基准球在机械加工找正中的应用

平常在，杨青霖
河北钢研德凯科技有限公司　河北保定　072750

摘要：针对表面为复杂曲面铸件机械加工找正难的问题，采用三维扫描技术准确地对铸件及基准球进行扫描对比，得到了其尺寸精度结果。并根据基准球的扫描结果实现了对铸件的精确找正，为实现复杂曲面铸件机械加工找正提供了可参考的有效解决方案。

关键词：复杂曲面铸件；基准球；三维扫描；机械加工；找正

1　序言

随着社会的发展和技术的进步，精密铸造产品精度要求越来越高，一般尺寸公差要满足HB 6103-2004中CT5～CT8级。特别是表面为复杂曲面的铸件，其曲面一般为非加工面，面轮廓度要求较高，且加工后相对于加工基准的面轮廓度要求也很高（相对于加工基准，面轮廓度≤0.6mm）。铸件曲面的面轮廓度通常采用三维扫描的方法进行检测，加工时经常是加工前的面轮廓度合格，但是按照划线找正加工后，相对于加工基准的面轮廓度就会超差，造成产品报废的情况发生[1]。

2　三维扫描技术

三维扫描一般使用蓝色激光器作为光源，通过扫描器控制光束的移动方向，将蓝光投射到被扫描的目标物体上，并利用光电传感器接收目标物体反射回来的光信号，通过信号处理的方式获取目标物体的图像信息（3D点云数据）。通过三维检测软件将3D点云数据与理论数模进行对比计算，得出目标物体与理论数模的偏差值，从而判定目标物体是否合格。三维扫描精度一般在0.020～0.035mm/m。目前，三维扫描在铸造行业中的应用越来越普遍，几乎成为铸件检测的标配[2]。

3　实施方案

本文以涡扇发动机放气活门为例进行说明。放气活门毛坯为精密铸造产品，内通道为非加工曲面，经加工后，要求内通道曲面的面轮廓度相对于加工基准≤0.6mm（±0.3mm）。其生产流程为：精密铸造→三维扫描检验确认铸件合格→根据扫描结果加工基准→三维扫描检验确认铸件合格。

3.1　三维扫描前的准备工作

加工出若干个基准球（见图1），基准球直径公差控制在±0.01mm范围内。将基准球底部支座粘接到铸件本体上，使基准球与铸件成为一个整体（见图2）。基准球粘接要点：①基准球数量不能低于3个，不能粘在同一条直线上，应分布在铸件周圈。②粘接位置能够扫描到，无扫描盲区。③粘接位置

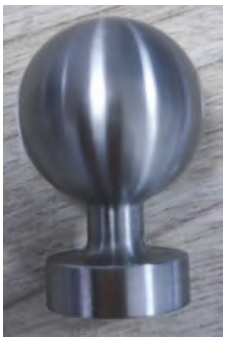


图1　基准球

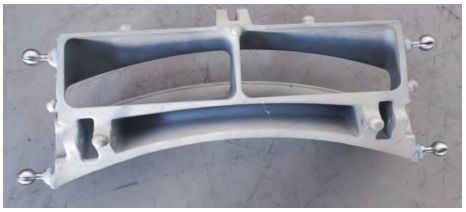


图2　基准球与铸件粘接

方便后续机械加工打表找正，且不干涉机械加工装夹。④基准球表面喷涂白色显像剂，防止扫描时反光。⑤基准球要粘接牢固，防止后续运输、打表找正时脱落。

3.2 三维扫描基准球与铸件的组合体并对比结果

使用非接触式光学扫描机对铸件组合体进行扫描，得到3D点云数据。利用三维数据处理软件将3D点云数据与理论数模进行最佳拟合（见图3），使铸件组合体与理论数模尺寸达到合格状态，即非加工面的面轮廓度符合图样要求，加工面余量满足加工要求[3, 4]。3D点云数据与理论数模对比结果如图4所示，通过三维数据处理软件计算得出基准球的直径尺寸及球心坐标数据（见表1）。

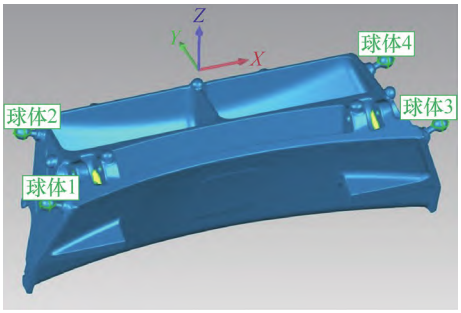


图3 3D点云数据与理论数模最佳拟合后

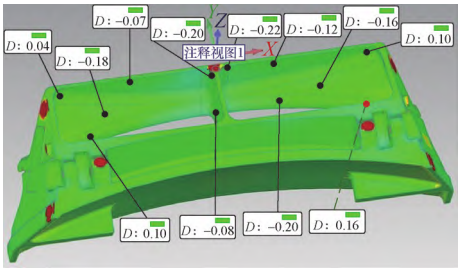


图4 3D点云数据与理论数模对比结果

表1 基准球直径及球心坐标

编号	直径	球心坐标		
		X	Y	Z
1#基准球（球体1）	D_1	X_1	Y_1	Z_1
2#基准球（球体2）	D_2	X_2	Y_2	Z_2
3#基准球（球体3）	D_3	X_3	Y_3	Z_3
4#基准球（球体4）	D_4	X_4	Y_4	Z_4

3.3 建立加工坐标系

（1）找正Z向 ①打表找正1#基准球顶面，机床Z向归零。②移动铸件，通过打表找正，使2#基准球顶面与1#基准球顶面落差满足：（$|Z_2|-D_2/2$）－（$|Z_1|-D_1/2$）。③移动铸件，通过打表找正，使3#基准球顶面与1#基准球顶面落差满足：（$|Z_3|-D_3/2$）－（$|Z_1|-D_1/2$）。④通过打表找正，验证4#基准球顶面与1#基准球顶面落差满足：（$|Z_4|-D_4/2$）－（$|Z_1|-D_1/2$）。

（2）找正Y向 ①打表找正1#基准球Y向侧面，机床Y向归零。②旋转铸件，通过打表找正，使3#基准球Y向侧面与1#基准球Y向侧面的落差满足：（$|Y_3|+D_3/2$）－（$|Y_1|+D_1/2$）。③通过打表找正，验证4#基准球Y向侧面与1#基准球Y向侧面落差满足：（$|Y_4|+D_4/2$）－（$|Y_1|+D_1/2$）。

（3）建立加工坐标系 ①采用分中棒找到1#基准球X向侧面最高点，沿X正方向移动（$|X_1|+D_1/2$+分中棒半径）的距离，机床X轴归零。②采用分中棒找到1#基准球Y向侧面最高点，沿Y正方向移动（$|Y_1|+D_1/2$+分中棒半径）的距离，机床Y轴归零。③打表找正1#基准球顶面，机床主轴向Z正方向移动（$|Z_1|-D_1/2$），机床Z轴归零。

3.4 加工基准面

本方案加工了A_1、A_2、A_3、B_1、B_2和C共6个基准面，如图5所示。A_1、A_2和A_3基准形成的面控制了工件3个自由度，即Z轴方向的平移和绕X、Y轴方向的旋转。B_1、B_2基准形成的线控制了工件2个自由度，即沿Y轴方向的平移和绕Z轴的旋转。C基准形成的点控制了工件1个自由度，即沿X轴方向的平移[5]。

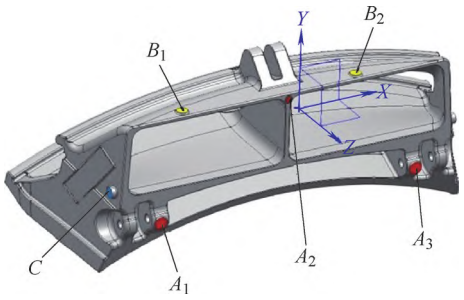


图5 基准面

4 试验数据

产品加工6个基准面后，再次进行三维扫描。通过三维数据处理软件将6个基准面与理论数模对齐后（见图6），查看加工后的基准球直径尺寸及球心坐标数据，以及内通道曲面偏移数据，与加工前的数据进行对比（见表2、表3），得到内通道曲面相对于6个基准面的位置精度。

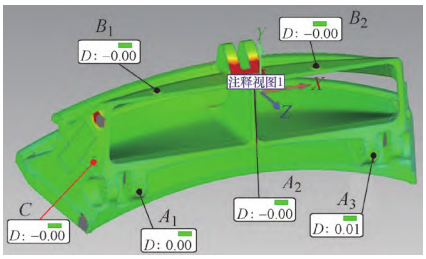


图6　6个基准面与理论数模对齐

通过表2数据可以看到，加工前后基准球直径偏差为0～0.01mm，基准球球心坐标偏差为0～0.05。通过表3数据可以看到，加工前后内通道曲面偏差为0～0.05mm。

加工后，内通道曲面相对于6个基准面偏差为－0.23～0.16mm，低于±0.3mm（面轮廓度0.6mm）的图样要求，面轮廓度合格。

表2　基准球加工前后对比

编号		基准球直径/mm	球心坐标		
			X	*Y*	*Z*
1#基准球	加工前	11.97	－157.18	－95.95	－23.21
	加工后	11.98	－157.16	－95.99	－23.21
	偏差	0.01	0.02	0.04	0
2#基准球	加工前	11.97	－145.02	－11.39	－15.21
	加工后	11.97	－145.06	－11.35	－15.21
	偏差	0	0.04	0.04	0
3#基准球	加工前	11.98	156.41	－96.34	－22.84
	加工后	11.97	156.45	－96.31	－22.88
	偏差	0.01	0.04	0.03	0.04
4#基准球	加工前	11.96	144.57	－13.60	－15.34
	加工后	11.97	144.57	－13.65	－15.31
	偏差	0.01	0	0.05	0.03

表3　内通道曲面加工前后对比　（单位：mm）

检测点	加工前（最佳拟合对齐）	加工后（基准对齐）	加工前后偏差	面轮廓度是否合格
1#	0.04	0.06	0.02	合格
2#	－0.18	－0.17	0.01	合格
3#	－0.07	－0.04	0.03	合格
4#	－0.20	－0.20	0	合格
5#	－0.22	－0.23	0.01	合格
6#	－0.12	－0.08	0.04	合格
7#	－0.16	－0.16	0	合格
8#	0.10	0.14	0.04	合格
9#	0.10	0.05	0.05	合格
10#	－0.08	－0.05	0.03	合格
11#	－0.2	－0.21	0.01	合格
12#	0.16	0.16	0	合格

5　结束语

在铸件扫描前粘接基准球，将基准球与铸件作为整体进行三维扫描。通过三维数据处理软件计算得出基准球的直径尺寸、球心坐标和铸件曲面偏差数据。根据基准球进行找正、建立坐标系并加工基准面。最后进行三维扫描终检，再以加工的基准面作为对齐基准，查看铸件是否合格。通过试验证明，该工艺方法可以解决复杂曲面铸件的找正问题，且精度可以控制在0.05mm以内。

参考文献：

[1] 刘俊，刘泗溢，杜海军. 钛合金精密铸件基准传递形式应用综述[J]. 精密成形工程，2018（3）：137-142.

[2] 岳小东，孟祥炜，蒋清，等. 面向机械加工的异型复杂铸件三维扫描坐标准匹配应用[J]. 铸造技术，2019（8）：842-844.

[3] 代卫华，杜波，周璐. 三维扫描在缸体缸盖铸件检测和机械加工以及模具制作中的典型应用[J]. 铸造设备与工艺，2020（5）：41-44.

[4] 张文杰. 三维激光扫描技术在铸件检测中的研究应用[J]. 铸造设备与工艺，2022（3）：44-50.

[5] 杨叔子. 机械加工工艺师手册[M]. 2版. 北京：机械工业出版社，2011.

MW 20241008