

头部不带螺纹的棒材拉伸试样的数控加工

邱永成¹, 康玉霞², 李正顺²

1. 湖北东特特种装备有限公司 湖北随州 441300

2. 广西玉柴机器股份有限公司 广西玉林 537005

摘要: 以一款头部不带螺纹的棒材拉伸试样为例, 从数控加工的角度出发, 讲述工序划分、工件装夹、刀具选择及程序编制的技巧。用户既可在配有FANUC系统的单台机床上进行加工, 也可经由现代智能切削系统实现“毛坯到成品”的交付。配置SINUMERIK、MITSUBISHI及GSK等系统的机床用户能够直接借鉴该分析过程。

关键词: 棒材; 试样; 拉伸; 数控; 加工

1 序言

金属材料的力学性能试验是原材料入厂入库的必检项目, 其中塑性指标是以拉伸试验后得到的伸长率和断面收缩率作为评价手段。用户进行拉伸试验, 需要按照GB/T 228.1—2021《金属材料 拉伸试

验第1部分: 室温试验方法》预先制作符合要求的拉伸试样^[1, 2]。为获取图1所示的拉伸试样, 用户可以在数控车床、立式加工中心、带锯床及立式铣床等生产装备上, 按编制好的工艺流程和加工程序进行机械加工^[3]。

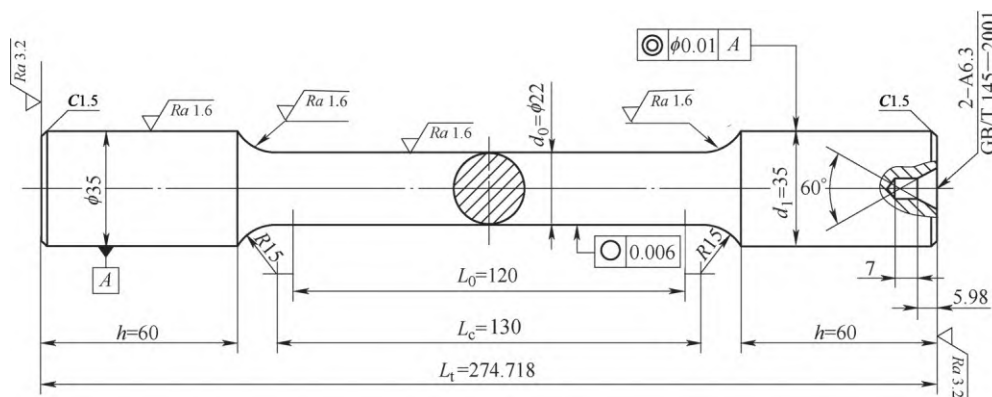


图1 一款头部不带螺纹的棒材拉伸试样结构示意图

2 工序划分与工件装夹

头部不带螺纹的棒材拉伸试样一般是在数控车床或圆拉伸试样加工中心上完成, 期间涉及05序端面钻中心孔、10序头部车削、15序中部车削、20序成品切断4个工序以及棒材喂料、成品取下2个辅助环节^[4]。有的用户是安排操作人员在单机上手动装卸工件后, 执行数控程序一次性实现加工的; 还有用户是由工业机器人完成工件装卸, 数控车床会根

据不同的工序加工要求, 自动进行M辅助功能代码下棒材的装填与Z方向长度供给。

制作拉伸试样的棒材直径为40 mm, 长度600 mm。在其端面钻中心孔后, 主轴侧经液压自定心卡盘进行装夹, 尾座侧经回转顶尖进行顶紧, 如图2所示。数控车床配置GSK 25Ti、FANUC 0i TF或SINUMERIK 828D等CNC系统, 床身为一体树脂砂铸造成型的斜床身, 刀塔为12工位的后

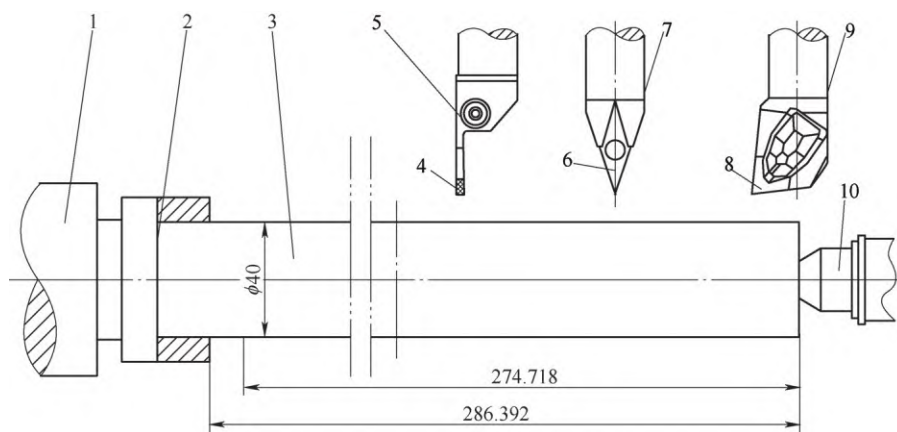


图2 棒材拉伸试样的装夹示意

1—车床主轴 2—液压自定心卡盘 3—试样毛坯 4—切断刀片 5—T-Max® Q-Cut常规刀柄
6—CoroTurn® 107车刀片 7—CoroTurn® 107车削常规刀柄 8—T-Max® P车刀片 9—T-Max® P车削方刀杆 10—尾座回转顶尖MT5

置型伺服刀塔（方刀柄、圆刀柄的最大尺寸分别为25mm×25mm和 $\phi 40$ mm），主轴通孔直径为66mm、拉杆通孔直径为52mm。

3 刀具选择

棒材自 $\phi 40$ mm车削至图1所示的 $\phi 35$ mm、 $\phi 22$ mm，其单边切削量对应为2.5mm和9mm。为满足拉伸试样端面中心孔以及车削两端外圆面、中部

外圆和圆弧的要求，可选择不同品牌切削刀具（见表1）。关于山特维克可乐满转位外圆车刀杆与刀片的编号说明，参见山特维克可乐满官网的样本手册。

为了有效降低切削温度，提高刀具寿命，车削工件时辅以5%的切削液进行冷却。在绘制刀具图形时，可借助山特维克可乐满官网的在线刀具组装机（见图3），根据棒材材质选择刀杆和刀片后，在线

表1 棒材拉伸试样用切削刀具

工序号	刀具编号	刀杆/刀柄规格	刀片规格	加工内容
05	T01	钻领no.6154-20夹紧套筒	钻领no.6155-287 A型右旋中心钻（材质HSS）	端面钻中心孔，夹紧套筒与伺服刀塔的连接采用自制接刀柄
10	T03	DCLNL2020K12（切削刃角95°）T-Max® P车削方刀杆	CNMG120408-PM4415 T-Max® P车刀片	$\phi 40$ mm棒材外圆分2刀车削至 $\phi 35$ mm，第1刀单边切削深度2mm，第2刀单边切削深度0.5mm，保证外圆面表面粗糙度值 $Ra \leq 1.6\mu m$
15	T05	SVVBN2020K16（切削刃角72.5°）CoroTurn® 107车削常规刀柄	VBMT160404-UM1515CoroTurn® 107车刀片	在10序基础上，棒材中部 $\phi 35$ mm外圆车削至 $\phi 22$ mm，两侧圆弧R15mm一并车削出，分为6刀车削，前5刀的每刀X向（径向）切削深度1.2mm、Z向（纵向）切削深度0.875mm，最后1刀的X、Z向切削深度均为0.5mm，保证外圆面与圆弧面的表面粗糙度值 $Ra \leq 1.6\mu m$
20	T07	LF151.23-2020-40M1T-Max® Q-Cut常规刀柄	N151.2-400-5E1125 T-Max® Q-Cut切断刀片	右端至卡盘侧控全长 $L_t=274.718$ mm，采用宽度4mm刀片进行切断



a) DCLNL2020K12方刀杆及刀片

b) SVVBN2020K16常规刀柄及刀片

图3 山特维克可乐满在线刀具组装机器的车刀示意

装配并形成二维图形，下载扩展名为DXF的图形，用于后续绘图及轨迹编程。

4 切削加工程序编制

以图2所示试样毛坯的右端面所在平面为 X_p 轴（指向后置刀塔为正方向），以毛坯中心线所在轴线为 Z_p 轴（远离主轴为正方向），建立工件坐标系（即编程坐标系），点W为对应工序的工件坐标系原点，10、15、20序的工件坐标系相同。按照所选数控车床允许的程序指令格式，将4个工序的工艺过

程、工艺参数（如主轴转速、进给速度等）及切削液开关等辅助动作编写为加工程序（分号后面为注释）。

4.1 05序端面钻中心孔

05序端面钻中心孔如图4所示。中心钻对刀仅控制Z方向即可。钢件在车床上钻中心孔的线速度一般控制在40m/min，按公式 $v_c = \pi Dn/1000$ 计算主轴转速 $n \approx 965 \text{ r/min}$ 。05序端面钻中心孔的加工程序如下。

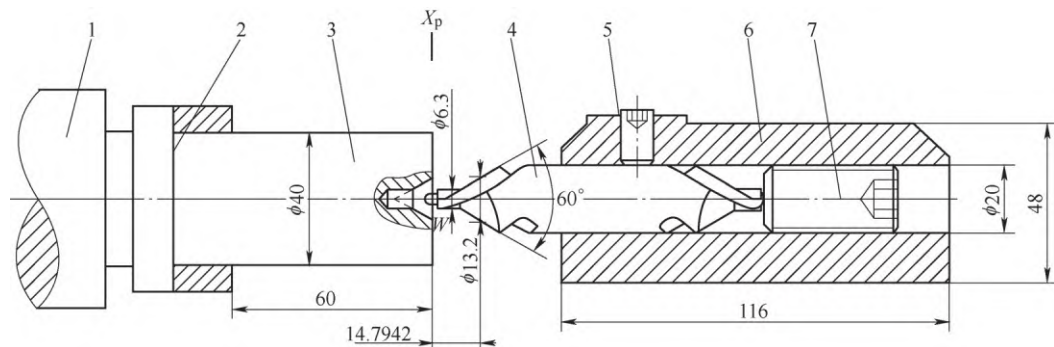


图4 05序端面钻中心孔示意

1—车床主轴 2—液压自定心卡盘 3—试样毛坯 4—钻领A型右旋中心钻 5—内六角平端紧定螺钉 6—钻领no.6154-20夹紧套筒 7—挡块

O0005 (ZHONGXINKONG)；05序端面钻中心孔的程序名称 (FANUC 0i TF系统)

N0010 T0101；调用01号中心钻及01号的刀具补偿量

N0020 S965 M03；主轴在每转进给方式下以965r/min的速度正转，FANUC系统的CNC参数#3402.4/FPM=0给定“系统通电时默认为每转进给方式”

N0030 G00 X0. Z20.；01号中心钻沿X、Z轴快速移动至定位点

N0040 G01 Z0. F1. M08；以1mm/r速度直线移动至端面，开切削液

N0050 Z-14.7042 F0.07；以0.07mm/r速度钻A型中心孔

N0060 Z0. F1. M09；退刀，关切削液

N0070 G00 Z20. M05；快速退刀，主轴停转

N0080 G28 U0 W0；沿X、Z轴快速退回第1参考点，以备后续安全换刀（程序结束符号）

4.2 10序头部车削

C N M G 120408-PM4415刀片基于钢件车削的推荐线速度 $v_c = 345 \text{ m/min}$ 、进给量 $= 0.3 \text{ mm/r}$ ，按公式 $v_c = \pi Dn/1000$ 计算主轴转速 $n \approx 2745 \text{ r/min}$ 。T03号车刀的切削轨迹为：

$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow H \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow D \rightarrow A$ ，如图5所示。10序头部车削的加工程序如下（未包含机器人装卸料的呼叫代码与机床门开关的控制）。

O0010 (TOUBU)；10序头部车削的程序名称 (FANUC 0i TF系统)

N0010 T0303；调用03号中心钻及03号的刀具补偿量

N0020 S2745 M03；主轴在每转进给方式下以2745r/min的速度正转

N0030 G00 X70. Z5.；02号车刀沿X、Z轴快速移动至A点

N0040 G01 X36. Z0. F1.0 M08；以1mm/r速度直线插补至B点，开切削液

N0050 Z-274.718 F0.3；以0.3mm/r速度直线插补至C点

N0060 X40.；直线插补至D点

N0070 G00 X70. M09；快速退刀至H点，关切削液

N0080 Z5.；快速返回起始点A

N0090 G01 X32. Z0. F1.0 M08；以1mm/r速度直线插补至E点，开切削液

N0100 X35. Z-1.5 F0.2；以0.2mm/r速度直线插补至F点

N0110 Z-274.718；直线插补至G点

N0120 G00 X70. M09；沿X轴快速退刀至D点，关切削液

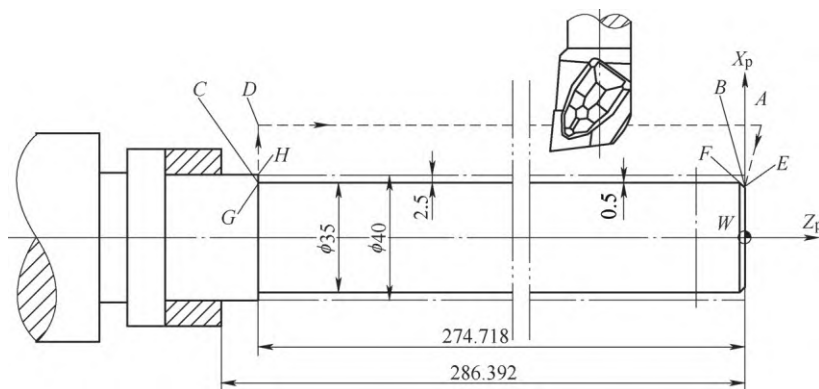


图5 10序头部车削轨迹示意

N0130 Z5.M05; 沿Z轴快速退刀至A点, 关主轴

N0140 G28 U0 W0; 沿X、Z轴快速退回第1参考点, 以备后续安全换刀 (程序结束符号)

4.3 15序中部车削

VBMT160404-UM1515刀片基于钢件车削的推荐线速度 $v_c = 205\text{m/min}$ 、进给量 $= 0.2\text{mm/r}$, 按公式 $v_c = \pi Dn/1000$ 计算主轴转速 $n \approx 1865\text{r/min}$ 。由于中部车削左右两侧均有圆弧, 左侧圆弧 ΔZ 为正向递增, 而右侧圆弧 ΔZ 为负向递减, 不符合FANUC

系统G73轮廓粗车削循环的使用要求, 为防止过切或少切, 换用逐刀轨迹编程, 对10序半成品进行粗加工和精加工。粗加工分为5刀, 每刀X向切削深度 1.2mm 、Z向切削深度 0.875mm 。精加工为1刀完成, 在X、Z向的切削深度均为 0.5mm 。每刀切削轨迹为: $A \rightarrow I_n \rightarrow J_n \rightarrow K_n \rightarrow L_n \rightarrow M_n \rightarrow I_n$, $n = 1 \sim 6$; 如图6所示。15序中部车削的加工程序如下 (未包含机器人装卸料的呼叫代码与机床门开关的控制)。

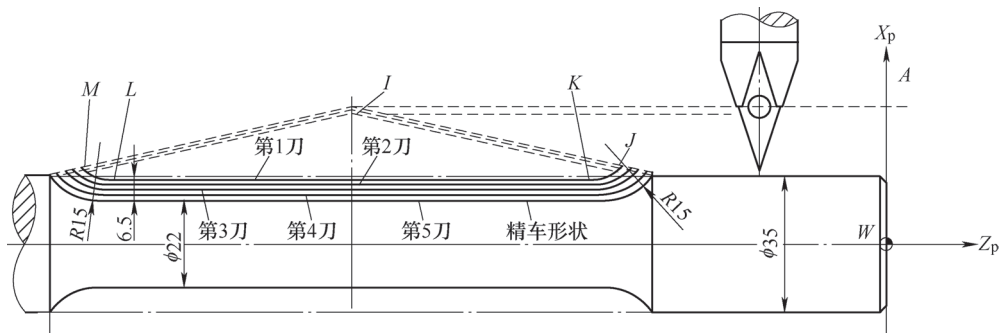


图6 15序中部车削轨迹示意

O0015 (ZHONG); 15序中部车削程序

T0505; 调05号车刀及其刀具补偿量

S1865 M03; 主轴每转进给方式下正转

G00 X70. Z5.; 车刀沿X、Z轴快移至A点

X66.12 Z-137.3592; 快移至 I_1 点 (第1刀起)

X37.0 Z-68.5387 M08; 快移至 J_1 点, 开切削液

G03 X32.6 Z-76.3592 R15. F0.15; 后置车刀逆时针插补圆弧 $R15\text{mm}$ 至 K_1 点

G01 Z-198.3592 F0.2; 直线插补 L_1 点

G03 X37. Z-206.1797 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧 $R15\text{mm}$ 至 M_1 点

G00 X67.205 Z-137.3592; 快退至 I_2 点 (第2刀起)

X37. Z-65.9742; 快移至 J_2 点

G03 X30.2 Z-75.4842 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧 $R15\text{mm}$ 至 K_2 点

G01 Z-199.2342 F0.2; 直线插补 L_2 点

G03 X37. Z-208.7442 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧 $R15\text{mm}$ 至 M_2 点

G00 X68.125 Z-137.3592; 快退至 I_3 点 (第3刀起)

X37. Z-63.8; 快移至 J_3 点

G03 X27.8 Z-74.6092 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧 $R15\text{mm}$ 至 K_3 点

G01 Z-200.1092 F0.2; 直线插补 L_3 点

G03 X37. Z-210.9185 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧

R15mm至M₃点

G00 X68.9346 Z-137.3592; 快退至I₄点 (第4刀起)

X37. Z-61.8868; 快移至J₄点

G03 X25.4 Z-73.7342 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧

R15mm至K₄点

G01 Z-200.9842 F0.2; 直线插补L₄点

G03 X37. Z-212.8316 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧

R15mm至M₄点

G00 X69.6608 Z-137.3592; 快退至I₅点 (第5刀起)

X37. Z-60.17; 快移至J₅点

G03 X23. Z-72.8592 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧R15mm

至K₅点

G01 Z-201.8592 F0.2; 直线插补L₅点

G03 X37. Z-214.5478 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧

R15mm至M₅点

G00 X70. Z-137.3592; 快退至I₆点 (第6刀起)

X37. Z-59.3688; 快移至J₆点

G03 X22. Z-72.3592 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧R15mm

至K₆点

G01 Z-202.3592 F0.2; 直线插补L₆点

G03 X37. Z-215.3496 R15. F0.15; 逆时针插补圆弧

R15mm至M₆点

G00 X70. Z-137.3592 M09; 快退至I₆点, 车削完大切削液

Z5. M05; 沿Z轴回起始点A, 关主轴

N0140 G28 U0 W0; 沿X、Z轴快速退回第1参考点

M30; 程序结束符

4.4 20序成品切断

N151.2-400-5E1125 T-Max[®] Q-Cut刀片基于钢件切断的推荐线速度 $v_c = 180\text{m/min}$ 、进给量 $= 0.12\text{mm/r}$, 按公式 $v_c = \pi Dn/1000$ 计算主轴转速 $n \approx 1433\text{r/min}$ 。由于LF151.23-2020-40M1 T-Max[®] Q-Cut常规刀柄的最大无障碍切削深度为25mm, 拉伸试样的切断半径为20mm, 所以采取直接切断的方式即可, 无需宏编程进行刀具的纵向Z轴往复车削。T07号切断刀的轨迹为: A→N→P→Q→P→N→A, 如图7所示。20序成品切断的加工程序如下 (未包含机器人装卸料的呼叫代码、机床门开关与自动喂料的控制)。

O0020 (CUT); 20序成品切断的程序名称 (FANUC Oi TF系统)

N0010 T0707; 调用07号切断刀及07号的刀具补偿量

N0020 S21433 M03; 主轴在每转进给方式下以1433r/min

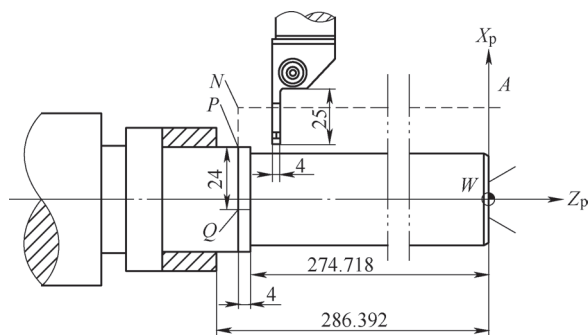


图7 20序成品切断轨迹示意

的速度正转

N0030 G00 X70. Z5.; 车刀沿X、Z轴快移至A点

N0040 Z-278.7184; 沿Z轴快移至N点

N0050 G01 X42. F1.0 M08; 以1mm/r速度直线插补至P点, 开切削液

N0060 X-8.0. F0.12; 以0.12mm/r速度直线插补至Q点

N0070 X42. M09; 沿X轴退刀回P点, 关切削液

N0080 G00 X70.; 沿X轴快速退刀回N点

N0090 Z5.M05; 沿Z轴快速退刀至A点, 关主轴

N0010 G28 U0 W0; 沿X、Z轴快速退回第1参考点, 以备后续安全换刀 (程序结束符略)

5 结束语

高效、经济的现代数控加工技术离不开优秀的工艺师, 面对产品图样, 从工艺布局、设备选用、工步划分、工件装夹、刀具选择、程序编制以及辅料供应等, 工艺师需要全部考虑, 既要兼顾其他产品的加工, 还要立足现有资源快速完成目标产品的加工, 尽可能做到工艺流程短、物流供应顺畅、切削参数最优、刀具寿命最长、程序短且无过切或欠切等。

参考文献:

- [1] 刘胜勇. 汽车冲压桥壳总成的工艺分析[J]. 金属加工 (冷加工), 2016 (12): 34-38.
- [2] 杨再春. 超高强度不锈钢冷轧薄带材拉伸变形特征[J]. 特钢技术, 2016, 22 (3): 14-17.
- [3] 尹相辉, 孙继强. 棒材拉伸冲击试样一体加工的复合机床简介[J]. 物理测试, 2016, 34 (6): 60-62.
- [4] 张沛, 张利民. 缺口对铝合金棒材拉伸性能的影响[J]. 机械工人, 2006 (12): 72-73.

MW 20241008