

磨床

大型部件的大型加工

通过大手笔投资于机加工设备,包括一台先进的 5 轴式 6 m 规格的仿形磨床,让这家位于美国西南部的机加工企业制造大型齿轮、轴和其他矿业部件方面拥有了更强的竞争力。

L&H 公司(位于怀俄明州)在位于亚利桑那州 Tempe 的工厂生产加工的齿轮、轴和相关矿业机械部件总会让人为之惊叹。但是,同样令人印象深刻的还有该公司自 2008 年以来在采购设备方面所做出的投资。在过去几年间,该公司已经在这座工厂投资超过 2000 万美元用于添置机床、翻新现有设备以及扩建厂房。而 Wayne Myers 先生却强调,这样的投资只

是开始。

Myers 先生已经在 L&H 公司工作了近 30 年,是一位三朝元老,他担任过许多的职位,包括机床操作员、销售代表和工厂经理。他解释说,在 L&H 公司购买这家工厂之前,这座加工厂就像其他许多开展同类加工业务的企业一样,还在依靠过时的手动设备和传统工艺来制造矿业机械所用的大型齿轮和部件。在被收购后,L&H

公司采取了一些重大的发展措施,力求让这家工厂具备更强的全球竞争力,其中包括添购了一台先进的 5 轴仿形磨床,用于制造更高质量的齿轮,极大程度地提升了加工件的表面质量。厂内还安装了一台体积庞大的多功能 CNC 车床,这台车床能够只用一次夹装就加工出经常要与许多齿轮配合工作的长轴。

齿轮制造与传统工艺

1964 年,Leon Wandler 与其他 6 位成员一起在怀俄明州的 Gillette 创建了 L&H 公司,从事设计和制造矿业挖掘机、拉铲拖拉机和钻机零件。该公司还专注于为全球矿业提供现场维修和重新制造服务。

L&H 购买了这座位于 Tempe 的工厂,以便公司能够将自己的经营范围扩张进入墨西哥和美国西南部。该工厂于上世纪 70 年代建立,用于制造大型齿轮。不久之前,该工厂还在使用二战时期的手动设备进行生产并采用传统的大型齿轮制造工艺。例如,新齿轮坯件先进入切槽机,通过切除齿之间的大部分材料而加工出大略的轮齿外形。随后工件送入一台滚齿机或一台刨齿机用于完成齿形加工。

滚齿机将具备特定渐开线齿形的旋转式滚齿刀进给至工件之内,加工出轮齿。相反地,刨齿机会将相对较经济的刨削型刀具沿一个轴上下移动,刨制出齿形。在刀具非切割地向上行进中,这台机床的刀架座和转台将同步小幅移动,模拟齿轮与其啮合部件进行啮合或分离。刀具沿此路径多次向下运动后即可完成齿形加工。根据任务的不同,可以对此

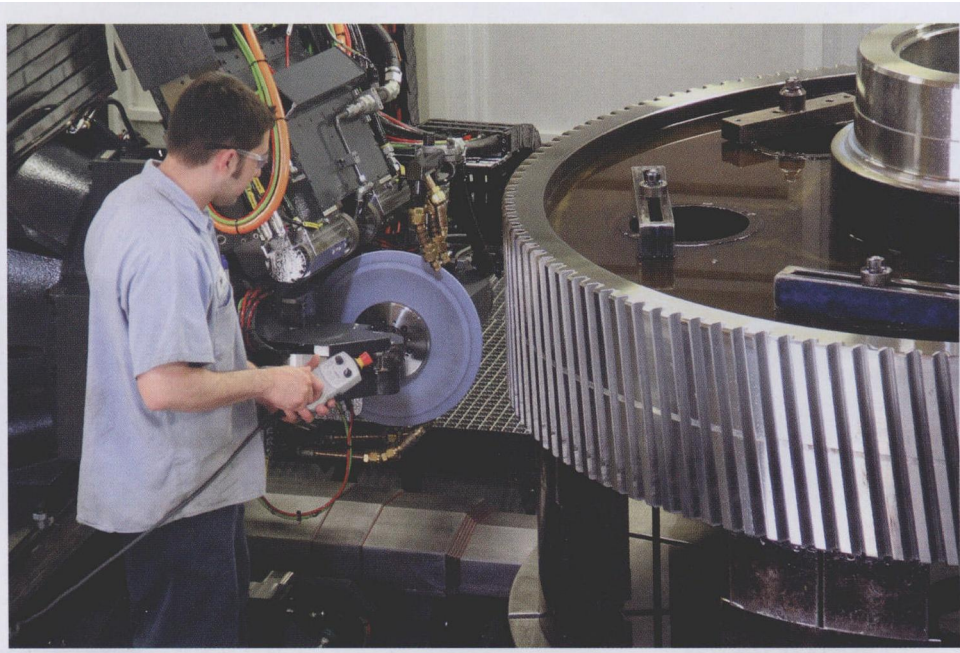


图 1 Tempe 工厂最近添置的一台 5 轴磨床,用于将巨型齿轮磨制至 AGMA 14 等级水平以及 $R_a 2.4$ 的表面质量

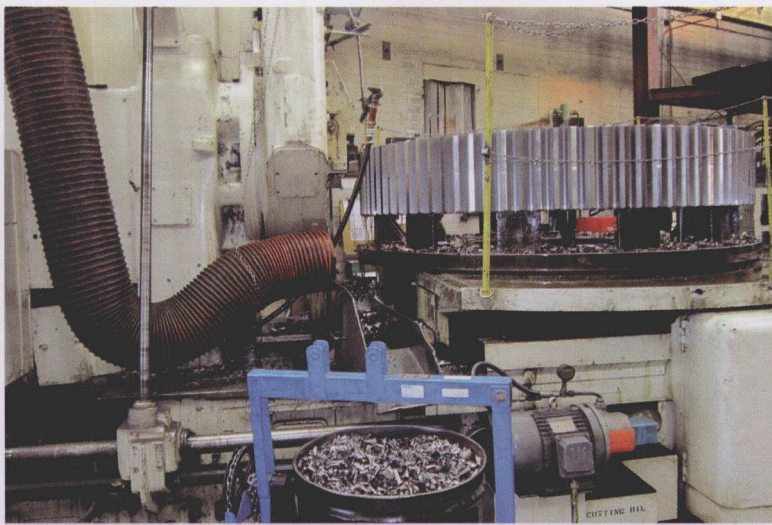


图2 在这台刨齿机上，刀具非切割性的向上行进时，这台机床的刀架座和转台将同步移动，以模拟齿轮和部件的啮合运动。刀具沿此路径多次向下运动后即可完成齿形加工

机床做出调整以改变齿数、齿形或齿距。这个加工思路的出现可以追溯至 20 世纪初期，但至今仍然是加工大型齿轮齿形的流行方法之一。直到不久之前 L&H 公司在 Tempe 的工厂还一直在使用一台 50 年代产的刨齿机来进行轮齿的最后机加工。

改进工艺

尽管这些年来齿轮的设计并没有大幅度的改变，但采矿设备 OEM 商对质量的要求已经变得更为严格了。美国齿轮生产由美国齿轮制造商协会 (AGMA) 主管，这个协会针对齿轮几何公差建立了各种等级或分类。较高 AGMA 质量指数表示一个在齿间距、齿形和升程方面都为紧公差的齿轮。

在 L&H 公司并购之前，Tempe 工厂在其刨齿机上可以达到的最高等级为 AGMA 8。但是，当今许多采矿设备 OEM 商要求齿轮达到 AGMA 10。意识到这个问题后，公司要求 Myers 先生找到有可能让这家加工厂在大型齿轮上达到 AGMA 10 质量等级的齿轮制造技术和工艺。Myers 先生花了一年时间，前往世界各地考察，与齿轮制造界建立联系，考虑了

一些设备，诸如一台 7 轴铣床，甚至考察过一台曾经作为 CNC 改造主力候选设备的二手刨齿机。

Myers 先生认为，生产出的齿轮具备高表面质量与达到高 AGMA 等级同等重要。很明显，更为精细的表面光洁度意味着啮合齿之间的摩擦更小，从而在最大程度上减少发生点蚀的可能性，而点蚀会导致齿轮过早损坏。Myers 先生强调说，任何经过滚齿加工或刨齿加工的齿都会存在进给线，而且其表面质量不会好于 $R_a 100$ 。

这种情况促使公司决定购买一台 Höfler 的 Rapid 6000 型 5 轴仿形磨床，这台磨床可以容纳直径达 236 in (1 in=25.4 mm) 的齿轮。



图3 这台 5 轴 Höfler Rapid 6000 型仿形磨床的工作台能够在静压轴承上沿轴向和径向运动

目前，这台磨床已经让 Tempe 工厂达到了其最初的 AGMA 质量指数目标，并能将制出来的轮齿精磨至 AGMA 14 级以及 $R_a 24$ 的表面质量。

磨削工艺

Rapid 6000 能够容纳直径范围为 9.5~236 in 的工件，且最大工作面宽为 80 in。Myers 先生表示，这台磨床还能够有效磨制出高品质的齿形。Rapid 6000 采用了矿物铸造床身，与铸铁相比，这种床身能够提供更好的隔振和热误差质量。因此，加工生热和周围设施导热对于机床部件膨胀的影响就会低得多。

Rapid 6000 长达 2350 mm 直径的工作台拥有 50t 的载重量并能依靠静压轴承沿轴向和径向移动。这个工作台拥有直径为 750 mm，深度为 1300 mm 的中心孔，能够将轴工件固定好以便进行磨齿作业。事实上，Rapid 6000 磨制加工的第一个部件是用于采矿的大型球磨机齿轮，而传统上这种齿轮采用切槽和滚铣的方式进行加工。原来的加工作业需要长达约 50 h，但是切槽后进行磨削加工时，第一个齿轮只用了 18 h 就完成了。

图4 工程师 Rory Tagle 正在工件模型上设计一个模拟圆筒表面形状, 以防止磨轮进给到这个区域



Myers 指出, Rapid 6000 采用的工作台驱动装置为力矩电机, 实现了平稳、无反冲的运动。其工作台角度转换误差在 $(10^{-6})^{\circ}$ 度之内, 转速高达 70 r/min。此外, 这台磨床的研磨头也专门配备了一个力矩电机, 并配有直接测量系统进行精确的位置控制。研磨头内还直接集成了一套配有 2 个砂轮的修整系统。当这台磨床检测到由于磨头偏差而导致磨削压力增大时, 就将自动调整修正例行程序。在修整之后, 磨床的控制部分将计算磨轮的直径以自动确定新的径向进给值。在磨削期间, 磨床能够调整自己的磨头螺旋角度, 并沿切线方向变动磨削主轴位置以实现同步 5 轴联动。压力角度没有限制, 而螺旋角度范围为 $-45^{\circ} \sim +120^{\circ}$ 。这台磨床还拥有一个安装在其尾架上的内部磨头, 此磨头可用于磨制内部毛刺或螺旋齿形。

除了这些设计方面的特点以外, Myers 先生还对其他 Höfler 设备用户对有关服务的正面反馈意见十分满意。同时使用多种磨削设备的用户告诉他, Höfler 的维修人员接获问题通知后, 会在几天

之内到达现场, 而其他制造商有时会在几周后才来。

Rapid 6000 投入使用仅不过一年, 所以 Tempe 工厂仍然处于学习阶段之内。Rory Tagle 作为一位已经在该工厂工作了 12 年的员工, 担任了这台磨床的第一班编程员和操作员。他在操作手动机床方面拥有深厚的经验, 实质上, 手动机床的所有动作都要求一定程度的人工定义, Rory Tagle 承认说这种认知导致他最初对转向使用 CNC 机床时感到一些困惑。但是, 他表示, 带有直观易懂界面的控制装置让编程工作相对较容易上手, 他也不再需要为每一项

机床运动或动作进行编程或计算了。Rory Tagle 所使用的 Höfler 的 GearPro 对话式编程系统只需输入具体作业的几项参数即可。这款标准软件能够针对几乎所有的渐开线齿形进行修整, 并将齿形修改情况以图形方式显示在 CNC 的显示器上。加工过程中的探查例行程序能够测定出待磨削量。此外, 这台磨床的接触式探针还能用于最终检查工作, 最终检查后磨床将自动生成检查报告。

工艺集中

目前, 这台 Rapid 6000 磨床已经使得 Tempe 工厂能够生产出 AGMA 14 级的齿轮, 并能让齿轮获得优秀的表面质量, 确保齿轮部件拥有更长的使用寿命和更安静的运行。然而在磨削加工前仍然需要进行切槽加工, 随后进行滚齿或刨齿作业以形成粗略的齿形。因此, 该工厂正致力于使这台磨床实现一次装卡完成所有工序而无需预加工的改进。

作为这种新加工方法的组成部分, 由 Cool-Grind 公司供应的一套新型冷却剂喷嘴系统将添加到这台磨床上。这些喷嘴采用了聚合射流技术, 能够在冷却液流

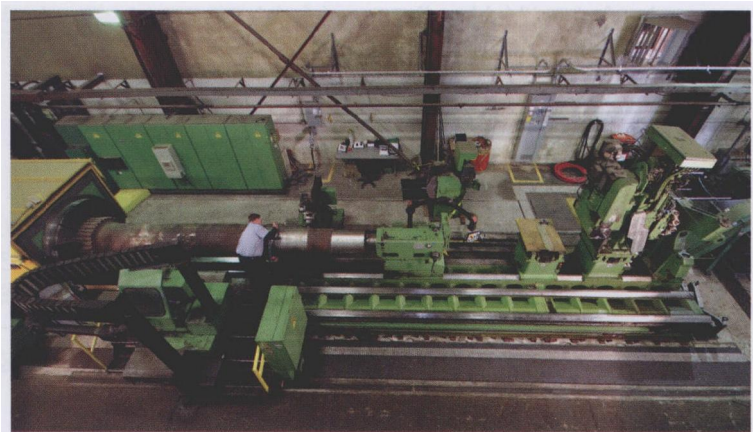


图5 这台 Ravensburg CNC 车床是美国西南部已安装的最大 CNC 车床之一。其摆转范围为 55 in 并适合加工长达 354 in 的工件。除了车削以外, 这台车床还可以执行铣削和花键加工作业, 可一次装卡完成整个轴部件的加工



图6 这个用于铁矿和铜矿生产的球磨机外壳体现了 Tempe 工厂所执行大型机加工作业, 该部件的两端都将在工厂的立式转塔车床上进行表面加工

出时形成一种紧贴并聚合的射流。这点对于磨削加工来说特别重要, 因为绝大多数的热量都会进入部件而不会随磨屑带走。这种射流的高冲击能量能够消除空气的边界层, 而这种边界层经常会导致低压力的冷却液不能沾湿高速运转的磨轮表面。这种集中喷射的射流让磨轮能够将冷却液直接带入到磨削区。在这套系统安装到这台磨床上时, 将使用一台固定在这些喷嘴尖头的微型激光器来实现射流的精密瞄准。

尽管这种工艺将要求大量的材料削除作业, 并且比传统的磨削工艺花费更多的时间, 但该工厂坚信通过集中工艺可以最大程度地减少大型工件的夹装作业以及运送作业。

扩大生产规模

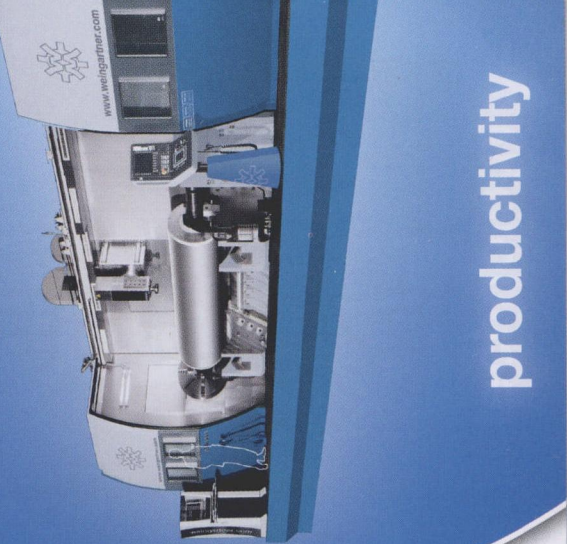
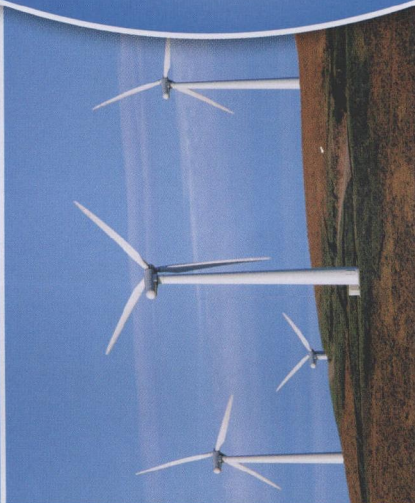
Tempe 工厂最近购买的设备也不全部是新设备。事实上, 购买二手机床也能够带来良好的成效。该工厂最近安装的一台体积庞大的多功能 Ravensburg CNC 车床就是一个很好的例子。这台车床的垂直转塔可车削直径长达 29 ft (1 ft=304.8 mm) 的部件, 水平车削长度达 354 in。除了拥有 55 in 的摆转能力之外, 这台车床还拥有一个铣削主轴和 12 个自动刀库, 实现了一次装卡就可完成花键轴、球磨机齿轮和类似部件的加工, 而无需在车床和铣床之间搬运工件。

该工厂还将自己的一些现有设备进行了改造。例如, 为滚齿机加装了一个 CNC 系统并改为执行切槽作业, 并制作一个定制附件, 使其可以加工内部花键。其 Carlton 5 轴 CNC 卧式镗床也即将接受改造, 以通过更少的夹装来加工更大型的齿轮。另外, 该工厂目前正在扩建一个新的焊接车间, 而现有焊接区将成为另一个机加工工段。这项改建将这家工厂的总面积从 36 000 ft² 增加到了 58 500 ft², 该工厂还将给整个生产区加装空调。Myers 先生表示, 这些投资正是使 L&H 公司的年度业务量从 1000 万美元增长至 1 亿美元的原因之一。MM

energy

turbines & generators

downhole



weingartner.com

▲ 反馈服务编码 M4527

EMO
Hannover
16-21-9-2013

WEINGÄRTNER
MASCHINENBAU
GESELLSCHAFT MBH



productivity