精细化模面技术在覆盖件模具制造中的应用

■ 东风汽车公司技术中心 （湖北武汉　430058） 杨　兴

摘要：本文指出了汽车覆盖件模具零件拉延成形过程中产生的主要表面缺陷，通过设计、编程阶段对上、下模面预先进行精细化处理，达到提高首次合模成功率、减少后期调试轮次的目的。同时提高数控加工效率，最终缩短模具制造周期，提高模具质量。

中国汽车行业的高速发展，对于轿车覆盖件模具的品质和制造周期提出了更高的要求，传统的模具制造方式已经不能满足市场需求。当前模具制造技术的发展方向是：计算机前期技术应用逐步代替现场操作，以高精度加工逐步代替后期手工调试，模具设计、制造高度标准化，单件生产方式向流水线生产方式发展。

传统的冲压工艺设计采用DL图，关注点在于成型性，对于模面处理比较粗放，数控编程、数控加工一般使用数模面直接进行数控编程，上、下模面之间采用等间隙的加工方式，没有充分发挥三维造型技术以及高精度、高速数控加工技术的优势，这种制造方式的模面设计实际上是靠后期研配调试来实现的，造成后期研配量大、数控加工返工返修多、无效性重复性加工多。而如何缓解数控加工、研配调试这两个模具瓶颈工序的压力，从而缩短整个模具制造周期已经成为国内模具行业急需解决的问题。国外模具领先行业已经拥有了成熟的精细化模面设计技术，通过前期精细化数模技术，提高零件T001初期品质，缩短模具研配时间，最终缩短调试周期、降低调试成本，快速提升零件合格率。其模面设计和调试过程，已经真正形成了闭环制造系统。

精细化模面技术开发，制订精细化模面设计流程，融入模具制造流程，具体主要完成的技术指标如下：①针对大型覆盖件模具在重载荷下的弯曲变形，使用数模整体变形造型技术来进行补充，代替传统的垫角加工补偿，提高补偿精度，提高效率。②解决因加工残留带来的凸、凹模圆角干涉技术难题。③提高首次试模成功率，提高T001初期品质，节约压力机台时15%～20%，缩短模具调试周期30%。④通过间隙面的设计，提高机床数控加工效率，降低数控铣床台时10%。

1. 精细化模面技术工作流程要点

（1）设计阶段的工作。针对模具研配、调试周期普遍较长的情况，设计阶段针对传统等料厚间隙模面加工模面进行流程改造，通过改变模面的整体形状、局部形状，改变上、下模之间的间隙来达到缩短研配、调试周期的目的。

充分利用CAE分析结果以及模具研配、调试过程中积累的经验，对于普遍存在的问题，针对性地进行相应的模面预补偿模块

的开发。

（2）数控编程加工阶段的工作。将制造过程中的清根、二次空刀、研修、压刀口、非工作区型面空开等工作量前移到数控编程/模面造型阶段，减轻数控加工、钳调等瓶颈工序的压力，使得能将更大的能力投入到冲压件品质提升阶段，进而缩短制造周期，提高模具质量。

（3）模具制造流程优化：冲压工艺设计→TB指示→模面造型→数控编程→数控加工→研配、调试，形成良性闭环（见图1）。

建立解析岗位，制作间隙指示图，指示模面设计：包含模具实际符型面区域、各个符型区域的间隙值、工艺要求的模面变化情况、拉延圆角的变化、各种模面的挖空、挠度补偿指示以及预留补偿指示等。

建立模面造型岗位，初期技术人员完全按照间隙指示来完成精细化模面设计；待各项标准、规范完善后，建立典型零件通用间隙标准，解析人员只需针对零件特点制作个别间隙指示，技术人员按个别间隙指示、通用间隙指示的优先顺序完成模面设计。同时将模具实际研配、调试过程中积累的问题进行整理、解析和存档，使用三维摄影测量的工序数字化检测技术测量打磨之后的模面，并与设计模面进行比较，建立或修正模面修正数据，逐步形成典型零件的模面补偿知识库，来指导下一次精细化模面设计。

2. 预留造型技术的开发及应用

外板件局部型面凹陷是所有外板的共性问题：整体变形存在于如顶盖、行李箱外板等强度较差的零件；大面积变形位存在于形状局部突变的部位，如门把手周边、侧围B柱上下、行李箱牌照灯周边等部位（见图2）。这些区域的凹陷是不可避免的，也是外板件模具研配、品质提升付出时间最长、耗费精力最大的部位。

传统做法是通过凹模强压减小凹陷程度，通过反复现场作业观察和分析，不断进行调整。但是凹模强压存在效果差、研配工作量大以及调整轮次多的问题。采用型面预留的造型技术来进行凹陷补偿，能够有效解决传统制作存在的问题。该项技术的难点如下。

（1）A级曲面的修正。由于凹陷发生区域一般涉及到A级曲面，因此，在保证模面补偿精度的同时，还要保持A级曲面的形态。为此我们建立了A级曲面的修正以及评价标准，将变形前后的曲面进行阴影检测、高光检测以及截面线曲率检测的对比分析，对于形态发生改变的区域需要进行修正处理（见图3）。

除了外板件的塌陷问题，部分零件共性回弹趋势的存在也是影响模具品质提升的传统难点问题，如门里板铰链部位的扭转、侧围顶盖部位的下沉以及顶盖机罩等零件的翻边扁平化等，一般尺寸偏差较大的有几毫米到十几毫米不等，而且单纯通过后期现场实测再修正有时需要几个轮次才能完成，因此总结每个零件的凹陷、回弹规律并建立典型零件预留补偿标准，通过前期主动预留就可以有效地减少后期模具整改工作量。

（2）间隙造型技术的应用。将模面划分为强压区、空开区和基础区，各个区之间保持光顺过渡，通过高精度、高速数控加工实现微观不等间隙模面的加工，合理控制模具不同部位型面数控加工精度，这样既有效地减少了模具研配和调整工时、提高了零件品质，同时又提升了数控设备的加工效率和效果，有效缩短了模具制作周期。

强压区的设计：强压区即上、下模面之间的间隙小于板料厚度，一般取值－0.15～

图2　外板件拉延成形后产生的凹陷

图3　修正后的曲面检测

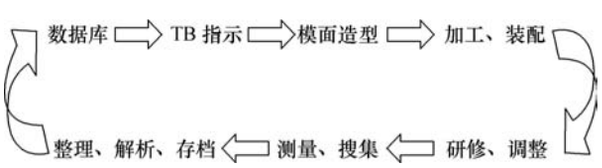


图1　精细化模面设计流程

－0.05mm，具体视强压位置而定。通过减小间隙来控制板料的流动，保证强压区域的尺寸精度，消除起皱等表面缺陷。

空开区的设计：增大特定区域范围内上、下模面之间的间隙，主要是为了减少钳工研配量，消除加工残留的影响，同时通过不同区域加工精度的控制，提高数控加工效率、缩短数控加工工时，其空开数值视具体位置而定。

间隙区域的造型：通过CAD软件（UG/ThinkDesign）将强压区、空开区曲面裁剪分割，并进行相应大小、方向的偏置或者平移，特殊区域要采取偏置+平移的方法。各个区域之间通过桥接或匹配实现光滑连接。对于外表面，过渡区域应足够大，以避免急剧变化带来的表面缺陷。

间隙造型后的模面如图4所示。①强压区位置、色标指示红色。②过渡区：间隙面和非间隙面桥接的相切曲面，一般为5～20mm，位置不够的可以不做，相邻两个面过渡区做在间隙的区域。③压料圈间隙值为0.1mm，凹模放大无间隙值；压料圈其他区域按数模。④未注颜色分界线按实际标识，如果局部空开区域太小、不好加工，可不做。⑤凹

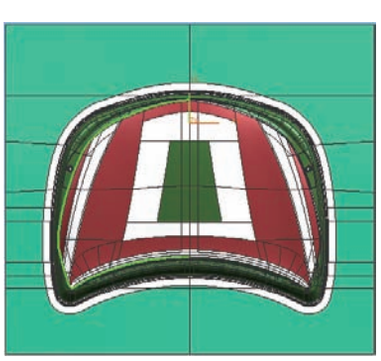


图4　间隙造型后的模面

*R*部位空开比数模标准*R*值小30%。

（3）挠度造型技术的开发及应用。随着加工技术的不断发展，模具已经普遍采用高转速高精度数控设备进行型面加工，其加工精度已达5μm以内。然而，经过精密数控设备加工后的大型覆盖件模具合模时，仍然存在大面积的干涉，其研修量达到0.3～0.5mm。机械压力机受力变形示意图如图5所示。

根据挠度分布图确定模具变形中心线（0线），计算凹模中心点变形值，计算挠度变形等高线；根据挠度分布图计算压料圈中心点变形值，计算挠度变形等高线（见图6）。

3. 数控加工圆角避让技术

通过间隙造型、挠度造型技术的开发及应用，大幅提高了拉延模的研合率，然而在大型覆盖件拉延模研配过程中，仍然发现了大量干涉部位，主要部位集中在上、下模的凸、凹圆角之间，

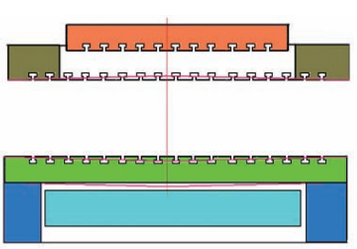
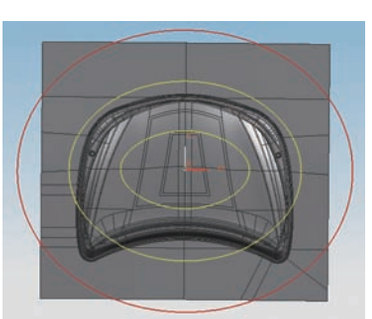
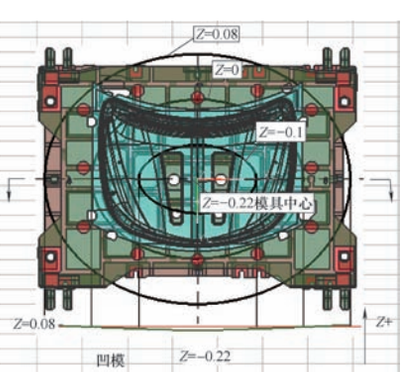


图5　弹性变形状态图



（a）



（b）

图6　挠度补偿等高线

经检测主要原因是小直径凹圆角在清角加工产生的加工残留，导致间隙减小引起的干涉。减小模面凹角曲率半径，与之对应的模面凸圆角则保持不变，从而增大上、下模之间圆角部位的间隙，来补偿小直径刀具加工残留的问题。根据曲率半径的大小，将其曲率半径相应缩小0.5～2mm，同时保证与相邻曲面之间的连续性。圆角避让技术软件应用如图7所示。

4. 结语

经过几年的应用，精细化模面设计技术取得了巨大成效，大幅提高了首次试模成功率，提高了首次压件的品质，缩短了模具研配、调试周期，同时降低了资源稀少的压机、数控机床的台时，极大地缓解了模具行业普遍存在的“瓶颈”工序的压力，为公司带来了显著的经济效益，主要体现在：大幅提高了数控加工效率，缩短数控加工时间，降低数控加工返工返修频次，减少重复性、无效性加工；降低了刀具费用；大幅缩短了研修、调试周期，降低了单套模具压机占用台时，提高了零件品质，减少了后期调试轮次。

模具3D打印及加工机床的组合应用

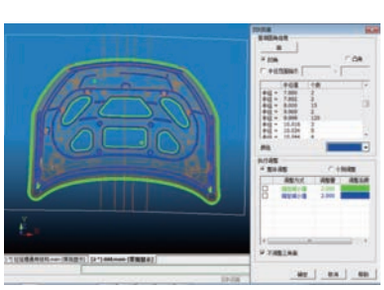
■ 江门市新会区会城邦诺模具加工部 （广东 529100） 柯秉光

摘要：介绍智能制造系统在模具加工中的应用，引入3D打印技术缩短精密铸造产品的模具开发周期，以及组合使用普通CNC与雕铣机加工特型模腔。

模具是工业生产中不可或缺的工艺装备，广泛地用于机械、家电、电子产品以及农业、国防、航空航天等领域。高品质的模具是产品质量的保证，随着人们对产品造型与功能的要求不断提高，业界对模具的精度、表面质量、使用寿命要求更高，为了适应产品的快速更新迭代模具的生产周期正不断被压缩。科技的发展正推动着现代工业技术的革新，以3D打印为代表的增材制造技术、智能制造系统、高效能刀具以及高速加工机等先进技术正使模具这个古老的行业焕发出勃勃生机。

1. 模具制作与零件加工的区别

尽管模具制作与零件加工同属于加工的范畴，但两者的区别较大。模具加工的一个特点是单一性，每一套模具都不一样，即便是系列产品的模具也只具有相似性，除非产品批量很大时，才会加开相同的模具，但其数量也不多。模具在数控加工时很少用刀库换刀，这是因为每套模具的加工都可以看成是试工艺。尽管很多数控编程软件具备模块化编程功能，即相类似的模具可套用



(a)

(b)

图7 圆角避让技术软件应用

与国际尖端模具企业相比，国内目前精细化模面设计已经接近国外先进技术水平，但是由于起步较晚、专业性较差，在现场调试数据的反馈、搜集、整理并重新融入设计再应用环节尚有一定的差距。相信随着经验的积累，将逐步缩小与国外领先技术的差距，真正形成良性循环。

参考文献：

[1] 杨玉英. 实用冲压工艺及模具设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2004.

[2] 郝建忠. 机械测量技术[M]. 北京：电子工业出版社，2011.

[3] 孙玉，王义林. 汽车覆盖件模具型面设计方法的研究[J]. 锻压装备与制造技术，2007（1）：83-86.

MW（收稿日期：20170411）