整体轮加工效率和程序的优化

■ 中车株洲电力机车有限公司技师协会 （湖南 412001） 邹 毅

摘要：现由于需要，产量由600个/月要提高到1 000个/月，原加工工艺已不能满足现在生产计划需求。通过工艺分析，提出合理的加工路线、优化程序、优选刀具等措施，实现了整体轮加工质量、效率的提高，降低了生产成本、劳动强度。

随着铁路运输需要，机车速度和牵引吨位不断提高，要求机车整体轮生产能力提高2～3倍。整体轮生产按照原来的工艺已无法满足生产需求。德国进口锻件整体轮如图1所示，毛坯质量约为1 000kg，孔与外圆严重偏心，内孔偏心和轮廓直径加工余量大，且轮坯表面附着硬度很高的氧化层及钢印号，切削中费时又费刀，直接影响生产效率及产品的质量，针对上述一系列加工难点，合理选择整体轮加工工艺路线，优化程序，优选刀具，有效保证质量与加工效率成为生产中的当务之急。



图1 德国进口整体轮毛坯实物

1. 整体轮加工难点分析及应对措施

在型号CK5116B-4A的数控立车上加工整体轮毛坯，其工艺难点表现为以下几个方面：

原来是把内侧平面、孔（见图2）放在C5116B普通立式车床

$$a_0=\frac{m\cdot(z-z_0)}{2}\cdot\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_0}$$

$$\mathrm{inv}\alpha_0=\frac{2(x-x_0)\cdot\tan\alpha}{z-z_0}+\mathrm{inv}\alpha$$

计算过程为

$$\mathrm{inv}\alpha_0=\frac{2(0-0.035)\cdot\tan30^\circ}{18-10}+\mathrm{inv}30^\circ=0.048\,699$$

查渐开线函数a_0=29° 6′ ，则有

$$a_0=\frac{1\cdot(18-10)}{2}\cdot\frac{\cos30^\circ}{\cos29^\circ6'}=3.965\ (\mathrm{mm})$$

r_{a0}=9.81－3.965=5.845（mm）

通过以上计算插齿刀顶圆直径：5.845×2=11.69（mm）。

式中，m为模数，m=1；z内花键齿数，z=18；z_0为插齿刀齿数，z_0=10；α为压力角；α_0为插齿啮合角；x为内花键变位系数，x=0 ；x_0为插齿刀的变位系数，x_0=0.035。

选择合适的柄部直径：插齿时加工到齿根圆最大为ϕ19.5mm+0.18mm=19.68mm，要求插齿刀的柄部与零件ϕ22H9不干涉，所以两者之间的直径差为22－19.68=2.32（mm），插齿刀顶圆直径加上2.32mm，直径差为柄部直径的最大值：11.69+2.32=14.01（mm），从安全和强度综合考虑，确定柄部直径为ϕ13mm，根据以上计算结果，参考标准插齿刀外形结构和参数，绘制插齿刀工作图（见图2）。

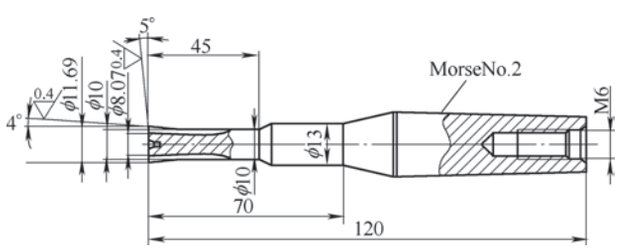


图 2

4. 结语

通过以上分析和计算，确定了渐开线内花键插齿刀外径，保证了内花键齿根圆有公差的特殊要求，经插齿刀试加工，满足内花键的技术要求。MW

（收稿日期：20151012）

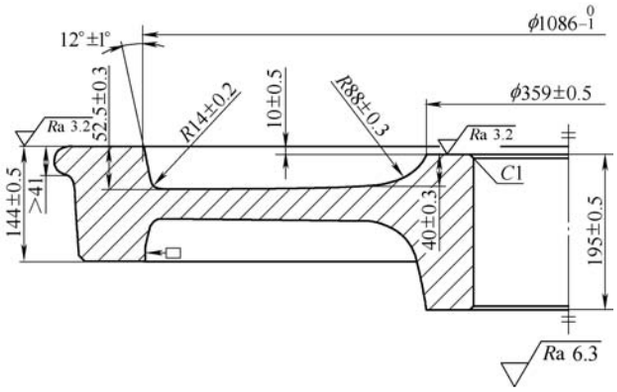


图2 内侧面加工工序

上加工，外侧面、内弧面和踏面分别在数控车床上加工，因装夹次数过多，定位基准面位移产生0.5～1mm的定位误差，定位精度不能保证。由于普通立车上加工内侧平面、孔，工序简单、加工速度快，造成占地面积大，且多一台普通立车就要增加操作工人。

分析上述不利的因素，决定拟定一条合理的工艺加工路线，减少装夹次数，在普通立车上把外侧面和孔在一次装夹中加工出来，利用如图3所示的夹具，把内侧面和踏面（见图4）一次加工出来，把加工顺序及走刀路线集中分配，不仅利于车削加工，还保证了尺寸精度，效率明显提高。

原编制加工程序利用G94恒转速车削，加工时主轴转速恒定，通过手动调节进给倍率开关和主轴倍率开关，这样加工费时

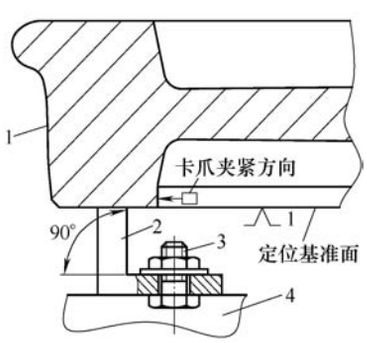


图3 内侧面加工夹具

1.工件 2.90° 等高铁 3.压紧螺杆 4.工作台

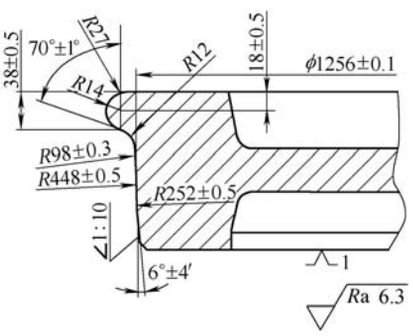


图4 踏面加工工序

注：*R*12mm、*R*14mm、*R*18mm、*R*27mm公差均为±0.2mm

费力。

经过分析，考虑应修改程序加工指令，用恒线速车削指令代替G94恒转速，使整个工件加工时保证恒定的切削速度，减少了因切削速度变化引起工件表面结构不一致的现象，充分发挥了数控机床的优势。

粗加工大型锻件毛坯，由于毛坯偏心、加工量不均匀等因素，在编制加工程序方面应考虑每道工序尽量减少空行程，按最短路线安排加工表面的加工顺序。加工内侧圆弧和外侧圆弧如图5所示，原加工程序是利用“环绕法”加工编制，加工时的不利条件有：加工内弧面和外侧面，由于毛坯量集中在两边圆弧，中间平面加工余量偏少，粗加工过程造成空行程时间过长；空行程时，刀片接触毛坯表面氧化层，导致刀片磨损快，降低了刀具寿命。

原工艺用φ28mm刀具加工，由于该刀具刀片接触面积宽，切削抗力大，易引起振动，使切削不平稳，对机床精度有很大影响。

应对措施是采用刀片直径较小的涂层硬质合金刀具取代现用刀具，这样可减小切削抗力，使切削更平稳，涂层刀具具有承受高速切削和强力切削的性能，耐磨性更好，不仅有利于提高功效，而且降低了刀具消耗。

2. 改进加工工艺

（1）制定合理的工艺路线。原加工工艺路线：车内侧平面、车孔→车外侧面→车内侧弧面、车踏面。

新工艺加工路线：车外侧面、车孔→车内侧面、车内平面、内弧面、踏面，新的工艺路线体现了以下优点：①工序变得连贯，加工一个整体轮，两道工

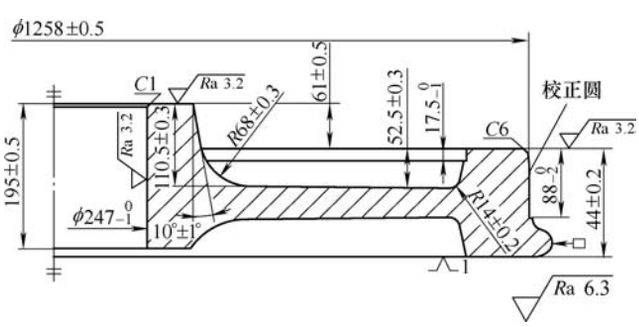


图5 外侧面加工工序

序共耗时约2h，生产效率高。②减少了设备数量（两台数控加工）、操作工人人数和占地面积，节省人力物力。③减少了工件装夹次数，由原来的3次装夹减少到2次装夹，定位误差大大减小，缩短了辅助时间，同时也为后继工序（比如装夹、吊运和翻面）带来了方便，生产效率显著提高。

在新的工艺路线中，外侧面和孔可以通过1次装夹加工出来，内侧面可以在1次装夹中加工出来。新的工艺加工1个整体轮，两道工序耗时仅仅2h左右，与原来的加工工艺相比，工效提高两倍，充分达到了工艺创新的目的。

（2）优化加工程序。①将G94恒转速改用G96恒线速加工，使切削速度不因直径大小的改变而改变，始终保持恒定的切削速度。②因毛坯加工量不均匀，毛坯偏心严重，原加工程序是用G41，现决定把原加工程序分两段加工。加工程序如表1～表3所示（表1为主程序，表2、表3是分段程序）。

主程序LZ-B1分为：LZ-B-1补偿G41刀具半径，轮廓左边，顺时针车削加工；LZ-B-2补偿G42刀具半径，轮廓右边，逆时针车削加工。

把主程序LZ-B1分两段加工，既缩短了加工路线，减少了刀具空行程时间，提高了工作效率，仅加工内侧圆弧面就节约了13min左右的空行程走刀，又减少了一次换刀片的时间。通过计算，利用程序分段加工一个整体轮可以节约加工时间26min左右；由于弧板面中间斜面毛坯量只有一刀，采用分段加工避免了刀片直接接触氧化层而磨损刀片，降低了刀具磨损，延长刀具使用寿命；提高了工作效率，降低了刀具的消耗，体现了“提高生产率和降低成本”这个目的，从而实现精益生产。

（3）优选加工刀具。整体轮材料分析如表4所示，通过了解整体轮材质及硬度，粗加工较大的锻件毛坯，首先考虑刀具材料

表1 数控加工程序单

机床系统 SINUMERIK 802D sl		
加工耗时 30 min		
程序		说明
LZ-B1		程序名
N10	T1 D1	选择1号刀，建立刀补
N20	M03 S45	启动主轴
N30	G90 G94 G41	绝对尺寸，恒定转速，左刀补
N40	G00 X1090.26 Z21 F100	快进至进刀点，进给率f（mm/min）
N50	G01 X1068 Z-30.41 F60	直线插补
N60	G03 X1040.74 Z-41.5 CR=14	逆时针圆弧插补
N70	G01 X504.48 Z-38.96	直线插补，走斜面
N80	G03 X360 Z0 CR=88	逆时针圆弧插补
N90	G00 Z100 G40	Z向快速退刀，取消刀补
N100	G00 X100 M05	X向快速退刀
N110	M02	程序结束

表2 数控加工程序单

机床系统 SINUMERIK 802D sl		
加工耗时 10 min		
程序		说明
LZ-B-1		程序名
N10	…S75	同上
N30	G90 G96 G41	绝对尺寸，恒定切削速度，左刀补
N40	G00 X1090.26 Z21 F20	快进至进刀点，进给率f（mm/r）
N50	G01 X1068.4 Z-30.41 F1.5	直线插补
N60	G03 X1040.74 Z-41.5 CR=14	逆时针圆弧插补
N70	…	同上

表3 数控加工程序单

机床系统 SINUMERIK 802D sl		
加工耗时 7min		
程序		说明
LZ-B-2		程序名
N10	…S70	同上
N30	G90 G96 G42	绝对尺寸，恒定切削速度，右刀补
N40	G00 X350 Z15 F20	快进至进刀点
N50	G01 X360 Z0 F1.5	直线插补
N60	G02 X504.48 Z-38.96 CR=88	顺时针圆弧插补
N70	G00 Z100 G40	Z向快速退刀，取消刀补
N80	…	同上

表4 整体轮材料汇总

零件名称	出产地	材质	牌号	硬度/HBW
整体轮	德国	整体轮钢	R8T	280

应具有较高的切削性能和刀具寿命，因此在六轴车整体轮粗加工中应尽量使用优质高效刀具，充分把数控立车的效率发挥出来。

在刀具选择方面进行了分析、比较和试验等大量工作，最后优化筛选出用ϕ20mm涂层硬质合金刀具取代ϕ28mm的大直径圆弧刀具。用ϕ20mm涂层硬质合金的小直径圆弧刀具加工，刀具实物如图6所示。该刀具的优点如下：①此刀具刀片直径小，切削时刀片接触面积小，降低了切削抗力，无振刀现象，并对机床损耗小。②刀片材料为涂层硬质合金，具有表面硬度高、耐磨性好且能承受高速切削和强力切削等特性。③切削效率高，切削时比未涂层刀具寿命高3～4倍，切削速度高20%～70%，加工精度高0.5～1级，刀具消耗费用降低20%～50%。



图6 圆弧刀

注：左边为ϕ20mm小直径圆弧刀杆，右边为ϕ28mm大直径圆弧刀杆

（4）使用ϕ20mm涂层硬质合金刀具和使用ϕ28mm刀具比较如下：

在加工内侧面和踏面圆弧时，用ϕ28mm大直径圆弧刀杆切削，抗力大、切削速度慢、起刀距离远、走刀时间长，加工1个内侧圆弧面就要1片刀片，该刀片价值人民币38.9～42元。用ϕ20mm的小直径圆弧刀杆加工，加工4个内侧圆弧面才换1次刀片，每片刀片费用约人民币68～73.55元。

ϕ28mm刀具车削表面有振动波纹，还需要再精车，尺寸精度、表面结构达不到图样要求；新刀片切削效率高，由原来的转速n=25r/min提高到n= 45r/min，进给量f由原来的0.3～0.5mm/r提高到了0.5～1mm/r；可以一次加工到尺寸，可以有效地控制尺寸精度。

由于ϕ28mm刀具接触面大而引起的机床振动，对机床损耗很大，机床故障率较高。班组5台数控立车维修工时多达150h左右，改用ϕ20mm刀具后，5台数控立车每月维修工时最高70h。

加工内侧面里面平面时，两种刀具切削三要素的比较如表5所示。

上述加工过程中可以看到，ϕ20mm的小直径圆弧刀杆优势非常明显，该刀具具有良好的耐磨性和耐热性，特别适合高速切削；由于其耐用度高、通用性好，加工时可以有效减少换刀片次数，提高加工效率，推动了整体轮粗加工切削的进步。

表5 两种刀具实践加工中切削三要素的比较

刀具规格/mm	进给量f/（mm·r^{-1}）	背吃刀量a_p/mm	切削速度v_c/（m·min^{-1}）	工件直径D/mm	转速/（r·min^{-1}）
ϕ28	0.4～0.6	4～5	67.8	360	60
ϕ20	0.7 ～1	5～9	90.4	360	80

3. 结语

更改整体轮加工工艺实现了工序的集中，大大提升了工作效率，节约了1次装夹校正的辅助时间；对加工程序的优化，从根本上消除了不必要的空行程走刀，减少了刀具的不必要磨损，大大提高了刀具寿命，从根本上提高了整体轮粗加工效率，由改进前粗加工一个车轮要用4h，通过3道工序才能完工，现仅用2h，通过两道工序加工完成一个车轮；由原来一个班只能加工3个车轮提高到每个班完成6个车轮，提高工效两倍，产品的一次交检合格率达到99.98%。

通过对刀具的优选，用ϕ20mm的刀具取代ϕ28mm刀具，刀片可以节约60元/班，按11台数控机床三班倒计算，每月可节约5 1480元，一年可节约刀具消耗成本约617 760元。产品质量大幅提高，表面结构完全符合图样要求。

参考文献：

[1] 晏丙午. 高级车工工艺与技能训练[M]. 北京：中国劳动社会保障出版社，2006.

[2] 王公安. 车工工艺学[M]. 北京：中国劳动社会保障出版社，2005.

MW（收稿日期：20151109）