且应达到附录 C 给出的最低要求[见第 4 章中的 h)]。

### 6.3.4 涂层成分

涂层中镉含量应不低于 99.9%(质量分数)。应采用质谱法分析涂层化学成分。

## 6.4 后处理

后处理前,镉涂层表面可用溶剂脱脂,不应使用其他的清洗方法。

### 6.4.1 玻璃珠喷丸

如需要,物理气相沉积涂层可进行玻璃珠喷丸处理[见第 4 章中的 e)]。

注:玻璃珠喷丸处理提高沉积涂层的致密性,改善耐腐蚀性,并定性测试涂层附着性。用直径为  $50\ \mu\text{m}\sim 100\ \mu\text{m}$  的玻璃珠在  $2.8\times 10^5\ \text{Pa}$  的压力下进行喷丸处理,可使表面变得光滑。在相对较高气压条件下沉积的较厚涂层通常会生长为粗晶结构,玻璃珠喷丸能将粗晶结构转变为细晶结构。

### 6.4.2 铬酸盐转化膜

除另有规定,应按照 ISO 4520 制备铬酸盐转化膜。铬酸盐转化膜应可靠附着、连续,并无裂纹和缺陷。

### 6.4.3 有机涂层

如有规定,应按照图纸、合同或订购单上的要求对需沉积涂层的零(部)件涂覆有机防护层[见第 4 章中的 g)]。

## 6.5 中性盐雾腐蚀试验

当按照 ISO 9227 规定的中性盐雾试验方法进行试验时,在表 4 给定的腐蚀时间内,零(部)件基体金属不应被腐蚀。

表 4 具有有机防护层的物理气相沉积镉涂层的中性盐雾试验时间

涂层最小局部厚度 $\mu\text{m}$	试验时间 h	
	无铬酸盐转化膜*	有铬酸盐转化膜*
15	408	504
8	312	408

\* 见 5.5 最后一段中无铬型转化膜的使用。

对于无有机防护层的铬酸盐转化膜,应按 ISO 9227 进行加速腐蚀试验。腐蚀试验应在转化膜形成后 24 h~36 h 进行,铬酸盐转化膜零(部)件暴露于腐蚀环境 96 h 后,应在正常或矫正视力下目测观察不到镉的白色腐蚀产物。

人工环境腐蚀试验的时间和结果可能并不能反映沉积涂层零(部)件的使用寿命,因此,试验结果不

宜作为在各种实际环境下沉积涂层耐腐蚀性的直接指导。

## 6.6 特殊试样

当零(部)件尺寸和形状不适合进行测试,或由于数量少或价格昂贵不适宜进行破坏性试验时,可用特殊试样进行附着性、厚度、孔隙率、耐腐蚀性、硬度和其他性能的测试[见第4章中的i)]。

如使用特殊试样,应在图纸、合同或订购单中标明其数量、形状和尺寸。

如采用特殊试样代替沉积涂层件进行测试,则要求其与其所代表的零(部)件在种类、表面状态、材料、冶金状态等方面应相同,并应放置在其所代表零(部)件同一批次生产和处理。

如用特殊试样进行沉积涂层厚度测量,则该试样应与代表零(部)件同时沉积镉涂层,并应一同经历所有可能影响涂层厚度的步骤。

如某个性能既可采用非破坏性方法测试,也可通过破坏性方法测试时,需方应明确采用哪种测试方法。由于有些测试方法可能会破坏涂层,但在涂层的非关键区域,需方应判定该测试方法是否为破坏性测试。

**注:**使用特殊试样进行涂层厚度测量时,除非试样与零(部)件具有相同的尺寸和形状,否则试样与零(部)件上涂层的厚度分布未必一致。因此,在以特殊试样的涂层厚度测试值作为依据验收零(部)件之前,建立试样与零(部)件间涂层厚度的对应关系,并以与零(部)件要求厚度一致的试样涂层厚度作为验收依据。

## 7 抽样

应按照 ISO 2859 和 ISO 4519 要求在检验批中进行随机抽样。抽样产品检验应符合附录 D 的要求[见第4章中的j)]。

## 8 不合格品

如镉涂层的厚度或附着性不能满足技术要求,可根据本文件的要求进行二次沉积涂层。

如要求镉涂层退镀,退镀涂层的方法不应损伤基体金属。

如用湿法退镀,则钢件应在退镀后立即按 ISO 9588 要求进行处理。抗拉强度大于或等于 1 000 MPa 的钢件,化学方法退镀不超过 1 次,沉积次数不超过 2 次。湿法退镀涂层后按 ISO 9588 要求进行处理的零(部)件,去氢脆热处理的有效性可通过需方提供的方法或相关标准进行检验。例如,ISO 10587 提供了螺纹件消除残余氢脆热处理的方法,ISO 15724 提供了钢件中扩散氢相对含量的检测方法。

## 附录 A

(资料性)

## 设备、基体处理和工艺参数的补充信息

## A.1 通则

- a) 除非在图纸、合同或订购单上特别注明,否则所有的冷加工过程,如成型、矫直、研磨和机加工,应在预处理、去应力和涂层沉积前完成。
- b) 所有的热处理工序,包括为降低由清洗引起的氢脆敏感性而进行的热处理(见 6.2 和第 8 章),应在沉积镉涂层前完成。
- c) 为了达到图纸、合同或订购单上给出的表面光洁度和尺寸公差的要求,宜适当考虑表面处理(特别是清洁表面)和涂层厚度的影响。
- d) 所有表面均不应有任何污染,如皂、拉拔用乳剂、油、脂、切削液、抛光剂、变色、氧化皮或其他污染物,以保证形成化学洁净表面。不应含氯溶剂进行干燥。
- e) 宜特别注意部分封闭结构和搭接部位的清洗,尽可能减少内部残留的污物。薄片在研磨清洗过程中宜注意不要引起其变形。
- f) 不需要沉积涂层的区域应在镉涂层沉积前采用铝或耐腐蚀钢材质的工装(套、薄片或栓塞等)遮挡。在高温下不稳定的有机物不应用于不需沉积涂层区的表面遮挡。
- g) 清洗后的零(部)件应用洁净、干燥的纯棉手套操作,避免裸手直接接触造成污染。

注:对于小孔和凹槽要达到要求的涂层深度可能有困难。

## A.2 设备

设备宜由与真空泵组连接的涂层沉积室和含有下列装置的控制及电源系统构成:

- a) 涂层沉积前可对基体金属、沉积涂层时可对涂层生长产生能量轰击的装置;
- b) 用于沉积涂层的镉源,如蒸发源或溅射源。根据沉积方法不同,可能需要一个挡板,不沉积涂层时挡板将零(部)件与镉源隔开。
- c) 保证涂层均匀性的工件架和装夹系统。
- d) 保证零(部)件温度在要求范围内的温控系统。

注 1: 挡板可用来阻止镉源的辐射,防止零(部)件被加热。

注 2: 可通过调节工艺参数控制基体金属温度。

## A.3 基体处理

在必要的清洗和干燥后,应佩戴合适的手套将零(部)件尽快装入沉积涂层真空室。

然后将沉积涂层真空室抽至 6.1.2 c) 规定的真空度。

为了确保沉积涂层的附着性,零(部)件进行必要的基体金属表面处理,以去除吸附和化学键合的污染物。可通过辉光放电等离子体(溅射清洗)、高能离子、原子团或原子的轰击清洗,或反应等离子体清洗及其他适宜的方法对基体金属进行表面处理。某些基体金属表面处理时可能需要在沉积涂层真空室充入符合要求的高纯度氩气或其他气体,此外零(部)件的装夹方式应保证零(部)件所有需沉积涂层表面完全暴露。

基体金属表面处理完成后,宜平稳、不间断地转入到镉涂层沉积阶段。

注:基体金属表面处理完成后,未沉积镉涂层前,沉积涂层真空室内不应充入大气。否则,再次进行基体金属表面处理,有时甚至需要卸下零(部)件重新清洗。

#### A.4 镉涂层

涂层制备和前处理过程在同一真空室中进行。在前处理结束后,导入沉积镉涂层的镉源(如打开镉源挡板,调节工艺流程),平稳过渡到沉积涂层阶段。

根据所使用的沉积方法,在整个涂层沉积过程中,用具有足够能量的离子、原子团或原子对镉涂层的生长表面进行轰击,如辉光放电。如果需要,零(部)件通过转动以保证涂层的均匀性。

沉积结束后,关闭镉源挡板,切断镉源,待零(部)件和镉源冷却后再通入大气。然后将零(部)件从真空室取出,在检验之前移除屏蔽物。

基体金属表面处理方法和沉积涂层工艺根据零(部)件的种类、尺寸和形状调整,具体零(部)件的参数调整应通过试验来确定,以保证涂层的厚度和附着性达到技术要求。

## 附录 B

(规范性)

## 镉涂层平均厚度的确定

称量洁净的沉积涂层零(部)件的质量,然后将其浸入含有 10%~30%硝酸铵的室温水溶液中,适度搅拌,直到镉涂层被完全溶解(通常约 10 min)。之后取出零(部)件,水洗、干燥后再称量。

镉涂层的平均厚度  $S(\mu\text{m})$  可通过下式计算:

$$S = \frac{(m_1 - m_2) \times 10^4}{A \times 8.64}$$

式中:

- $m_1$  —— 零(部)件和涂层的总质量,单位为克(g);
- $m_2$  —— 涂层被溶解后零(部)件的质量,单位为克(g);
- $A$  —— 涂层区域的面积,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ );
- 8.64 —— 镉的标称密度,单位为克每立方厘米( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

附录 C  
(规范性)  
附着性测试方法

C.1 通则

涂层的附着性应满足 ISO 2819 的要求。

C.2 附着性补充试验方法

涂层与基体金属的附着性还能通过下列补充方法来确定。

- a) 对涂层零(部)件表面进行划痕操作以暴露出基体金属,然后在放大倍数不低于4倍的标准或正常视场下检查镀件表面涂层剥落情况,以此评价涂层的附着性。
- b) 在零(部)件或试样的清洁表面,应以2 mm为间隔划出十字图案。将长度为100 mm、宽度为25 mm、与钢表面的黏合力不小于3.5 N/10 mm的压敏胶粘带(见IEC 60454),应牢固地粘在划痕表面上。5 min后反向快速撕下,表面不应观察到涂层剥离。测试环境温度应在(20±5)℃范围。
- c) 应将零(部)件夹在台钳上,反复正、反向弯曲零(部)件的露出部分,直至涂层出现裂纹。如果裂开的涂层边缘能被剥离,或目视能见裂纹处基体金属与涂层分开,则涂层的附着性不合格。
- d) 选取一个小的平面区域,用一端为半球形、直径为6 mm的钢棒在涂层表面上迅速、稳定的摩擦15 s(压力保持在每一次摩擦可擦亮涂层表面,但不至划伤涂层)后,涂层不应起泡或脱落。
- e) 涂层零(部)件按照ISO 12686要求进行喷丸处理后,涂层不应从基体金属表面分离。



**附 录 D**  
**(规范性)**  
**抽 样**

**D.1 通 则**

零(部)件应抽样并按本文件的要求进行检验。按照 D.2 的规定,对抽样批次的零(部)件是否符合要求进行分类。

**D.2 抽 样 方 案**

- a) 大批量样品应随机抽样进行涂层成分测试。每批次涂层材料均应进行纯度分析(见 6.1.2)。
- b) 应按 6.3.2、6.3.3 和附录 C 的要求,涂层的厚度和附着性测试样品数为每批涂层零(部)件的 1%,但要求每项测试零(部)件不少于 2 件,并在同一条件下制备和处理。涂层零(部)件应随机选取并来自不同装夹位置,且供每项测试的零(部)件数应大致相等。
- c) 在特殊情况下,如单个大尺寸零(部)件涂层,可调整上述抽样方法。应使用指定形状、尺寸和材质(见 6.6),且随零(部)件同时进行涂层沉积的特殊试样进行测试。特殊试样的处理过程应与涂层零(部)件一致。
- d) 如果涂层样品没有通过某项(或多项)检测,则应按 b)项要求再次抽样 1%进行相关检测。如果第二次抽样中仍有零(部)件未通过测试,则整批零(部)件应被判定为不合格。
- e) 应从每类涂层中抽取不少于 2 个零(部)件进行盐雾试验(见 6.5)。

参 考 文 献

- [1] ISO 10587 Metallic and other inorganic coatings—Test for residual embrittlement in both metallic-coated and uncoated externally-threaded articles and rods—Inclined wedge method
- [2] ISO 15724 Metallic and other inorganic coatings—Electrochemical measurement of diffusible hydrogen in steels—Barnacle electrode method
- [3] ASTM DS-56G Metals and Alloys in the Unified Numbering System, 8th edition, published by American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1998
-