

HPSLM 工艺参数对高氮不锈钢氮含量及组织的影响

王书桓 孙 鑫 赵定国 王亚超 任建彪

(华北理工大学冶金与能源学院)

摘 要 通过高压选区激光熔化制备高氮不锈钢,研究工艺参数对不锈钢中 N 含量、组织与硬度的影响。结果表明,合金中 N 含量与腔内熔炼压力成正比,N 含量最高可达 1.05%,腔内熔炼压力促进 N 的渗入并抑制氮的逸出;显微组织主要由细小等轴晶组成,晶粒尺寸为 10~25 μm ;随着腔内熔炼压力增大,晶粒尺寸逐渐变小,显微硬度增大,主要是由于腔内熔炼压力增大,固溶 N 含量增加,晶粒细化,使显微硬度提高。

关键词 高压选区激光熔化;N 含量;微观组织;晶粒尺寸

中图分类号 TG665;TG142.71

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.08.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of HPSLM Process Parameters on Nitrogen Content and Microstructure of High Nitrogen Stainless Steel

Wang Shuhuan, Sun Xin, Zhao Dingguo, Wang Yachao, Ren Jianbiao

(School of Metallurgy and Energy, North China University of Science and Technology)

Abstract: The effects of process parameters on nitrogen content, microstructure and hardness of high nitrogen stainless steel prepared by high-pressure selective laser melting(HPSLM) were investigated. The results indicate that the nitrogen content in alloy is proportional to the luminal pressure, which can reach up to 1.05%, and the luminal pressure promotes the infiltration and inhibits the escape of nitrogen. The microstructure is mainly composed of fine equiaxed grains with grain size of 10~25 μm . With the increase of luminal pressure, the grain size is gradually decreased and the microhardness is increased, which is mainly attributed to the increase of solid nitrogen content, resulting in the grain refinement.

Key Words: High-pressure Selective Laser Melting, Nitrogen Content, Microstructure, Grain Size

高 N 不锈钢是一种具备优异的力学性能和良好的耐腐蚀性能的工程材料,在生物能源行业、航空航天、石油化工行业、海洋工程、生物医用等多个领域应用广

泛^[1-2]。SPEIDEL H J 等^[3]发现在常压下,N 质量分数为 0.40%是钢中的极限值。通常,制备高氮不锈钢方式有 N₂ 加压熔炼、粉末冶金及表面渗氮等^[4]。加压熔炼

收稿日期:2022-12-03;修改稿收到日期:2023-01-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52074128);河北省自然科学基金资助项目(E2020209014,E2019209597);河北省高校基本科研业务费研究资助项目(JYG2021004)

第一作者简介:王书桓,男,1964 年出生,教授,河北唐山(063210),E-mail:wshh88@163.com

通信作者:赵定国,男,1972 年出生,教授,河北唐山(063210),E-mail:zhaodingguo@ncst.edu.cn

引用格式: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(8):1 054-1 059.

WANG S H,SUN X,ZHAO D G, et al. Effects of HPSLM process parameters on nitrogen content and microstructure of high nitrogen stainless steel[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(8):1 054-1 059.

- [16] HUANG T D, JIANG L, ZHANG C L, et al. Effect of carbon addition on the microstructure and mechanical properties of CoCrFeNi high entropy alloy[J]. Science China-Technological Sciences, 2017, 61(1):117-123.
- [17] ZHOU R, LIU Y, ZHOU C S, et al. Microstructures and mechanical properties of C-containing FeCoCrNi high-entropy alloy fabricated by selective laser melting[J]. Intermetallics, 2018, 94: 165-171.
- [18] ZHANG L J, YU P F, FAN J T, et al. Investigating the micro and nanomechanical properties of CoCrFeNi-C_x high-entropy alloys containing eutectic carbides[J]. Materials Science and Engineering, 2020, A796: 140 065.

- [19] 徐超,季德生,李嘉倩. 基于 ProCAST 的行星架铸造模拟及工艺优化[J]. 中国铸造装备与技术, 2021, 56(4): 41-46.
- [20] 张孝元,王孝国,杨光印. 基于 ProCAST 的压壳铸造工艺设计及优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2022, 42(7): 823-826.
- [21] 廖敦明,刘瑞祥,陈立亮,等. 基于有限差分法的铸件凝固过程热应力场数值模拟的研究[J]. 铸造, 2003, 52(6): 420-425.
- [22] 王金国,黄恺,闫瑞芳,等. 元胞自动机-有限元法模拟碳当量元素对亚共晶球墨铸铁流动性的影响[J]. 吉林大学学报:工学版, 2021, 51(3): 11.
- [23] 姜巨福,匡君,张颖,等. A356.2 铝合金轮毂局部增压铸造过程数值模拟[J]. 中国有色金属学报, 2022, 32(2): 313-321.

(编辑:刘晨辉)

法可制备高氮不锈钢,但其成本较高、设备复杂,并且产物存在 N 偏析缺陷等^[5]。

金属增材制造技术通过高能热源将粉体材料快速逐层堆积成形^[6-7]。其中,选区激光熔化(SLM)技术是一个重要分支^[8-11],SLM 工艺特点是金属粉末直接熔炼凝固产生冶金结合,其本质是一个微米级的微冶金熔池高速凝固的瞬时冶金过程。

高压方式增氮是冶炼高效优质高氮不锈钢的技术之一。氮的饱和溶解度受压力的影响显著,随着压力增加,其溶解度呈数量级变化,增氮效果显著^[12-13]。在选区激光熔化不锈钢粉体试验基础上提出了高压选区激光熔化(High-pressure Selective Laser Melting, HPSLM)法制备高氮不锈钢。高压气氛中,高功率激光照射不锈钢粉体形成高温液态微熔池,氮气经熔池表面渗入并在熔池中迁移溶解,熔池底部形成厚度梯度凝壳(糊状区),激光扫描后熔体快速凝固成形。

高压选区激光熔化的核心是钢水高压气氛增氮,微熔池氮化传质,快速凝固抑制 N 偏析,可以在高压下实现激光微熔池协同增氮,提高不锈钢中氮含量,改善钢的力学性能和耐腐蚀性能。与现有工艺相比,选区激光熔化法具有快速凝固、一步成形的优势,但目前采用该技术制备高氮不锈钢的相关研究报道较少。因此,本研究采用高压选区激光熔化技术制备高氮不锈钢,研究腔内熔炼压力对高氮不锈钢的氮含量及分布、显微组织(物相、晶粒尺寸、晶粒取向)与硬度的影响;同时在优化腔内熔炼压力基础上,探究了粉末厚度、扫描间距和扫描速度等参数对不锈钢中 N 含量的影响,旨在为其应用提供参考。

1 试验材料与方法

高压选区激光熔化过程熔池剖面示意图见图 1。高压熔炼腔体包括透镜、成形仓、水冷台、进水口、放气口、安全阀、窥视孔及进气口等。使用前利用真空泵从

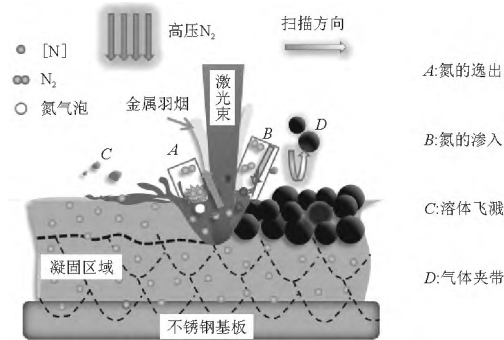


图 1 高压选区激光熔化过程熔池剖面示意图
Fig.1 Profile diagram of melting pool during high-pressure selective laser melting

放气口抽气,将腔体内部做真空处理,通过进气口连接 N₂ 瓶,向腔体内充 N₂,通过气压表观察调节腔体内 N₂ 压力,并设有安全阀保证试验的安全性。试验时,激光聚焦后由上部透镜进入腔体,对粉槽内金属粉体进行选区熔融,铜槽下方是水冷铜台,可实现对选区激光熔化过程冷却速度进行调节。可通过窥视孔对试验过程进行观察和记录。结束后,对成形试样进行收集、分析与测试,得到不同工艺参数下成形高氮不锈钢试样的氮含量、氮分布以及其他各项参数。

采用真空气雾化工艺制备高氮不锈钢金属粉体^[14],其化学成分见表 1。粉体成分测试表明,粉体 N 质量分数为 0.32%。粉体振实密度为 4.9 g/cm³,松装密度为 4.2 g/cm³;使用 JL-A3 型粉体综合特性测试仪(漏斗孔径 2.5 mm)测得粉体流动性为 16.90 s/50 g;通过 BT-9300ST 激光粒度分布仪测得平均粒径为 35.67 μm。利用 TESCAN MIPALMS 扫描电镜观察粉体微观形貌,Rigaku Ultima IV 型 X 射线衍射仪测得粉体物相组成,结果见图 2。由图 2a 可知,粉体几乎全为球形,有少量呈卫星粉状;粉体物相主要为铁素体相,见图 2b。

表 1 高氮不锈钢粉体的化学成分
Tab.1 Chemical composition of high nitrogen stainless steel powders

steel powders											%
w _B											
Si	Cr	N	Mn	Mo	Ni	C	O	S	P	Fe	
0.96	18.06	0.32	11.11	3.13	0.006	0.069	0.062	0.004	0.012	余量	

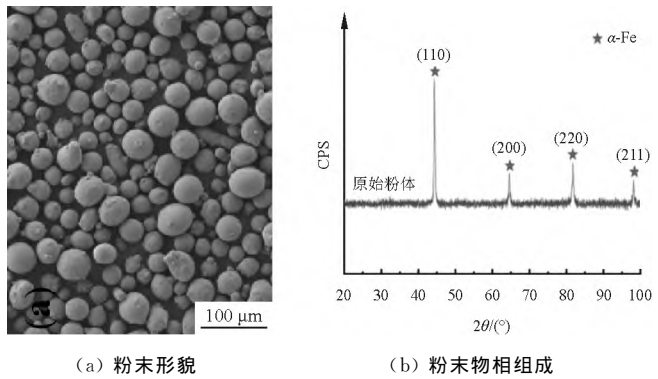


图 2 粉体微观形貌及物相组成

Fig.2 Micromorphology and phase composition of the powders

高压选区激光熔化工艺参数见表 2。方案 1:为获得较优的腔内熔炼压力,基于前期工艺参数优化结果,即高激光能量密度成形高氮不锈钢试样氮含量较低,氮损失较多,选定激光功率为 200~300 W,铺粉厚度为 0.3 mm,扫描速度为 200 mm/s,间距为 0.05 mm,研究腔内熔炼压力(0.1~1.5 MPa)、激光功率对高氮不锈钢成形、氮含量及分布、显微组织和硬度的影响;方案 2:在确定较优的腔内熔炼压力基础上,进一步探究了其他

工艺参数,如扫描速度、扫描间距和粉层厚度对氮含量及分布的影响。

表 2 高压选区激光熔化单层成形参数

Tab.2 Single-layer forming parameters of HP SLM

方案	腔内熔炼压力/MPa	激光功率/W	扫描间隔/mm	铺粉厚度/mm	扫描速度/(mm·s ⁻¹)
1	0.1、0.3、0.5、0.8、1.0、1.2、1.5	200~300	0.05	0.3	200
2	0.5	300	0.02、0.05	0.3、0.5、1.0	200、1 000

利用 LECO 氧氮氢联测仪对 HP SLM 试样进行氮含量检测。测量前,将试样打磨至表面光滑,使用超声波清洗仪进行清洗。采用 X 射线衍射仪[工作电压为 40 kV,管电流为 40 mA,测量范围为 20°~100°,扫描速度为 10(°)/min]对试样进行物相组成分析,并通过

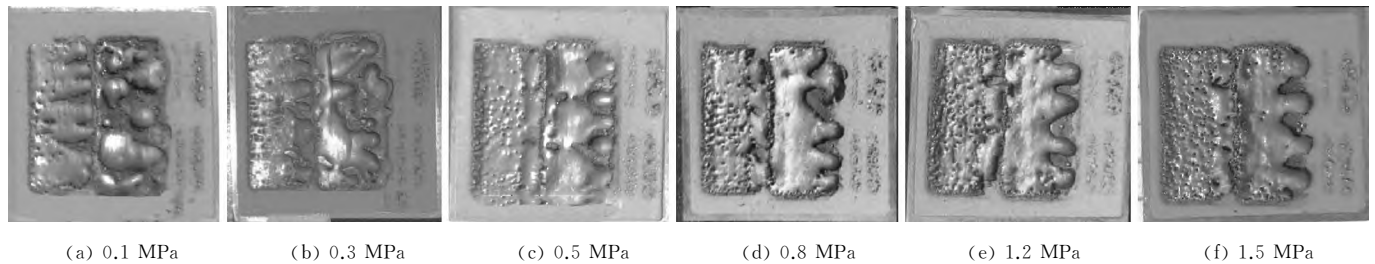


图 3 粉层厚度为 1 mm,不同腔内熔炼压力下成形高氮不锈钢试样(左侧功率为 200 W,右侧功率为 300 W)

Fig.3 High nitrogen specimens formed by different luminal pressure with layer thickness of 1 mm (power is 200 W in left and power is 300 W in right)

氮不锈钢试样。可以看出,随着腔内熔炼压力的增加,两种激光功率(200、300 W)试样成形效果逐渐变好,其主要原因是随着腔内熔炼压力增加,增加了固液相线温度,这与文献[15]研究结果一致。其中,200 W 下,成形试样的孔洞较多,而 300 W 下成形试样的过熔加剧,当腔内熔炼压力为 0.5 MPa 时成形试样较好。

对不同腔内熔炼压力的 HP SLM 成形高氮不锈钢试样氮含量进行测试,结果见图 4。可以看出,当腔内熔炼压力(ΔP)为 0.1 MPa 时,试样中氮含量最低,为 0.384%,N 含量比原始粉体 N 含量高 0.064%;当 ΔP 为 1.5 MPa 时,试样中 N 含量为 1.05%,对 Fe-Cr-Nn

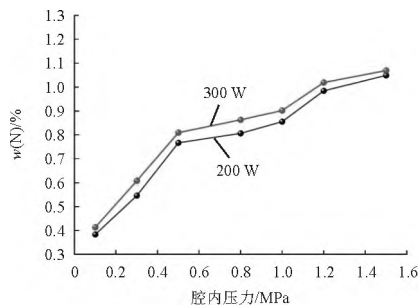


图 4 不同腔内熔炼压力 HP SLM 成形高氮不锈钢试样的氮含量

Fig.4 Nitrogen content in HP SLM specimens with different luminal pressures

Oxford Nordlys 3 快速电子背散射衍射系统(Electron Back-Scattered Diffraction, EBSD)确定物相组成比例。采用 Tukon 2500 型全自动维氏硬度仪测试 HP SLM 试样的硬度值。测试前,将试样表面打磨抛光至镜面无痕,试样清洗吹干后在 3 N 载荷下将金刚石方形锥压入器压入其表面,不同工艺参数下试样分别测量 9 次,并取其平均值。

2 试验结果与讨论

2.1 腔内熔炼压力对不锈钢中 N 含量及分布的影响

图 3 是扫描速度为 200 mm/s、扫描间距为 0.05 mm、扫描层厚为 0.3 mm,激光功率分别为 200 和 300 W、不同腔内熔炼压力(0.1~1.5 MPa)下成形的高

氮不锈钢,当增压熔炼时,氮的溶解度可达 1%,甚至更高,这与熔炼压力和 Cr、Mn 含量有关,这与文献[16-17]研究结果一致。试样中氮含量随着腔内熔炼压力的增加而提高,在腔内熔炼压力为 0.1~0.5 MPa 内,氮含量增加趋势明显,即 ΔP 从 0.1 MPa 提高至 0.5 MPa 时,200、300 W 试样的氮含量分别增加了 0.384%、0.396%(质量分数);随着腔内熔炼压力继续增加至 1.5 MPa,氮含量增加趋势变缓,当 ΔP 由 0.5 MPa 提高至 1.5 MPa 时,氮含量仅分别增加 0.282%、0.260%(质量分数)。另外,激光功率为 300 W 成形试样的氮含量均高于激光功率为 200 W 的试样。

选择腔内熔炼压力为 0.5 MPa 的 HP SLM 成形高氮不锈钢试样,对其 X-Y 截面进行了形貌和元素分布分析,结果见图 5。从图 5a 可以看出,不锈钢组织比较均匀细小,在晶界处存在一些第二相。EDS 分析发现,各合金元素分布比较均匀,无明显元素偏析。这与选区激光熔化工艺的快速熔化和凝固可以有效抑制元素偏析有关。

从图 4 可以看出,HP SLM 成形高氮不锈钢中 N 含量随腔内熔炼压力提升而增加,一方面是因为提升腔内熔炼压力,增加了 HP SLM 熔炼及凝固过程的腔内熔炼压力,熔池内的溶质氮未达到饱和溶解度,熔炼时有

大量 N_2 在激光作用下扩散进入微熔池, 提高渗氮量; 另一方面是增加腔内熔炼压力, 增大了熔池的表面作用

压力, 抑制氮的逸出。这也说明在 HPSLM 过程中, 腔内熔炼压力可促进氮的渗入和抑制氮的逸出。

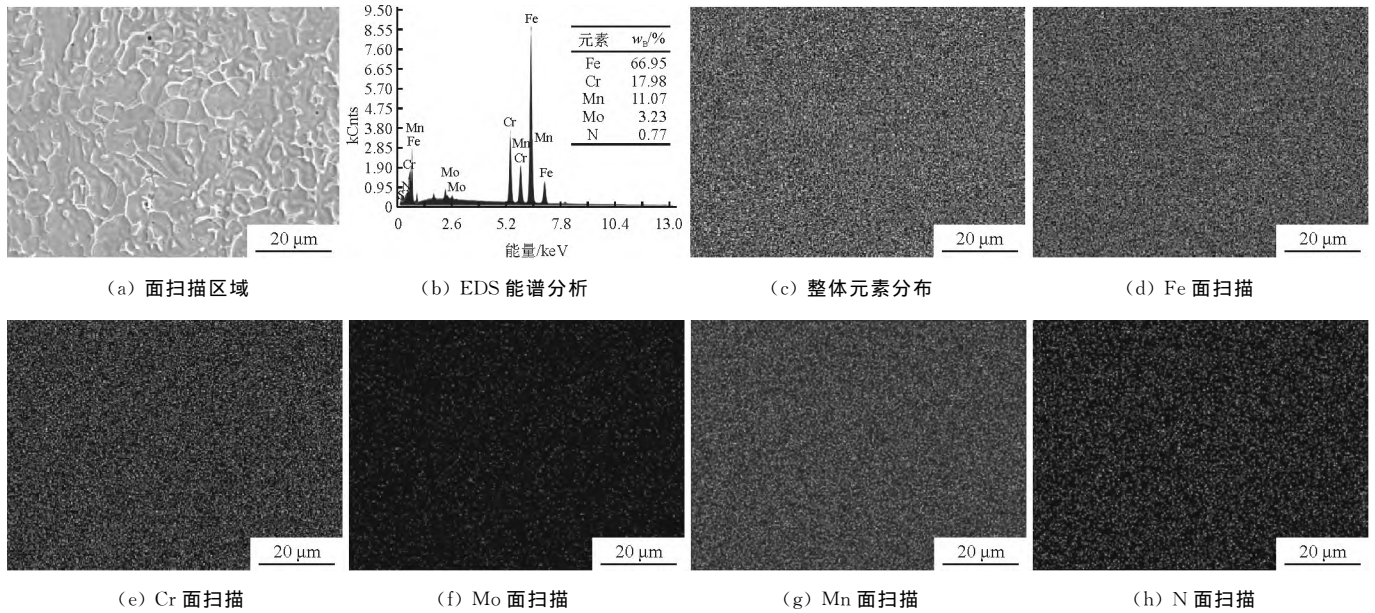


图5 HPSLM 试样面扫描结果及 EDS 分析

Fig.5 Surface scanning and EDS results of HPSLM specimens

2.2 腔内熔炼压力对不锈钢显微组织及硬度的影响

选取 0.3、0.5 和 1.5 MPa 压力下 HPSLM 试样进行显微组织观察, 见图 6。可以看出, 试样的晶粒形态主要为细小等轴晶。随着腔内熔炼压力提升, 晶粒尺寸逐渐变小。0.3 MPa 时, 其平均晶粒尺寸约为 $23.1 \mu\text{m}$,

随着腔内熔炼压力逐渐增加至 0.5、1.5 MPa, 平均晶粒尺寸分别细化至 18.2 、 $11.7 \mu\text{m}$ 。在 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ 内, 晶粒尺寸变化明显, 压力增加 0.2 MPa , 晶粒尺寸减小了 $4.9 \mu\text{m}$; 在 $0.5 \sim 1.5 \text{ MPa}$ 内, 晶粒尺寸变化趋势较小, 压力增加了 1 MPa , 晶粒尺寸仅减小 $6.5 \mu\text{m}$ 。

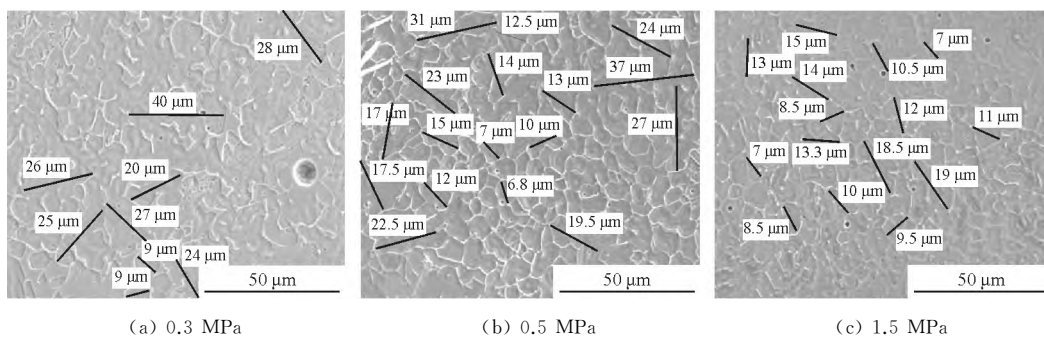


图6 不同腔内熔炼压力下试样的微观形貌

Fig.6 Micro morphologies of specimens under different luminal pressures

采用 EBSD 对 HPSLM 高氮不锈钢微观组织各向异性进行了观察, 得到不同腔内熔炼压力条件下试样的反极图、晶界取向差分布图及晶粒尺寸分布图, 见图 7。可以看出, 随着腔内熔炼压力由 0.3 MPa 增加至 1.5 MPa , 试样的晶粒尺寸逐渐减小, 这与图 6 统计结果一致。由晶粒尺寸分布可知, 不同腔内熔炼压力下成形试样晶粒同样呈不均匀态, 0.3 MPa 时 HPSLM 试样晶粒尺寸在 $10 \sim 32 \mu\text{m}$ 内的面积占比超过 80% , 0.5 MPa 熔炼压力的试样晶粒尺寸在 $7 \sim 32 \mu\text{m}$ 内的面积占比超过 80% , 1.5 MPa 熔炼压力的试样晶粒尺寸在 $9 \sim 28 \mu\text{m}$ 内的面积占比超过了 80% 。将 3 种腔内熔炼

压力 HPSLM 试样的晶粒尺寸分布图的各晶粒尺寸分别乘以对应的面积比例, 得到平均晶粒尺寸分别为 23.62 、 22.44 和 $21.05 \mu\text{m}$ 。

图 8 为腔内不同熔炼压力条件下 HPSLM 高氮不锈钢试样的显微硬度测试结果。结果表明, 当压力为 0.3 MPa 时, 硬度 ($HV_{0.3}$) 最小, 为 271 , 压力为 1.5 MPa 时, 硬度 ($HV_{0.3}$) 达到 345 。当压力由 0.3 MPa 增加至 0.5 MPa 时, 硬度 ($HV_{0.3}$) 的上升趋势不明显, 仅上升了 10 ; 而腔内熔炼压力继续增加至 1.5 MPa , 显微硬度 ($HV_{0.3}$) 迅速上升, 提高了 56 。HPSLM 高氮不锈钢试样硬度随着腔内熔炼压力的增加而增加, 一方面, 这与

HPSLM 高氮不锈钢试样中氮含量与腔内熔炼压力成正比,氮的固溶强化作用增大,使得 HPSLM 试样硬度

增大;另一方面,随着腔内熔炼压力提高,HPSLM 试样的晶粒尺寸降低,产生细晶强化,试样硬度同步提高。

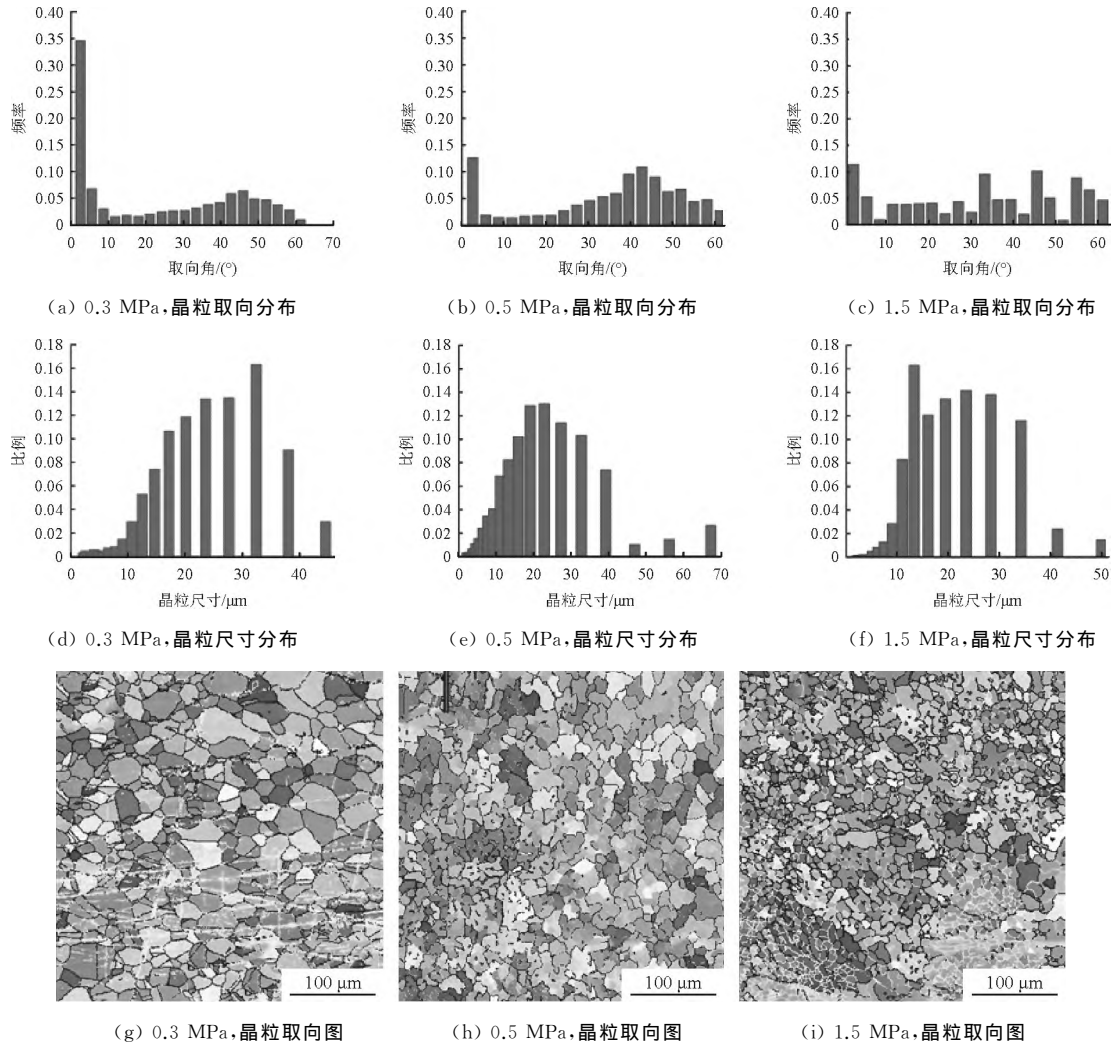


图 7 腔内熔炼不同压力下 HPSLM 试样的晶粒取向分布、尺寸大小和晶粒取向图

Fig.7 Orientation distribution and size of HPSLM grains with different luminal pressures as well as grain orientation

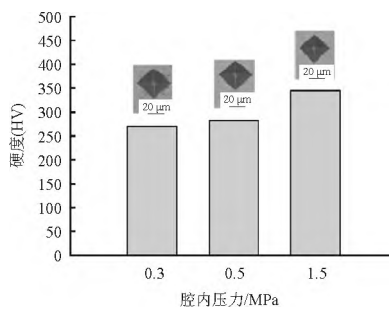


图 8 不同腔内熔炼压力试样的显微硬度分布

Fig.8 Microhardness distribution of specimens under different luminal pressures

2.3 其他工艺参数对高氮不锈钢氮含量的影响

当激光功率为 300 W,腔内熔炼压力为 0.5 MPa 时,高氮不锈钢试样的成形最佳,且具有较高氮含量。因此,在腔内熔炼压力为 0.5 MPa 下,进一步测试了不同铺粉厚度、扫描速度和扫描间隔对 HPSLM 高氮不

锈钢试样渗氮量的影响。其中,设置铺粉厚度分别为 0.3、0.5、1 mm;扫描速度为 200、1 000 mm/s;扫描间隔为 0.02 mm 和 0.05 mm。试样中氮含量见图 9。

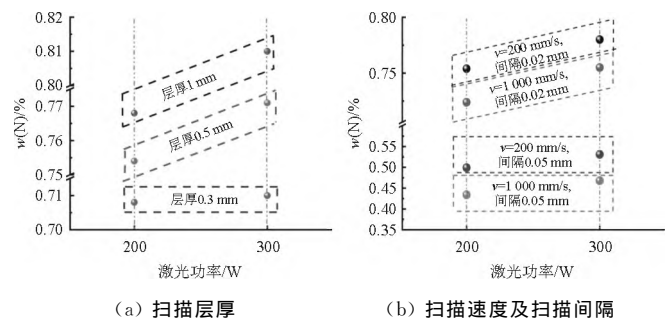


图 9 不同工艺参数下试样中氮含量

Fig.9 Nitrogen contents in the specimens under different process parameters

由图 9a 可知,不同铺粉厚度的试样均有不同程度的渗氮情况,渗氮量与铺粉厚度成正比。当铺粉厚度为

0.3 mm 时,试样氮含量最低,为0.708%,当粉层厚度为1 mm 时,试样氮含量最高,在激光功率为200 W 时达到0.810%。这是因为在较高的腔内熔炼压力下,粉末床吸收激光能量形成熔池,熔池内部传热主要以传导传热为主,粉层导热性比基板差,粉层较厚时,热量传导变慢,熔池延伸熔化粉体形成偏大尺寸熔池,气液渗氮界面变大,为SLM成形渗氮提供良好的动力学条件。由图9b可知,不同扫描间隔的试样中氮含量存在明显差异,渗氮量与扫描间隔成反比。在扫描间隔为0.02和0.05 mm内,最高渗氮量为0.460%(300 W),最低渗氮量为0.114%(200 W)。主要原因是成形相同尺寸的试样,低扫描间隔试样的熔道多于高扫描间隔,导致低扫描速度试样熔池个数多于高扫描间隔的熔池个数,在高压条件下,熔池个数增多使渗氮次数增加,使试样氮含量增加。

3 结 论

(1)随着腔内熔炼压力增大,HPSLM高氮不锈钢试样中的氮含量逐渐增加,且氮呈均匀分布,这与腔内熔炼压力可促进氮的渗入和抑制氮的逸出有关。在较低腔内熔炼压力(0.1~0.5 MPa)范围内,氮含量增量最显著;在较高腔内熔炼压力(0.5~1.5 MPa)下,氮含量增量较小。

(2)HPSLM高氮不锈钢试样主要由细小等轴晶组成;随着腔内熔炼压力由0.3 MPa增加至1.5 MPa,晶粒尺寸由23.1 μm 减小至11.7 μm ,同时,显微硬度逐渐增加,这与氮的固溶强化作用有关。当腔内熔炼压力为1.5 MPa时,显微硬度(HV_{0.3})最高为345。

(3)铺粉厚度、扫描速度与间隔对HPSLM高氮不锈钢的渗氮量亦有一定影响;N含量与铺粉厚度成正比,与扫描间隔和扫描速度成反比。综合而言,腔内熔炼压力对N含量影响是主要的。

参 考 文 献

- [1] REN Y B, ZHAO H C. Biomechanical compatibility of high strength nickel free stainless steel bone plate under lightweight design[J]. Materials Science and Engineering, 2019, C101: 415-422.
- [2] DONG F Y, ZHANG P, PANG J C, et al. Microstructure and mechanical properties of high-nitrogen austenitic stainless steels subjected to equiAl-channel angular pressing[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2016, 29(2): 140-149.
- [3] SPEIDEL H J, PEIDEL M O. Nickel and chromium-based high nitrogen steels[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2004, 19(1): 95-96.
- [4] GARCIA-CABEZON C, BLANCO Y, RODRIGUEZ-MENDEZ M L,

et al. Characterization of porous nickel-free austenitic stainless steel prepared by mechanical alloying[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 716: 46-55.

- [5] 李花兵,姜周华,申明辉,等.氮气加压熔炼高氮钢技术的研究进展[J].中国冶金,2006(10): 9-13.
- [6] 张立浩,钱波,张朝瑞,等.金属增材制造技术发展趋势综述[J].材料科学与工艺,2022,30(1): 42-52.
- [7] 曾绍连.金属增材制造技术的研究进展[J].中国金属通报,2022(4): 186-188.
- [8] 马剑雄,夏张文,周伟民.金属增材制造技术的发展与展望[J].金属加工,2022(3): 22-27.
- [9] 褚宇航,陈靓瑜,秦博渊,等.增材制造钛合金在人体环境中的应用[J].特种铸造及有色合金,2022,42(9): 1 091-1 097.
- [10] 樊恩想,刘小欣,吴欢欢.选区激光熔化增材制造技术的发展[J].机械制造,2021,59(8): 45-49.
- [11] 赵定国,陈洋,支保宁,等.选区激光熔化过程金属微熔池流动行为研究[J].特种铸造及有色合金,2020,40(11): 1 240-1 244.
- [12] CUI X J, XUE Y K, ZHAO D G, et al. Physical modeling of bubble behaviors in molten steel under high pressure[J]. High Temperature Materials and Processes, 2021, 40(1): 471-484.
- [13] 赵定国,孙鑫,王书桓,等.一种高压选区激光熔化制备含氮合金的方法.中国:CN110142409A[P].2019-08-20.
- [14] 崔小杰,苏新磊,刘岩,等.雾化工艺对高熵合金粉体粒径的影响[J].特种铸造及有色合金,2022,42(4): 441-445.
- [15] 朱红春,姜周华,李花兵,等.加压技术在高品质特殊钢冶炼和凝固中的作用[J].钢铁,2015,50(11): 37-44.
- [16] 张峰.高氮钢制备过程中氮的行为[D].武汉:武汉科技大学,2005.
- [17] 朱红春.加压对含氮钢铸锭凝固组织和宏观偏析的影响[D].沈阳:东北大学,2018.

(编辑:彭瑾)

上半年我国冷室压铸机出口 374 台

来自中国铸造协会消息,根据海关数据统计,2023年1~6月,我国冷室压铸机共计出口374台,同比增长66.2%。其中6月出口53台,同比下降3.6%,环比下降8.6%。

2023年1~6月同比出口情况

日期	出口量/台	金额/美元
2022年1~6月	225	36 935 057
2023年1~6月	374	47 468 245
同比增长	66.2%	28.5%

2023年6月同比、环比出口情况

日期	出口量/台	金额/美元
2022年6月	55	6 887 193
2023年5月	58	7 734 074
2023年6月	53	5 980 338
同比增长	-3.6%	-13.2%
环比增长	-8.6%	-22.7%

(摘自压铸周刊)