

CAE在航空模具领域中的应用

Application of CAE in Aviation Die & Mould Field

西飞集团公司工装设计所 颜新卯



颜新卯

1993年毕业于西北工业大学飞行器制造(模具设计)专业,现任西飞公司工装设计所主任设计师、高级工程师。他所参与的课题曾获部级二等奖一项、获公司一等奖多项。先后荣获公司“双文明”先进个人、公司级“十佳青年”科技标兵、分公司双十佳、优秀共产党员、先进科技工作者等称号,获“西飞总经理创新奖”一等奖。

CAE技术从20世纪60年代初开始,在工程上应用至今已经历了40多年的发展,其理论和算法都已日趋成熟,现已成为工程和产品结构分析中(如航空、航天、机械、土木结构等领域)必不可少的数值计算工具。航空工业对于CAE技术的需求在所有工业行业里是最全面的,

将CAE工具应用到冲压模具设计中可以有效地预测和解决采用传统工艺方法成形零件中出现的起皱、拉裂、回弹等缺陷;同时可以尽可能利用CAE软件取代实际试模,减少模具的试压次数,缩短产品的开发周期,降低开发成本。

主要体现在:以结构力学有限元分析为主要的方面,包括飞机总体结构以及机身、机翼、起落架、发动机等部件的线性和非线性静、动力强度分析;疲劳寿命计算;制造工艺设计(冲压、焊接、锻造等)与分析;以计算流体力学为主的应用,包括飞机气动特性计算及气动布局的最优化设计等。

在冲压模具行业中,CAE技术主要用于汽车覆盖件以及复杂的飞机钣金零件的成形仿真模拟及分析。将CAE工具应用到冲压模具设计中可以有效地预测和解决采用传统工艺方法成形零件中出现的起皱、拉裂、回弹等缺陷;同时可以尽可能利用CAE软件取代实际试模,减少模具的试压次数,缩短产品的开发周期,降低开发成本。目前,汽车覆盖件模具必须通过仿真测试才能进行模具加工,由此可见CAE分析的重要性。美国克莱斯勒公司1998年所

做的统计表明,在汽车行业模具研制过程中引入CAE技术以后,模具设计周期一般可以缩短一半以上。在航空领域,钣金零件在飞机零件中占据了80%左右,所以模具的研制是影响工装研制的关键。

本文首先就西飞目前采用传统工艺方法在成形钣金零件中常见的缺陷及预防和消除这些缺陷的方法进行了归纳总结,然后介绍了如何采用CAE工具的仿真模拟来预测零件成形时可能出现的缺陷,并在模具设计时加以考虑,调整和优化模具结构参数来减少、避免甚至消除这些缺陷,以节省模具研制周期,降低模具研制成本,快速交付合格零件,进而加快工装和飞机研制进度。

传统工艺现状及问题

钣金零件在飞机零件中占有很大的比重,为了保证气动外形,飞机零件的形状往往都比较复杂,这些零

件的成形难度相应较大,因此,为了保证飞机研制周期,就需要快速设计能够成形出合格零件的模具。

常见的冲压模具有拉深、弯曲、胀形、翻边、冲孔、落料等几大类。在钣金零件成形中最常见也最难解决的缺陷就是起皱、拉裂和回弹,这些缺陷是影响零件质量的关键因素,因此在模具设计以及试压中解决好起皱、拉裂、回弹就能够缩短模具研制周期。西飞的模具研制过程简要描述如图1所示。

首先,模具设计人员接到设计任务,根据工艺提出的要求和产品的类型、特点以及形状考虑采用合适的结构进行设计。在此过程中,模具设计人员还要根据零件或者工艺的某些特定要求结合自己的经验选择合适的模具结构、尺寸等等相关参数。

显然,对模具设计人员的要求是十分苛刻的,他不仅要具有结构设计经验,还要具有成形材料、成形工艺方面的诸多知识,可以说,设计的成败在很大程度上依赖于模具设计者的经验。当然,一个设计工程师即使具有丰富的模具设计经验,但仍然要面临许多问题,因为实际中的产品往往是千变万化的。有时候一个细微的变化或者特定的产品要求可能使得已有经验不可用,或者即使可用,但在实际试模之前也无法进行有效的验证。这导致了模具设计过程具有明显的设计—修正—再设计的特点。这一过程的反复就需要较长的模具研制周期,影响型号研制节点,同时也需要投入很大的资金和人力资源。而且这种方法设计出的模具及其工艺方法只是“可行”的,而非“最优”的。更为重要的是,这一过程的顺利进行是通过人的经验来保证的,而经验的积累不是一朝一夕的事情,所以,有丰富经验的员工一旦流失,就有可能造成某项工作停滞不前。

CAE 在冲压零件成形中的应用

知名 CAE 软件有 ABAQUS、ANSYS、NASTRAN、DYNAFORM 等。这些软件对于冲压成形的拉深、弯曲、翻边、胀形、切边、冲孔等过程都能做模拟分析,并能够对在冲压成形中可能出现的起皱、拉裂、回弹等缺陷以及毛坯形状、压边力、润滑方案等进行预测并能通过调整相关参数来减少甚至消除这

采用压边圈,把法兰压紧在凹模表面上,但压边力太大会增加危险断面的拉应力,导致拉裂或者严重变薄,太小则防皱效果不好;采用拉深筋增加径向拉应力和减少切向压应力的作用预防起皱。采用传统的解析方法不可能精确地计算出板料的切向压应力及临界切向压应力,所以不可能准确预测起皱,对压边力也不能准确计算,而采用 CAE 工具后这些问题就可以迎刃而解。

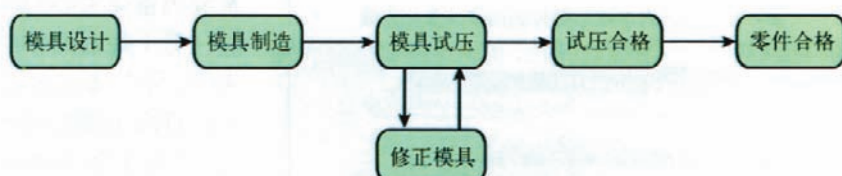


图1 西飞模具研制过程

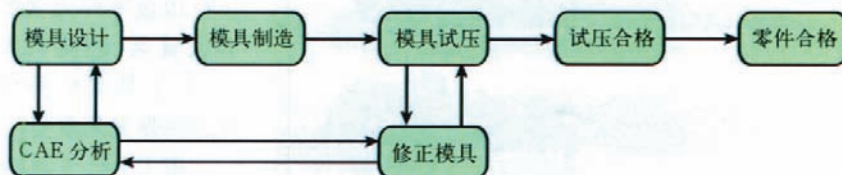


图2 采用CAE工具之后的模具研制过程

些缺陷。采用 CAE 工具之后,传统的模具研制过程就改变为图2所示的流程。

在模具设计阶段加入 CAE 工具分析,使模具在初次试压时零件就能达到或者接近合格零件,再通过试压中反映出来的问题再次使用 CAE 工具进行分析、修正模具,最终成形出合格零件。

下文针对传统工艺方法在模具研制中容易出现的起皱、拉裂、回弹等缺陷以及复杂零件的毛坯尺寸计算等问题来探讨如何采用 CAE 工具来解决这些问题。

1 起皱的预测与消除

起皱是由于切向压应力超过了板料的临界压应力引起的。常见的防起皱措施有:

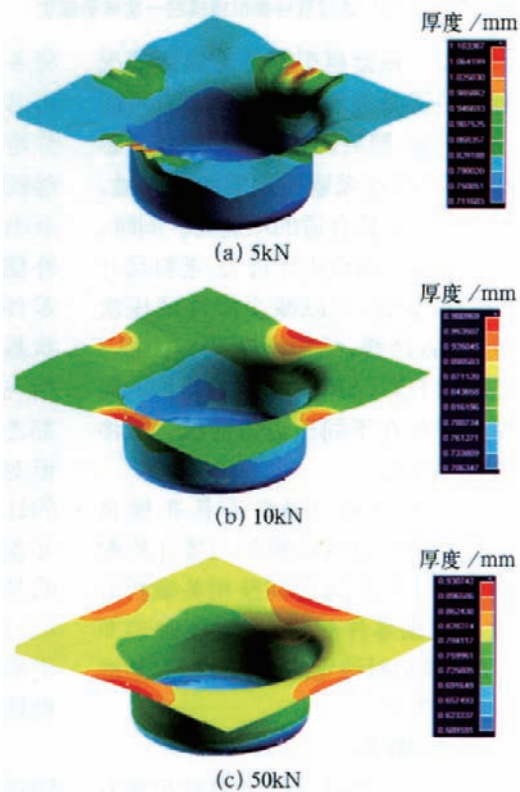


图3 不同压边力时的零件起皱情况

首先,设计人员根据 CAE 工具的要求建立零件和模具的数学模型,加入材料等各种需要的参数之后就可以模拟出接近真实情况的零件成

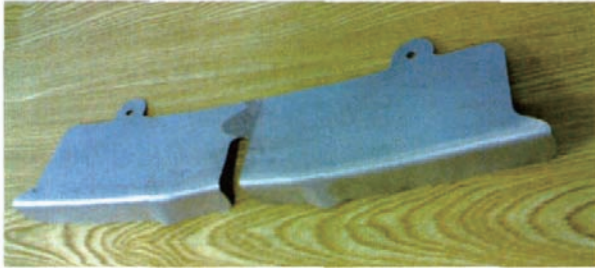


图4 常规工艺方法成形零件的回弹超差和起皱

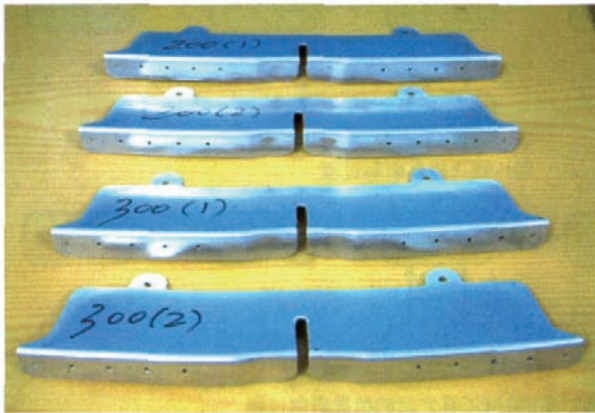


图5 通过软件模拟修模后一次成形成功

形过程。根据模拟零件的成形情况可以很清楚地看到在哪些地方可能出现起皱,然后调整压边力等相关参数,就可以直观地控制零件的起皱,最终确定出最合适的压边力。同时,在试压时直接给出压边力、毛料尺寸等相关参数,可以减少零件试压次数,节省经费,缩短研制周期。图3是使用 DYNIFORM 软件模拟的简单拉深件在不同压边力情况下零件的起皱情况。

由图可知,CAE 工具在模具的设计阶段就可以模拟出零件的起皱情况,并能通过调整相关参数有效地控制零件起皱,在试压时参照 CAE 模拟时给定的参数比较容易地成形出零件。

2 回弹的控制

板料在常温下的弯曲总是伴有弹性变形的,所以在外力卸载之后总

变形中的弹性变形部分就会立即恢复,引起弯曲回弹。一般减少回弹的措施有改进弯曲件的局部结构,选用合适材料,还可以采用校正法、拉

弯法和补偿法等。一般来说,补偿法是消除弯曲件回弹最简单的方法。在这些减少回弹的措施中,回弹量是一个关键因素,如何精确地计算回弹量成为备受关心的问题。对于规则的零件来说,可以通过公式来计算出大概的回弹量,但对于复杂的零件就无能为力了,而飞机钣金零件大多数形状复杂,因此引入 CAE 工具来分析零件的回弹尤为重要。

用 CAE 工具分别计算出每个单元组合体的回弹量,然后将各个单元组合体的回弹量拟合就可以得出整个零件的回弹变化情况,并给出回弹后零件的曲面。这样能够较容易确定补偿方案,利用软件拟合出补偿后的模具外形。在加入了补偿的模具上成形的零件,自然回弹后,形状基本接近实际零件。西飞在下陷模设计中都考虑了模具的补偿,但对补偿量没有有效的计算方法,而是通过多次试压来确定模具的补偿量。如果引入 CAE 工具来模拟,就可以很容易得出模具加入补偿后的型面,从而缩短模具研制周期,降低成本。

自 2007 年初开始,西飞通过科研课题《基于数值模拟的橡皮成形回弹控制方法及模具补偿研究》,对

液压成形的钣金零件的回弹做了一些研究,通过大半年的软件模拟以及试验取得了很不错的效果。我们选取了某型飞机生产中的几个典型零件,通过软件模拟得到零件的回弹情况,然后计算出补偿量,进而得到修模模型,最后对模具进行修模成形零件。

对某零件进行常规工艺方法成形和 CAE 模拟修模后成形的比较,如图 4、5,模拟结果见图 6。

试验发现,经 CAE 模拟修模后,零件一次成形,回弹基本控制在公差范围之内,无需手工敲修就能交付合格零件。同时验证了软件的功能及正确性,可以有效地提高零件生产效率,降低工人劳动强度,具有很高的实用性及经济性。

3 拉裂的预测与消除

拉裂出现在拉深过程中板料变薄最剧烈处,若径向拉应力大于板料的抗拉强度就会在此处发生拉裂。要防止拉裂的产生,应该根据板料的成形性能,采用适当的拉深比和压边力,增加凸模表面的粗糙度等措施。在传统的工艺分析和模具设计中,主要依靠工程类比和设计经验,经过反复试模修模,调整工艺参数以期望消除成形过程中的拉裂。但是仅仅依

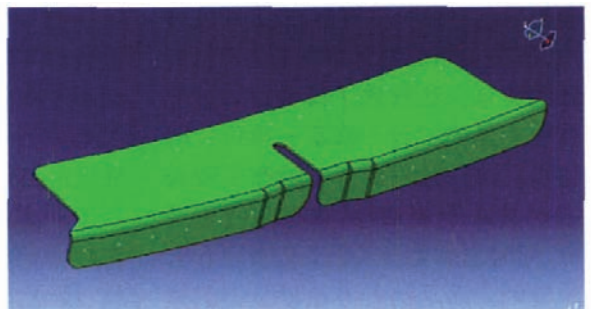


图6 某零件模拟结果

靠类比和传统的经验工艺分析已经无法满足快速发展的现代金属加工工业的要求。因此,在现代金属成形工艺分析过程中,建立适当的“过程模拟”非常重要。掌握诸如摩擦条件、材料性能、零件几何形状、成形力等

工艺参数对成形过程的影响,模具设计人员就可以正确地设计模具和选择加工设备,并预测和防止缺陷的生成。

同样我们可以根据 CAE 模拟的情况修正模具结构、压边力等,从而有效地控制和预防缺陷的出现。

某型飞机研制过程中某零件拉深成形时出现了严重的拉裂。我们使用 PAM-STAMP 2G 2007 模拟了该零件的成形过程,得到的结果(见图 7)和零件实际成形结果惊人的一致。开始模拟中料厚变化很大,最薄处仅为 0.86mm 左右,零件肯定会被拉裂。之后在模拟过程中反算了零件的展开料,用它来模拟得到了新的模拟成形结果,零件的成形情况有了很大改观。这次模拟后零件最薄处的料厚为 1.01mm 左右,变化不大。

4 毛料尺寸的计算

从零件实际的生产情况和软件模拟的结果来看,我们发现在冲压零件的成形中展开料的形状至关重要,是影响零件成形的一个重要因素。

按照常规的工艺方法,简单的钣金零件毛料展开尺寸的确定应遵循以下 3 个原则:(1)毛料的面积等于零件的面积;(2)毛料形状与零件横截面形状相似;(3)毛料外形应该光滑流线,不应该有突变和尖角。通过这 3 个原则总结出了一些确定规则几何形状零件毛料展开尺寸的公式。但是对于某些复杂形状的拉深件来说,很难用上述方法确定毛料尺寸,此时就只能通过试压方法来确定。首先剪一块比较大的毛料进行试压,然后逐次剪去余量大的部分,经过反复多次的试压,最后确定出毛料形状和尺寸,这也就是我们常说的展开试。这种方法确定毛料尺寸是建立在零件能够顺利成形的基础上的,如果试压时零件都无法成形出来,也就无法确定毛料尺寸。因此在钣金零

件的毛料展开计算中引入 CAE 分析工具是必须的。

CAE 工具确定毛料尺寸的方法与确定展开试的方法类似,首先建立零件和模具的数学模型进行仿真模拟试压过程,根据零件的起皱、拉裂等缺陷发生情况调整相关参数,最终模拟试压出合格的零件。这样,毛料尺寸的初始参数都基本确定了,然后再将这个毛料形状导入到仿真模拟过程中,再对模具的结构、参数以及毛料尺寸做进一步的优化,最终确定出最优的毛料展开形状。

如某零件模拟的过程中,2 次采用不同的展开料形状,得到的模拟结果截然不同,零件的拉裂情况也明显改善。采用新的展开料试压时,零件的成形结果也有明显改善。

上面分别对拉裂、起皱、回弹等缺陷在 CAE 工具中如何进行预测和消除做了介绍,但是很多复杂的冲压零件在成形时很多缺陷都是同时出现的,因此必须进行耦合分析,而这种复杂的工作 CAE 软件都能很好的完成。

但 CAE 工具也不是万能的,某些产品在设计时就没有考虑成形的可能性,这样在模具研制中怎么调整参数(即使用 CAE 工具进行模拟)都无济于事。因此在设计产品时不仅要分析产品的强度,还需要进行成形工艺分析,并将分析结果保留在产品模型中,便于工装设计时参考。另外,工装设计也应该将 CAE 分析结果保留在工装模型中,这样使用车间就可以利用 CAE 分析的结果和其中的试压参数来指导零件生产。

5 发挥 CAE 的优势需注意的几个问题

由于 CAE 具有诸多优势,很多企业 CAE 方面投入了大量的资

金和人力资源,但是效果并不是很明显。在影响 CAE 应用效果的诸多因素中,人才、分析软件和计算机硬件是 3 个最主要的方面。计算机技术的飞速发展已经在很大程度上解决了硬件问题,接下来,重视 CAE 技术人才的培养和队伍建设、优化配置 CAE 软件体系就显得十分重要了。

根据世界先进航空工业企业的 CAE 使用经验,完善的分析队伍应该是一个梯队,由 3 个层次组成:分析专家层、分析执行层、设计人员层。3 个层次的人员形成一个立体分析

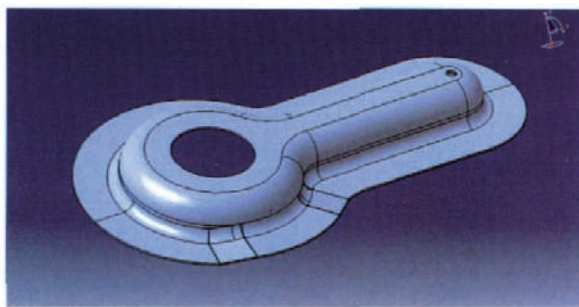


图7 使用PAM-STAMP 2G 2007零件模拟结果

框架,不同层次人员的职责不同,人员专业背景及素质要求也不同。值得注意的是,现代 CAE 应用已经着重推广到了设计前期阶段(设计人员层),国际上先进企业的设计经验也表明在设计早期便引入 CAE 操作带来的效益是巨大的。CAE 人才流失是许多企业深感头痛的问题,保持一支稳定的 CAE 分析队伍是 CAE 工作的重中之重。如果企业的技术实力建立在技术规范的基础上,而不是技术人员的基础上,个别分析人员的去留就不会对企业的技术实力造成很大的冲击,同时,通过 CAE 应用的规范化,可以大大提高分析效率及分析精度,这亦是企业 CAE 工作管理水平的具体体现。

只要解决好上述的问题,CAE 就能发挥出巨大的优势,从而快速提升企业的技术水平,进而获得更大的经济利益。

(责编 钟元)