

磨削

高效磨削使机加工更具价值

效率的提升、成本的节省和更高质量的生产正是 Brad Foote 齿轮传动公司追求的目标。然而，寻求达到这些目标的方法是很困难和耗时的。虽然如此，潜在的好处是如此吸引人，以至于为了获得竞争优势值得去投资进行测试和研发新材料和技术。这篇文章将要描述的是由 Brad Foote 齿轮公司所追求的一种更高级磨料砂轮的测试。文 | 3M 公司

Brad Foote 公司充分整合精密传动解决方案，从设计、加工到特殊焊接和测试。在有机精密公差传动燃气轮机产品的背景下，这家公司的业务现在扩展到更广阔的能源和基础设施市场。公司对产品有高精度的要求，精细到毫米或微米级别以满足最精确的公差和最高标准，要达到这一要求，研磨材料至关重要。

新砂轮的挑战

Brad Foote 最近做了砂轮测试，这个砂轮用于生产燃气轮机上的片齿和主轴齿，选这两个部件做测试的原因是在 Brad Foot，它们属于非常难磨的部件。高的质量标准、使用的材料、需要的修改，意味着他们很难进行快速的大批量生产。在充满竞争的齿轮传动市场，任何能够缩短生产周期的创新技术和产品都潜在地可以提高盈利，因此，这些测试着眼于找到提升效率的机会，并且生产出来的任何成果，都相当于给客户的附加值。

测试部件的材料是特种合金钢 (CrNiMo)，在磨削中容易产生裂纹，和玻璃相似；再加上这个部件要求非常高，所以磨削工具和磨削方案非常关键。现存的两个长期用于磨片齿和主轴的两个砂轮被称为 A（用于两个部件的细砂轮）

和 B（用于磨齿轮轴的细砂轮，在砂轮 A 之前使用）。虽然 A 和 B 是已建立工艺过程中的一部分，Brad Foote 试图找到一个砂轮方案可以实现不同的目标，主要是减少生产周期和物耗。达到这些目标有很大潜力去减少成本，即使单位磨料成本高于目前使用的砂轮。

更新换代的研磨技术

Brad Foote 选择测试的产品是 3M Cubitron II 陶瓷砂轮，生产厂家称它可以大大提高生产效率和砂轮使用寿命。这种砂轮的性能有这么大提升源于它的微粒技术，这完全不同于其他普通砂轮。目前市场上用的大部分普通砂轮使用的

磨粒形状不规则，耕犁时金属摩擦产生热量，使磨料变钝，从而增加磨削时间。然而，Cubitron II 砂轮使用了 3M 微复制平台生产的精密形状磨削技术，这些磨料很小；小三角结构在磨削中不停的破裂生成新的边角，使磨粒有自锐性。与普通砂轮“犁”这个动作相反的是，精密形状磨粒是“切”进金属。这不仅减少工件损伤和磨削热量引起的变色，而且能使砂轮切得更干净、更快、更持久。

低速齿片生产

关于用砂轮 A 进行现存低速齿片生产工艺的齿形磨削，这个砂轮可以进行粗磨和精磨，虽然它需要很频繁的修形。每



图 1 Cub II 磨料

一面都需要一个独立的程序磨削，需要耗时 107 min。用砂轮 A 磨削一个完整的部件，所用时间超过 3.5 h。砂轮 A 的寿命是每片磨削 2.5 件齿轮。要满足客户的高生产要求，如此长时间的加工周期是一个很大的挑战，而且要独占这种专用设备。除了减少生产周期和物耗以外，这个部件测试目的是找到一种产品能最大限度利用这台机器的产能。当 Cubitron II 砂轮被用来完成同样的任务时，它减少加工时间到每面 46 min，每件 1.5 h。除此之外，磨削 5 个工件才需要换砂轮，并且提高侧面的光洁度，和酸洗检测时的形貌。这证明了 Cubitron II 只需更少的砂轮修形，并且砂轮不会出现变钝。

另外，Cubitron II 砂轮的成本相对高些，但是设备磨削同样数量工件的时间低于砂轮 A 的一半，减少了操作成本约 25%。因为用更少的砂轮完成了相同



图 2 单齿磨削

数量的工件，Cubitron II 砂轮也节省了仓库空间，Cubitron II 增加了机床产能，节省了资金在机床上的投入，从而使得公司可以有更多的资金去开发其他的业

务，而不是整年只生产齿片。

大齿轮生产

Brad Foote 现存的磨削大齿轮、双

1995-2015
TCT Show
全球领先增材制造、3D打印
技术展览会

亚洲3D打印、增材制造展览会 TCT亚洲峰会

2015年3月12-14日

上海跨国采购会展中心（上海市普陀区中江路35号）

马上预登记

→ 在线预登记 www.tctasia.com.cn

请输入邀请码 **TCT-MED1502** 完成预登记

→ 微信预登记

TCT 观众服务中心：400 821 3388 陆先生

vnu 万耀企龙

RAPIDNEWS
communications

设计灵感 · 制造创意

- 3D打印与增材制造设备
- 原型制造与产品开发
- 软件系统
- 3D扫描与数字化模块
- 3D打印耗材
- 3D打印部件与其他服务

螺旋齿，每面有两个不同工艺程序，两个不同等级的砂轮。砂轮 B，粗磨砂轮，不能满足侧面光洁度要求；砂轮 A 不适合粗磨，用于精磨，因为它的磨粒太细，会造成烧伤。两个砂轮都用于粗磨阶段，粗磨时间平均每面 8 h。砂轮 A 被交替互换去磨削侧面，也仅仅勉强达标。两个砂轮同时也用在精磨阶段，这是一个充满挑战的长时间运行。

图片所示的不是所谓的大齿轮，但是作为例子展示了使用不正确的砂轮或者磨削方法会使这种材料发生什么情况。正如前面所说，这种材料像玻璃一样容易破裂。受砂轮 A 和 B 磨削速度的限制，大齿轮被非常小心、非常慢地磨削，那么磨削大齿轮的挑战要比小齿轮更大。像小齿轮测试一样，用这种新砂轮磨削大齿轮的目标包括减少磨削时间和砂轮用量，但也有淘汰两个砂轮工艺、提高

齿轮质量的目的。

测试表明，Cubitron II 砂轮能满足所有目标，1 片 Cubitron II 砂轮能同时完成粗磨和精磨，对应的旧方法需要四片砂轮。砂轮修整次数也更少，避免了砂轮磨损，以致于两面都可以用一片砂轮磨削。磨削时间减少了 50% 以上，达每面 5.66 h。用砂轮 A 和 B，使侧面的表面光洁度保持低于最大允许范围下的 0.3 μm。这些性能使操作工能迅速地磨削工件达到质量要求。大齿轮对比表显示它的结果比小齿轮更加吸引人，因为完成同样工作，一片 Cubitron II 砂轮相当于 4 片老砂轮。砂轮成本在磨削每批齿轮节省超过 8500 美元。除此之外，磨削时间少于原来一半。砂轮和机器操作上的节省，加上更优化的省时，总成本减少近 50%。



图 3 Cubitron II 砂轮

具有说服力的结果

这项测试是在 2012 年末和 2013 年初进行的，基于令人信服的结果，Brad Foote 将大、小齿轮的磨削工艺转换为使用 Cubitron II 砂轮，公司也已经开始将这种砂轮用于矿业行业产品的研磨应用中。其他几种砂轮也在测试早期被考虑，但没有哪个性能可以和 Cubitron II 相比，特别是 Cubitron II 砂轮达到的侧面光洁度是其他砂轮难以匹敌的。此外，Cubitron II 砂轮在测试期间没有出现工件烧伤或破裂，即使测试条件砂轮使用极限值。使用这具有挑战性的材料无疑是一个显著的成就。

释放机床时间的价值

这项测试很好地展示了 Cubitron II 产品线的性能。当磨料去切割而不是“犁”金属时，砂轮就会更快和更持久地工作，同时产生更少的热量。这种磨料极大地缩短了磨削时间，用更少的砂轮加工更多的工件。使用 Cubitron II 砂轮所带来的释放机床时间的价值可能是最重要的一个方面，也是很难精确计算的。但是很明显，当机加工时间释放，公司可以引进以前不具备能力完成的新项目。Cubitron II 砂轮的优点不仅在于总的砂轮成本更低，也极大地提高了生产力。此外，该公司获得更快、更可靠的产能，帮助确保产品准时送达客户。在效率、成本和工件质量方面的获益，Cubitron II 砂轮在 Brad Foote 公司无可置疑地证明了它的价值。

表 1 低速小齿轮磨削结果

低速小齿轮磨削结果		
	砂轮 A	3M Cubitron II 砂轮
右齿面加工时间	107 分钟	46 分钟
左齿面加工时间	107 分钟	46 分钟
完成完整工件总加工时间	3.34 小时	1.32 小时
磨耗比		砂轮 A 的两倍

表 2 大型齿轮磨削

大型齿轮磨削			
	砂轮 B- 粗磨	砂轮 A- 精磨	3M Cubitron II 砂轮
右齿面加工时间	8 小时	4 小时	5.66 小时
左齿面加工时间	8 小时	4 小时	5.66 小时
完整加工单个零件总时间	24 小时		11.3 小时（没有完全发挥砂轮潜力）

表 3 低速小齿轮和大型齿轮 11 个月结果总汇

低速小齿轮和大型齿轮 11 个月结果总汇		
	砂轮 A 和 B	3M Cubitron II 砂轮
总加工时间	1122.6 小时	465.13
砂轮成本	36, 978 美元	31, 727 美元
机床成本	56, 130 美元	23, 257 美元
总成本	93, 108 美元	54, 984 美元
总成本节约		38, 124 美元, 成本减少 41%