

大型旋压机床的脱模载荷仿真计算

■ 北京航空制造工程研究所数控制造技术航空科技重点实验室 (100024) 李初晔 王海涛 马 岩

摘要：通过对卸料机构的创新设计，方便快捷地将旋压件从芯模脱出，有效地保护了设备及模具。采用有限元计算技术对大型数控强力旋压机的卸料机构进行失稳破坏过程模拟，以设计提出的最大脱模力为指标，通过优化V形槽参数，达到在规定力下卸料板发生失稳破坏的目的。从卸料机构的实际应用情况来看，与理论仿真结果有较好的一致性。

1. 问题提出

大型数控强力旋压机是为满足航空航天需求而研发的大型关键装备，该机床设备为三旋轮 120° 均布，组合式整体框架结构，梁与立柱应具有足够的强度和刚度，结构紧凑，造型美观。该项目为我国军工行业的发展提供了技术支持，填补了我国在大型数控强力旋压机方面的战略空白。在设备研制过程中，广泛采用有限元分析技术，实现了对大型旋压机整机参数化有限元建模、结构性能优化仿真计算。

旋压是综合了锻压、挤压、拉伸、弯曲、冷轧及滚压等工艺特点的先进无切削加工工艺。旋压过程中，旋轮对坯料逐点压下，近似点接触，适于加工高强度难变形材料，旋压能使制品硬度、抗拉强度和屈服极限显著提高，可极大提高航空制品的质量和性能。为提高旋压效率和自动化水平，设计人员创新设计了卸料机构（见图1），卸料机构装在垂滑板下方，可通过垂滑板带动上下运动。工件旋压完成后，通

过液压缸驱动，卸料机构伸出，安装在卸料机构前端的卸料板（见图2）托起工件安装座，并连同工件一起向上运动，直至将工件从芯模脱出。

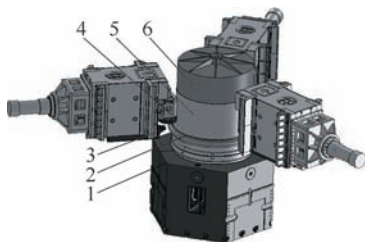


图1 旋压机上的卸料机构
1.工作台 2.工件安装座 3.卸料机构
4.旋轮 5.工件 6.芯模

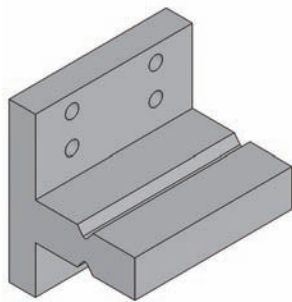


图2 卸料机构的卸料板

卸料过程中，卸料板托起的力为工件安装座和工件的重力外加工件与芯模之间的摩擦力，可以直接确定。如果旋压过程中工

件与芯模贴合较好，则两者之间具有较小的摩擦力；反之则摩擦阻力较大，旋压过程如果控制不当，甚至出现工件与芯模局部点融合现象，此时工件与芯模之间会有很大的摩擦阻力。卸料板的结构如图2所示，为T形结构件，在前端上下两面开V形槽，一旦作用力过大，V形槽发生实效断裂，起到保护设备和工装的作用。设计之初，采用CAE仿真面临的问题是：如何准确制定V形槽的结构参数，使卸料机构在正常旋压中能完成卸料，一旦出现工件与芯模间摩擦阻力过大，卸料机构就会断裂，起到自动保护机床设备的目的。

2. 脱模力计算

图3所示为卸料板的结构参数，其中 H 、 H_1 、 H_2 、 L 、 L_1 为结构的外形参数，在设计计算时作为常数处理； C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为设计参数，通过对这4个参数的优化，达到在确定力 F 作用下使结构发生断裂破坏的目的。分析思路是通过编程控制实现循环迭代计算，先初定参数，计算

出结构失稳时的作用力 F_0 ，将 F_0 与设计力 F 比较，返回修正开口参数，最终使失稳力在接受的精度范围内。

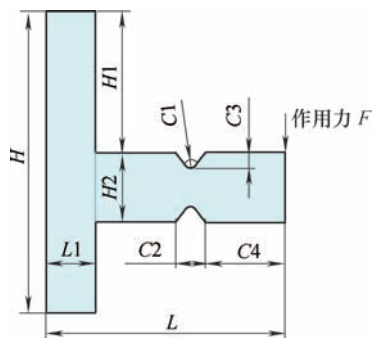


图3 卸料板的结构参数

按照某旋压工件参数，经计算正常情况下单个卸料板需要的脱模力 F 为50kN；如果旋压过程出现工件与芯模局部点融合现象，工件与芯模之间会有很大的摩擦阻力，脱模力可能远大于50kN，此时需要采用一些特殊方法帮助脱模。因此对卸料板的设计要求是：当作用力 F 大于50kN时，应保证卸料板发生失稳破坏，保护机床免受损坏；作用力 F 小于50kN时，表明旋压过程是正常的，卸料板应保证能安全脱模。卸料板材料为普通结构钢，屈服应力255MPa，抗拉强度550MPa。

选定卸料板初始结构参数 $C_1=2.5\text{mm}$ 、 $C_2=15\text{mm}$ 、 $C_3=10\text{mm}$ 、 $C_4=45\text{mm}$ ，脱模力 F 取130kN进行有限元仿真计算。在此参数下，卸料结构没有发生失稳破坏，结构还是安全的，图4所示为初始参数下卸料板上某点变形随脱模力的变化情况，变形随脱模力近似呈线性关系，证明卸料板的变形处于弹性变形阶段，130kN的作用力没有使卸料

板发生失稳。此后将结构参数保持不变，逐步增大脱模力 F 进行仿真计算，当脱模力 F 达到160kN时，卸料板变形突然增大，发生失稳，图5所示为初始参数下增大脱模力到160kN后卸料板上某点变形随脱模力的变化情况。

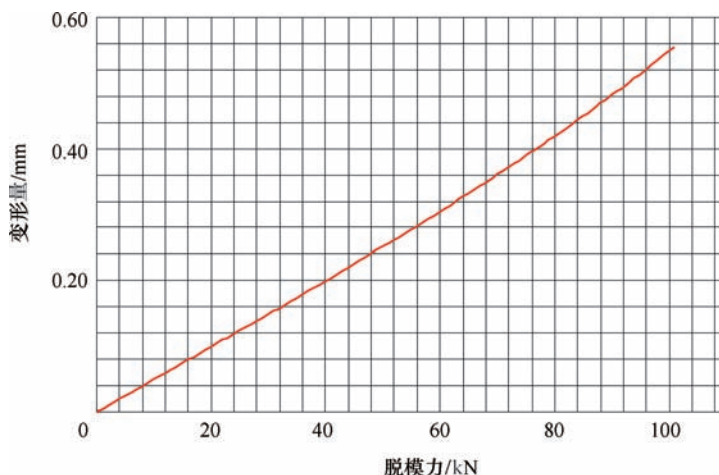


图4 初始参数下脱模力130kN时卸料板上某点变形随脱模力的变化曲线

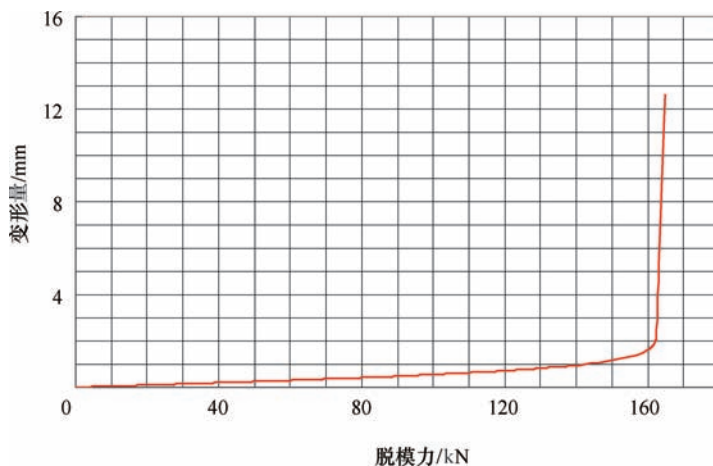


图5 初始参数下脱模力160kN时卸料板上某点变形随脱模力的变化曲线

仿真表明，结构失稳破坏力的大小主要受参数 C_3 和 C_4 的影响。 C_3 越大，则V形槽越深，卸料板发生失稳时的作用力 F 越小； C_4 越大，则从V形槽往外的悬臂部分越长，卸料板发生失稳时的作用力 F 越小。因此，在初始结构参数基础上，逐步增大 C_3 和 C_4 的值，结构失稳力会逐步减小，当参数 $C_1=2.5\text{mm}$ 、 $C_2=15\text{mm}$ 、 $C_3=13.3\text{mm}$ 、 $C_4=47.5\text{mm}$ ，脱模力 F 加载到51kN时，结构丧失稳定性，图6所示为卸料板失稳破坏过程，图7所示为失稳状态下卸料板某点变形随加载力的变化， F 加载到51kN时，卸料板末端变形突然反向跳跃，表明构件已经丧失稳定性。

图8所示为卸料机构的工作现场图。图8a是由于焊接工艺及焊接质量不好，卸料板先从焊缝处发生破坏，破坏时的力小于理论仿真得到

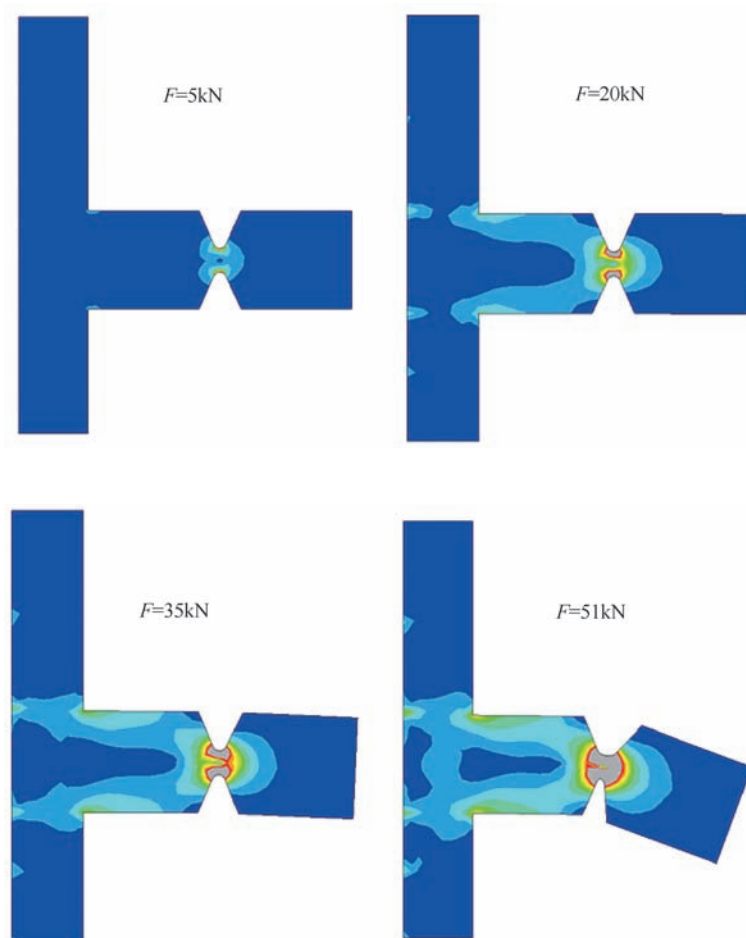


图6 卸料板的失稳破坏过程

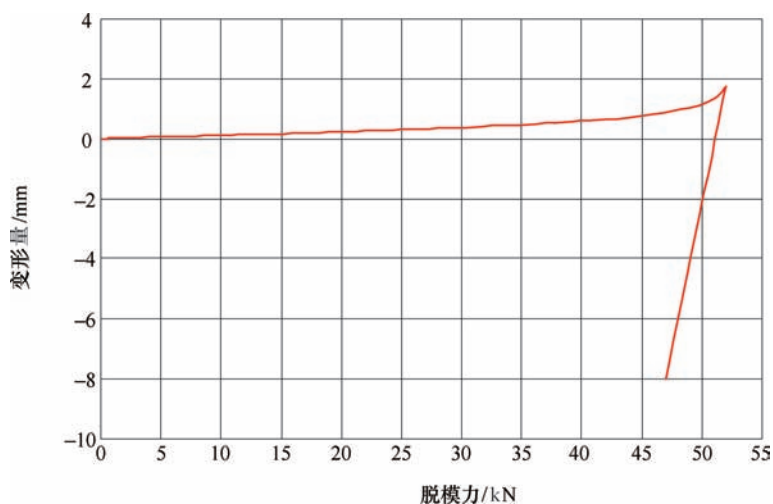


图7 失稳状态下卸料板上某点变形随卸载力的变化曲线



(a)



(b)

图8 卸料机构的工程应用

的失稳力；图8b是改进焊接工艺及焊接质量后，卸料板失稳破坏后的现场图，测试的失稳力为56kN，比仿真值51kN大10%左右。

3. 结语

采用有限元计算技术对大型数控强力旋压机的卸料机构进行失稳破坏过程模拟，以设计提出的最大脱模力为指标，通过优化V形槽参数，达到在规定力下卸料板发生失稳破坏的目的，有力地保护了设备及模具。从卸料机构的实际应用情况来看，理论仿真结果与实际结果有较好的一致性。

参考文献：

- [1] 杨合，詹梅，李甜，等. 铝合金大型复杂薄壁壳体旋压研究进展[J]. 中国有色金属学报，2011（10）：2534-2548.

MW（收稿日期：20160203）