成形加工

利用多相钢成形加工技术生产新型座椅部件

现代化的汽车座椅：高强度钢轻结构设计的潜力

利用成形加工技术进行钢材的加工始终是汽车轻结构设计中的一个重要话题。尤其是那些在汽车轻结构设计中起着很大帮助作用的高强度钢材的成形加工。LFT 研究所与汽车零部件供应商 Brose 公司共同开发了一种创新性的座椅加工工艺方案。

文 | Markus Kaupper，Marion Merklein 和 Peter Weidinger

在汽车制造领域中，开发和实现一套经济的轻结构设计制造方案，在降低汽车油耗、减少有害气体排放和充分利用资源方面有着重要的战略意义。因此，合适的材料选择、汽车零部件的结构设计和加工工艺方法等在产品生产过程中是密切相关的；只有这样，才能最大程度的实现轻结构设计的目的。除了传统的车架轻结构制造工艺外，越来越多的行驶机构和车内部件也开始采用轻结构设计。其中，汽车座椅组件就是一个最好的例子：目前主要进行的是金属结构件的轻结构设计和制造，仅此一项就可以把座椅的重量减轻到原来的 70%。而在车辆发生碰撞时，座椅的机械强度是保证车内乘客安全的最基本前提条件。然而，汽车的座椅也应该是重量轻、经济性好的产品。而恰恰在这一汽车部件中蕴藏着很大的潜力：这就需要在成本费用、产量、重量和功能标准的范围内，综合性能比较平衡且能够满足最高工作使用要求和抗碰撞性能要求的轻结构设计方案。在这样的情况下，依靠高强度钢材的轻结构设计制造是非常合适的：依靠材料很高的刚性和抗碰撞性能，不仅保证了安全性的要求，又能减轻重量。

高强度钢材要求新的成形加工技术

巴伐利亚州科研基金会资助的一个项目就是旨在开发一套利用现代化轻结构钢材制作汽车座椅零部件的成形加工工艺方案。与普通的单相钢成形加工工艺相比，高强度双相钢的成形加工工艺对工艺设计师和成形模具的设计都提出了很高的要求。与传统成形加工钢材相比，从零部件的复杂程度和要求的精度来讲，高强度和超高强度双相钢较低的成形加工性能和很高的回弹对成形加工技术提出了很高的要求。而快速、准确的轻结构工艺方案设计在汽车工业越来越短的创新周期中也有着重要的作用。在这样的背景下，对双相钢成形加工的可能性进行了分析，明确了双相钢在座椅结构件中应用的潜力。分析采用了试验方法和模拟技术；其中，成形过程模拟是基于有限元法（FEM）。在实际零部件设计和成形加工工艺设计中，基于对高强度钢材的基本认识和其弹性变形的描述，采用了计算机模拟技术。过去几年中，在高强度、超高强度多相钢（英语缩写为“AHSS 钢”）研究和开发的基础上认为：多相钢有着极大的成形加工潜力。它们优异的

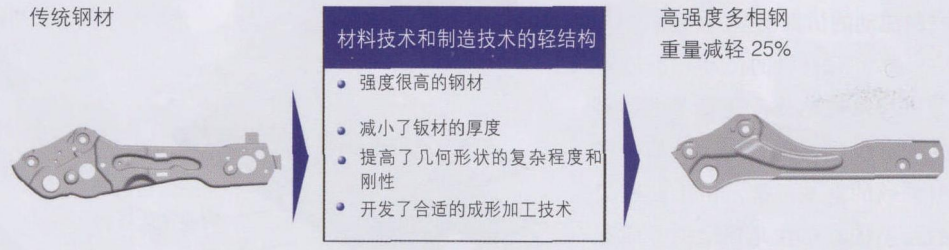

图 1 对照参考的零件，从多相钢的零部件设计和轻结构制造措施等方面实现了该零件的轻结构化

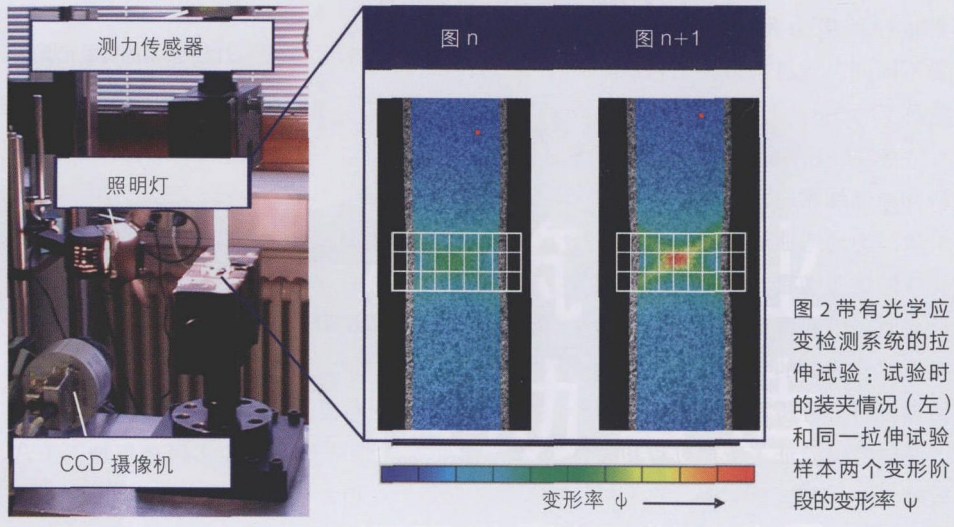

图 2 带有光学应变检测系统的拉伸试验：试验时的装夹情况（左）和同一拉伸试验样本两个变形阶段的变形率 φ

机械性能通过有目的的不同相组合、不同相的硬度性能进行匹配，例如通过硬质点相的马氏体和软质点相的大多数铁素体的组合来实现。金属晶格的设计不仅决定了成形加工技术的加工性能，而且决定了它的抗碰撞性能。项目组的主要任务就是对双相钢和多相钢的成形加工工艺进行试验。

双相钢是一种含有马氏体硬质点的铁素体基体钢材，有着很好的硬化性能和比高强度微合金钢在深冲压和拉延时更好的延展性能。与此相反，多相钢有着非常精细的晶格结构；这也是它有着很高延展性能、即使是在变形很小的情况下也有着很高强度的原因。另外，多相钢有着很高的晶格均匀性，这使它比其他多相钢有着在相似强度水平时更高的、不出现失效的局部变形能力，就像弯曲试验时所表现出来的优点那样。

考察抗碰撞性能和轻结构制造

试验件的成形加工工艺是这一项目的重要目的。座椅部件所选择的成形加工工艺是考虑了不同的标准和要求后确定的，例如几何结构的复杂性、不同成形结构件的模具制造、碰撞时的重要程度和轻结构设计制造等都是确定成形加工工艺时所考虑的重要问题。从抗碰撞的角度出发，座椅承受碰撞力的横梁和碰撞时座椅所要求的结构稳定性取决于侧面有着承载功能的座椅结构件；它们对在类似批量生产条件下的试验有着至关重要的意义。特别是那些与座椅扶手、车架相互连接的侧面连接件，它们在受到碰撞时应能承受很高的应力，并能保证车内乘员的安全。这些零部件都是利用传统钣材变形加工技术制造出来，从而蕴含着很高的高强度多相钢轻结构设计制造的潜力。

根据传统钢材制造确定出了参考部件之后，即从材料、技术和工艺角度出发综合考虑设计出重量明显降低的试验件（图 1）。

在成形加工工艺的开发过程中，有目的的把拉伸和弯曲变形有机的结合在一起；并在新型座椅的结构设计中考虑了这种拉-弯成形加工技术的相结合，以便达到提高座椅零部件强度的目的。由于新型座椅零部件实现了更加复杂的几何结构、多相钢较低的延展性，因此在成形工艺方案的前期开发中就开始进行多级成形方案的研究。这里关注的焦点首先是以 FE 有限元为基础的高效的成形加工过程。一方面，材料成形加工的可能性是至关重要的；另一方面，弯曲成形和弯曲成形所能实现的弯曲边尺寸的精确度应该与成形加工的分级数相一致。

有限元模拟仿真的前提是接近实际生产过程的材料特性描述。这就要输入一些能够真实反应材料变形情况的数据。在开发项目的框架中，首先测定的是成形流动曲线，对成形加工后的硬化进行量化（图 2）。

利用光学应变检测系统，可以在间断性拉伸试验过程中测出拉伸试验样本的长度和宽度，并将这些数据与传统材料相比较，在很大的成形范围内采集到成形状况的数据。这对于多相钢这样的有着较低成形性能的高强度钢材有着非常重要的意义。按照这种方法获得拟合的流动曲线和精度分析数据，从而使有限元模拟仿真的结果更有说服力。除此之外，也测定了垂直方向的各向异性参数，从而在模拟仿真中建立

材料流动的仿真模型。

除了对材料的流动状况进行分析和描述之外，还要考虑材料的变形极限并把它作为模拟中材料失效的基本标准。由于被模拟的轻结构部件在几何结构方面有着很高的复杂性，并且有很多的弯曲部位，因此在开发项目中对平板拉伸应力和弯曲应力也按照不同的失效机制单独进行了分析。

在利用著名的 Nakajima 方法研究局部缩颈时，在高强度钢材失效潜力的弯曲试验时使用的是特殊的试验装置。而在自由弯曲试验时，则利用光学压力分析仪对钣材弯曲时的变形状况和弹性回弹进行了分析和描述。变形区的晶格检验验证了变形过程和失效时的应力状态。

虚拟设计方法显示方案可行性和加工精度

利用虚拟设计方法可以得到更多的、考虑了弯曲成形工艺在内的、对改进有限元成形加工模拟状况描述非常有益的信息。

虚拟可行性分析的目的是：验证成形加工工艺的可行性和加工精度。针对所设计的轻结构座椅零部件建立一个有限元模拟模型，从而奠定了从工艺参数研究到成形工艺研究的基础（图 3a）。虚拟工艺设计的基本结果证明：达到设计几何形状要求的一次性、单级成形加工工艺是非常危险的，达到了临界状态；可行的替代解决方案是多级的、不同成形加工工艺的组合方案。由此，多相钢成形加工后变薄部位的强度可以得到提高，超过了双相钢成形加工后的强度。从而可以开发出实现符合材料成形理论的材料流动和钣材厚度分布控制方案。

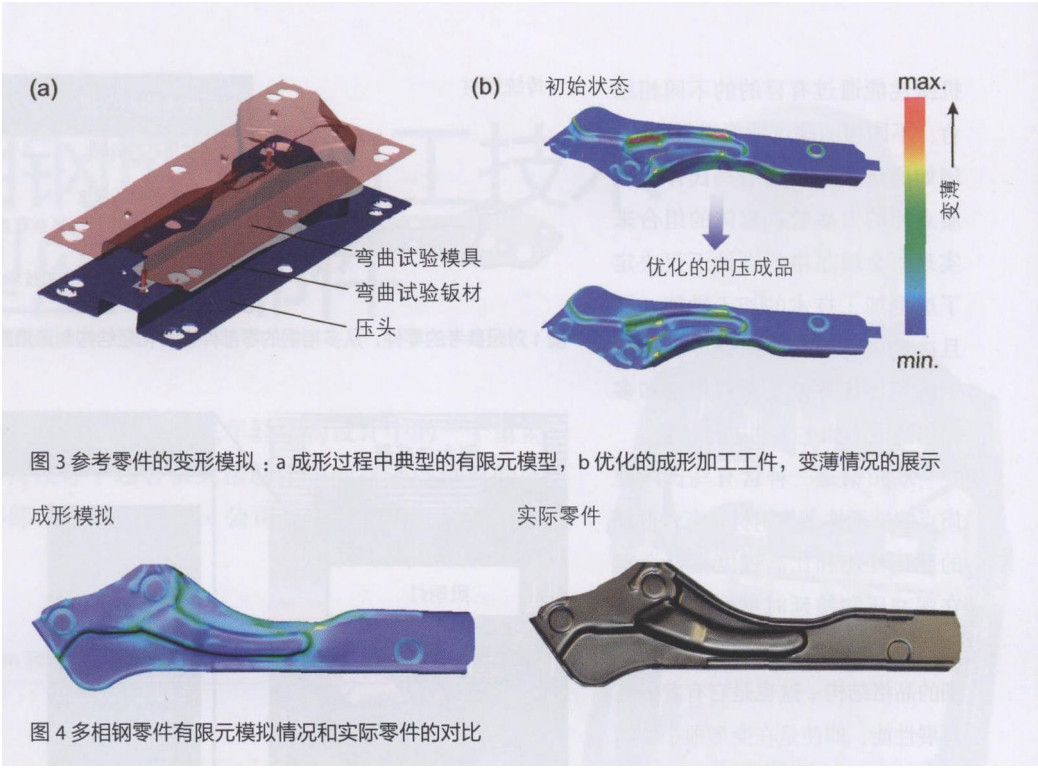

图 3 参考零件的变形模拟：a 成形过程中典型的有限元模型，b 优化的成形加工工件，变薄情况的展示

图 4 多相钢零件有限元模拟情况和实际零件的对比

除了确定多级成形加工工艺和各个成形加工步骤以外，不同的辅助成形加工元素也可以在虚拟成形工艺过程中得到优化。在有限元试验中，对多级成形加工过程中材料变形极限以内的（尤其是多相钢成形极限以内的）几何参数进行了匹配，合理的利用多个成形加工步骤保证了成形工件的稳定性。利用有限元法的成形模拟把原来设想的一次性成形工艺改进成为多次成形的工艺方案。根据试验得到的变薄数据优化了成形加工的工艺过程。通过上述措施显著避免了成形加工中材料厚度的变薄（图 3b）。

通过虚拟的模拟设计最终确定了具有可行性和新型多相钢成形加工精度的成形加工方案。最后，在实际生产过程中落实了模拟技术支持的成形加工工艺。在实际应用这一工艺方案之前，设计并制造了新型高强度多相钢成形加工所需的模具，制作出了零件测试所需的不同测试样件。为验证数字化工艺设计，对真实的和虚拟的成形加工件进行了对比，并对模拟加工的质量进行了量化评估。

在这一适合使用高产量自动弯曲冲裁加工设备的成形加工方案的前提下，设计和制造了数字化成形加工工艺所需的模具零部件，组装出多级成形加工的模具，生产出新型的轻结构设计座椅。在使用虚拟的成形加工优化后，高强度钢材的成形加工性能得到了提高，所生产出来的零部件满足了技术规范提出的要求（图 4）。

更好的强度和更低的质量

由于多相钢成形加工工艺方案的重点是减轻重量和经济的加工出高精度工件。因此实现了减轻零部件重量的目的：比传统钢材加工出来的同类型零部件重量减轻 25%。另外，试验和模拟方法得出的结果可以验证材料、工艺和零部件设计的正确性。在开发项目中所积累的经验和知识也可以在将来应用到其他座椅零部件的轻结构设计开发中。MM