ICS 77.140.01
CCS H 40

T/CS

团 体 标 准

T/CS 133—2025

高硬度材料精密线切割加工工艺规范

Specification for precision wire cutting processing technology of high-hardness materials

2025－08－06 发布 2025－08－06 实施

中国商品学会 发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　设备和工具 1
5　加工前准备 3
6　工艺流程 4
7　质量检验和控制 5
8　安全和环保要求 5

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。

本文件由泰州市特锐数控机床有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：泰州市特锐数控机床有限公司、上海灏邦机电设备有限公司、进发轴承有限公司、泰州市泰瑞数控机床有限公司。

本文件主要起草人：毛浩亮、吴颖、李建平、毛万坤。

高硬度材料精密线切割加工工艺规范

1 范围

本文件规定了高硬度材料精密线切割加工的设备和工具、加工前准备、工艺流程、质量检验和控制、安全和环保要求。

本文件适用于硬度大于或等于 HRC60 的金属材料及其他高硬度材料的精密线切割加工，包括但不限于模具制造、精密零部件加工等领域。对于硬度稍低但对加工精度和表面质量要求极高的材料加工，可参照本文件执行。

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 1800.1 产品几何技术规范(GPS) 线性尺寸公差ISO代号体系 第 1 部分：公差、偏差和配合的基础

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第 1 部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划

GB/T 3505 产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数

GBZ 2.2 工作场所有害因素职业接触限值 第 2 部分：物理因素

JB/T 5102 坐标式切割机

JB/T 7445.1 特种加工机床 第 1 部分：类种划分

3 术语和定义

JB/T 7445.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高硬度材料 high-hardness material

硬度大于或等于 HRC60，在加工过程中表现出较高抵抗变形和磨损能力的材料。

3.2

精密线切割加工 precision wire cutting

利用连续移动的细金属丝（电极丝）作电极，对工件进行脉冲火花放电腐蚀，以达到切割成型目的，且加工精度和表面质量满足较高要求的加工方法。

4 设备和工具

4.1 线切割机床

4.1.1 基本要求

线切割机床应符合 JB/T 5102 的规定，应具备良好的稳定性、精度保持性和可靠的电气控制系统，满足高硬度材料精密线切割加工的要求。机床的坐标轴定位精度和重复定位精度应符合表 1 的规定。

表 1　机床定位精度

坐标轴	定位精度 mm	重复定位精度 mm
X 轴	≤±0.005	≤±0.003
Y 轴	≤±0.005	≤±0.003
U/V 轴（如有）	≤±0.003	≤±0.002

4.1.2　脉冲电源

脉冲电源应能提供稳定、可调节的脉冲参数，包括峰值电流、脉冲宽度、脉冲间隔等，以适应不同高硬度材料和加工要求。脉冲电源的参数调节范围应符合表 2 的规定。

表 2　脉冲电源参数调节范围

参数	调节范围
峰值电流/A	5～50
脉冲宽度/μs	2～50
脉冲间隔/μs	5～200

4.1.3　走丝系统

4.1.3.1　走丝系统应保证电极丝平稳、匀速运行，走丝速度应可根据加工需要进行调节。

4.1.3.2　走丝系统的电极丝张力应支持精确控制，波动范围不超过设定值的 ±5%。

4.2　电极丝

4.2.1　材料选择

4.2.1.1　应根据高硬度材料的种类和加工要求，选择合适的电极丝材料。常见的电极丝材料有钼丝、铜丝、镀锌丝等：

a)　对于硬质合金等超硬材料，宜选用钼丝或镀锌丝；

b)　对于淬火钢等材料，宜选用钼丝或铜丝。

4.2.1.2　电极丝的抗拉强度应满足加工过程中的张力要求，宜不低于 1 800 MPa。

4.2.2　直径选择

4.2.2.1　电极丝直径的选择应综合考虑加工精度、表面粗糙度和切割速度等因素：

a)　加工精度要求高、表面粗糙度值低时，选用较细的电极丝；

b)　切割速度要求高时，选用较粗的电极丝。

4.2.2.2　常用电极丝直径范围为 0.1 mm～0.25 mm，宜优先选用 0.18 mm 的电极丝。

4.3　工作液

4.3.1　类型选择

4.3.1.1　应根据机床类型和加工材料选择合适的工作液：

a)　高速走丝机床宜选用专用乳化液；

b)　低速走丝机床宜选用去离子水或专用放电加工液。

4.3.1.2　对于含 Cr 等合金元素的高硬度材料，工作液的浓度应适当降低，可采用蒸馏水配制乳化液。

4.3.2　性能要求

4.3.2.1　工作液应具有良好的绝缘性能、冷却性能、排屑性能和防锈性能。

4.3.2.2　工作液的电阻率应满足机床和加工要求，高速走丝乳化液的电阻率应为 500 Ω·cm～1 500 Ω·cm，低速走丝去离子水的电阻率应大于或等于 100 000 Ω·cm。

4.3.2.3　工作液的 pH 值应保持在 7-9 之间，以防止对工件和机床造成腐蚀。

4.4　夹具

4.4.1　夹具应具有足够的精度和刚度，能够可靠地装夹工件，并保证工件在加工过程中的稳定性。

4.4.2　夹具的定位基准应与工件的设计基准一致，装夹误差应不超过 ±0.01 mm。

4.4.3　对于精密、细小的工件，应使用不易变形的专用辅助夹具。加工成批零件时，应采用专用夹具以提高装夹效率和加工精度。

5　加工前准备

5.1　工艺分析

5.1.1　应阅读零件图，明确加工精度、表面粗糙度、尺寸公差、形位公差等要求，确定加工工艺路线和加工方法。对于有特殊要求的部位，如尖角、窄缝、薄壁等，应制定专门的加工措施。

5.1.2　应分析零件的主要定位基准，选择合适的装夹方式和定位方法，确保工件在加工过程中的正确定位。应确定加工坐标系，使编程坐标系与工作坐标系一致。

5.1.3　应根据零件形状和加工要求，合理选择加工切割起始点和加工路线。切割起始点应选择在工件表面较为平坦、对工作性能影响较小的部位。对于精度要求较高的工件，宜将切割起始点取在工件上预制的穿丝孔中，避免从工件外部直接切入，引起工件切开处发生变形。加工路线应遵循先难后易、先里后外的原则。

5.1.4　应指明零件图中不宜或不能用电火花线切割加工的地方，如盲孔、封闭内腔等，并与设计人员沟通，寻求解决方案。

5.2　工件准备

5.2.1　应检查待加工工件的材料是否符合设计要求，材料的硬度、组织结构等应满足加工工艺要求。对于有缺陷（如裂纹、砂眼等）的材料，应及时更换。

5.2.2　应对坯件进行预处理加工，如切割余量、加工基准面等。坯件的尺寸精度和形位公差应满足线切割加工的装夹和定位要求，尺寸公差应不超过 ±0.1 mm，形位公差应不超过 ±0.05 mm。

5.2.3　对于需要穿丝的工件，应在合适的位置加工穿丝孔。穿丝孔的直径一般为 0.5 mm～2 mm，位置应根据加工路线确定，确保电极丝能够顺利穿入并进行切割。穿丝孔的垂直度误差应不超过 ±0.01 mm。

5.3　机床调试

5.3.1　应检查机床的外观是否完好，各部件连接是否牢固，润滑系统是否正常；检查机床的坐标轴运动是否灵活，有无卡顿现象；检查脉冲电源、走丝系统、工作液系统等是否正常工作。

5.3.2　应按照电极丝的安装要求，正确安装电极丝，并调整电极丝的垂直度和张力。电极丝的垂直度应采用专用校正工具或火花校正法进行校正，垂直度误差应不超过 ±0.01 mm。电极丝的张力应根据电极丝材料、直径和加工要求进行调整，钼丝的张力为 8 N～12 N，铜丝的张力为 5 N～8 N。

5.3.3　应按照工作液的使用说明，配制工作液，并将其注入工作液箱。工作液的浓度应根据加工材料和加工要求进行调整，高速走丝乳化液的浓度应为 5%～15%，低速走丝去离子水的电阻率应满足要求。应定期更换工作液，保持工作液的清洁度和性能，高速走丝机床工作液的更换周期为 1 周～2 周，低速走丝机床工作液的更换周期为 1 个月～3 个月。

5.3.4　应将编写好的加工程序输入机床控制系统，并进行校验。校验内容包括程序语法是否正确、加工轨迹是否符合要求、刀具补偿是否合理等。通过模拟加工，检查程序的正确性和可行性，确保加工过程的顺利进行。

6 工艺流程

6.1 工件装夹与找正

6.1.1 工件的装夹基准面应清洁无毛刺，夹具与工件之间应紧密贴合，装夹牢固可靠，装夹时应避免损伤工件的加工表面和定位基准。

6.1.2 应根据工件的形状、尺寸和加工要求，选择合适的装夹方式：

a) 对于小型、简单的工件，采用悬臂式或两端支撑装夹；

b) 对于大型、复杂的工件，采用桥式支撑、板式支撑或复式支撑装夹。

6.1.3 应采用百分表或其他找正工具，对工件进行找正。找正内容包括工件的水平度、垂直度和位置精度等。找正误差应不超过 ±0.01 mm，工件加工基准应与机床坐标系一致。

6.2 加工参数设置

6.2.1 应根据工件材料、厚度、加工精度和表面粗糙度要求，选择合适的电参数。加工高硬度材料时，峰值电流应适当降低，脉冲宽度和脉冲间隔应适当增大，以减少电极丝的损耗和提高加工表面质量。具体电参数可参考表 3。

表 3 加工参数

工件材料	工件厚度 mm	峰值电流 A	脉冲宽度 μs	脉冲间隔 μs
硬质合金	≤10	10～15	10～20	50～100
硬质合金	10～30	8～12	8～15	40～80
淬火钢	≤10	15～20	8～12	30～60
淬火钢	10～30	12～18	6～10	25～50

6.2.2 应根据加工要求和电参数，调整走丝速度和进给速度。走丝速度应保证电极丝的稳定运行和正常放电，进给速度应与放电腐蚀速度相匹配，避免出现短路或断丝现象。

6.2.3 调节工作液的流量和压力，使工作液充分冷却电极丝和工件，及时排除加工过程中产生的碎屑。工作液的流量和压力应根据工件厚度和加工参数进行调整，工件厚度越大，工作液流量和压力应越大。

6.3 切割加工

6.3.1 在完成工件装夹、参数设置和机床检查等准备工作后，启动机床进行切割加工。切割过程中，应密切观察机床的运行状态、电极丝的放电情况和工件的加工情况，确保加工过程的稳定进行。

6.3.2 应根据加工工艺要求，选择合适的切割方向和顺序。切割方向有正向切割和反向切割两种，应根据工件的形状和加工要求进行选择。切割顺序应遵循先难后易、先里后外的原则，对于多个型腔或孔的工件，应先加工精度要求高的部位，再加工精度要求低的部位。

6.3.3 在切割过程中，如发生短路、断丝等异常情况，机床控制系统应能自动检测并采取相应的处理措施。发生短路时，控制系统应自动发出回退指令，使电极丝沿原切割路线后退一定距离，重新寻找放电点；发生断丝时，控制系统应立即停止运丝和工作液，并发出报警信号。操作人员应根据具体情况，采取相应的解决措施。

6.3.4 对于一些形状复杂、壁厚或截面变化大的工件，为减小变形，保证加工精度，宜采用多次切割法：

a) 第一次切割为粗切割，留 0.2 mm～0.5 mm 余量；

b) 第二次切割为半精切割，留 0.05 mm～0.1 mm 余量；

c) 第三次切割为精切割，加工至要求尺寸。

6.3.5 每次切割时，应根据余量和加工要求，调整电参数和其他工艺参数，以提高加工质量。

6.4 加工后处理

6.4.1 加工完成后，将工件从夹具上取下，应使用清洗剂清洗工件表面的油污、碎屑和工作液残留，确保工件表面清洁。对于精度要求高的工件，可采用超声波清洗等方法进行清洗。

6.4.2 应使用符合精度要求的量具对工件的尺寸进行测量，检验工件的尺寸精度是否符合设计要求。对于形状复杂的工件，可采用三坐标测量仪等高精度测量设备进行测量。同时，应检查工件的表面粗糙度、形位公差等是否满足要求。

6.4.3 对加工后的工件应采用涂防锈油、喷漆等方法进行防锈处理。

7 质量检验和控制

7.1 检验项目

7.1.1 尺寸精度

应按照零件图的尺寸要求，检验工件的尺寸精度。尺寸公差应符合 GB/T 1800.1 的规定，具体公差值根据零件的设计要求确定。

7.1.2 表面粗糙度

应采用表面粗糙度测量仪或比较样块等方法，检验工件的表面粗糙度。表面粗糙度值应符合 GB/T 3505 的规定。

7.1.3 形位公差

应使用量具（如百分表、平板、V 形块等）或三坐标测量仪等设备，检验工件的形位公差，包括直线度、平面度、垂直度、平行度、圆度等。形位公差应符合零件图的设计要求。

7.1.4 加工缺陷

应检查工件表面是否存在加工缺陷，如烧伤、裂纹、砂眼、气孔等。对于存在加工缺陷的工件，应分析原因并采取相应的措施进行处理，如调整加工参数、更换电极丝或工作液等。

7.2 检验规则

7.2.1 检验分类

分为首件检验、巡检和成品检验：

a) 首件检验：首件加工完成后，应对其尺寸精度、表面粗糙度、形位公差等进行全面检测；

b) 巡检：加工过程中，应按一定时间间隔或加工数量进行巡检，及时发现加工过程中的异常；

c) 成品检验：成品完成后，应进行最终检验，确保产品符合技术文件要求。

7.2.2 抽样方案

对于成批加工的工件，采用抽样检验。抽样数量依据 GB/T 2828.1 相关规定，结合生产实际情况确定，确保样本能有效反映整批产品质量状况。

7.2.3 不合格品处理

经检验不合格的工件，应做好标识并隔离存放。分析不合格原因，若因加工参数设置不当导致，重新调整参数后进行返工；若工件存在严重缺陷无法修复，按报废处理，并记录相关信息。

8 安全和环保要求

8.1 安全要求

8.1.1 操作人员应穿戴防护装备，包括防护眼镜、防护手套、工作服等。

8.1.2 机床应安装可靠的接地装置；应定期检查机床的电气系统、机械传动部件，确保设备运行安全；在机床运行过程中，严禁打开防护门或进行违规操作。

8.1.3 车间应配备消防设施和急救设备，制定应急预案。若发生火灾、触电等事故，操作人员应立即切断电源，并按应急预案进行处理，及时疏散人员并报告相关部门。

8.2 环保要求

8.2.1 加工过程中产生的废电极丝、废工作液等废弃物，应分类收集存放。废工作液应交由有资质的单位进行处理，不应随意排放；废电极丝应进行回收再利用，减少资源浪费。

8.2.2 应采取有效的隔音、降噪措施，控制机床运行产生的噪音。车间内噪音值应符合 GBZ 2.2 的规定。