

3D 打印合金的背景知识

金属能以元素形式存在，例如金、钛或铁，也可以合金形式存在，例如钢或汞齐。传统上，它们是通过铸造进行加工的，这其中又存在不同的工艺：通过火焰、电弧、电阻或感应加热铸造设备进行熔融。除了铸造技术外，还有作为减材制造的铣削和增材制造的 SLM（选择性激光熔化）技术。本文将探讨上述几种技术是否会影响牙科合金的性能和 / 或加工处理。

关键词：材料，金属，合金，增材制造，减材制造，铸造，SLM

Roland Strietzel 博士（德）
编外讲师（教授）；
BEGO 公司合金研发主管
strietzel@bego.com

引言

金属可以金、钛、铁等元素形式存在，也可以以钢或汞齐等合金形式存在。合金是至少两种物质的混合物，其中主要的一种必须是金属，必须保留金属特性。⁸ 因此，根据定义，合金属于金属。“金属合金”一词与“白色的白马”或“圆形的圆环”一样，都是冗余的表达。

可以从不同的角度对金属进行分类：

- 轻 / 重金属：以密度来区分。一般来说，所有密度在 4.5 g/cm^3 以上的金属被称为重金属（钛金属的密度为 4.5 g/cm^3 ）。这种分类对于牙科领域没有意义。但是，重金属往往被视为有毒性的，而事实并非如此。例如，锆或金虽然是重金属，但是无毒。
- 非贵金属 / 贵金属：贵金属具有正标准电位，³⁰ 不被非氧化性酸（例如盐酸）溶解。在牙科领域，也有贵金属（EM）和非贵金属（EMF）合金之别。
- 必需 / 非必需金属：一些金属，如钠、钾、镁、钙，都是电解质平衡和功能支持（骨骼、牙齿）所必需的。酶需要一些微量元素才能发挥作用，例如铬、钼、钴和镍等金属。血红蛋白又称血红素，在体内输送氧气方面起着至关重要的作用，而铁是血红蛋白的重要组成部分。至于贵金属或锆对人体的基本功能是否发挥作用，尚未可知。有些元素是有毒的，它们中有汞、铅、镉或铍等。它们在人体中的基本作用也同样有待考据。
- 适应证：在牙科领域，金属可用于制作嵌体 / 高嵌体、冠和桥修复体、义齿支架、正畸矫治器、种植体、基台、杆卡附着体和附件等。
- 加工：金属可以使用各种成型工艺进行加工。这包括铸造、电镀或电泳工艺、研磨、烧结以及增材或减材 CAD/CAM 技术。
- 可饰面：原则上，所有金属都可以用复合材料进行饰面。然而，并非所有金属都能够用瓷饰面。

合金通过将各个元素熔化在一起而获得。从化学角度来看，合金是固溶体。其他元素溶解在主要成分——“溶剂”中。机械和化学性能可以通过合金化来调整，以达到预期性能。

对比陶瓷，金属的优势是具有延展性（变形性）。陶瓷是脆性材料，会因应力而断裂。相反，金属在断裂之前会严重变形。因此，金属对结构中的缩孔或裂纹等缺陷的反应不那么敏感。³⁰

在牙科领域，只有金和钛是在其元素状态下进行加工的。通常会使用不同的贵金属（EM）和非贵金属（EMF）合金。铸造是牙科加工金属的传统方法，其中包含了不同的程序。熔融可以通过火焰、电弧、电阻或感应加热铸造装置来完成。³⁰

随着 CAD/CAM 技术的发展，牙科行业又引入了这项新的制造工艺。这其中又包含了对金属块进行铣削加工的减材制造和对粉末逐层固化的增材制造方法，即 SLM（选择性激光熔化）技术（图 1 至 3）。



图 1



图 2



图 3

图 1 至 3: 金属基底架制作方法的演变: 从使用火焰的手动离心铸造 (1) 到铸造机 (2) 再到 SLM 工艺 (3)。

综上, 我们会提出一个这样的问题: 不同的制造工艺是否会影响牙科合金的性能和加工处理?

烧结

烧结是使难以或不可能通过熔化加工的材料进行成型的一个工艺步骤。粉末状颗粒通常在压力下容易凝固。通过添加主要由蜡或在极少数情况下由复合材料制成的粘合剂 (粘结剂), 来成型目标物体, 例如切削型金属圆盘。

带粘结剂的预压实成型件被称为生坯 (green), 它们具有较低的固有稳定性。在通过加压和 / 或加热而进一步被压实, 并去除粘结剂 (= 脱胶) 后的状态被称为白坯 (white)。这种坯料已经明显比生坯强度要大, 但尚未达到最终强度, 只有经过烧结过程后才能获得。白坯的孔隙率高达 50%。完成烧结的成型件被称为棕坯 (brown)。它们的孔隙数量非常低, 而且强度很大。

为了烧结操作, 首先要对生坯脱胶, 加热至其熔化温度的 2/3 至 3/4 左右。然后开始由三个阶段组成的烧结过程:⁸

- 烧结颈的形成: 各个颗粒之间形成烧结桥 (烧结颈 - 颈状联结), 这是粒子在相邻区域的联结。该阶段几乎没有任何收缩 (= 体积减小), 并且在显微镜下可以看到单个颗粒。
- 孔隙结构的形成: 烧结颈不断增加, 单个颗粒结合的越来越多。形成新的晶界。发生明显的收缩。
- 孔隙圆化和消除: 随着烧结过程的继续, 颗粒之间的间隙变得越来越小。孔隙闭合, 其体积也随着时间的推移而减小 (图 4)。

在烧结过程完成时, 孔隙几乎消失。从技术上讲, 完全无孔隙的状态是无法实现的, 即使烧结物体经过后压实也不能实现。因此, 如果一个物体的孔隙率小于 1%, 就被称为 (技术上的) 无孔。

除了温度、时间和压力之外, 烧结程度 (即烧结强度) 还取决于所使用的材料。硬且非常坚固的材料很难通过压力压缩。然而, 预压实度越高, 可实现的无孔隙度越高。除了化学成分之外, 晶粒的几何形状、晶粒粒度和晶粒粒度