

大型挤压造粒机组机筒的“以镗代磨” 制造优化项目浅析

于颖, 岳广礼

(大连橡胶塑料机械有限公司, 辽宁 大连 116036)

乙烯工业是我国国民经济的支柱产业, 乙烯规模和装备能力是衡量国家石化水平的重要标志, 混炼挤压造粒机组主要应用在乙烯流程中的核心装备, 国际上只有德、日三家公司掌握了该类机组的核心技术。我国长期依赖进口(累计引进达260余台套, 花费上百亿)技术被封锁, 市场被垄断、价格被操控。严重制约我国石化行业健康快速发展, 危及国家能源与经济安全。挤压造粒机组研制的成功, 填补了国内空白, 打破了国外对我国的技术封锁与垄断, 解决了大型石化装备“卡脖子”难题, 缩短了石化重大项目的建设周期, 实现了“关键核心技术自主可控”, 维护了国家经济与能源安全。

大型挤压造粒机组的机筒是该设备关键核心零部件, 机筒的双孔是由2个相同的圆孔相交组成(俗称“8字孔”), 双孔加工的直线度要求为0.03 mm, 与端面的垂直度要求为0.03 mm。因一台套机组, 共由8~11个机筒串联组装(见图1), 直线度的好坏将影响机组的运转性能。为保证直线度要求, 机筒的双孔加工是整个机筒加工中的重中之重。机筒加工质量的好坏, 关系到整体设备的使用寿命, 进而决定该机组的成败, 最终影响原料混炼塑化的质量。制约我国石油化工及煤化工领域的健康快速发展, 危及国家经济安全。机筒加工质量、效率严重制约了大型挤压造粒机组的建设周期, 解决突破该项技术瓶颈, 势在必行。

1 工艺问题及原因分析

在加工机筒的过程中, 双孔加工是一个关键工序, 尤其是当这2个孔需要以特定的角度相交, 形成所谓的“8字孔”时。这种孔型不仅要求孔本身的尺寸和形

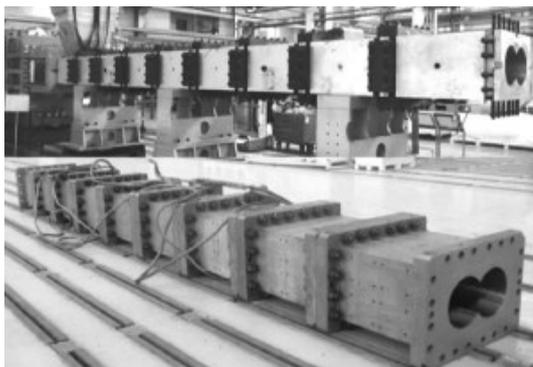


图1 同向造粒机组机筒串联组装图

状精度达到标准, 还需要确保孔的直线度以及与机筒端面的垂直度, 都需要控制在0.03 mm以内。对于一台套机组来说, 通常需要8~11个这样的机筒串联组装在一起, 这就要求每个机筒的双孔加工都必须达到同样的高精度标准, 以确保整个机组在运行时能够顺利配合, 减少摩擦和磨损, 提高设备的整体性能和寿命。

机筒的材质为38CrMoAlA, 这是一种经过特殊调质的合金钢, 具有优异的耐磨性、耐腐蚀性和高温性能。然而, 这种材质的高硬度和高韧性也使得加工过程变得异常困难。特别是当需要进行间断切削时, 刀具的磨损会加剧, 同时工件表面也容易出现冷作硬化现象, 进一步增加了加工的难度。此外, 经过调质处理的机筒表面还会形成一层氧化层, 这层氧化层不仅会影响刀具的切削性能, 还可能导致加工过程中产生更多的热量和切削力, 从而影响加工精度和工件质量。

目前, 机筒的双孔采用的是磨削加工, 在磨削加工过程中, 尽管采用了数控立车装夹磨头的设备, 但根据加工后的数据分析, 机筒内孔磨削加工的直线度

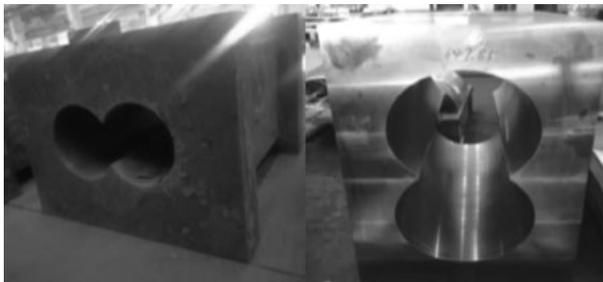


图2 机筒

仍难以满足图纸要求。这一加工过程中，确实存在一系列显著的难点和挑战。

首先，数控立车的磨削方式主要依赖于主轴进给磨削（见图3）。然而，在加工双孔时，主轴伸出较长时，主轴刚性的不足，其刚性会显著降低，加工好的双孔直线度和平行度时常超出公差范围，这成为了加工过程中的一大难题。

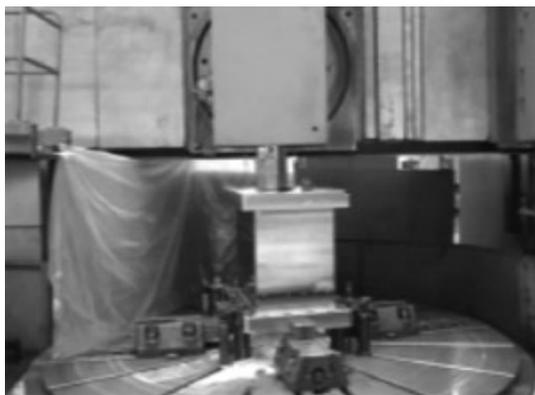


图3 数控立车磨削机筒内孔

其次，双孔的加工需要两次装夹，这种多次装夹的方式本身就增加了加工误差的风险。特别是当双孔磨削后易形成“八”字形状时，更是加剧了加工难度的提升。此外，双孔与平面的垂直度要求达到0.03 mm，这在现有的加工条件下显得尤为困难。

第三，双孔的表面粗糙度也是一个需要重点关注的指标。在实际加工中，要达到Ra0.8 μm 以内的表面粗糙度标准并不容易，尤其是在机筒长度较长、材料硬度较高的情况下。

第四，当机筒类零件的长度规格超过1 200 mm时，加工难度会进一步增加。由于立车的加工范围有限，对于长度较大的机筒，需要调整立车位置并重新找正加工，这不仅增加了加工难度，还延长了加工周期。每件机筒的磨削时间可能超过40 h，这无疑会对

产品的最终成套工期产生显著影响。

最后，为了保证机筒的平面与内孔的垂直度要求，机筒平面需要在平面磨床上进行加工。然而，在加工前需要在加工中心机床上按机筒双孔直线度和圆度找正，并铣出平面磨床的磨削基准。这一过程中，由于机筒双孔磨削后易形成“八”字形状，导致找正基准存在误差，后续还需要使用三坐标测量仪进行多次标定和修正。整个加工过程繁琐且耗时，严重影响了加工周期和产品质量。

综上所述，机筒双孔磨削加工过程中存在的难点主要包括主轴刚性不足、多次装夹导致的误差累积、表面粗糙度难以控制、长度规格较大的机筒加工难度大以及平面与内孔垂直度难以保证等问题。针对这些问题，需要采取一系列措施进行改进和优化，以提高加工精度和效率，降低返修率。

2 创新方案

(1) 在机筒双孔加工过程中，由于原有的磨削工艺存在效率低下、质量难以保证的问题，我们决定尝试改变加工工艺，将磨削改为镗削加工（即“以镗代磨”）（见图4）。这一改变的初衷在于提高加工效率，并期望能够解决磨削工艺中的一些质量问题。

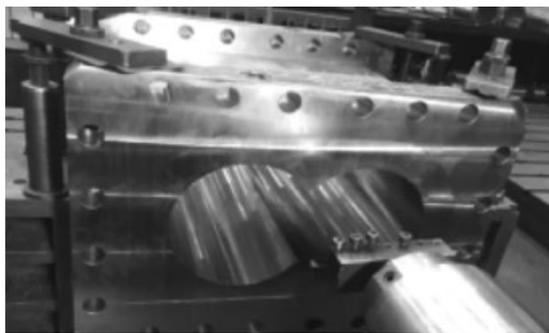


图4 数控镗床加工

经过试验，我们发现普通镗刀在镗削大直径内孔时，其表面粗糙度无法达到图纸要求的Ra0.8 μm 。这主要是由于镗削过程中，刀具与工件之间的摩擦和热量积累导致的。为了改善这一状况，我们尝试采用光刀进行内孔加工，以期通过精细的切削达到所需的表面粗糙度。

然而，受到机筒材质和工况的影响，光刀加工后的效果同样不理想。机筒在调质过程中产生的氧化皮

以及合金机筒加工过程中产生的冷作硬化现象，都增加了加工的难度。这些现象不仅导致加工过程中刀片磨损严重，而且使得镗削内孔时刀片的硬度要求高于被加工工件的硬度（见图5）。

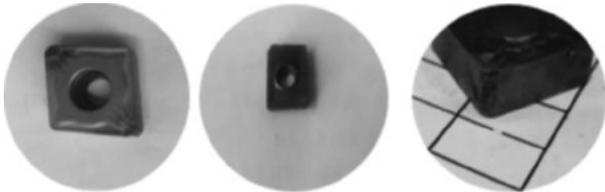


图5 各款试验刀片

此外，由于筒体上的内孔形状特殊，呈现“8字形”且中间断开，这就要求刀具在具有足够硬度的同时，还要具备良好的韧性。刀具的硬度和韧性往往是相互矛盾的。硬度高的刀具容易发脆，而韧性好的刀具则硬度较低。这一矛盾使得我们在选择刀具时面临了巨大的挑战。

为了找到适合的刀具，我们尝试了多种类型的刀具，包括焊接刀具、机夹刀具甚至陶瓷刀片。这些刀具在加工过程中都未能达到预期的效果。尽管它们在某些方面表现出色，但总有一些关键的性能指标无法满足我们的需求。

(2) 为了提升机筒双孔加工的效率和质量，我们在刀具方面进行了深入的优化研究。通过前期的反复试验和分析，我们明确了刀片选择的几个关键特性：耐磨损、抗冲击和锋利度。这些特性对于提高加工效率和保证加工质量至关重要。

首先，我们选择了“圆”铣刀片进行试验。这种刀片通过改变其形状来增大刀具的韧性，从而打破了传统的镗削方式。我们采用圆刀片代替传统的刀尖进行镗削，发现这种新方式既耐磨又抗冲击。然而，圆刀片在切削量较小的情况下表现良好，一旦加大切削量，刀片的接触面就会增大，导致刀具震动加剧，甚至发生崩刀现象，从而降低了加工效率（见图6）。

随后，在加工过程中，我们尝试使用了75°机夹镗刀。这种刀具非常适合机筒的粗加工阶段。通过对比试验，我们发现使用圆刀片粗镗一个机筒双孔需要长达12 h的时间，并且会消耗6片刀片。而采用75°机夹镗刀后，加工时间缩短至仅3 h，同时消耗的刀片也减少到2片，极大地降低了加工时间和刀片成本。然而，

尽管这种刀具在粗加工阶段表现出色，但仍旧无法满足机筒的粗糙度要求（见图7）。

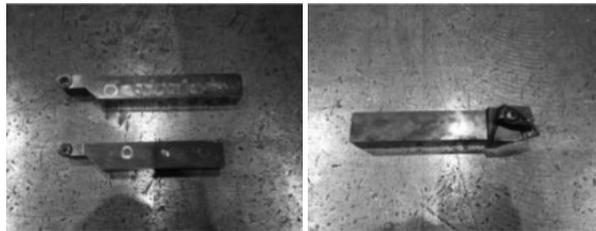


图6 圆形铣刀片 图7 75°机夹车刀

为了进一步满足加工要求，我们最终选择了“带涂层的三面刃铣刀机夹刀片”。这种刀片结合了涂层的耐磨性和三面刃的锋利度，使得刀具在加工过程中表现出色。我们根据刀片型号设计了相应的刀具，并通过刀具厂商定制了镗刀体（见图8、图9）。在定制过程中，我们先后对镗刀体的角度进行了4次优化，以找到最佳的切削角度和稳定性。这些优化措施包括调整刀具的前角、后角、主偏角和副偏角等关键参数（见表1），以确保刀具在加工过程中能够实现最佳的切削效果和稳定性。

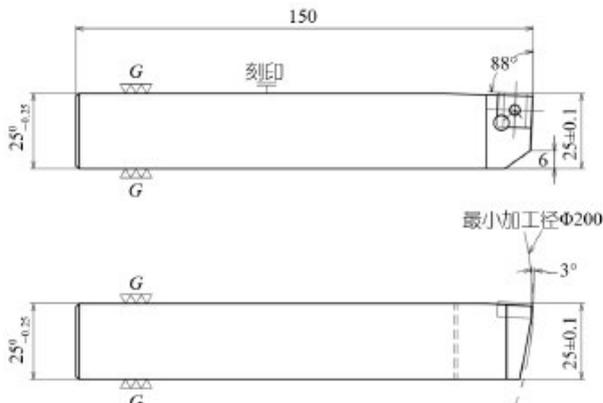


图8 自制刀具图纸

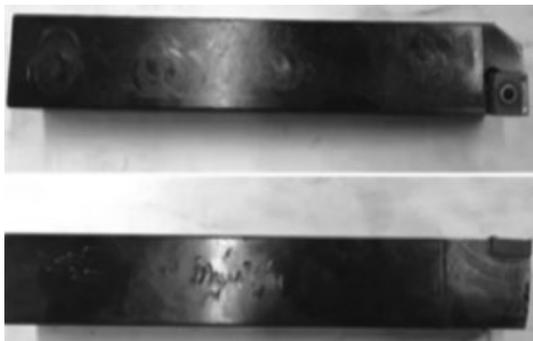


图9 自制刀具 HH211011

通过这一系列的刀具优化措施，我们成功提高

表1 自制镗刀体优化记录表

优化次数	存在问题	优化位置	优化结果
第一次	刀体侧面与刀刃不垂直，装夹后，刀刃与零件接触面积小，起不到光刀作用。	刀体主偏角	刀体侧面与刀刃垂直，方便对刀，刀刃与零件接触面积增大。
第二次	刀刃高于零件中心高，加工时振刀，影响零件表面粗糙度。	刀体厚度	刀刃高与零件中心高一致消除振刀。
第三次	刀体后角小，加工时，刀片后刀面先接触零件。	刀体后角	增大安装后的后角，刀体安装刀片底面倾斜3°
第四次	正刀加工有轻微崩刀现象。	刀片安装位置	反向崩刀现象消除

了机筒双孔加工的效率和质量。这不仅降低了加工成本，还提高了产品的质量和竞争力。

我们不断尝试和验证各种刀具切削参数，经过多轮精细调整和优化（见表2），终于实现了“以镗代磨”这一加工方法的突破。现在，采用这种方法加工出来的机筒，其双孔的直线度、圆度、平行度以及平面垂直度都能够精确控制在0.02 mm以内，双孔表面的粗糙度更是达到了Ra0.8 μm以下的优质水平，完全符合图纸要求的严格标准。

这一成果的取得，不仅标志着机筒零件在质量上得到了显著提升，更重要的是，在加工效率方面也实现了跨越式的提升。原先采用磨削方式加工一件机筒内孔需要耗费长达40 h的时间，而现在采用精镗加工方法，一节机筒双孔的加工时间仅需4 h，加工时间缩短了整整9倍。这不仅极大减少了生产周期，也降低了企业的运营成本。

此外，值得一提的是，原先需要单独进行的平磨基准平面加工步骤，现在也可在孔加工时一并完成。这一改进不仅简化了加工流程，还节省了原本需要在加工中心机床上进行基准铣削的4 h时间。这不仅提高了设备的利用率，还进一步缩短了整体加工周期，提升了整体生产效率。

总的来说，这次刀具切削参数的优化和“以镗代磨”加工方法的成功应用，不仅提升了机筒零件的加工质量和效率，还为企业带来了显著的经济效益。这一成果不仅体现了我们在加工技术方面的创新能力和实力，也为我们未来面对更多挑战时提供了宝贵的经验和信心。

3 效果及经济效益

通过精心挑选的带涂层的三面刃铣刀片，并结合专用刀具的细致设计与制造，我们成功地实现了以镗代磨的加工方法。这种方法的引入，不仅在加工效率上有了显著提升，更在加工质量上达到了前所未有的

表2 镗刀切削参数试验

序号	转速/min	进给/转	切深/mm	切削时间/min	表面粗糙度
1	50	0.15	0.03	80	Ra3.2
2	70	0.2	0.03	60	Ra2.1
3	80	0.2	0.03	56	Ra1.6
4	100	0.25	0.03	53	Ra1.2
5	120	0.2	0.03	50	Ra0.9
6	160	0.2	0.03	47	Ra0.8
7	200	0.18	0.03	45	Ra0.5
8	240	0.2	0.03	30	Ra0.6

高度，真正做到了高效与高精度并存的加工效果。值得一提的是，此项技术还填补了机械加工领域中8字形以镗代磨的技术空白，这无疑是对我们技术实力的极大肯定（见图10）。

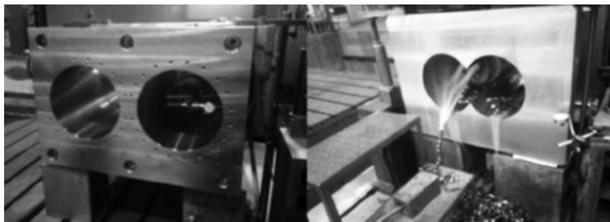


图10 机筒加工

原先，加工一个机筒需要耗费长达44 h的时间，现在，通过我们的新方法，加工时间得到了惊人的缩减——减少了超过1 000%。按照数控立车270元/h的成本来计算，每件机筒现在能够节省下40 h的加工时间，这直接意味着每个机筒能够节省的经济成本高达10 800元。对于每台造粒机组而言，由于其包含9个机筒，因此总节约金额可达9.7万多元。至今为止，我们已经使用这种加工方法完成了10台套造粒机组的加工，累计节约的成本更是攀升至97万多元。

此外，我们采用的新型自制刀具以镗代磨加工法，并未止步于机筒的加工。这一技术同样被成功应用在了复杂构型的转子体内孔加工上（见图11）。在这种应用场景下，每件转子体都能节省下数控立车磨削的40 h时间。按照同样的成本计算方式，单件转子

（下转第10页）