

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX—2026

金属零件精度孔加工技术规范

Technical specification for precision hole machining of metal parts

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国机电设备工程协会 发布

目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	1
4	通用要求	1
4.1	人员要求	1
4.2	设备与工装要求	2
4.3	工艺文件要求	2
4.4	试切与首件检验	2
5	加工流程	2
5.1	平面上的孔加工（三轴 / 五轴数控加工）	2
5.2	曲面上的孔加工（五轴数控加工）	3
5.3	高位置度要求孔的加工（位置度 $\leq\Phi 0.05\text{mm}$ ）	3
5.4	钳工制孔	3
6	质量控制与检验	3
6.1	过程控制	3
6.2	检验要求	3
6.3	不合格品处理	4
附录 A（规范性）	精度孔检验项目表	5
附录 B（资料性）	不合格品处理单	6
附录 C（资料性）	首件检验记录	7

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。

本文件由西安市康铖机械制造有限公司提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

金属零件精度孔加工技术规范

1 范围

本文件规定了金属零件精度孔加工的术语定义、通用要求、加工流程、质量控制与检验、异常处理及记录管理等内容。

本文件适用于金属材质（铝合金、钛合金、高强度钢、碳钢等）精度孔的在制品加工，包括平面孔、曲面孔及高位置度要求孔的数控加工与钳工补充加工。

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 1031-2009 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值

GB/T 1184-1996 形状和位置公差 未注公差值

GB/T 1804-2000 一般公差 未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差

GB/T 145-2001 中心孔

GB/T 3177-2009 产品几何技术规范（GPS） 光滑工件尺寸的检验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

精度孔

满足图纸规定的尺寸公差（如 H7/H8 级）、形位公差（位置度 $\leq \Phi 0.1\text{mm}$ ）及表面粗糙度（ $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$ ）要求的孔，包括光孔、螺纹孔等类型。

3.2

终孔

图纸要求的最终尺寸、精度及表面质量的孔，是加工的最终目标状态。

3.3

位置度

孔的实际中心轴线相对于理论正确位置轴线的最大允许偏移量，以直径公差带表示（如 $\Phi 0.05\text{mm}$ ），反映孔在零件坐标系中的定位精度。

3.4

单边余量

孔的当前加工直径与终孔直径之差的一半，用于后续精加工程中保证尺寸精度和表面质量，如钻孔后预留 0.25-0.5mm 单边余量供扩孔 / 铰孔使用。

3.5

RTCP 功能

五轴数控机床“旋转轴刀具中心点控制”功能，可实时补偿旋转轴运动带来的刀具中心点偏移，保证加工过程中刀具轴线与孔理论轴线一致。

4 通用要求

4.1 人员要求

4.1.1 操作员应经专业培训（包括设备操作、工艺理解、量具使用等），考核合格后持证上岗，资格

证有效期 1 年，每年复核 1 次。

4.1.2 技术人员应具备 CAD/CAM 软件操作能力（如 UG、SolidWorks），能解读三维数模与二维图纸的公差要求，制定适配的加工方案。

4.2 设备与工装要求

4.2.1 加工设备（三轴 / 五轴加工中心、钻床等）应按设备校准规程每季度校准 1 次，关键参数（主轴跳动、定位精度）校准误差 $\leq 0.005\text{mm}$ ；量具（内径千分尺、粗糙度仪等）需送第三方机构校准，校准周期 6 个月，校准合格贴标后方可使用。

4.2.2 刀具应符合以下精度要求：铰刀刃口跳动 $\leq 0.005\text{mm}$ ，精镗刀微调精度 0.001mm / 格，铣刀径向跳动 $\leq 0.02\text{mm}$ ；刀具存储应分类放置于防锈刀具柜，避免磕碰损伤。

4.2.3 夹具（虎钳、专用工装）装夹工件后，应用百分表检测工件基准面跳动，误差 $\leq 0.005\text{mm}$ ；软质材料（如铝合金）装夹时应垫紫铜片，防止夹伤工件表面。

4.3 工艺文件要求

4.3.1 制造指令应明确以下信息：工件材料牌号（如 6061-T6 铝合金、TC4 钛合金）、孔径尺寸及公差（如 $\Phi 10\text{H7}$ ）、位置度要求（如 $\Phi 0.08\text{mm}$ ）、表面粗糙度（如 $Ra 1.6\ \mu\text{m}$ ）、加工设备型号及刀具规格。

4.3.2 针对特殊材料（如钛合金），工艺文件应补充切削液类型（专用钛合金切削油）、冷却方式（高压内冷，压力 $\geq 8\text{MPa}$ ）等特殊要求。

4.4 试切与首件检验

4.4.1 新程序、新批次或更换刀具后，应加工 1 件首件，按精度孔检验项目表（见附录 A）进行 100% 尺寸检验，合格后填写《首件检验记录》（见附录 B），方可批量生产。

4.4.2 首件检验不合格时，应分析原因（如程序偏差、刀具磨损），调整后重新试切，直至合格。

5 加工流程

5.1 平面上的孔加工（三轴 / 五轴数控加工）

按以下步骤执行，关键参数应符合表 5.1 的要求：

表 1 关键参数

加工步骤	刀具选择	关键参数要求	质量控制要点
① 中心钻点孔	90° / 120° 高速钢 / 硬质合金中心钻	深度 = 1.5-2 倍中心钻直径（如 $\Phi 3\text{mm}$ 中心钻钻深 4.5-6mm）	孔中心与理论位置偏差 $\leq 0.02\text{mm}$
② 钻孔 / 铣孔	麻花钻（软材料用高速钢，硬材料用硬质合金）；铣孔用立铣刀	钻孔直径 = 终孔直径 - 0.5-1.0mm（铝合金取 1.0mm，钛合金 / 高强度钢取 0.5mm）； 铣孔进给量 = 0.1-0.2mm/r	深孔（ $L/d > 5$ ）需分段钻孔，每钻 5 倍孔径深度退刀排屑 1 次
③ 终孔加工	扩孔钻（标准孔）；精镗刀（大直径高精度孔）；铰刀（中小直径批量孔）	扩孔：直接加工至终孔尺寸；精镗：微调精度 0.001mm ，切削速度 = 80-120m/min；铰孔：预留量 0.025-0.05mm，切削速度 = 10-20m/min	终孔尺寸公差：标准孔 $\pm 0.05\text{mm}$ ，高精度孔（H7/H8） $\pm 0.015\text{mm}$ ；表面粗糙度 $Ra \leq 1.6\ \mu\text{m}$

5.2 曲面上的孔加工（五轴数控加工）

应保证孔轴线与曲面法向偏差 $\leq 0.05^\circ$ ，步骤按下列步骤进行：

5.2.1 铣刀“踩孔”：

——刀具：立铣刀 / 球头铣刀（直径 \leq 终孔直径 1mm，跳动 $\leq 0.02\text{mm}$ ）

——加工参数：五轴联动，螺旋铣进给量 0.1mm/r，铣削深度 \geq 终孔直径 1/3，切削速度 = 50-80m/min

——质量要求：加工后平面 / 凹球面与孔轴线垂直度 $\leq 0.02\text{mm}$

5.2.2 中心钻点孔

同 5.1 要求，额外要求孔口平面跳动 $\leq 0.02\text{mm}$ 。

5.2.3 钻孔 / 铣孔：

——钻孔参数：同 5.1 要求，应启用 RTCP 功能，实时补偿法向矢量

——铣孔要求：无需“踩孔”和中心钻点孔，直接螺旋插补铣至预留余量，铣削路径应避开曲面其他特征。

5.2.4 终孔加工

同 5.1 要求，切削速度按三轴参数的 30%-60% 调整（如三轴 100m/min，五轴取 30-60m/min），五轴联动控制刀具轴向偏差 $\leq 0.005\text{mm}$ 。

5.3 高位置度要求孔的加工（位置度 $\leq \Phi 0.05\text{mm}$ ）

采用“铣削定心 + 精镗 / 铰孔”工艺，步骤按下列步骤进行：

5.3.1 替代传统钻孔工序，使用钻铣刀 / 定心铣刀（直径 = 终孔直径 - 0.3-0.5mm），采用螺旋插补铣或直线插铣，加工至预留单边 0.1-0.2mm 余量，铣削进给量 = 0.08-0.15mm/r，保证孔中心位置偏差 $\leq 0.01\text{mm}$ 。

5.3.2 后续终孔加工同 5.1 要求或 5.2.4，加工过程中应关闭机床振动抑制功能外的其他辅助功能，避免干扰定位精度。

5.4 钳工制孔

作为数控加工的补充，适用于返工、倒角及小型零件加工，应按下列步骤进行。

5.4.1 定位方式应使用钻模（定位误差 $\leq 0.05\text{mm}$ ）、精密划线（弹簧划针配合直角尺，划线精度 $\pm 0.2\text{mm}$ ）或模板，不应无定位自由钻孔。

5.4.2 加工步骤应符合点孔（中心钻深度 1-1.5 倍直径） \rightarrow 钻孔（预留 0.3-0.5mm 单边余量） \rightarrow 扩孔 / 铰孔（终孔尺寸），高要求孔应采用铰孔，铰刀转速 $\leq 30\text{r/min}$ ，手动进给匀速。

5.4.3 倒角要求应符合孔口应倒 C0.5-C1.0mm 角，去除毛刺，倒角面与孔轴线垂直度 $\leq 0.1\text{mm}$ 。

6 质量控制与检验

6.1 过程控制

6.1.1 刀具磨损监控应在加工过程中每 20 件工件检查 1 次刀具后刀面磨损量，磨损量 $\geq 0.1\text{mm}$ 时立即更换，更换后应重新做首件检验。

6.1.2 切削液浓度应每 4 小时检测 1 次（乳化液浓度 8%-10%，极压切削油浓度 5%-8%），浓度异常时及时补充或更换，防止刀具磨损加剧。

6.2 检验要求

6.2.1 孔径检验

按下表选择量具，检验频次：批量生产时每 50 件抽检 3 件，关键件（如发动机零件孔）每 20 件抽检 3 件：

表 2 量具推荐表

孔径范围	量具选择	精度要求	检验方法
Φ3mm 以下	针规（套装精度 ±0.001mm）	通规通过，止规不通过	垂直插入孔内，手感无卡滞
Φ3-50mm	通止规（H7/H8 级）、内径百分表（分度值 0.001mm）	通止规符合 GB/T 3177-2009；内径百分表测量 3 个截面（上、中、下），取平均值	内径百分表需先用量块校准，测量时轻触孔壁
Φ50mm 以上	内径千分尺（分度值 0.001mm）	测量偏差 ≤ 公差值的 1/3	测量时保证千分尺与孔轴线垂直

6.2.2 孔位检验

6.2.2.1 量具宜采用三坐标测量机（CMM，精度 ±0.002mm）或专用销规（H6 级，配合间隙 ≤ 0.005mm）。

6.2.2.2 检验方法宜采用 CMM 测量时每孔取 3 个点（孔口、孔中、孔底），计算位置度偏差；销规检验时，销规应能自由插入孔与工装定位孔，无松动或卡滞。

6.2.3 表面粗糙度检验

6.2.3.1 量具宜采用粗糙度仪（测量范围 Ra0.025-12.5 μm）或 GB/T 1031-2009 对比样块。

6.2.3.2 检验应符合每批次抽检 5 件，每件测量 2 个位置，粗糙度值应 ≤ 图纸要求（如 Ra1.6 μm），对比样块需与工件材料一致。

6.2.4 形位公差检验

6.2.4.1 垂直度应使用直角尺配合百分表，测量孔轴线与基准面的垂直度，误差 ≤ 0.02mm/100mm。

6.2.4.2 圆度应使用圆度仪或 CMM，测量孔横截面圆度，误差 ≤ 公差值的 1/2

6.3 不合格品处理

6.3.1 检验发现不合格品时，应立即标识（贴“不合格”标签）、隔离，填写《不合格品处理单》（见附录 C），分析不合格原因（如尺寸超差、表面划伤）。

6.3.2 不合格品处置方式：可返工的（如孔径偏小）应制定返工工艺，返工后重新检验；不可返工的（如位置度超差）应报废，不应流入下道工序。

附 录 A
(规范性)
精度孔检验项目表

检验项目	检验要求	量具	检验频次
孔径尺寸	符合图纸公差 (如 $\Phi 10H7: \Phi 9.992 - \Phi 10.012\text{mm}$)	内径百分表 / 针规	首件 100%, 批量抽检 3/50 件
位置度	\leq 图纸要求 (如 $\Phi 0.08\text{mm}$)	CMM / 销规	首件 100%, 批量抽检 3/20 件 (关键件)
表面粗糙度	$\leq \text{Ra}1.6 \mu\text{m}$ (高精度孔) / $\text{Ra}3.2 \mu\text{m}$ (标准孔)	粗糙度仪 / 对比样块	批量抽检 3/50 件
垂直度	$\leq 0.02\text{mm}/100\text{mm}$	直角尺 + 百分表	首件 100%, 批量抽检 2/50 件
孔口倒角	C0.5-C1.0mm, 无毛刺	卡尺 / 目视	全检

附 录 B
(资料性)
不合格品处理单

处理单号		产品型号	
不合格品数量	件	发现日期	YYYY 年 MM 月 DD 日
不合格项目	(如孔径超差、位置度不合格)	不合格程度	轻微 / 严重
原因分析	(如刀具磨损、程序偏差)	分析人	
处置方案	<input type="checkbox"/> 返工(返工工艺:) <input type="checkbox"/> 报废 <input type="checkbox"/> 让步接收(客户确 认:)	审批人	
处理结果	返工后检验: <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 仍 不合格(已报废)	处理人	
日期	YYYY 年 MM 月 DD 日		

附录 C
(资料性)
首件检验记录

记录编号		产品型号	
工件材料		加工设备	
加工日期	YYYY 年 MM 月 DD 日	操作员	
检验项目	图纸要求	检验结果	合格判定 (√/×)
孔径尺寸			
位置度			
表面粗糙度			
垂直度			
检验员签字		检验日期	YYYY 年 MM 月 DD 日
备注	(如不合格原因分析)		