

以铣代磨和以铣代挤中的技术攻关

□ 中航工业金城南京机电液压工程研究中心/薄维斌

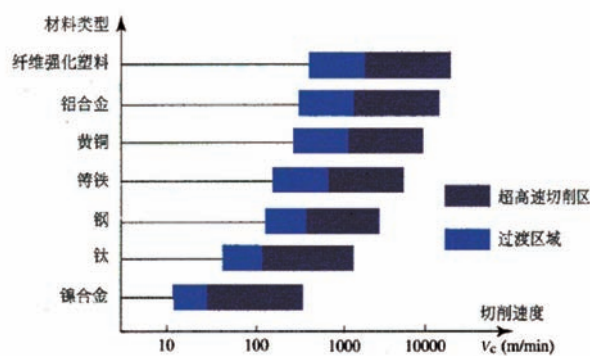
通过高速铣削的方法，应用德国瓦尔特的标准与非标刀具，以铣代磨、以铣代挤，最终实现了设定的目标，完成了技术攻关，有效提升了整体制造水平。



高速加工，尤其对具有较大切削量金属加工特点的行业而言，是实现高效率制造的核心手段。起源于德国学者Carl.Salomon博士的假设：“线速度超过一定值后，随着线速度的增加，切削温度不升反降。”经过多年的实践，该假设得到证实。特别是在1992年，德国Darmstadt工业大学的H. Schulz教授详细阐述了高速切削加工的概念及其涵盖的范围，他认为对于不同的切削对象，如附图所示的过渡区即

为通常所谓的高速切削范围，那是当时金属切削工艺技术人员所期待

实现的切削速度。如今，高速切削作为面向21世纪的一项高新技术，



面向不同切削材料的高速切削加工范围

因其具有高效率、高精度和高表面质量的基本特征，越来越多的实践应用证明了其能产生巨大的经济效益。

针对某型号产品，在铣削高硬材料和铣削高精度转子柱塞孔的生产过程中，我们通过高速铣削的方法，应用德国瓦爾特的标准与非标刀具，以铣代磨、以铣代挤，最终实现了设定的目标，完成了技术攻关，有效提升了整体制造水平。

在实际加工中，主要有两个应用方向：第一，利用高速切削加工超硬材料。传统及国内同行普遍采用磨削加工，不仅效率低，单件工时较高，而且使用磨头消耗大，刀具成本高。尽管近年来随着CBN、金属陶瓷、陶瓷等刀具的应用，渐渐开始使用新的切削方式加工超硬材料，但是普遍存在切削区域局部温度高、有精加工面表层金相组织变质的现象。高速加工会降低切削

区域温度，引起了我们的兴趣。第二，是在加工有色金属（尤其是铝合金）时的应用。为降低在薄壁、细深腔等对切削力较为敏感零件的切削变形，切削深度要尽量选低。但切削深度低，在传统的机床上，零件的加工效率自然降低，而高速加工转速高、进给快，可以有效弥补切削深度变小的效率损失。

以铣代挤

以生产某柱塞泵产品为例，其关键配合孔材质为铸铜，尺寸为 $\phi 10\text{mm}$ ，公差要求为 0.005mm ，圆柱度要求 0.003mm ，表面粗糙度要求 $R_a=0.2\mu\text{m}$ ，孔长径比为6。为保证该孔的尺寸及技术条件要求，原工艺方法为镗、挤加工，即先镗加工，预留合适的挤光余量由挤光刀加工。尽管效率较高，但存在最大的问题是：铸铜材料有缺陷，往往在挤光的过程中不可控，合格率

不高。并且挤光工序为最后工序，工序报废后经济损失较大。

在引入高速铣机床后，以及深入了解了高速铣削理论后，我们决定使用高速铣的方法来进行技术攻关。工艺实践策略为粗、精加工严格分离；分层铣削；定期检测更换精加工刀具。

(1) 粗、精加工分离。主要是刀具的分离，粗加工以快速去除余量为主，主要采用螺旋插铣的铣削方法，对刀具要求不高。精加工加工策略与粗加工完全不同，对刀具跳动及刀尖尺寸要求高。对刀具的要求首先体现在几何尺寸上，首先要求刀具夹持后的跳动不大于 0.004mm ，这项指标体现的是工具供应商在刀柄和刀具制造上的综合实力。在瓦尔特工程师的指导下，通过反复夹持试棒测量，得出：瓦尔特热胀刀柄的反复定位精度 $\leq 0.002\text{mm}$ ，夹持瓦尔特铣刀后，刀尖跳动 $\leq 0.004\text{mm}$ ，远远高于 $0.008\sim 0.012\text{mm}$ 的平均水平，满足了刀尖跳动要求。另外，瓦尔特工程师根据零件的工况，在刀具几何角度上选取了大前角、大螺旋角的刀具，在材料上选择了耐高温的刀具材料，以及硬度高、摩擦系数小的涂层材料，有效减小了加工阻力，避免在加工过程中出现振动问题。实践证明，刀具加工过程中，不仅接触角度大，多刀齿同步工作，切削进刀退刀平稳，进一步减少了振动，更耐磨，刀具寿命也更长。

(2) 分层铣削。主要是在精加工的过程中，我们对现有常用的铣削方式进行了一定的试验和摸索，发现：螺旋下刀铣无法满足零



件圆柱度和表面粗糙度要求，圆柱度最好在0.015mm，表面粗糙度不超过0.4 μ m；侧铣无法满足零件的圆柱度要求，加工后孔上大下小有0.008~0.01mm的锥度，分层铣的方法能够同时改善圆柱度和表面粗糙度水平，但分层铣的分层深度直接影响着零件的加工效率。经试验在经济性和质量的平衡下，分层厚度为0.4mm。这是铣削的关键参数。

定期检测并更换精加工刀具。精加工刀具直接影响质量，如此精度的尺寸，刀具磨损超限的结果就是产品超差。使用目视刀具涂层磨损情况，与使用高倍的对刀仪检测，能有效检测刀具磨损情况。在涂层脱落或刀尖跳动超出0.006mm的情况下及时更换刀具，保证了产品的稳定性。除此之外，刀具磨损后经国内专业的刀具厂商返修，也节约了大量的刀具成本。

按每批产品50件投产来计算，提升效果见表1。

以铣代磨

生产中，有相当大一部分产品需要在热处理后进行加工，尤其是高硬度材料（55HRC以上）。对回转类零件，一般采用内、外圆磨床加工，非回转类零件一般采用坐标磨床，效率极低，经济性也不好。

我中心应用高速铣削解决了这些问题，不仅实现了高效、低切削力，在某些场合完全取代坐标磨床的作用（见表2）。主要应用特点如下：加工余量对以铣代磨加工的效率影响非常大。一般侧铣加工余量不大于0.02mm，否则刀具急剧磨损。

表1 挤光及铣削加工对比

	合格率 (%)	单价工具成本/元	准备工时/h	单价加工工时/h	综合成本/元
挤光加工	35	95	4	0.6	180
铣削加工	95	45	1.5	0.25	105

表2 磨削和铣削对比

	单价工具成本/元	准备工时/h	单价加工工时/h	综合成本/元
磨削加工	140	4	3.5	650
铣削加工	75	1	0.2	145

线速度严格按刀具样本制定值调整。因为新的加工理念使生产环节的积累不足，而刀具使用指南是厂商技术积累的成果，要有“拿来主义”。以往，我们在加工高硬材料方面可谓空白，在加工48~52HRC材料过程中，总会出现加工效率低、刀具热磨损速度快、刀具出现崩刃现象、产品加工后还有啃刀现象、加工精度不稳定等问题。在与瓦尔特工程师多次交流后，从源头（刀具选型：我们选取瓦尔特超硬加工系列材料，采用小前角、小螺旋角、不等齿距、不等螺旋角的刀具几何尺寸系列，能有效的增加刀具韧性，耐热性高），过程（参数应用，主要是采用低切削量、高转速、高进给的参数组合，一般切削深度 ≤ 0.04 mm，转速提升

至75m/min，进给在40m/min）优化了加工顺序及采用螺旋进、退刀方式，以及刀具翻新（刀具一旦磨损镀层磨损至刀具发白或磨损量超过0.012mm，进行返修），这样一个完整的刀具应用管理周期进行了全面的调整。可以说，完整解决方案的应用，有效保证了目标的最终达成。

刀具一定有针对性，一般加工高硬材料的刀具材料均为特殊开发，严格控制刀具材料中粒度不大于0.02的粒子不低于80%，钴含量不高于3%，加入钛、铌、钼、铝等元素，采取合理的热处理工艺，选取硬度高（ $>3\ 500$ HV）摩擦系数小于0.25的涂层，采用物理气相沉积的涂层方法，使刀具材料的综合性能得到保证。 **AUTO1950**



薄维斌

中航工业金城南京机电液压
工程研究中心工艺工程部