

[材料]

生物材料的喷涂工艺



微量金属粉末的喷涂工艺也可用于人工植入表面均匀微观结构的生产中，并且可以省略后续工序，在生产指定部位时喷涂规定厚度的涂层。

文 / Philipp Imgrund, Sebastian Hein, Vera Friederici

在医疗器械和人工植入物的生产中，喷涂技术为其提供了生产的多种可能性。因为这一技术不受特定喷涂材料的限制，除了可以使用不同的金属材料及合金材料之外，如钛或钛合金，也可以使用陶瓷材料或者塑料材料。它能够按照规定的厚度在规定的部位完成表面喷涂，或者在

这些表面上进行微观和超微结构涂层的涂覆。其应用领域主要是骨质替代材料或者固定肌腱的介入螺钉的生产。

肌腱在骨质上的生长与人工植入物的表面特性有着密切的关系。因此，一般情况下大多数金属材料的人工植入物在生产制造完毕之后都要进行表面处理，使

其达到理想的表面粗糙度；而这一表面处理过程往往与极高的生产制造成本密不可分。

经济高效的表面处理

在过去的一年里，微细金属粉末喷涂工艺技术（ μ -MIM 喷涂技术）在功能性微型人工植入物和微观表面结构的生产研发应用获得了成功（图 1 和图 2）。这一工艺技术用于生产人工植入物时喷涂均匀的微观结构，可以省略后续的表面修整工序。而其带来的另一个好处就是：有利于细胞在均匀生成的表面结构中生长繁殖。

在金属粉末的喷涂工艺中，可以把微细的金属粉末和有机粘结剂利用喷涂机使聚酯基材成型。利用 μ -MIM 喷涂技术，可以喷涂微结构的空腔件，并在其表面形成具有特定厚度的结构表面（结构尺寸在 10~100 μm 之间）。在后

由微量金属喷涂工艺技术生产制造的介入螺钉，除了不同的金属材料及合金材料之外，如钛或钛合金，也可以使用陶瓷或塑料

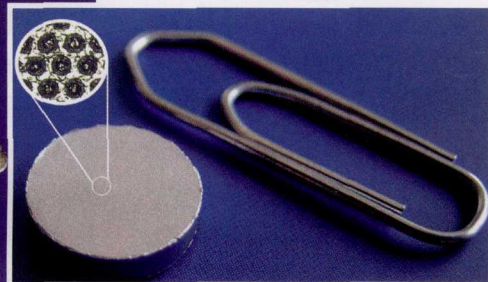


图 1 纳米级和微米级金属颗粒烧结的、有着半空腔形状的试件

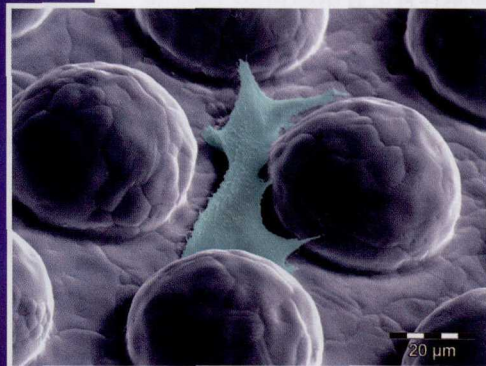


图 2 电子扫描显微镜下的优质钢表面

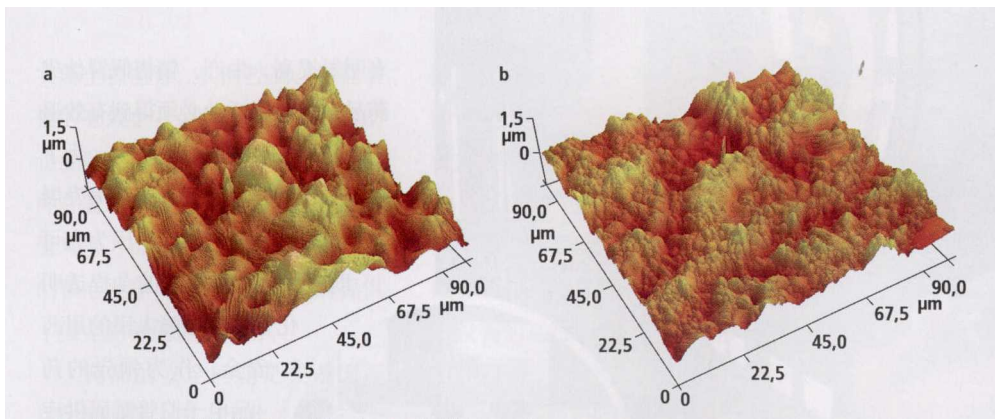


图3 纳米级粉末颗粒添加量不同，表面微观结构也不同

续的热处理工序中，去掉了粘结剂，由上下的材料构成一个完整的零件（烧结的零件）。

在IFAM 霍伦霍夫研究所的研究中，对具有生物兼容性的不锈钢材料316L进行了微结构化处理，以便对其人造植入物的性能进行检测。在表面成型中，利用不同的微结构空穴生产直径为50μm、30μm和5μm、间隔20μm的半空腔空穴（图1）。所使用的粉末是纳米级和微米级颗粒混合在一起的粉末，每一颗粒的直径在15nm~5μm之间。其目的只有一个，即得到精确的空穴。

过程参数对表面质量的影响

正如第一次试验所显示的那样，不锈钢试件半球型的表面结构对于细胞的生长有着明显的好处：在各个半球形的凸起之间有大量的造骨细胞，如图2所示。这样一来，就有可能提供表面结构设计，有目的的控制细胞的生长。

进一步试验表明：植入物的表面结构还可以通过加工参数的变化施加影响，进行控制，例如结合烧结温度和纳米级颗粒添加的多少对骨质细胞的生长有着重要影响。由加工参数影响而引起的表面加工变化可以通过电子扫描显微镜清楚的看出来（图3）。这一照片明确说明：随着微细颗粒尺寸的变化，表面特性也随之变化。通过加工参数的改变和正确的粉末颗粒度的选择，可以直接获得理想的表面质量。

人造植入物生产企业利用μ-MIM喷涂技术控制微观表面结构的另一个目的：进一步加强生物兼容性金属材料钛的应用。迄今为止不洁净物质引起的交叉感染一直是一个令人担忧的风险因素。通过各个喷涂烧结工步之间的精细匹配，有可能利用更少的氧、碳生产出达到纯净度2级的金属钛试件，使之满足医用植入物和人造骨生产的条件和要求。

若经过骨折后确诊有必要用

人造植入物代替一段人骨时，一般情况下要从患者体内取出一段骨质材料，例如髌嵴，然后进行骨移植试样。这一做法的缺点是：给患者带来了不必要的痛苦，增加了费用，得到的合适骨质也非常有限，而且还有可能带来排异性或者传染其他疾病。

制造能被人体组织所替代的骨质材料

在所谓的骨组织培育工作中，合适的人工植入物材料要在一定的时间内发育生长，以代替患者患病的骨组织。此时的一种替代方案就是利用碱性磷酸钙（骨中的主要成分）和聚乳酸（PLA，一种生物兼容性很好且可吸收的生物聚合物）。霍伦霍夫IFAM研究所，在上述基础上研发了一种人工骨材料，可以在人体内降解，由人体组织所替代。此人造骨材料要采用由碱性磷酸盐粉末和PLA聚乳酸涂覆的材料。这些粉末状的涂层材料可以利用前面介绍的μ-MIM喷涂技术来完成涂覆；所用的涂覆材料是碱性磷酸盐粉末和适量的粘结剂。利用这一喷涂技术可以生成高密度和高含量的羟基磷灰石。这样，就可以在植入物逐步降解的同时生长出患者自己的骨质材料。从机械性能的角度来看，这种密致的人工植入物的机械性能非常接近人类骨质的机械性能。

霍伦霍夫研究所当前研究工作的另一个重点是生产试制有一定孔隙率的人造骨样件（图4）。这些孔洞由人体所需的物质，例如食盐所占据。下一步研究的重点就是孔径和孔隙率的优化以及体外吸收性测试和生物兼容性测试。[11]

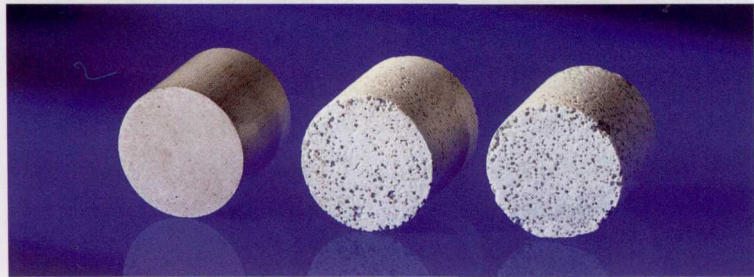


图4 不同孔隙率抗压强度检测试样（从左至右：孔隙率0%~52%）