



中华人民共和国国家标准

GB/T 45376—2025

镍和铜电铸工艺规范

Electroforming process specification of nickel and copper

2025-03-28 发布

2025-10-01 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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 工艺要求 2

 4.1 工艺流程 2

 4.2 芯模制备 2

 4.3 芯模预处理 2

 4.4 电铸 3

 4.5 电铸后处理 4

5 产品质量检测 4

 5.1 替代试样 4

 5.2 外观 5

 5.3 表面粗糙度 5

 5.4 化学成分 5

 5.5 孔隙率 5

 5.6 硬度 5

 5.7 厚度 5

 5.8 内应力 5

 5.9 结合力 5

 5.10 电导率 6

 5.11 抽样 6

附录 A（资料性） 常用芯模材料预处理工艺 7

附录 B（资料性） 电铸常用电解液及制品力学性能 9



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。

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。

本文件由全国特种加工机床标准化技术委员会(SAC/TC 161)归口。

本文件起草单位：河南理工大学、中钞设计制版有限公司、苏州电加工机床研究有限公司、南通美精微电子有限公司、南京航空航天大学、厦门市标准化研究院、东莞赛诺高德蚀刻科技有限公司、河南新昌电工科技有限公司、西安交通大学、华亿轴承科技(江苏)有限公司。

本文件主要起草人：明平美、闫亮、刘雪敬、张浩、郭文华、王应、周涛、曲宁松、王少武、秦歌、吴悦、张亮旗、柴兴臣、戴星月。

镍和铜电铸工艺规范

1 范围

本文件规定了镍和铜制品的电铸工艺流程、芯模制备、芯模预处理、电铸过程控制与电铸后处理等环节的操作要求,描述了电铸制品的质量检测方法。

本文件适用于镍和铜的电铸工艺。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性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。

- GB/T 3138 金属及其他无机覆盖层 表面处理 术语
- 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
- GB/T 6463—2005 金属和其他无机覆盖层厚度测量方法评述
- GB/T 7220—2004 产品几何量技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度 术语 参数测量
- GB/T 9790—2021 金属材料 金属及其他无机覆盖层的维氏和努氏显微硬度试验
- GB/T 12332—2008 金属覆盖层 工程用镍电镀层
- 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
- GB/T 14896.1 特种加工机床 术语 第1部分:基本术语
- GB/T 14896.6 特种加工机床 术语 第6部分:其他特种加工机床
- GB/T 31563—2015 金属覆盖层 厚度测量 扫描电镜法
- GB/T 32791—2016 铜及铜合金导电率涡流测试方法

3 术语和定义

GB/T 3138、GB/T 14896.1 和 GB/T 14896.6 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电铸 electroforming

利用电化学阴极沉积原理制造结构或零件的加工方法。

3.2

芯模 mandrel

电铸过程中用于复制结构或形状的模具。

3.2.1

可重复芯模 reusable mandrel

能反复多次使用的芯模。

3.2.2

一次性芯模 disposable mandrel

使用一次就失去原有作用的芯模。

3.3

脱模 demolding

使芯模与电铸制品分离的过程。

4 工艺要求

4.1 工艺流程

电铸工艺一般包括芯模制备、芯模预处理、电铸、电铸后处理四个依次实施的环节。

4.2 芯模制备

4.2.1 通用要求

4.2.1.1 芯模表面应导电。若采用非金属材料制作芯模,其表面应进行导电化处理。

4.2.1.2 芯模材料应有良好的尺寸稳定性,在电铸过程的尺寸变化应小于电铸制品的最小尺寸公差值。

4.2.1.3 可重复芯模表面应有钝化膜或涂覆脱模层,脱模层应完整、无空隙、厚度分布均匀。

4.2.2 芯模设计

4.2.2.1 芯模设计应利于电铸工艺简化和成本降低。

4.2.2.2 芯模上的外角和内角处均应设计过渡圆弧,内角圆弧半径应不小于该处电铸金属层的设计厚度。

4.2.2.3 芯模的表面粗糙度值应小于电铸制品(与芯模贴合面)所要求的表面粗糙度值的 1/2,可重复芯模的表面粗糙度 Ra 不应大于 $0.8\ \mu\text{m}$ 。

4.2.2.4 设计芯模时,在芯模非电沉积区应标明电气连接位置。

4.2.2.5 用可重复芯模电铸封闭或半封闭筒状制品时,在其脱模方向应设计不少于 1 : 12 500 的斜度。如电铸制品不允许有斜度,则可用加热或冷冻的方式进行脱模。

4.2.2.6 可重复芯模的边缘宜预留 5 mm 以上的电铸过渡区。

4.2.2.7 用可重复芯模电铸封闭或半封闭筒状制品时,在脱模方向宜预留不小于 8 mm 的余量,且在脱模端不宜设有锁勾结构。

4.2.3 制备方法

芯模制备宜综合考虑芯模类型、芯模材料与电铸制品自身特性、生产成本等因素,可选用铸造、机械加工、电铸、光刻等方法进行制造。

4.3 芯模预处理

4.3.1 通则

4.3.1.1 芯模预处理包括除油、清洗、弱浸蚀(可选)及制备脱模层等步骤。

4.3.1.2 芯模表面应洁净、颜色均匀,无残留物。

4.3.2 除油

应使用化学、电化学、机械等方法彻底去除芯模表面的油脂。

4.3.3 清洗

除油后的第一道清洗、弱侵蚀后的清洗及制备脱模层后的清洗应使用流动水。

4.3.4 弱浸蚀

如需提高电铸制品与芯模间的结合力或需进行分层电铸时,宜采用低浓度的强酸溶液或弱酸溶液对芯模表面进行微腐蚀,使表面呈现活化状态。附录 A 中表 A.1 给出了金属芯模材料常用的弱浸蚀工艺。

4.3.5 制备脱模层

对于可重复芯模,其表面应生成有致密的薄层钝化膜或氧化膜,或镀(涂)覆有薄层隔离层。表 A.2 给出了金属芯模材料常用的脱模层制备工艺。

4.3.6 非金属芯模预处理

非金属芯模的预处理除了包括上述金属芯模的预处理步骤外,还应对其表面进行导电化处理。对于石膏、木材和塑料等多孔材料,形成导电层前应用石蜡、清漆等进行密孔化处理,防止液体渗入芯模材料内。表 A.3 给出了非金属芯模常用的导电化工艺。

4.4 电铸

4.4.1 电解液

4.4.1.1 电铸镍常用的电解液有硫酸盐型和氨基磺酸盐型,电铸铜常用的电解液有硫酸盐型和氟硼酸盐型,应根据芯模材料特性、电铸制品的物理机械性能要求选择电解液类型。附录 B 中表 B.1 和表 B.2 分别给出了电铸铜、电铸镍常用的电解液及在对应的操作条件下得到的电铸制品的主要力学性能。

4.4.1.2 电解液的配制应采用电导率不大于 $15\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 的纯水。

4.4.1.3 所用化学试剂和药品的纯度应为分析纯(含)等级以上。

4.4.2 阳极

4.4.2.1 应优先使用可溶性阳极(如含硫镍或含磷铜)进行电铸。若极间间隙小且对电铸制品的表面平整度和表面粗糙度要求极高时,宜采用铂、铱、钽等惰性金属作为阳极。

4.4.2.2 可溶性阳极或其承装容器应套有耐酸碱腐蚀的阳极袋,阳极袋的过滤精度应不小于 $10\ \mu\text{m}$,且应定期清洗或更换。

4.4.2.3 可溶性阳极表面积宜大于阴极表面积。

4.4.3 电铸过程控制

4.4.3.1 水质

4.4.3.1.1 阳极、芯模、治具等的最后一次清洗应使用电导率不大于 $15\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 的纯水。

4.4.3.1.2 电铸过程中电铸槽应补充电导率不大于 $15\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 的纯水。

4.4.3.2 pH 值

4.4.3.2.1 电铸过程中应定期或在线检测并调整电解液的 pH 值,使其处于设定范围内。

4.4.3.2.2 在电铸镍过程中,宜通过加入质量分数不大于 10% 的硫酸溶液(对瓦特型电解液)或不大于 5% 的氨基磺酸溶液(对氨基磺酸盐型电解液)来降低电解液的 pH 值,或通过加入碱式碳酸镍粉末或溶液来增大电解液的 pH 值。

4.4.3.2.3 在电铸铜过程中,宜通过加入质量分数不大于 10% 的硫酸溶液(对硫酸盐型电解液)或不大于 5% 的氟硼酸溶液(对氟硼酸盐型电解液)来降低电解液的 pH 值,或通过加入质量分数为 1%~2%

的氢氧化钠溶液来增大电解液的 pH 值。

4.4.3.3 温度

电解液的温度应通过温控系统控制在设定值 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内。

4.4.3.4 电流密度

4.4.3.4.1 宜优先采用恒电流法进行电铸。

4.4.3.4.2 电流密度应以阴极的表面积作为计算依据来确定。

4.4.3.5 电解液维护

4.4.3.5.1 应采用精度不大于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的过滤器对电解液进行连续过滤,全部电解液的循环过滤次数不应少于 3 次/h。

4.4.3.5.2 可单独或联合采用物理吸附法或小电流(电流密度为 $0.1\text{ A/dm}^2 \sim 0.2\text{ A/dm}^2$)电解法对电解液进行在线净化处理。

4.4.3.5.3 应定期或在线分析电解液的基本成分及其中的杂质。

4.5 电铸后处理

4.5.1 主要步骤

电铸后处理包括加固处理(可选)、机械加工(可选)、脱模、热处理(可选)和精饰处理(可选)等步骤。

4.5.2 加固处理

如电铸制品或芯模的刚度较小,在进行机械加工或其他后处理操作前,应使用辅助材料或结构对电铸制品或芯模进行加固处理。

4.5.3 机械加工

4.5.3.1 如电铸制品的外表面粗糙,或边缘、棱边、凸角、凹陷等处有结瘤、树枝状结晶等缺陷,应进行机械加工和/或精饰处理。

4.5.3.2 对于刚度低的薄壁电铸制品,机械加工应在脱模前进行。

4.5.4 脱模

对于可重复芯模,宜采用机械法或热胀冷缩法进行脱模。对于一次性芯模,应依据芯模材料选用适宜的脱模方法。

4.5.5 热处理

可通过热处理方式减小电铸制品的内应力,热处理宜在脱模后进行。

4.5.6 精饰处理

脱模后的电铸制品还可按需进行研磨、抛光、镀覆金属层、喷漆、着色和粗化等精饰处理。

5 产品质量检测

5.1 替代试样

5.1.1 当电铸制品不适合进行试验,或因电铸制品数量较少或价值昂贵而不宜进行破坏性试验时,可

用替代试样来测量结合力、厚度、孔隙率、硬度和其他性能。

5.1.2 替代试样的材质、冶金学状态、表面状态、厚度等应与电铸制品一致,替代试样的数量、形状、大小和检测方法等应由供需双方商定并在协议中明确规定。

5.2 外观

5.2.1 电铸制品应在日光或人工照明(40 W 日光灯)条件下,通过肉眼或借助放大镜(放大3~5倍)进行外观检查。

5.2.2 电铸金属层应结晶均匀、细致,表面色泽应均匀。

5.2.3 对不宜进行后处理操作的电铸制品,除边缘处待切除的区域外,其他区域不应有针孔、起泡、起皮、麻点、结瘤、裂纹、脱落、分层、树枝状结晶和表面缺陷。

5.2.4 对可进行后处理操作的电铸制品,电铸金属层表面允许有轻微的用机械加工方法可完全消除的表面缺陷或色差。

5.3 表面粗糙度



对于表面粗糙度有要求的电铸产品,按照 GB/T 7220—2004 的规定进行测定。

5.4 化学成分

如对电铸制品材料的成分有规定时,应按供需双方商定的方法进行测定。化学分析法、光谱法和电子能谱法均可用于材料成分的测量。

5.5 孔隙率

电铸制品的厚度小于 20 μm 时应测定孔隙率,按照 GB/T 12332—2008 附录 C 或附录 D 描述的方法进行测定。

5.6 硬度

电铸制品的硬度按照 GB/T 9790—2021 的规定进行测定。

5.7 厚度

电铸制品厚度的测量有破坏法和非破坏法。除另行约定外,可根据厚度大小按照 GB/T 6463—2005 或 GB/T 31563—2015 描述的方法进行测量。被测处的厚度不应小于 5 μm 。

5.8 内应力

5.8.1 电铸金属层的内应力包括宏观内应力和微观内应力。

5.8.2 宏观内应力的检测有弯曲阴极法、螺旋收缩仪法和电阻应变法等,方法的选择应由供需双方商定。

5.8.3 微观内应力可通过 X 射线衍射方法进行分析与测定,选用该方法应由供需双方商定具体标准或依据。

5.9 结合力

电铸制品与芯模表面间以及分层电铸时金属层间的附着强度按照 GB/T 5270—2005 附录 A 描述的方法进行测定。

5.10 电导率

电铸金属的电导率按照 GB/T 32791—2016 描述的方法进行测定。

5.11 抽样

当供需双方对电铸制品抽样检测要求达成一致时,按照 GB/T 12609—2015 的规定进行抽样检测。

附 录 A
(资料性)
常用芯模材料预处理工艺

表 A.1~表 A.3 分别给出了金属芯模材料常用的弱浸蚀工艺、脱模层制备工艺和非金属芯模常用的导电化工艺。

表 A.1 金属芯模材料常用的弱浸蚀工艺

项目	不锈钢或镀铬	镍和镍合金	铝合金	无铅易熔合金	含铅易熔合金
硫酸 g/L	184~276	184~276	18~184		
过硫酸铵 g/L				10~100	
硼酸 g/L					10~100
温度	室温	室温	室温	室温	室温
时间 s	120~300	120~300	60~180	2~5	2~5
注 1: 实际所用芯模材料可能会超出此处所列范围。					
注 2: 表中所列铝合金弱浸蚀工艺适用于可重复芯模与一次性芯模。					

表 A.2 金属芯模材料常用的脱模层制备工艺

脱模层	不锈钢、镀镍或镀铬钢芯模	镍或镍合金	铝合金	无铅易熔合金	含铅易熔合金
钝化膜/ 氧化膜	重铬酸钠 15 g/L~20 g/L; 室温;时间 0.5 min~1 min	重铬酸 4 g/L; 室温;			
	硝酸 18%~22%; 室温;时间 30 min	时间 0.5 min~ 1 min			
			硫酸 30 g/L; 室温; 电流密度 1 A/dm ² ; 时间 20 s		阳极氧化处理; 硫酸 30 g/L; 室温; 电流密度 1 A/dm ² ; 时间 20 s
	硫酸 50%; 硫酸铜 2 g/L~3 g/L; 锡酸钠 1 g/L~2 g/L; 室温; 时间 10 s~60 s			硫酸 50%; 硫酸铜 2 g/L~3 g/L; 锡酸钠 1 g/L~2 g/L; 室温; 时间 10 s~60 s	
脱模层	在芯模表面镀(涂)覆一层易熔金属或蜡制剂				
注 1: 表中所列铝合金脱膜处理工艺适用于可重复芯模与一次性芯模。					
注 2: 表中的含锡易熔合金在电铸前先镀一层薄铜,脱模后用稀硝酸或 10%的过硫酸铵溶液除去此铜层。					
注 3: 镀(涂)覆脱模层一般只适合电铸制品精度要求低的场合。					



表 A.3 非金属芯膜常用的导电化工艺

导电化方法		工艺条件与参数
物理方法	金属涂料法	用金属涂料或导电涂料喷涂、刷涂等
	真空蒸镀	根据真空度确定蒸镀源与被蒸镀芯模的大概距离 塑料芯模真空蒸镀参数:真空度 1.33×10^{-5} Pa $\sim 1.33 \times 10^{-2}$ Pa,蒸镀源与芯模距离 65 cm ~ 650 cm
	离子镀	稀有气体氛围,气压 1.33×10^{-2} Pa ~ 1.33 Pa,两极间电压 500 V $\sim 5\,000$ V,电流值依据所镀面积而定,常为所镀面积值的 1/2
	溅射镀	惰性气体氛围,气压 0.133 Pa ~ 13.33 Pa
化学方法	工艺流程	表面预处理及除油 $\rightarrow$ 清洗(中和) $\rightarrow$ 敏化 $\rightarrow$ 清洗(蒸馏水) $\rightarrow$ 活化 $\rightarrow$ 清洗 $\rightarrow$ 化学镀 $\rightarrow$ 清洗
	预处理和除油	预处理:外观检查、修正缺陷、确认符合要求 除油:可参照金属芯膜表面除油工艺
	敏化	酸性敏化:硼氟化亚锡 15 g/L,氯化钠 100 g/L,硼氟酸 250 mL/L 酒精敏化:酒精中加 20 g/L ~ 25 g/L 二价锡盐或酒精水的混合液等 碱性敏化:氟化亚锡 100 g/L,酒石酸钾钠 175 g/L,氢氧化钠 150 g/L
	活化	分步活化法:以银离子或钯离子等为活化剂进行活化处理 $\rightarrow$ 干燥 $\rightarrow$ 化学镀 敏化活化一步法:胶体钯溶液(氯化亚锡 1 g、氯化钯 37.5 g、HCl 300 mL、蒸馏水 600 mL) $\rightarrow$ 解胶 $\rightarrow$ 化学镀
	化学镀	可采用化学镀铜、镀镍或镀银等常规化学镀工艺
注 1: 实际所用金属化方法可能会超出此处所列范围。 注 2: 实际所用除油工艺可能会超出此处所列范围。具体根据芯膜材料性质采取合适的、不损害芯膜表面的除油工艺。 注 3: 表中各工序间的清洗无特殊要求的,采用流动水清洗。		

附 录 B
(资料性)

电铸常用电解液及制品力学性能

表 B.1 和表 B.2 分别给出了电铸镍、电铸铜常用的电解液及在对应的操作条件下得到的电铸制品的主要力学性能。

表 B.1 电铸镍常用电解液的基本组成、操作条件及其电铸制品的力学性能

项目		硫酸盐型电解液	氨基磺酸盐型电解液
电 解 液 成 分	硫酸镍 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ g/L	225~400	—
	氨基磺酸镍 $\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ g/L	—	300~450
	氯化镍 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ g/L	15~50	0~10
	硼酸 H_3BO_3 g/L	30~45	30~45
操 作 条 件	温度 ℃	40~65	40~65
	搅动	空气或机械搅拌	空气或机械搅拌
	阴极电流密度 A/dm^2	1~15	0.5~100
	阳极	含硫($\leq 0.03\%$)镍或惰性金属	含硫($\leq 0.03\%$)镍或惰性金属
	pH 值	3.5~4.5	3.8~4.5
力 学 性 能	抗拉强度 MPa	345~485	415~610
	延伸率 %	10~30	5~30
	维氏硬度(0.98 N)	130 HV~200 HV	170 HV~230 HV
	应力 MPa	125~185(张应力)	0~50(张应力)
注：如施加的阴极电流密度较高时，需要添加适量的润湿剂。			

表 B.2 电铸铜常用电解液的基本组成、操作条件及其电铸制品的力学性能

项目		硫酸盐型电解液	氟硼酸盐型电解液
电 解 液 成 分	硫酸铜 CuSO_4 g/L	210~214	—
	硫酸 H_2SO_4 g/L	52~75	—
	氟硼酸铜 $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$ g/L	—	225~450
	氟硼酸 HBF_4 g/L	—	调节 pH 至 0.2~1.5
操 作 条 件	温度 ℃	20~35	20~55
	搅动	空气或机械搅拌	空气或机械搅拌
	阴极电流密度 A/dm^2	1~10	5~45
	阳极	含磷(0.02%~0.06%)铜或惰性金属	铜或惰性金属
力 学 性 能	抗拉强度 MPa	205~380	140~345
	延伸率 %	15~25	5~25
	维氏硬度(0.98 N)	45 HV~70 HV	40 HV~80 HV
	应力 MPa	0~10(拉应力)	0~105(拉应力)
注：氟硼酸盐型电解液的 pH 值通过添加氟硼酸进行调节；氟硼酸没有市售产品，需自行配制。			

