

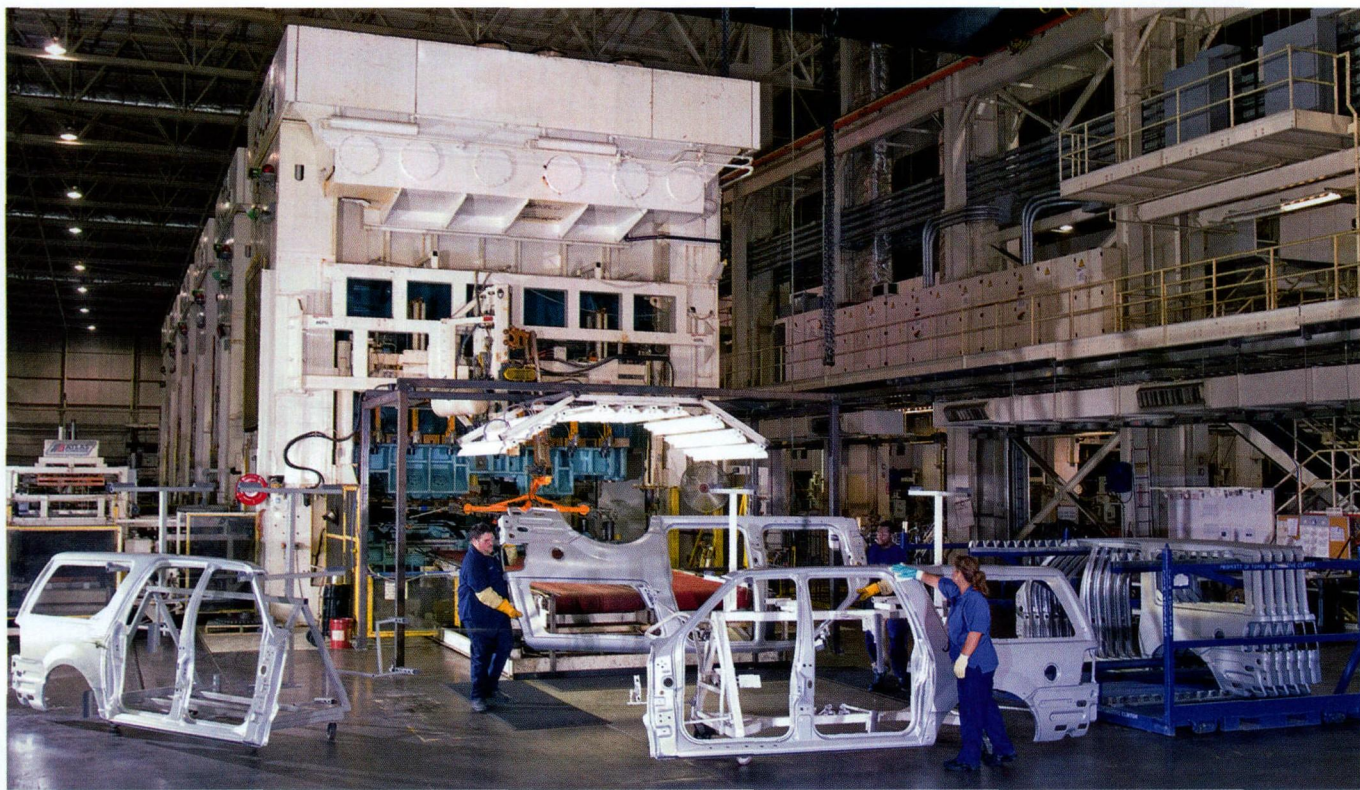


图1 成型技术工人在越来越短和高效的过程链中工作

成型制造

成型技术瞄准 4.0

目前，高新技术全面促进了传统成型技术改造。高强度和超高强度钢、小批量、多品种、优良的品质和低成本将是未来的发展趋势。面对这些挑战，成型技术也在改变着其过程链，在实践中为“工业 4.0”生产做足准备。

文 | Stéphane Itasse

目前，OEM 平台供应商的数目有下降的趋势。2005 年市场上拥有 277 家供应商。预计，截止到 2020 年只有 195 个厂家。Tower Automotive Holding 有限公司的 Tim Fischer 先生认为其原因归属于“多品种”的市场走向。这种品种多样化是指小批量的零部件数量增加，且要求低成本的生产。

为了迎合市场需求，Tower 公司决定减少成型模具和冲压模具的使用数量，充分利用冲压机的功能。Fischer 例举了一个生产载货汽车双排座驾驶室

门的例子进行说明，该工序只占生产中很少的比例。汽车门的内板和外板，不仅有左面的还有右面的，属于整体的生产范围。其在成型过程中与后排的双排座驾驶室门仅存在非常小的区别。

模块化结构 使成型模具数量减半

为了实现低成本生产，Tower 公司将成型模具改造成模块化结构。无论是汽车左门还是右门均可采用一套模具实现。同时，把汽车把手凹槽和车窗凹槽

的冲压模具进行了改造。车门的内板则通过增加激光切割作业来完成，这里也要区别左件和右件。“由此我们充分地发挥了现有冲压机的生产能力，并可以灵活地实施加工方案的转换。” Fischer 说道。

如果汽车配套供应商担心改造模具会增加成本，新的加工方案则使汽车门外板用模具数量从 8 个减少到 4 个，汽车门内板所需的模具数量从 6 个减少到 4 个，其中激光切割代替了成型压机的作业。通过模具镶块简单地交换，其模

具可重新用于下一代产品，因此具有很大的节约潜能。在生产过程中，Tower 公司利用现有的一台 6 序冲压机同时加工内板和外板。

由于缩短了过程链，轧辊也具有很大的节约潜能。正如成型辊工艺开发部的 Michael Hirsch 例举的一个生产传动齿轮的例子。一直以来，传统的齿轮生产步骤是锻造毛坯车削加工、滚削加工内齿轮和去毛刺、插齿和滚齿、清洗、淬硬及硬车削，最后通过硬精加工对于内齿轮进行修整。其中最大的成本支出当属硬零件的精加工，然后是材料、车削过程和滚削工艺。

作为轧机和轧机工具生产商采用的新工艺是使用全新成型辊。“在现有流程中实现最佳化的潜能很小，而新型的工艺则呈现出更多的可能性。” Hirsch 说道。

汽车变速箱齿轮不再由一个锻造制坯，而采用粉末冶金制成。烧结材料的最大优点首先是对汽车轻量化制造提供了机遇。粉末冶金材料成分自由度大，粉末烧结工艺的近净形以及烧结金属具有密度低 10% 的特点，使其在汽车上的应用有增加的趋势。功能集成更加简单化，近几年来，烧结金属的强度也大大得到了改善。近净成型技术 (Near-Net-Shape) 使材料得到充分的利用，短

的过程链显著提高了能源效率。

由于粉末冶金为多孔材料，通过提高粉末冶金结构材料的密度，排除了由于交变弯曲强度而引起的缺口问题。“通过在齿轮高负载的局部区域提高材料的密度，从而提高最终产品的密度。” Hirsch 说道。

粉末冶金烧结齿轮

一个粉末冶金烧结齿轮新的过程链步骤是生产粉末、压制成形、烧结、后处理、轧齿机加工、热处理、硬精加工等工序。尽管作为原材料的粉末冶金的价格翻倍，但是材料得到了充分利用。汽车传动齿轮的几何形体容易改变，与烧结模具配合精度高。

通过试验证实，纯压制齿轮的抗磨损程度明显高于以往的钢齿轮。安装到汽车上的粉末冶金齿轮与经过磨加工的钢齿轮产生近似的噪声。

“如果人们将粉末冶金的全部潜能归属到短的过程链，人们也应该充分利用零件性能集成。” Hirsch 总结说道。粉末冶金技术将生产过程链缩短了 50%，由此，降低了生产成本，减少了投资费用，节省了约 50% 的生产面积。粉末冶金零件通过重量和制造规格地减少，显著地提高了转矩和噪声性能。

“对于模具制造我们可以在过程链之间采用模拟技术，现在我们需要提高预测精度，计划至 2018 年放弃试验模具。这也意味着我们必须要高精准地模拟，很多项目都可以采用模拟技术，如补偿、折边、机械和热接合、表面探测、摩擦、回弹量或者失效极限等。”

在折边过程中，通过模拟预测外形误差，填料尺寸（包装尺寸）等，甚至扩展到预测折弯过程的裂纹、回弹量和表面。“我们必须拉出量规测量，将总装组件的尺寸精确性上传到 CAD0。” Poelmeyer 继续说道。为此，他的公司专门启动了两个项目，一个是围绕着过程链进行灵敏度的分析，另一个是以模拟最佳化为基础实现过程链的理想补偿。

从模拟到直接批量加工成型模具

“现今我们已经有能力，在奥迪模具制造中对于过程链进行模拟。” Poelmeyer 说道。模拟预测的极限范围包括边裂的敏感性、表面损伤的探测、稳定性以及总装件的模拟。汽车生产商在材料数据方面还有待于去探讨。“拉伸试验达不到材料特性所确定的输入变量。” Poelmeyer 说道。为了获得好的结果，奥迪的工程师们在购买材料中仅为材料特性就支付了很高的费用。Poelmeyer 的目标是为了实现直接批量生产模具，模拟必须精准。

竞争厂家 BMW 也在优化过程链方面下足了功夫。在位于德国的 Regensburg 冲压厂的 Stefan Purr 用研究的分析数据预测车身部件生产中的质量问题，包括从供货的卷材直至成品零件的全过程链的研究。“冲压生产线的生产过程是我们的研究重点，尽管由于受不稳定的影响还要求相同的质量，至今为止的流程要求手动和反应必须相互配合。为此，质量检测需要投入很大的费用，我们必须改变这种现象。” Purr 先生说道。

BMW 的创意来源于分析扰动与质

注重整个过程链的质量

汽车制造商也注重检查过程链的每个步骤。“以前每个过程步骤设有单独的阶段质量检验机构，现在，在接合和折边工序中的质量阶段，更多的是通过虚拟技术支持以达到总装组件的质量。” 奥迪板材虚拟过程链的项目经理 Jens Poemeyer 解释道，

图 2 粉末冶金制成的 6 档传动齿轮，其应用在一个手动变速器上



量之间的关联数据，并上传到一个云存储器（Cloud）内，然后进行评估。每个零件都设有一个识别编码和一个模拟等量。在卷材生产线，通过激光打标机使每块板坯都有一个清楚的ID码。通过这个编码板坯所有的特性被上传到Cloud内。“这时卷材生产线不再是简单地生产板件，而生产出的板件是带有材料性能的可识别的部件。”Purr 解释说到。即使板材件还在卷材的位置时就已经被列入到下一个工位上。在冲压生产线上可识别零件加工的状态。从这个位置开始，不仅材料性能还有加工特性一切尽在掌握中。冲压生产线工序之后再进行检测和误差的测定。

提前避免废品产生

分析结果显示其误差不仅出现在从卷材到卷材，在卷材内部和切割钢板的堆垛内也存在误差结果。“模型预测的结果与出现裂纹的地方相对接近，但是还不能够非常准确地判断出哪些具体位置将会出现裂纹。”Purr 总结道。但是，至少人们可以预测裂纹产生大的可能性区域。“未来我们继续计算研究，在废品出现之前提前排除。”Purr 接着说道。

正如在成型技术的效率课题项目中所涉及的。位于德国 Chemnitz 的 Fraunhofer-IWU 领导 Dirk Landgrebe 教授解释说道：“如果人们要实现最佳化，就要看整个过程链。”模具、质量保证、物流、生产过程中的数据处理也包括在内，还有与配套供货商的过程链同属“工业 4.0”的项目。这些项目正在 IWU 的 E3 研究工厂进行。

Landgrebe 教授认为，从信息物理生产系统的意义上讲，“工业 4.0”生产应该具备三个关键要素。第一是互联智能制造，自主信息交换，自主生产控制，由此生产出智能产品。第二是可识别的，可跟踪的位置以及掌握其背景和状态。第三个因素是人类和资源，如能源和资源效率、智能助手系统、柔性工作机构或者与人口统计相符的工作等。



图 3 装配有现代化控制系统和伺服机械的锯齿和插齿的冷轧轧齿机



图 4 “模型预测的结果与出现裂纹处相对接近，但是还不能够准确地判断出具体哪里会出现裂纹。”BMW 公司的 Stefan Purrr 说道

对于“工业 4.0”的生产，还需要回答三个问题：如何获取数据？怎样进行数据管理和数据加工？怎样汇总和有用的亦重要的信息？

Antritz Kaiser 是冲压和成型自动化制造厂商，他们与专业生产传感器螺栓的 Consenses 合作，并将这种传感器螺栓应用到生产过程中，以获取生产过程数据。“我们将传感器螺栓首先安

装在组合的辊子滑动轨道上，然后安装在整台机床上。”Antritz 公司销售经理 Stefan Kaiser 说道。因为螺栓内的压电石英被挤压和张紧，这样传感器螺栓可以在任意的地方测量拉伸力和压力。按照 Kaiser 的观点，在半成品时压电石英就被滚压了直至冲压件的完成都可以自己识别。在新型的智能工厂将有全新的生产物流。“工业 4.0”生产是基于传感技术、控制技术和通信，成型过程链是从半成品开始，包括在之前和之后仓储过程和产品生产的全过程。

在实践中体验“工业 4.0”

目前一个位于 Fulda 的客户正在体验试装有传感器螺栓的机床。“面临的挑战是，这样大量的数据进行计算，无论对于机床操作人员、机床制造者还是应用企业都提供了好的计算可能性。”Kaiser 说道。体验的客户应该将搜集和评定的数据在下个月汇总到模拟程序内。机床制造商要重视保护数据，机床控制系统的数据和压力要存储在机床的黑匣子里。如果需要维修，要在客户在场的情况下读取数据。MM