近似法加工在高速动车组中的应用

南车青岛四方机车车辆股份有限公司 （山东 266111） 魏海霞 王 海

目前国内多条高铁路线的开通（京津高铁、京沪高铁等），预示着中国高铁时代的来临，也使高速动车组制造企业的工业生产规模不断扩大，其集成化以及高新技术的发展，朝着大型化、复杂化方向发展。高速动车组在生产过程中采用了多种铝型材，铝型材多为三维零件并需精加工，其结构复杂，加工部位受限，导致加工条件苛刻。如高速动车组门口角铝，其上下面及各处过渡均为圆弧，四周为斜面。具体形状如图1所示。

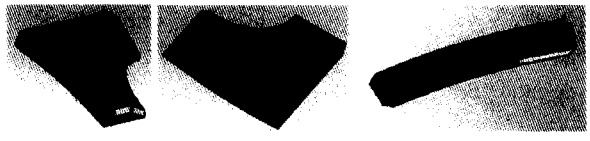

图1 三维模型

本文以高速动车组门口角铝底面圆弧的加工为例，使用近似法铣削大半径圆弧面的方法，解决了普通机床不能加工圆弧面的不足，在保证产品加工精度的前提下，提高了生产效率。

1. 原加工方法

圆弧面的加工方法有多种，常用的有刨、插等。随着数控技术的发展，目前加工圆弧面常用数控插补的铣削方法。高速动车组门口角铝底面圆弧为R665mm，圆弧深度为6mm，用加长立铣刀数控插补铣的方法加工圆弧，受刀具、工装及机床的限制，走刀次数分别为2刀和4刀，每刀切深仅0.5mm，一块门口角铝的加工走刀次数为12～13刀，加工效率低，不能满足生产进度要求。原采用加工方式如图2所示。

此加工方式存在的问题：①因刀具太长，圆弧面下部受切削抗力及刀具刚性的影响存在让刀现象，影响加工质量。②受刀具及切削方式的限制，吃刀深度小。③如图2所示，切削加工中，需要人工用小钩子将切屑及时清理，否则切屑夹在刀具及工件之间容易使刀具折断。

图2 数控铣加工方式

2. 近似法加工

（1）加工原理。机械加工过程中，铣床加工平面时容易出现凹心现象，产生的原因是机床主轴与机床工作台不垂直。近似法加工大半径浅圆弧槽的基本原理是：用半径小于所加工圆弧（但要大于圆弧槽宽度）的盘铣刀或立铣刀，将机床主轴倾斜一个合理的角度，此时铣刀截面在刀具前进方向上的投影为一椭圆，以椭圆弧近似代替圆弧的方法来加工出所需要的大半径浅圆弧槽。具体如图3所示，弧AC即所需加工的弧面。

（2）圆弧尺寸的计算。由图3可知，所需切除的部分为弓形。圆弧半径为R，圆弧槽深度为H，弓形圆弧槽弦长为L，三者之间的关系为：$(R-H)^2+(L/2)^2=R^2$，即$L^2/4=H(2R-H)$，只要知道其中的任意两个参数，即可求得第三个参数。

（3）机床主轴倾斜角度的计算。由图3中右图可知，$\alpha=\arcsin(H/S)$，$S=r-\sqrt{r^2-(L/2)^2}$，其中S为直线DF的长度，r为所用铣刀半径，由此可以求得主轴的倾斜角度与所用铣刀直径之间的相互关系，即$\alpha=\arcsin(H/S)=\arcsin\{H/[r-(r^2-(L/2)^2)^{1/2}$

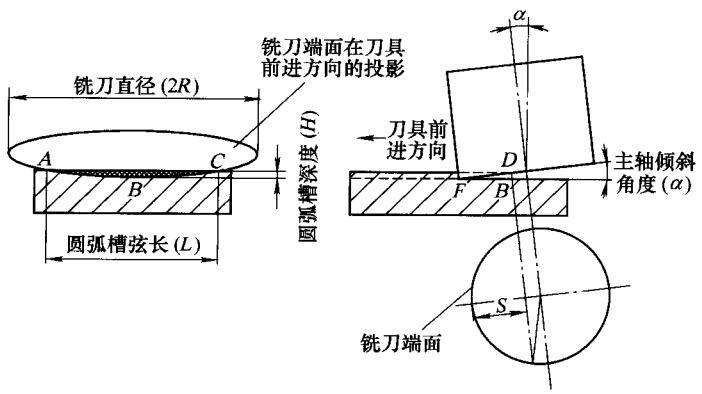

图3 近似法加工原理图

]}。此公式的应用条件为：$R>r$（所要加工的圆弧半径大于加工时所用铣刀的半径），$2r>L$（加工时所用铣刀的直径大于所加工圆弧面的弦长）。

3. 加工设备及刀具的选用

（1）铣床的选用。选用可以自由调整机床主轴角度的万能铣床，且调整的过程越简单、越容易、效果越好。根据实际的设备情况，选用小型万能铣床。

（2）铣刀盘的选用。为了提高加工效率，保证加工质量，降低对机床设备的要求，在此选用分层铣削刀盘。此刀具的独特之处是，装于刀体上的四把刀距刀体中心的距离不同，而且四把刀的高度也不在同一个平面上，因此切削时相邻两把刀并不是先后切削同一层面上的材料，而是切削不同高度上的材料。使用这种刀具的好处：①可实现较大的切深，提高了加工效率。②对机床的功率要求下降。③降低切削加工时的噪声。④适合刚性较差的加工条件（如悬伸量较大）。

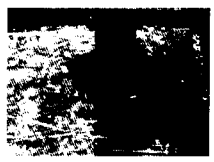

图4 层铣刀盘

实际使用的刀盘如图4所示，刀盘直径229.5mm，刀具的材质为高速钢，保证刀具比较锋利，切削力较小，引起的切削振动小，有利于提高表面加工质量。

4. 近似度分析

如图5所示，近似法加工时，椭圆弧完全包括圆弧，而且A、B、C三点完全重合，在2点钟与10点钟方向，椭圆弧与圆弧的距离最大，向周围逐渐变小，最终收敛于A、B、C三点。通过作图分析测量，椭圆长轴的增大（即刀具的直径增大），椭圆弧与圆弧的近似度越高，当刀具的直径等于$2R$时，则椭圆弧与圆弧完全重合。

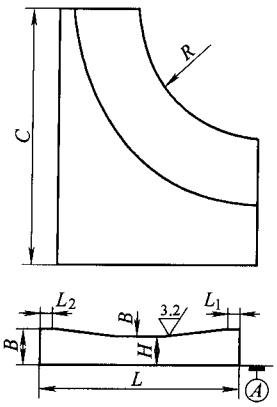

图5 近似分析图

5. 加工实例

以高速动车组门口角铝为例，使用平口钳装夹，用ϕ229.5mm分层盘铣刀，具体参数如图6及下表所示。

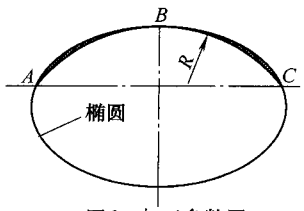

图6 加工参数图

受设备性能及状态限制，转速300r/min，进给速度190mm/min。如设备允许，应采用更高的转速，更快的进给速度。

加工参数表

序号	图号	每列数量	粗车厚度 B/mm	表面弧度 R/mm	铣四周尺寸 a/mm×b/mm	L_1	L_2	H	主轴角度 (°)
1	01010L	12	40	665	186.8×220	15	12.3	35.2	8.5
2	01009R	12	40	665	186.8×235	15	12.3	35.2	8.5

具体加工过程：①主轴旋转后，在顶面对刀。②试切一刀，切深0.5mm，测量H，调整工件的吃刀深度；测量L_1与L_2之间的差值，调整工作台的Y向位置。③圆弧铣削成型，用标准样板R665mm进行检测，观察贴合度；用游标卡尺测量L_1、L_2及H。

6. 实施效果

（1）平口钳装夹工件，省时、便捷，装夹牢固可靠。相对于原装夹方式，节省了装夹辅助时间。

（2）采用面铣刀盘，刀具的强度及刚度得到

轴承套加工的组合刀具解决方案

瓦尔特（无锡）有限公司 （江苏 214028） 徐 华

复杂零件通常涉及许多关联因素，需要用多种技术手段和运用多种刀具来缩短生产时间。采用的单独工艺越多，优化的可能性就越大。总之，通常可以节约几分钟的加工时间。为了实现更高效的轴承套加工，精密车削件制造商Schuhmacher GmbH考虑采用组合刀具解决方案。使用两把非标刀具替代六把标准车刀。位于图宾根的刀具专家瓦尔特公司提供此综合解决方案。

对于仅涉及少量工序的简单零件加工而言，优化难度更大。在这种情况下专家总是尝试节省几秒钟，尤其是在加工量较大的零件时，例如套管和各类轴。位于德国施派欣根的Schuhmacher Präzisionsdrehteile GmbH公司每年设计、生产较为复杂的大约1 800种不同材料的车削工件，有些材料需要额外加工，而有些材料已经完全组装好。公司订货单中也包含由16MnCr5制成的ϕ51mm、长度为65mm的轴承套，每年订购数量为200 000个。由于巨大的价格压力，Schuhmacher公司被迫将套管加工时间从58s缩短至45s。

1. 零件加工难点

实例中的轴承套为圆柱形轴承套，这些零件是有加工难点的，在该实例中，总体长度、内径圆度和两个端面的平行度公差在0.02mm范围内，几毫米的壁厚使内径加工成为一项棘手的工作。夹紧系统的夹持力必须适当减小，否则套管可能会变形。这意味着，加工可靠性的实现仅允许存在相对较小的切削力。在这种情况下，对于旨在缩短运行时间的较大切削深度和高速切削参数而言，提高都是非常有限的。

就Takamaz X200双轴车床及其周边设备而言，Schuhmacher开发了一个全球通用且一致的方案：使用棒式进料器将原料送入夹紧系统。加工之后，搬运系统会将套管输送至机械手处（见图1）。起初，该机械手将加工后的零件转移至清洁站，然后

了很大的提升，避免了原立铣刀过长，刀具受切削抗力变形而引起的零件加工尺寸出现变化。

（3）此铣刀盘为层铣刀盘，四个刀头所在的直径及高度各不相同，从而实现了高转速、大进给、深切削，提高了加工效率，而且提高了表面加工质量。

（4）减少了走刀次数，缩短了实际走刀时间，提高了加工效率。

（5）避免了原加工方式中，人工清理铝屑的过程；避免了铝屑进入刀具与工件之间，而引起的工件表面质量问题及刀具折断问题，减少了刀具消耗量，降低了刀具成本。

（6）经实际核算，加工效率提高了约40%。降低了机床占机时间，减少了电能的消耗，工人的工作时间缩短，降低了人力资源成本。

（7）由普通设备代替数控设备，扩大了普通设备的功能，提高了普通设备的应用范围。

7. 结语

近似法加工不仅可以加工大半径浅圆弧，还可以加工椭圆等形状，有较大的应用空间。近似法加工同样可以在数控设备中得到应用，丰富数控设备的加工手段，不仅可以减少对数控插补或自动编程的依赖，而且可以提高加工效率。**MW**

（收稿日期：20120306）