3D打印高氮无镍不锈钢的应用探究

作为一种近净成形的工艺，3D打印能够直接生产出高尺寸精度和低表面粗糙度的零件。相比于传统加工工艺，3D打印技术可以简化工艺流程，因此对于医用器件等单个或小批量的生产，3D打印成为了一种经济高效的工艺选择，因此本文概述了高氮钢的研究现状和存在问题，并对3D打印高氮钢临床应用进行了展望。

粉末激光熔融(Selective Laser Melting, SLM)工艺作为3D金属打印的一种技术，是利用激光或电子束作为热源，在密闭的空间内和惰性气体的保护下，将粉末材料逐层熔化并叠加固化从而构造出制品。

由于对高氮不锈钢的深入研究，一些研究者提出把高氮含量的奥氏体不锈钢应用于生物医学，他们指出这种不锈钢具有良好的抗腐蚀能力，特别是抗点蚀和晶间腐蚀，而且具有较高的耐磨性，重要的是钢中没有镍元素的存在，从而可避免镍元素在人体内析出造成的致敏性及其他组织反应[3]。高氮奥氏体不锈钢是氮部分或全部取代镍的一种单相组织结构，“以氮代镍”生产奥氏体不锈钢，不仅可以节约镍资源、降低成本、提高强度和耐腐蚀性，还可以提高奥氏体相稳定性，降低导磁率等。

目前临床上广泛使用的医用316L奥氏体不锈钢在长期的使用过程中仍然面临腐蚀或磨蚀问题。高氮无镍不锈钢在满足医学标准所规定的耐腐蚀性和生物相容性的条件下综合性能更加优异。

特别地，倪国龙,任建彪[1,2]等学者探讨了选择性激光熔化（SLM）成形过程中的工艺参数。利用SLM的高冷却速率和合金快速凝固从而抑制氮的逸出，获得高质量高氮钢。研究结果表明，通过SLM成形的试样在抗拉强度、屈服强度以及伸长率等性能方面均优于铸造件。而王书桓,孙鑫[4]等人的研究证明在高压下不锈钢中氮含量更高可以改善钢的力学性能和耐腐蚀性能。

但是SLM生产的缺陷特点和原理都与传统的铸造、锻造不同。SLM制件主要缺陷包括气孔、裂纹和内应力。气孔形态包括圆形与不规则两种，其中圆形气孔主要由于熔池中的气体来不及逸出所致，不规则气孔由于不稳定的熔池形状所致。另一方面固化过程中体积收缩导致球化现象发生，球化现象也极大地影响了打印件内部的致密性。由于SLM过程中垂直和水平方向都存在着巨大的温度梯度，这导致冷却过程中变形不均匀，进而导致打印内部存在的内应力。而一些微缺陷处集中的内应力就会产生裂纹。当内应力释放后，裂纹停止生长，所以裂纹尺寸相对较小。

这些成果均提供了有力的理论支持。通过优化工艺参数，我们可以期待获得具有优异性。

1. 倪国龙. 高压气雾化法高氮钢粉末的制备及SLM成形基础研究[D].华北理工大学,2022.DOI:10.27108/d.cnki.ghelu.2021.000003.
2. 任建彪,赵定国,孙鑫等.过配粉末激光选区熔化制备高氮不锈钢研究[J].粉末冶金工业,2023,33(03):13-22.DOI:10.13228/j.boyuan.issn1006-6543.20220118.
3. 倪释凌,饶钦盛.注射成型高氮无镍奥氏体不锈钢腐蚀性能及其细胞毒性评估[J].工程技术研究,2022,7(11):1-5.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2022.11.001.

[4]王书桓,孙鑫,赵定国等.HPSLM工艺参数对高氮不锈钢氮含量及组织的影响[J].特种铸造及有色合金,2023,43(08):1054-1059.DOI:10.15980/j.tzzz.2023.08.008.

材料的微观结构会直接影响合金修复体的质量及性能、影响修复体的表面形貌及美观性。微观结构甚至通过影响修复体的相对密度影响其疲劳特性、强度及硬度。在三维打印成形工艺中，不同的成型方法对钴铬合金、钛合金的成型质量起了至关重要的作用。Takaichi等[46]对SLM 成形Co-29Cr-6Mo 合金成形件微观组织结构及其力学性能进行分析，当激光能量密度高于400 J/mm3 时，可得到致密的钴铬合金件。刘治等[47]对于三维打印成型的钴铬合金的微观组织观察也证明了，较之传统铸造钴铬合金， 三维打印成型的钴铬合金晶粒细小， 组织更为细密、均匀。EBM成型的Ti-6Al-4V 合金内部存在更加细小的致密的亚组织结构，正是由于如此细小的亚结构，使之表现出超越传统铸造材料、与锻件相当的力学性能[48]，本研究以可摘局部义齿支架最常见的修复材料，钴铬和钛为研究对象，将三维打印快速成型技术应用于上颌全口义齿金属基托的制作。选择两种较为成熟三维打印金属成型技术（SLM 与 EBM），对成型的上颌全口义齿金属基板进行适合性比较，并在上述研究基础上，进一步探索 SLM、EBM 成形钴铬合金、钛合金全口义齿支架的工艺，研究其与手工铸造基托微观组织结构的差异。拟在对比不同三维金属直接打印成型技术运用于活动修复体的优缺点，探寻适合义齿支架成型的三维打印技术，探讨其可行性与可靠性，为进一步临床应用提供实验依据。