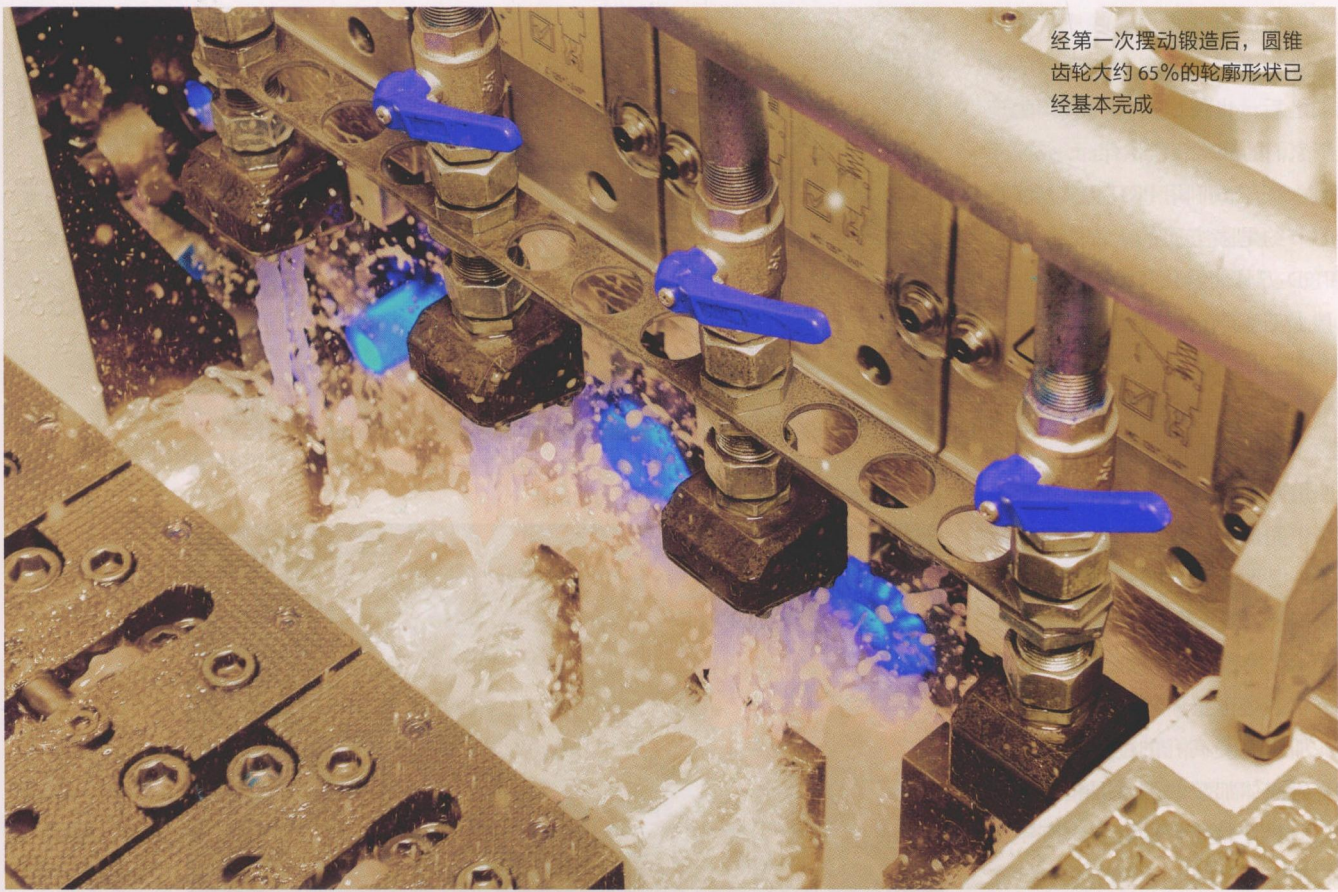




经第一次摆动锻造后，圆锥齿轮大约 65% 的轮廓形状已基本完成

锻造

精密锻造替代切削加工

在制造拥有高承载能力和功能表面的铸件时，例如用于车辆、飞机和机床设备关键部位的铸造零件，除了常规的金属切削工艺之外，还有两种无需切削的大批量生产工艺可供使用：摆动精密锻造和精密锻造。

文 | Jürgen Fürst

许多 OEM 汽车生产厂家和汽车零部件供应商都能够在尽可能少的生产制造过程中完成拥有高承载能力和功能表面的铸件的生产加工，实现交钥匙的产品供货。供货时的批量越大，这一目标就越重要。现在所要生

产和制造的零部件的形状和结构越来越复杂。利用摆动精密锻造和精密锻造两种工艺可以非常接近这一目标。这两种工艺方案都有着各自的优点和使用限制；本文中介绍的差速器圆锥齿轮就是一个很好的实例（图 1）。

精密锻造在大批量生产中的优势

严格来说，摆动精密锻造和精密锻造并不是两种独立的工艺。摆动精密锻造使用的锻坯是锻造对称回转体形工件所需的具有最终零件轮廓形状的毛坯（净成形）。



图 1 轿车和货车的差速器圆锥齿轮可通过摆动精密锻造加工，也可以通过精密锻造加工

而精密锻造则是把锻造和成形加工工艺（见附表）组合在一起的复合锻造工艺；加工出来的锻件接近最终轮廓形状（近净成形）或是最终轮廓形状的工件。尤其是在结合半热挤压成形工艺或者冷成形工艺之后，可以锻造出无需机械切削加工即可安装使用的具有功能性表面的最终锻造产品。在完成净成形锻造之后可以省略费用高昂的后续加工，例如各种金属切削加工或焊接类的连接加工。无论是摆动精密锻造还是精密锻造，从节约原材料、缩短工时和提高零件晶格结构等方面来讲都要优于铣削加工。

由于精密锻造能够加工出几何精度很高、形状非常复杂的锻件，因此是全球锻造领域中公认的顶级锻造技术。利用精密锻造可以锻造出拥有功能表面、公差严格、高表面质量和无需机械加工即可安装使用的锻件（图 2）。它能够加工的锻件包括从圆锥齿轮、同步环、叉形和碗型零件、制动执行器，直至离合器的变速传动齿轮。除此以外，供水、煤气和建筑领域中使用的许多零件也都采用这种精密锻造工艺来生产制造。在差速器圆锥齿轮的精密锻造加工中，首先利用热锻把圆锥齿轮 98% 的轮廓形状锻造成

形；然后在压力机精确校准的挤压过程中，使圆锥齿轮达到最终所需的尺寸公差和表面质量。在准确调试压力机后，利用精密锻造工艺可以在大批量生产（100 000 件）时按 120 件/min 的速度高速生产出合格的圆锥齿轮。

而保证锻造精度和最终零件轮廓形状，降低生产成本，提高锻造工艺过程可靠性的基础是其所使用的锻造模具。在模具制造中，要考虑许多对精密锻造最终产品质量产生影响的变量参数。这些变量参数包括锻造开始时毛坯材料沿切向流动的剪切、毛坯材料充满整个模具的型腔、充型的重复精度以及在规定承载能力基础上的齿形设计等。在掌握了精密锻造的所有过程和参数之后，可以通过进一步的几何形状优化做到任意的控制和调节锻造零件的承载能力。然后，才能在大批量和高精度的锻造生产过程中经济地锻造出功能集成度很高的零件。

把简单的热锻和摆动精密锻造结合后，能够实现经济的生产过程和高质量的最终产品。

完成零件最终轮廓形状的 65%

圆锥齿轮的毛坯采用热锻成形加工而成，在这个简单、经济的生产过程中，完成圆锥齿轮最终轮廓形状 65% 的加工。这样，

生产企业只需一台市场上常见的锻造设备即可，例如 Hatebur、Aufmacherbild 等公司的设备。在摆动精密锻造设备上冷锻出圆锥齿轮的最终轮廓和形状；最终冷锻出准确的轮齿。摆动精密锻造技术是一种冷成形工艺：它的变形力仅作用在工件的局部表面。当模具的下模与上模准确合模之后，上模绕摆动轴线做 0° ~ 2° 的摆动运动（图 3）。在摆动模具的碾压下，锻件材料迅速地充满模具的整个型腔。这样作用力始终只是作用在零件表面。它所产生的纯滑动摩擦的滚动摩擦力非常小，锻件材料在阻力很小的情况下即可产生径向流动。因此，所产生的最大应力只是略微超过锻件材料的流变应力。由于很小的接触面积和有利的摩擦状态，因此所需的摆动锻造力仅为挤压时的 10%。

通过上模的摆动运动能够保证在绝对不产生裂纹的情况下实现很高的成形率。这种锻造工艺和锻造设备所决定的摆动精密锻造属于单级锻造。也就是说：在压力机滑块的一个行程内只完成一个成形加工过程。而这一个成形加工过程中则包含了若干摆动运动。由于摆动精密锻造模具的生产制造成本并不是太高，因此在锻造批量不大的情况下，摆动精密锻造是非常理想的加工方式。

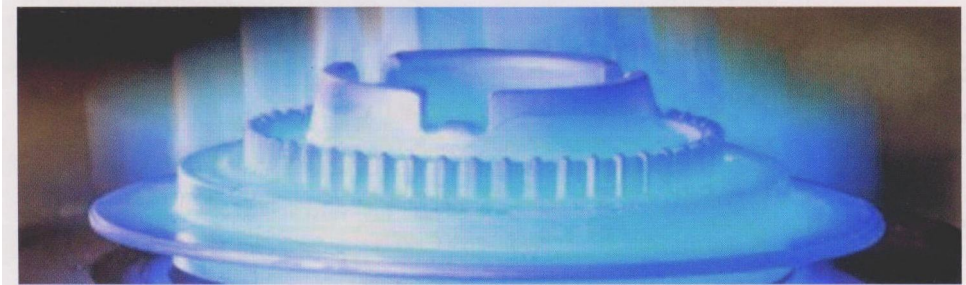


图 2 利用精密锻造可以加工出有着功能性表面、公差严格、表面质量高和无需机械加工即可安装使用的锻件

在市场上也可以购买到现成的摆动精密锻造机床，如 Heinrich Schmid 股份公司的产品（图 4）。摆动精密锻造的生产节拍约为 5s。某汽车生产企业在稳定的生产条件下，利用摆动精密锻造机床每天能够生产将近 18 000 个符合技术要求的圆锥齿轮。

连成一条生产线

这种在室温下没有振动的、能够加工出准确形状的摆动精密锻造允许把锻造和其他摆动精密锻造零件的后续加工放置在一个车间中，这样就构成了一条完整的生产线。在差速器圆锥齿轮的摆动精密锻造中，将车削和拉削加工结合在一起，辅以必要的上下料装置，这样就构成了一条自动化生产线。由于摆动精密锻造过程完全不使用冷却液和润滑油，因此有着很好的环保性能。由于不使用冷却液，因此不会出现蒸发和挥发现象，能够实现保护工作人员身体健康的目的。同时，也不会在地面上出现油污和

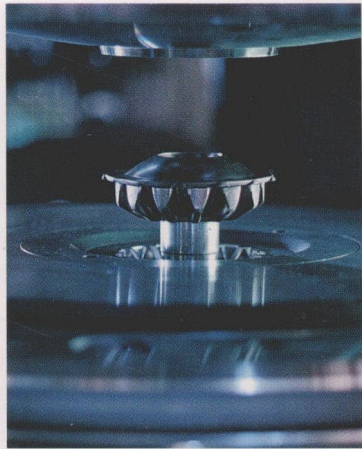


图 3 当下模对模具中的锻造毛坯进行锻压时，上模正在进行圆弧形的摆动运动

润滑油，大幅降低了发生人身伤害事故的风险，延长了卫生清洁的周期。除此之外，摆动精密锻造比精密锻造有着成本费用更低、占地面积更小、需要操作人员更少的优点。

通常情况下，锻造集中在单独的一个厂房或车间内。因为这道工序除了会产生强烈的振动和高温以外，还有产生大量的粉尘和污垢，不适合集成到加工生产线中。在已经拥有锻造车间的大

型 OEM 汽车生产企业或是其零部件供应商处，都可以安装精密锻造设备。对于任何一家企业来讲，新建一个锻造车间都是一项很大的投资。这对于零部件生产企业来讲也就意味着要在“购买或制造”、“用以工艺为主导来代替项目为主导的生产加工”等战略决策间做出决策。一些专业的锻造设备制造商专门生产这类精密锻造设备（例如 Sona BLW 公司）。

通过对精密锻造锻件表面质量的分析，可以得出如下结论：按照 DIN 3965 标准制造轿车差速器的差速锥齿轮时，摆动精密锻造的制造精度达到 ISO 公差 7 级精度的规定，超过了要求的 IT8；精密锻造能够达到的精度为 IT8，在采取了特殊的措施之后也可以达到 IT7 的等级。齿面的啮合质量对表面磨合痕迹有着重要的影响，表面磨合痕迹表示的是：各个齿面的承载情况和磨蚀情况。表面磨合痕迹越好，齿轮传动就越平稳，车辆在的弯道行驶也就越平稳。在试验台上可以清楚地

锻造加工的可能性：冷锻、热锻和半热锻的工艺特点			
	热锻（模锻）	冷锻（冷挤压）	半热锻
钢材的成形温度℃	一般超过 1000	室温	一般在 650 ~ 900 之间
成形性能	任意，锻造方向无凹陷	主要为回转对称体	尽量为轴对称或者回转体
钢材种类	任意	低合金钢 C<0.5%， 其他合金元素 <3%	含碳量任意， 其他合金元素 <10%
成形加工性能	任意	变形率小于 1.6	变形率一般小于 1.6
锻造前准备	-	球化退火，磷化处理，皂化	石墨化
中间处理	-	变形率小于 1.6； 中间退火，重新处理表面	一般无需
可达到的加工精度	IT 16 至 IT12	IT11 至 IT7	IT12 至 IT9
表面粗糙度 Rt μm	>100	5~20	<50
经济批量（单件重约 1kg）	500 件起	3000 件起	10000 件起
模具使用寿命	约 5000 件	约 20000 件	约 10000 件
模具设计和制造费用 欧元	一般 <10000	10000~20000	大于 20000
材料利用率 %	60 ~ 80	一般大于 90	一般大于 90



纸媒



在线



会议



服务



图4 在标准的锻压设备中，使用摆动锻造方法不会产生高额的模具费用

显示车辆正常行驶几千公里后圆锥齿轮的表面磨合痕迹。在特殊显示方式的帮助下，不仅可以实现摆动精密锻造，还可以实现精密锻造圆锥齿轮表面磨合痕迹的优化。摆动精密锻造技术几乎适用于所有回转体零件的锻造，例如法兰、离合器零件和盘式圆锥齿轮等。另外，汽车转向驱动机构的传动齿轮常采用摆动精密锻造工艺制造。轴对称零件或者有凹陷结构的回转体形零件不能采用摆动精密锻造。对称回转体零件表面结构的高度是限制摆动精密锻造工艺应用的一个主要因素：轮廓形状的高度从两个方面来限制：一个是模具在滑块摆动头内的回转效应；另一个是上模中模腔的深度，这一深度相当于零件表面结构的高度；这一尺寸限制了围绕摆动回转中心点的摆动。而精密锻造加上精密锻造后的校正是非常麻烦且成本很高的工艺方案，在校正前要求精密锻造的零件达到很高的准确性。这就对模具制造提出了很高的投资要求，也带来了很高的模具维修费用，而校正压力机的投资也是一笔不小的费用。但这种工艺方案可以锻造的零件的几何尺寸和形状几乎是不受限制。

高效地使用摆动精密锻造和精密锻造工艺

摆动精密锻造和精密锻造两种工艺都能够高效利用锻件的原材料，锻造出高精度、无需后续机械加工、复杂程度一般和结构并不非常紧凑的零件。由于精密锻造和摆动精密锻造在零件的成形加工过程中不切断材料的纤维，使得零件能够按照更加合理的材料纤维流向承受载荷，因此采用这两种锻造工艺的锻件都有着很高的承载能力。因此，使得差速器圆锥齿这类的零件有着很好的轮齿表面接触痕迹，提高了传动的平稳性。

从总体生产过程来考虑，摆动精密锻造工艺应用范围很广。这种锻造工艺和设备可以轻松集成到现有的生产线中。但不建议专门为采用摆动精密锻造而对现有的正常生产的生产线进行改造。可以在新零件的生产线设计时考虑采用摆动精密锻造工艺，这样能够充分体现出摆动精密锻造一次锻造出最终形状和精度的优点。精密锻造的特点是：几乎可以锻造出各种几何结构和形状的锻件。同时，在批量大于 100 000 件时，它具有生产时间最短的优点。MM

工业展会 日历

MM 现代制造 **2014**
工业展会日历

Wahlmarkt
vogel 弗戈工业媒体 www.vogel.com.cn

2014年 工业展会日历 火热预订中.....

便于记录每天重要事件，
深受读者喜爱！

MM 现代制造
MACHINENMARKT

详细资料请垂询

☎ 广告部：010-63326090-230

E-mail: mmsales@vogel.com.cn



Vogel 弗戈工业媒体

www.vogel.com.cn