

强力快速送进打磨

—国外精铸技术进展述评(10)—

《特种铸造及有色合金》，2005（10）：615-618

现在无论国内外，打磨铸件的手段主要是砂轮和砂带磨轮二种。但国外只是在少数情况下使用砂轮。砂带打磨已成为打磨铸件的主要手段，广泛用于不锈钢、高温合金、钴基、镍基合金和钛合金等各种合金铸件，在某些情况下也用于精整、抛光。手工打磨只在批量小时采用。从效率、质量、安全和降低成本等诸方面考虑，越来越多地采用半自动或机械手全自动打磨技术。

一. 磨料、磨具的更新^{[1] [2]}

1.1 氧化铝纳米陶瓷磨料

传统的磨料主要有碳化硅和刚玉（氧化铝），它们都很硬（前者莫氏硬度 9.6，后者 9.4），打磨一些不是特别硬的金属材料、或塑料、橡胶等较软的材料时，打磨速度快而均匀。但它们又都较脆，受冲击时，磨粒容易破碎，打磨时施压不宜过大，因此，打磨硬的金属材料时，效率低，磨具寿命短。较之于上述二种磨料，锆-铝尖晶石就更强韧，打磨时以中等强度施压，即可获得较为理想的效果，故适用于手持工件打磨浇冒口等大磨削量场合。上世纪 80 年代，一种生产氧化铝纳米陶瓷(简称氧化铝陶瓷)的新方法——Sol-Gel 法，由美国 3M - Abrasive Systems 公司发明并取得专利权。与传统磨料电熔刚玉的生产方法不同，它不是由工业氧化铝经电弧高温熔融，再冷却、破碎、筛分制成，而是用氧化铝酸性水溶胶，经胶凝、干燥后获得纳米级超细微粉，再在 1500~2000℃下高温烧结制成。其莫氏硬度高达 9.8，比碳化硅和刚玉都硬，接近世间最硬的材料金刚石。特别是它非常坚韧，打磨时，能承受大压力施压，因此，打磨速度快，效率高，磨具使用寿命长，并适合机械化和自动化操作^{[1] [2]}。图 10-1 所示为在 0.7MPa 大压力下，不同磨料打磨效果的比较。

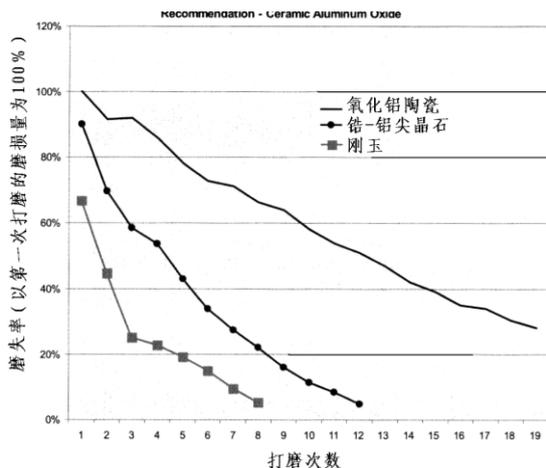


图 10-1 在大压力下 (0.7MPa) 不同磨料的打磨效果

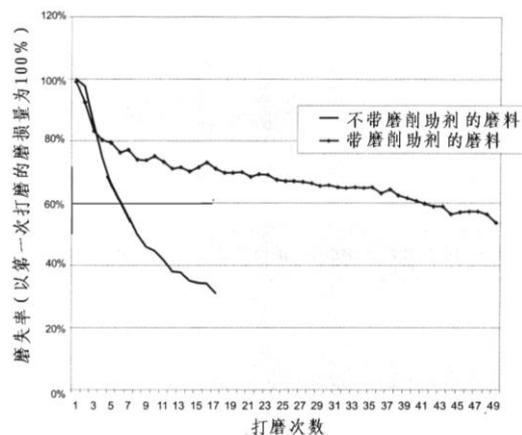


图 10-2 磨削助剂对打磨效果的影响

(打磨对象: 304 不锈钢, 磨料: 氧化铝陶瓷)

1.2 微细转印 (Microreplication) 砂带

对于磨具使用寿命和打磨效率起决定作用的固然是磨料，然而，其他一些因素，例如磨

粒在砂带上的粘结强度和磨削助剂（通常是润滑剂）也有重要作用。图 10-2 所示就是带有和不带磨削助剂时打磨效果的对比。1990 年 3M - Abrasive Systems 公司率先推出并获得专利的一项制作砂带的新技术——微细转印 (Microreplication)法问世。与传统砂带不同，它不是将磨粒直接粘附在人造纤维编织衬带上(图 10-3 下和图 10-4 右)^[2]，而是在衬带表面转印上具有预期几何形状和尺寸的研磨锥(图 10-3 上和图 10-4 左)或研磨块。这一改进不仅使砂带上承载的磨粒数量大增，而且还可以把磨削助剂添加其中。使用传统砂带打磨时，磨粒的顶部与工件接触，锋利的磨粒尖端很快就被磨秃，随即从砂带上脱落，磨削效率急剧下降，砂带也很快报废(图 10-5 上)。用微细转印法制成的砂带打磨时，研磨锥(块)表面的磨粒一旦磨钝，就会从粘结树脂上崩裂，同时，暴露出新磨粒，不断形成锋利磨刃，直至所有研磨锥被磨平为止(图 10-5 下)^[2]。这种砂带打磨效率高，使用寿命也长，尽管它的价格比传统砂带贵，但经久耐用，打磨铸件的数量多，打磨速度快，所以，打磨一个铸件所耗费的成本却成倍下降^[2]。

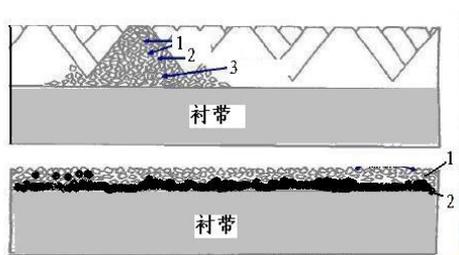


图 10-3 微细转印砂带(上)和传统砂带(下)的比较
1—磨粒 2—粘结树脂 3—磨削助剂

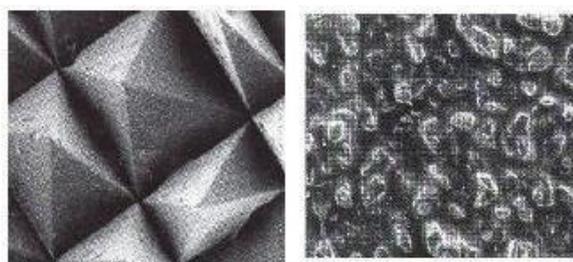


图 10-4 微细转印砂带（左）和传统砂带（右）的放大照片

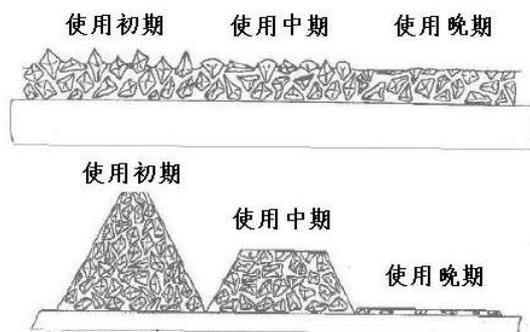


图 10-5 传统砂带 (上)和微细转印砂带(下)使用过程磨损情况对比

图 10-6 所示为 INCAST, 2004(9):25 刊载的 3M - Abrasive Systems 公司最新推出的 Trizact CF 砂带。其上的 Microreplication 研磨块厚而耐用，比传统砂带装载的磨粒多 2~3 倍，使用寿命长 2 倍，而且，工件经打磨后的表面粗糙度始终保持均匀（见图 10-7）。

二. 强力快速送进打磨

由于磨料和磨具制作技术的重大改进，特别是氧化铝纳米陶瓷和微细转印砂带的开发成功，为强力快速送进打磨 (High-Pressure Power-Assist Plunge Grinding) 提供了必需的物质基础和前提条件。其实，这种技术的原理很简单，就是通过液压缸产生强大压力(3.5~5.0MPa)，迫使工件快速送进(图 10-8 和图 10-9)^[8]，从而使打磨速度成倍增长。如果选择合适设备和合理

的工艺参数，打磨效率很高。

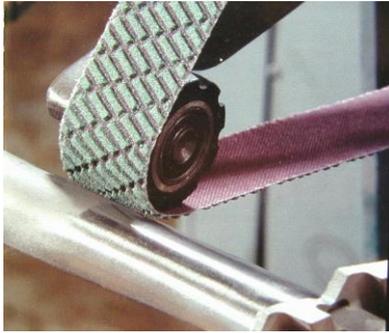


图 10-6 Trizact CF 砂带

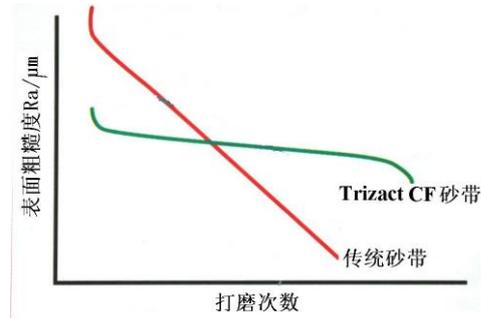


图 10-7 Trizact CF 砂带打磨过程中工件表面粗糙度的变化



图 10-8 高压强力快速送进打磨示意图 10-

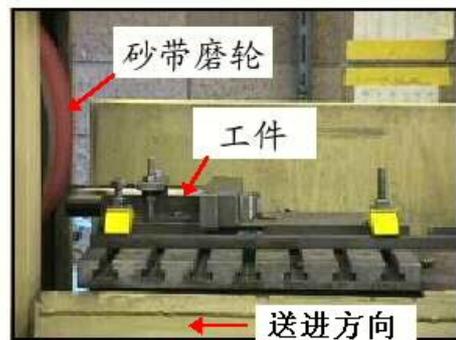


图 10-9 高压强力送进打磨近照

3M - Abrasive Systems 公司在大量实践经验的基础上，归纳出不同合金铸件的打磨送进速度如表 10-1 所列^[4]。由表 10-1 可见，打磨 400 系列不锈钢铸件时可以 8mm/s 速度送进，一个面积 20mm×20mm 的浇冒口残根，可在 1.5s 内磨掉，加上装卸铸件的辅助时间，能在 10s 内打磨一个铸件。这比手工打磨节省 2/3 时间，使用一台这样的设备就可减少 3 个工人。由于打磨时工人不用手持铸件，其主要任务是装卸工件和管理设备，所以一个工人可以同时打磨几个工件，而劳动强度却大为减轻。采用如此强大的压力快速送进，有人会担心砂带的使用寿命。其实不必，这是因为采用大的机械压力可能将磨粒更深地切入工件表面，提高磨削效率，并且，磨秃变钝的磨粒会更快地崩裂或破损，催生出许多新的锋利磨刃，直至所有磨粒都被耗尽为止。另外，打磨速度快，摩擦产生的热量迅速被磨屑带走，也有利于延长其使用寿命。图 10-10 和图 10-11 分别是打磨时的工作状态和设备外观^[3]。

打磨时工件装卡夹持可采用专门设计的手动快速夹钳（图 10-12）^[5]，也可采用转盘或机械手等多种方式(见图 10-11、图 10-13 和图 10-14)^[8、13]。

三. 工艺参数对打磨速度和质量的影响

除设备和砂带外，砂带速度、接触轮及衬轮的硬度，以及接触轮槽形等工艺参数对打磨速度和质量也有一定影响^[6、7]。

- 砂带的速度 砂带速度直接影响打磨速度、表面粗糙度和打磨过程中产生的热量。一般来说，砂带速度快打磨速度也快，工件表面粗糙度细，但过高的砂带速度会使工件发热。软的金属，如铝和黄铜等，可以采用较高的砂带速度。打磨钛合金要求不能产生过多热量，建议将砂带速度降低到625m/min。表10-2 列出了在手持工

件打磨时，不同合金材料的最佳砂带速度^[6, 7]，供参考。

表 10-1 不同合金材料的打磨送进速度^[4]

送进速度 mm/s	7	8	9	10	11
铸造合金种类	12% Manganese Steel CD2 CD3 CM5 CS1 CS01 H13 HASTALLOY C INCALLOY 825 MONEL 400 MONEL 401 STELLITE 1 STELLITE 2 STELLITE 8 STELLITE 12 STELLITE D2708 XW41	15/5 PH 17/4 PH 410 420 430 431 440C 8620 CA6NM EN24 EN33 EN36A	1020 1030 1045 1325 302 303 304 304L 309 310 316 321 4140 4340	G1 Gunmetals LG2 LG3	27 CR AC 601 Aluminun Grade 12 Grade 14 NI Hard NI Resist 2 SG Iron



图 10-10 强力送进打磨工作状态

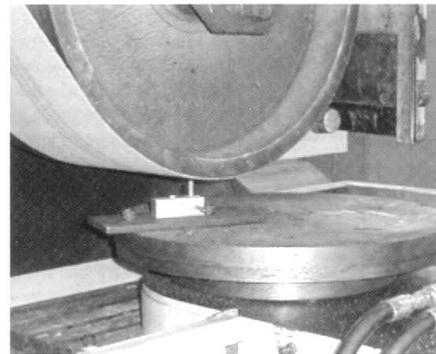


图 10-11 转盘夹持打磨铸件

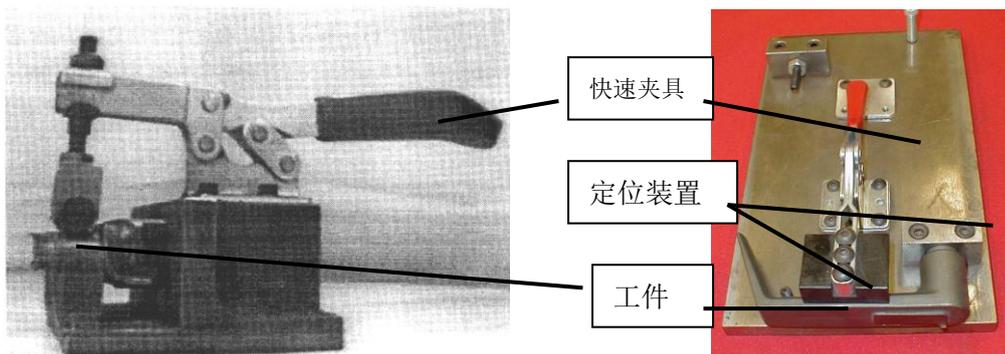


图 10-12 手动快速夹钳

- 接触轮及其背衬轮硬度 接触轮通常可由钢、铝、压紧的帆布和硬橡胶等多种材质制成。接触轮材质的软硬对砂带打磨速度和一致性有决定性影响。软的接触轮配合软而轻的背衬，对工件有好的随形性和适应性，切入工件的深度比硬接触轮浅，有利于获得粗糙度细而均匀的光洁表面，但打磨速度和砂带寿命有所降低。适用于对表面不十分平整的零

件（如高尔夫球棒头等）进行倒圆和磨光。硬橡胶接触轮有更高的能效，使磨料更深入地切入工件表面，有利于加快打磨速度，但打磨面较粗糙。随形性和适应性较差的硬接触轮适合打磨平整表面。氧化铝陶瓷磨料更适合用硬接触轮、大磨削量。硬接触轮促使粗磨粒崩裂以保持锋利，从而获得持续的高磨削速度和延长砂带寿命。

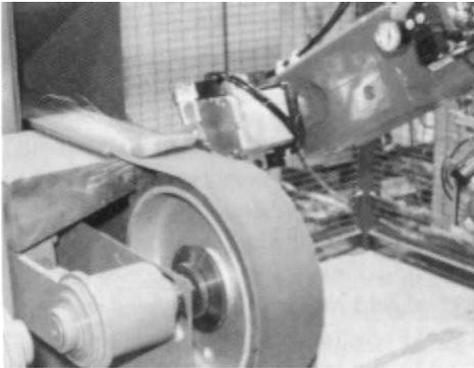


图 10-13 机械手打磨铸件



图 10-14 机械手打磨铸件

表10-2 不同合金材料的最佳砂带速度（手持工件打磨）

合金种类	砂带速度 m/min	砂带等级（粒度）
铸铁	1750	24~120
碳钢	1625	24~120
不锈钢	1750	36~120
镍合金	1625	36~120
钛	625~750	36~180
铝	2125	24~120
黄铜	1875	36~180

- 接触轮的齿形和槽形 与光滑圆柱轮相比，由于锯齿形接触轮减小了切向接触面积，使得在相同施压的条件下，单位面积挤压力增大。所以，随着凹槽宽度增大，打磨效率提高。打磨量大的操作（例如，去除浇冒口和焊缝、调整尺寸等），推荐使用锯齿形接触轮。更大的有效压力将使粗一些的磨料，特别是陶瓷氧化铝，得到更加有效的应用。在手持工件打磨操作中，带锯齿槽的接触轮有助于防止磨粒变钝，因为它能促使磨粒崩裂而重新变得锋利。但凹槽过宽会缩短砂带寿命。但锯齿形接触轮，用手工操作可能会感到力不从心，故更适合半自动设备或机械手夹持工件打磨。

参 考 文 献

- 1 Nick Orf, 3M Abrasive Systems Division St. Maximizing Pressure-Assisted Gate Removal Operations. INCAST,2002(7):16~21
- 2 Ross McLean. A Systems Approach to: Grinding, Finishing, And Surface Conditioning Applications. Investment Casting Institute: 50th Annual Technical Meeting ,USA, 2002, No.15
- 3 Grinding & Polishing Machinery Corp. Increasing Grinding Efficiency Simple & Not-So-Simple Alternatives INCAST,1995(7):12~15
- 4 Matthew Pinczes. Implementation Of A Rapid Grinding System. Investment Casting Institute: 43rd Annual Technical Meeting ,USA, 1995, No.24
- 5 Matthew Pinczes,. Cost Benefits & Implementation Guidelines For High-Pressure Power-Assist Plunge

Grinding, INCAST,1996(7):15~17

- 6 Nicholas Orf,. Cleaning Room Automation For Higher Quality, More Consistent, Lower Cost Investment Castings. INCAST,2000(10):12~15
- 7 Nicholas Orf. Optimization Of Coated Abrasive Grinding Performance. INCAST, 2001(7):14~19
- 8 Eric L. Askeland, Nicholas A. Orf. Abrasive Technologies and Applications in Investment Casting. Investment Casting Institute: 52nd Annual Technical Meeting ,USA, 2004, No.21
- 9 Nick Orf .MAXIMIZING PRESSURE ASSISTED GATE REMOVAL OPERATIONS. Investment Casting Institute: 49th Annual Technical Meeting ,USA, 2001, No.25