图 1 切割热冲压及模内淬火车架结构件的激光切割设备

激光加工

高强度压力加工硬化钣金件的光滑切口

减轻汽车重量的想法和愿望始终存在。为了实现这样的愿望，人们在汽车生产制造的过程中使用了超高强度的钣材：需要利用热冲压及模内淬火工艺进行热成形加工的钣材。完成热成形加工之后，就必须快速的把钣金件的周边修整整齐。此时，激光切割设备是一种非常合适的修整工具。

文 | Michael Fritz 和 Ralf Kohllöffel

轻结构设计和制造在汽车制造领域中的地位和意义越来越重要。这不是没有原因的：因为它能够明显的降低燃油消耗，从而降低有害的二氧化碳排放。而适合于采用热冲压及模内淬火工艺和热成形工艺的钣材则有可能高效的实现轻结构的设计和制造。这类钣材一般都有着很高的强度；与传统结构件制造工艺相比，它可以节省大量的金属材料。利用这种材料制造的刚性很高的车架有着更高的安全性。2004 年时，大众公司首次在汽车的大批量生产中使用了这种高强度、超

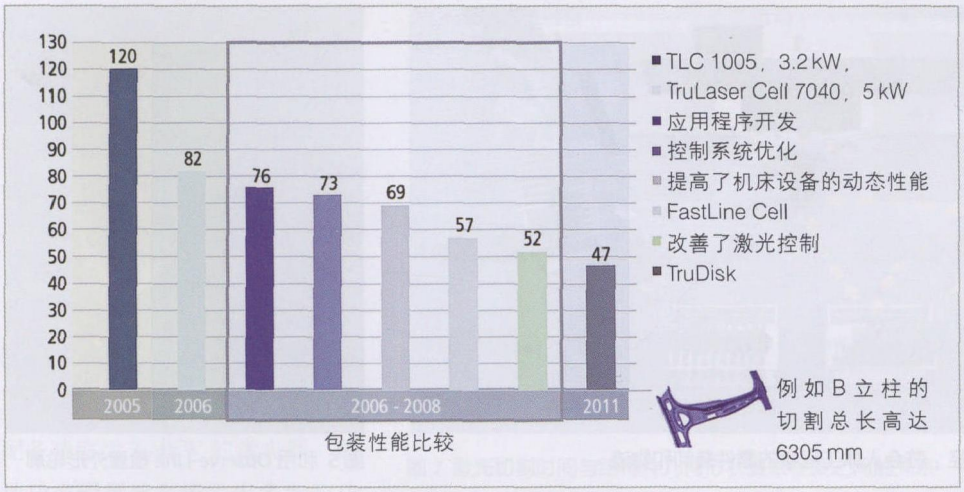

图 2 自 2005 年开始使用激光切割设备后的设备生产能力改进状况

高强度的钣材。B 柱、横拉杆、侧板和门槛等结构件都是利用这种工艺方法生产制造的。但这类高强度钢材的加工制造对所使用的模具也提出了很高的要求。此时，激光加工技术就显得非常具有优势：非接触式切割加工，传导到模具中的热负荷很小。

最适合于孔和缺口的加工制造

大多数热冲压及模内淬火的车架结构件都是由涂有铝 - 硅涂层的含硼合金钢 22MnB5 加工而成的。常规工艺过程中的第一步就是用冲压机下料。此时，成卷钣材的抗拉强度已高达 500 MPa。下一步，冲压下来的钣材进入约 650℃的窑炉中加热，保证铝 - 硅涂层可靠的扩散到硼钢中。然后钣材毛坯加热到奥氏体等温淬火的约 950℃。加热的毛坯在压力降下冲压成形并在模具中激冷淬火。

经过这些工序之后，冲压成形并淬火的钣材强度提高到了大约 1500 MPa。后续工序就是要在成形结构件中加工出孔、槽、缺口和周边修整。在完成这些工序时可以使用 3D 激光切割机。这台激光切割机的高密度激光按照非接触式的切割方法熔化高强度钣材结构件，在像氮气或者压缩空气等切割气体的帮助下把熔化的金属熔液从切割缝中吹出来。这样切割出来的割缝非常精确和光洁；很少的热负荷和很低的机械负荷都大大的减少了钣材裂纹的可能性。激光切割热冲压及模内淬火钢材的优点是非常明显的。而对这一工艺技术的要求就是：激光切割的切割速度要与生产节拍相适应；因为激光射束要依次切割所有的割缝。自从采用了激光切割工艺之后，每件产品的生产成本比其他工艺方法明显的降低了很多（图 1）。

大众 Passat 轿车的 B 立柱就是一个最好的实例：这一产品是 2005 年开始生产的；工艺的进一步研发采用了 5 轴激光切割设备来完成高强度结构件的孔、槽和缺口的加工，从而进一步的缩短了这些工序的辅助工时和机动加工工时。B 立柱的切割缝总长大约 6300 mm，共计 22 个孔。在 TLC 1005 激光切割机上用 3.2 kW 的二氧化碳激光进行切割；2005 年时的切割总工时为 120 s（图 2）。为了进一步的缩短激光切割的机动工时，在用户要求的基础上研发了 Trulaser Cell 系列的 7000 型激光切割机。这一切割机的激光功率高达 5 kW，使用的也是二氧化碳激光器，但设备的动态性能有所提高，并且采用了专门研发设计的工艺，在 2007 年时的切割总工时就降低到了 78 s；两年后又减少到了 52 s。技术改进的一个重要组成部分就是 Fastline Cell 功能的成功开发：这一功能保证了激光光束在对准切割缝时点火；从而把每一孔和槽的切入工时缩短了 40%。从 7000 系列的研发和使用中总结出来的经验和用户更高生产能力的愿望相结合，Trumpf 公司又开发出了新的激光切割机：可以在热成形加工过程中完成高强度钢材切割的激光切割机。这种 Trulaser Cell 8030 型激光切割机满足了用户减少占地

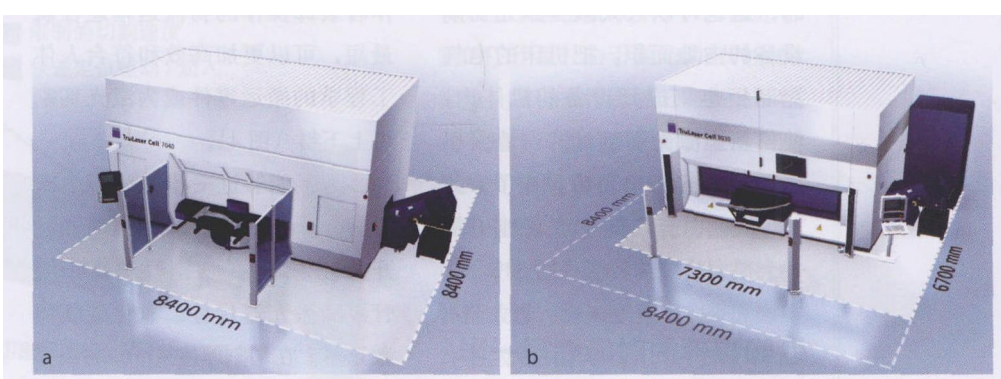

图 3 减少空间占用：Trulaser Cell 7040（a）与 Trulaser Cell 8030（b）占地面积的比较

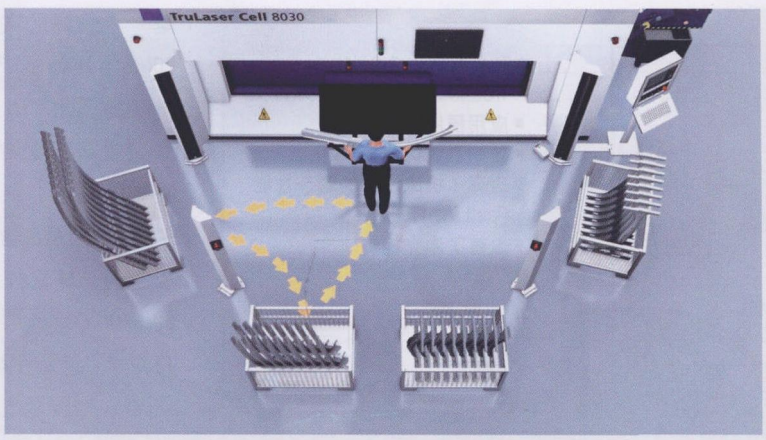

图 4 最短的生产操作途径：符合人体工程学的零件装卸和物流

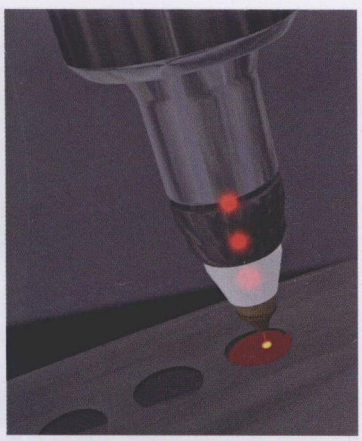

图 5 利用 Observe-Line 检查外形轮廓

面积、配件库存优化、降低生产成本和改进质量监控的要求。

以提高设备刚性来提高动态性能

按照设计任务书的要求，Trumpf公司的设计人员对所有已知的热成形零件进行了分析和研究。最终决定：激光切割机器人的手臂应能够完成所有的切割任务。理想情况下，机器人的手臂应该是由一对小型的构件组成。研发设计的最后结果是：手臂在各坐标轴方向的运动距离为 X=3000 mm、Y=1300 mm 和 Z=600 mm；与被加工零件的轮廓保持了最佳的一致性。由于缩短坐标轴而提高的机床设备刚性为精密的激光切割提供了机床设备所要求的、最大的动态性能。同时，这也可以大大减少激光切割设备的占地面积。把机床的电气控制柜也集成到设备的机体内，使得新型激光切割机的占地面积比 Trulaser Cell 7040 减少了大约 30%。这在有限的生产场地中是一个很大的节约数值（图 3）。

装卸零件的时间缩短一半

由于新型的 Trulaser Cell 8040 型激光切割机的加工循环得到了改进，因此 B 立柱的整个切割加工的工时缩短到了 47s、每天的生产能力增加了 1500 件。另外，他们还重新设计了装卸工件的回转工作台。增加了回转工作台驱动装置和变速装置的强度。经过这样的改进之后，从“激光关闭”到下一次“激光开启”的时间由原来的 10 s 缩短到了 5 s。

为了实现更好的零件装卸过程，也就是实现更好的“物资流动”过程，在装卸区用带有光电控制柜的单根立柱代替了原来的安全护栏。这就能够从三个方向为激光切割机装卸工件，不再像以前一样只能从正门一个方向装卸工件；操作者也可以把多个毛坯周转箱和成品周转箱放置在最符合人体工程学的位置处。这样，操作者装卸操作的物流运输途径就最短，可以更加高效和符合人体工程学的搬运零件或为激光切割机上下料（图 4）。

为了能够进一步的缩短生产时间，Trumpf公司前一段时间就开始在 3D 激光切割机中用二极管泵浦激光器代替二氧化碳气体激光器。在切割厚度 4 mm 的钣材时，例如加工热成形加工后的钣材结构件时，Trudisk 盘式固体激光器有着明显优于二氧化碳激光器的优点。其很短的激光波长能够更好的切入到金属材料中；也可以用更高的切割速度、更小的激光功率切割薄钣材料。同时，与气体激光器相比较固体激光器的能源效率更高；维护保养和配件费用也更低。用数字说明的话就是：与二氧化碳激光器相比每件工件可以节约 20% 的生产成本。激光切割工艺参数的进一步改进也允许新型激光切割设备可以使用压缩空气而不是使用氮气作为加工用气体。仅重新设计的参数一项就可以节约 8% 的生产成本。Trukaser Cell 8030 切割机是唯一一种采用 Trudick 盘式固体激光器、利用压缩空气作为加工用气的激光切割机。在需要使用该气体时，只需按一下按钮就可开启压缩空气。对这种激光切割机的一个重要要求就是：保证准确无误的按照编制好的数控程序切割零件的轮廓。对此，Trumpf公司专门开发了一套激光切割头用的光学传感器监控系统；它能够在 150 ms 的时间内对切割的轮廓进行一次检测。在周边切割之后，光学传感器对孔周边检测一遍，然后发

射切割激光。若孔的初加工质量不太理想，发射出来的激光会产生光学传感器能够识别到的、表示孔周边加工质量不正常的光信号，并通过控制系统告诉操作者（图 5）。

长激光切割轮廓和高激光切割速度

Trulaser 8030 激光切割机可以配备功率为 3~4kW 的激光器。这种功率配置没有表示出多大的功率有着最佳的单件成本。为了能够表示功率与成本的对应关系，Trumpf 公司进行了大量的试验测试。为了能够更加清楚的表示这种对应关系，他们对 B 立柱和前围板的切割试验进行了对比。比较的特性参数是钣材的厚度和激光切割零件几何形状的复杂性。B 立柱的几何形状主要是平板状；即切割时激光头的再定位情况很少。也就是说：激光器切割的割缝相对较长，可以用更高的切割速度、合适的激光功率进行切割。通过对比试验得出的结论是：线性切割的限制性因素是激光功率。在钣材厚度 1.85mm 的样件上进行切割时，3kW 功率激光器的线性切割速度可达 22m/min。

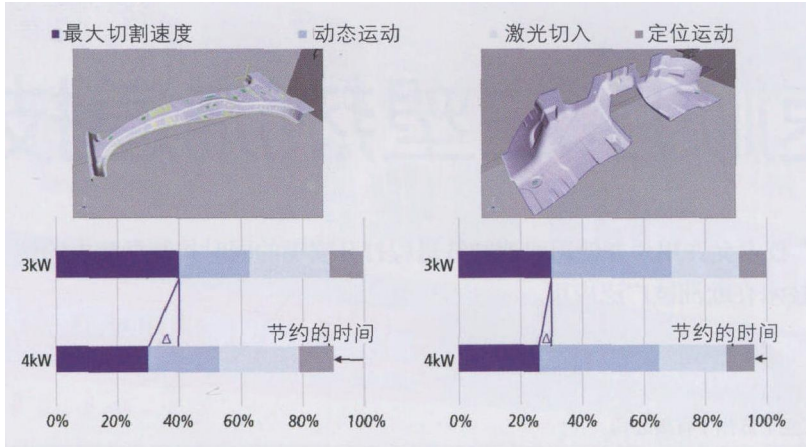

图 7 激光切割时间与结构件几何形状复杂程度之间的关系

第二个激光切割零件：前围板的几何形状则比较复杂。切割时，激光头要经常的再定位；最大的加工速度受到很短的切割距离的限制（图 6）。运动时，驱动装置不断的控制着延坐标轴进行加速和减速制动。这也就意味着：激光切割机只能够在不多的运动过程中按照最高的速度运动，表示了激光切割机有着很好的动态性能。因此，利用提高激光功率来缩短激光切割时间的潜力就很小（图 7）。

钣材厚度是选择激光功率的决定性因素

除了零件几何形状的复杂程度之外，零件的厚度是选择激光功率的重要因素。因为钣材厚度较小之后激光切割的速度可以提高。

检测试验的结果表明：有着复杂几何形状、厚度在 1.2mm 一下的结构件使用 2kW 功率的激光有着最佳的性价比。有着较长割缝、允许直线切割的结构件则使用 4kW 的激光时有着最好的效率。在大多数情况下，激光切割机按照介于几何形状复杂和不复杂之间的状况、用 3kW 的激光功率进行切割则有着最好的效果。因此，具体的最佳生产速度应根据实际产品进行单独的测试，以便得到最佳的性能。

激光切割设备的进一步研发改进缩短了激光切割的时间。同时，也从设备操作者的角度对设备零部件进行了优化，能够按照最小的激光切割加工余量完成结构件的初加工；这也就减少了许多激光切割的工作量。由于激光切割时间的缩短，使得操作者手工装夹上下料几乎是不可能的。因此将来还要对激光切割机进行自动化上下料的技术改造，以保障激光切割机很高的生产效率。通过对激光切割机的不断改进，将来激光切割将成为热冲压及模内淬火结构件加工的最好工具。MM

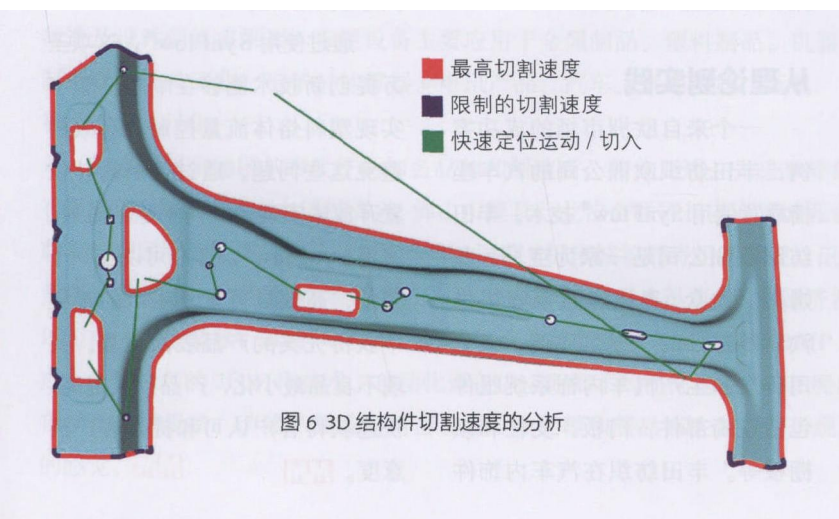

图 6 3D 结构件切割速度的分析