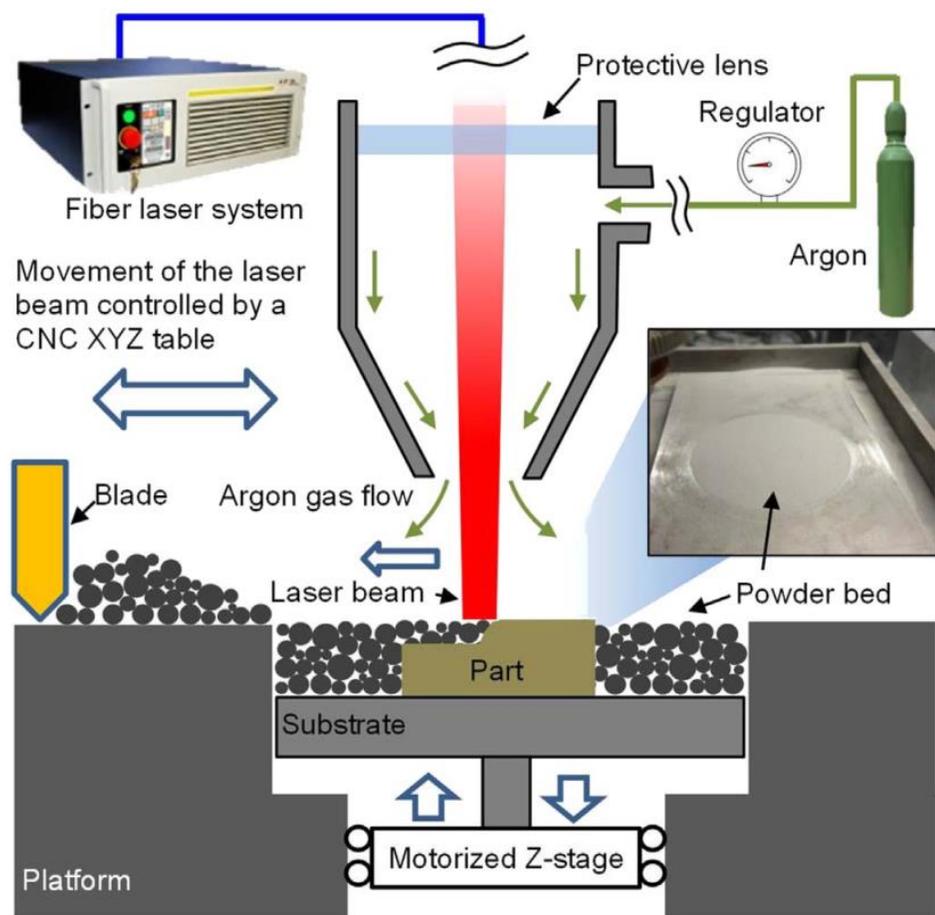


# Tailoring the mechanical property of the laser powder bed fusion manufactured 304L stainless steel by atomization atmosphere and scanning strategies

**报告人：王立毅**

**合作导师：陈洁 研究员**

**中国科学院高能物理研究所**



选区激光熔化 (SLM) 成形装置及打印过程示意图

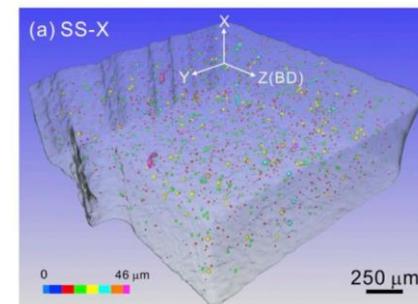


通用电气公司燃油喷嘴

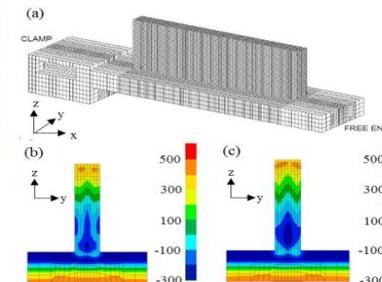
(b)



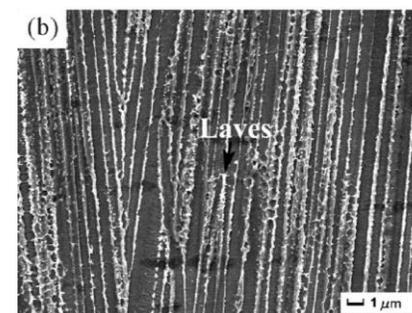
西门子公司燃气轮机叶片



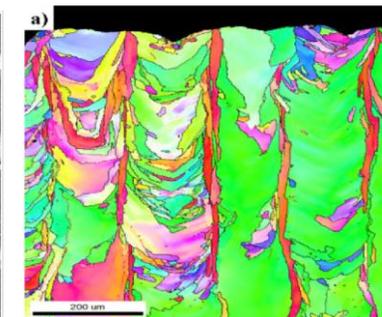
孔洞缺陷



复杂残余应力



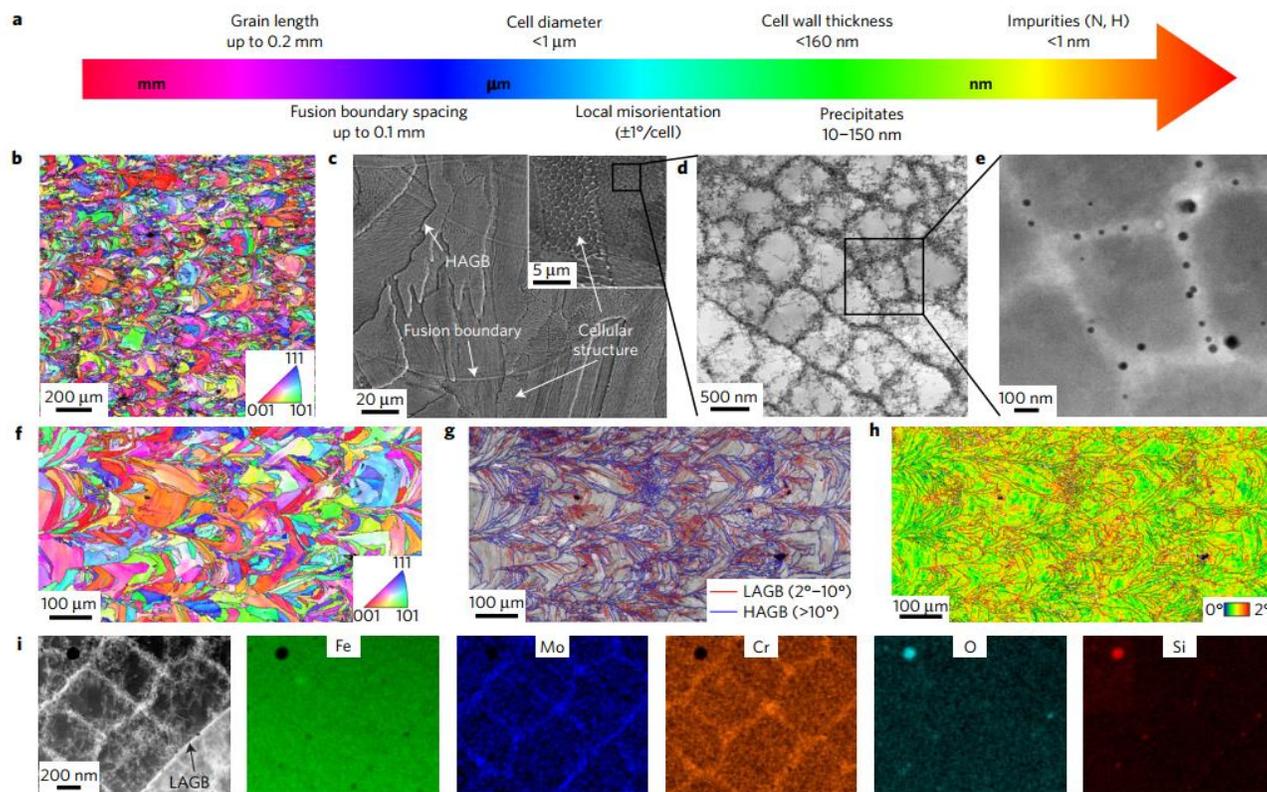
有害析出相



强烈各向异性

孔洞缺陷、残余应力、有害析出相、和各项异性都会对其使用性能（特别是力学性能）造成影响，因此需要进行深入地研究。

激光增材制造可以打印复杂形状的零件，减少了零件数量和装配误差，不需要传统减材制造中的复杂加工过程，缩短了设计和制造周期。



LPBF成形316L不锈钢多级空间异质结构实现材料的高强高韧力学性能，其中胞状结构、低角晶界、位错和析出相提供了稳定连续的加工硬化。

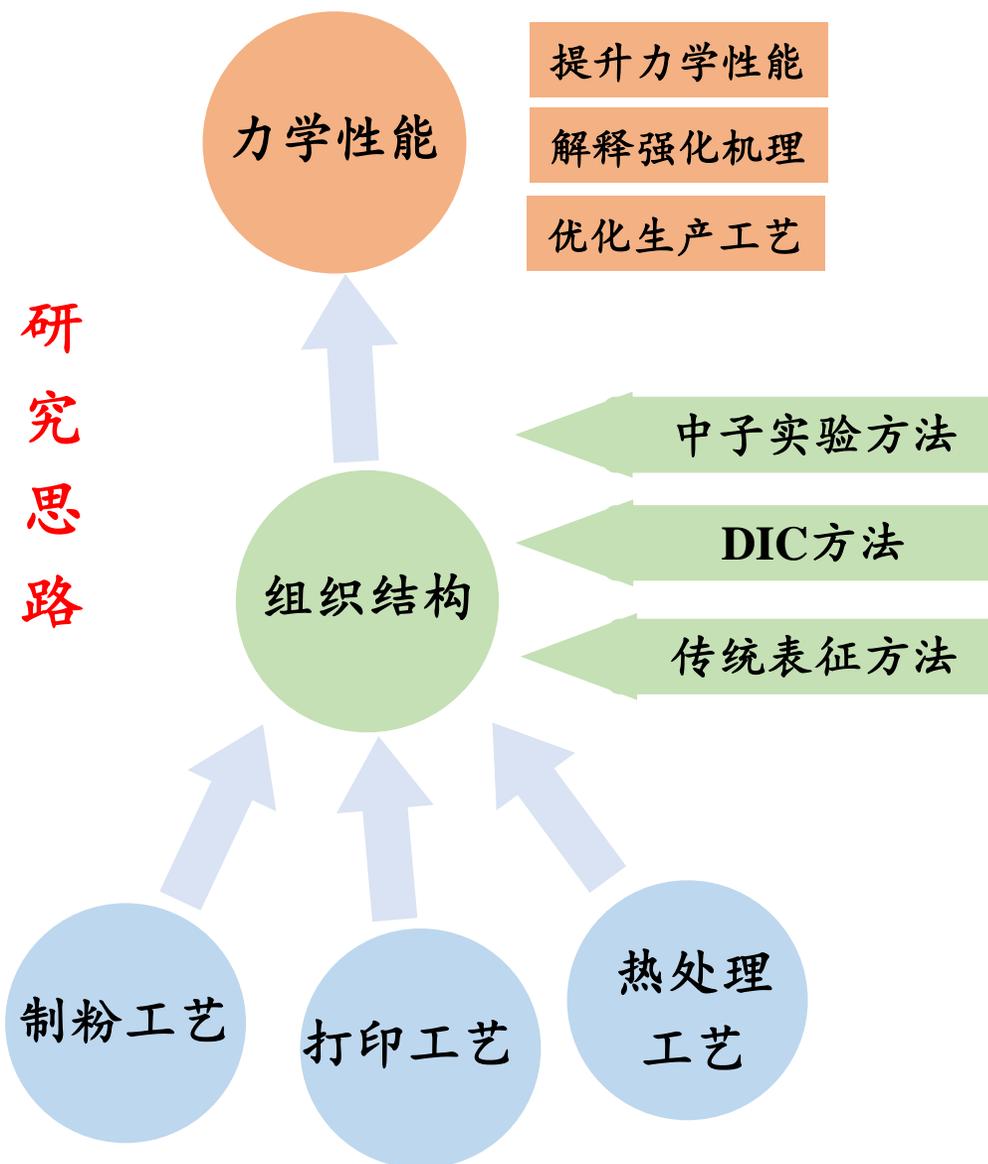


表1: 原始粉末中各种化学元素的含量

Powder	C	N	Si	Cr	Mn	Ni	Mo	Fe
N <sub>2</sub> powder (wt. %)	0.013							Balance
Ar powder (wt. %)	0.010							Balance

图1 扫描电镜下观察的两种粉末的形貌

Scanning strategies	304-N <sub>2</sub>	304-Ar
90° with shifting	N <sub>2</sub> -90S	Ar-90S
90° with 7 mm chessboard	N <sub>2</sub> -90C	Ar-90C
67° with 7 mm chessboard	N <sub>2</sub> -67C	Ar-67C

表2: 不同的打印方式和粉末的样品名称编号

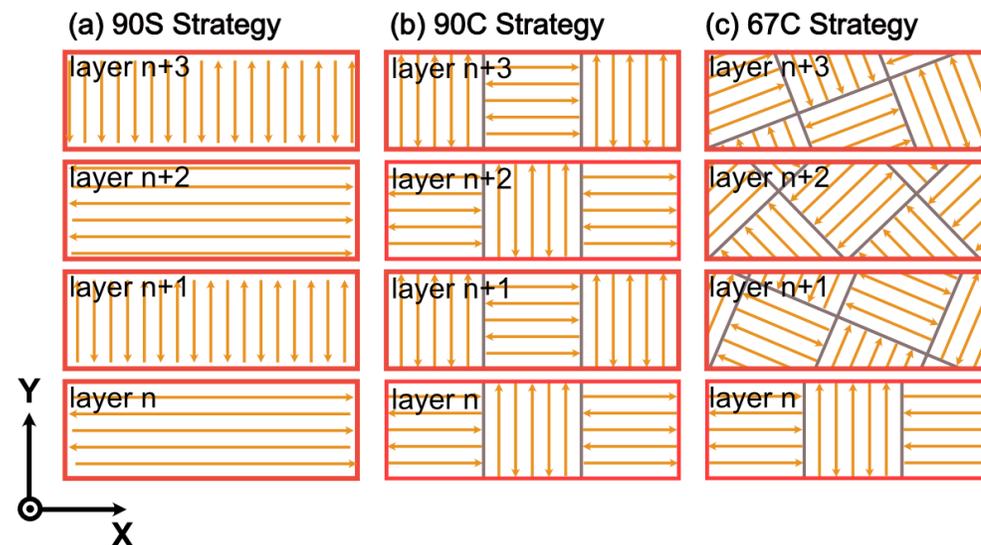
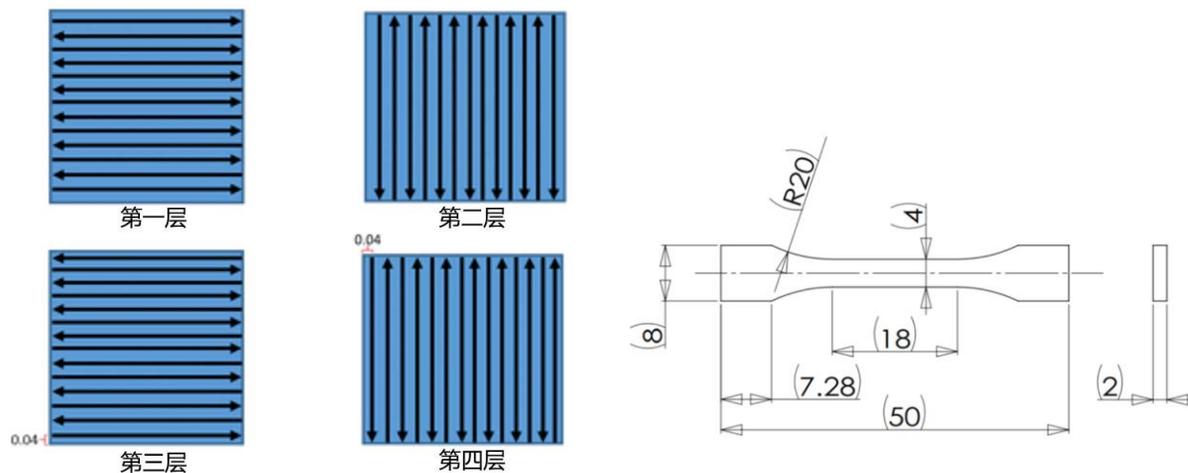


图2: 90S、90C、67C不同扫描策略示意图

研究制粉气氛、激光扫描方式两个因素对选区激光熔化（SLM）成形304L不锈钢力学性能的影响及其影响机理。



90S样品扫描方式示意图

长50mm/宽8.5mm/厚5mm

粉末类型		N <sub>2</sub> 气/Ar气制粉
实体填充	扫描速度	1100 mm/s
	激光功率	170 W
轮廓	扫描速度	400 mm/s
	激光功率	175 W
扫描间距		0.08 mm
打印厚度		0.03 mm
扫描方式	90S	整体正交层错(四层作为一个循环)
	90C	正交棋盘
	67C	67°棋盘

	304-N材料	304-Ar材料
整体正交层错 (90S)	N-90S	Ar-90S
正交棋盘 (90C)	N-90C	Ar-90C
67°棋盘 (67C)	N-67C	Ar-67C

为了消除打印过程中的残余应力，对以上的样品都进行了650°C/2h的热处理

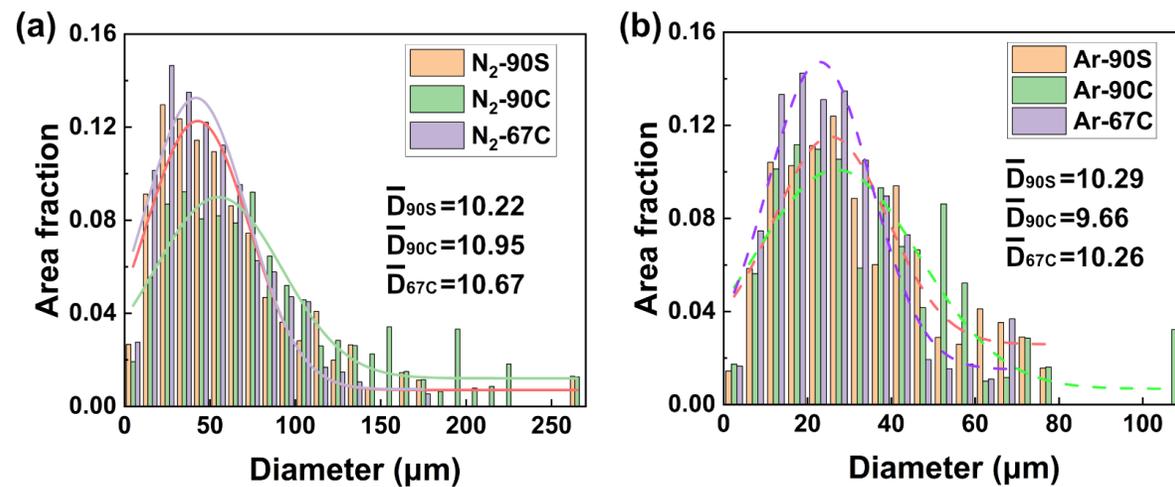


图4 样品晶粒尺寸分布，(a)氮气制粉样品，(b)氩气制粉样品

图3 变形前样品的组织结构，(a)-(c)氮气制粉样品，(d)-(f)氩气制粉样品。

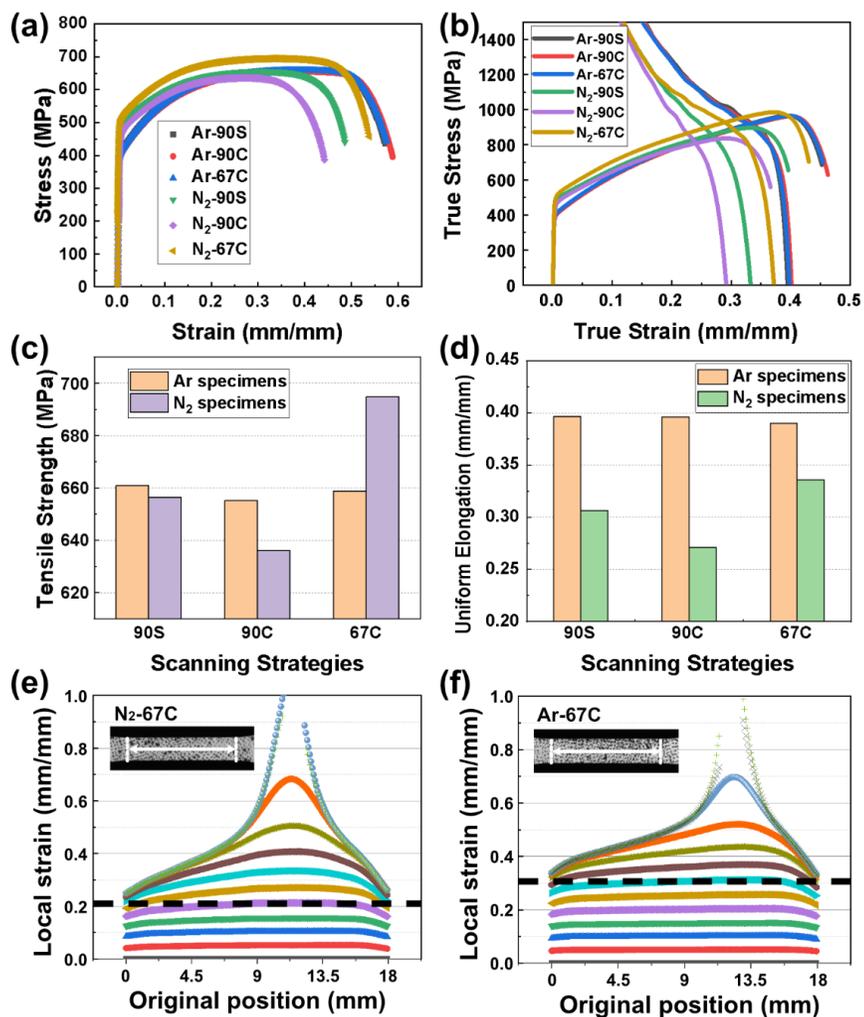


图5 (a) 拉伸曲线, (b)加工硬化率曲线, (c)-(d)断裂强度和延伸率。(e)-(f)样品的应变局域化对比

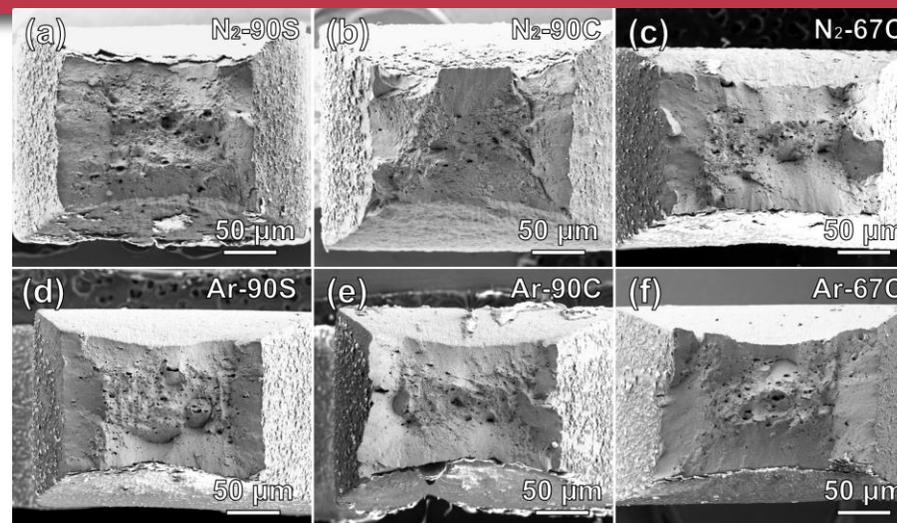


图6 样品拉伸断口

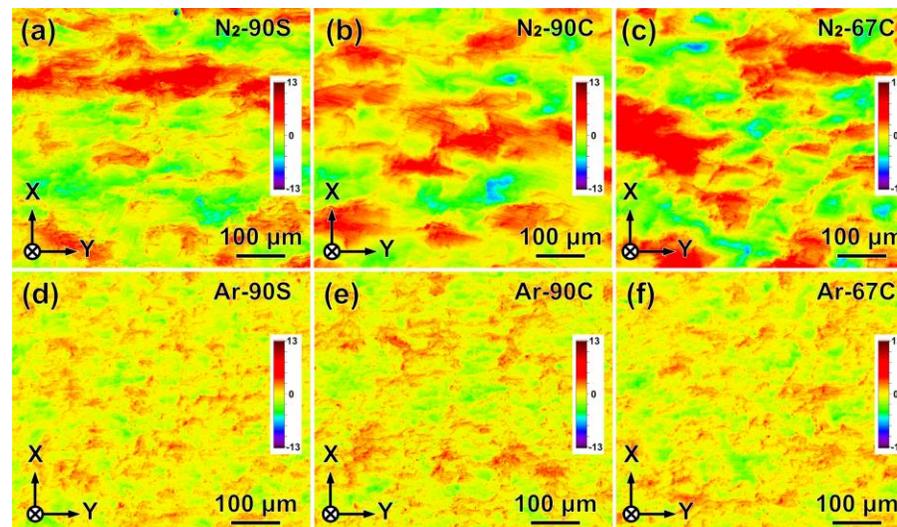


图7 样品拉伸之后表面起伏情况, (a)-(c)氮气样品, (d)-(f)氩气样品。

图 8 氮气样品变形之后的组织结构

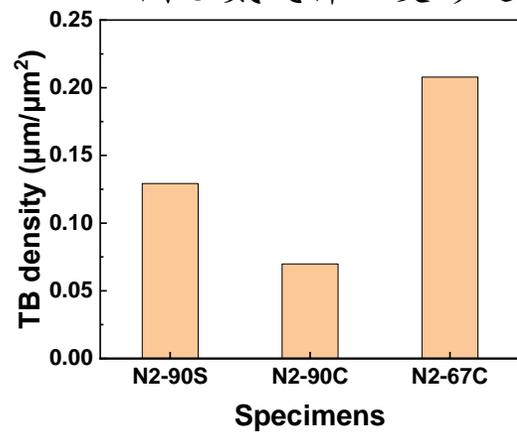


图 9 氮气样品统计的孪晶含量

图 10 氩气样品变形之后的组织结构

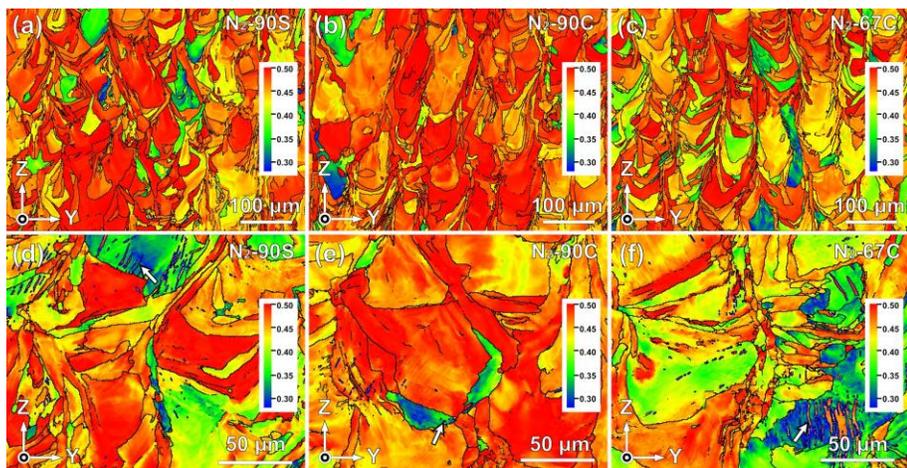


图11 氮气样品schmid因子

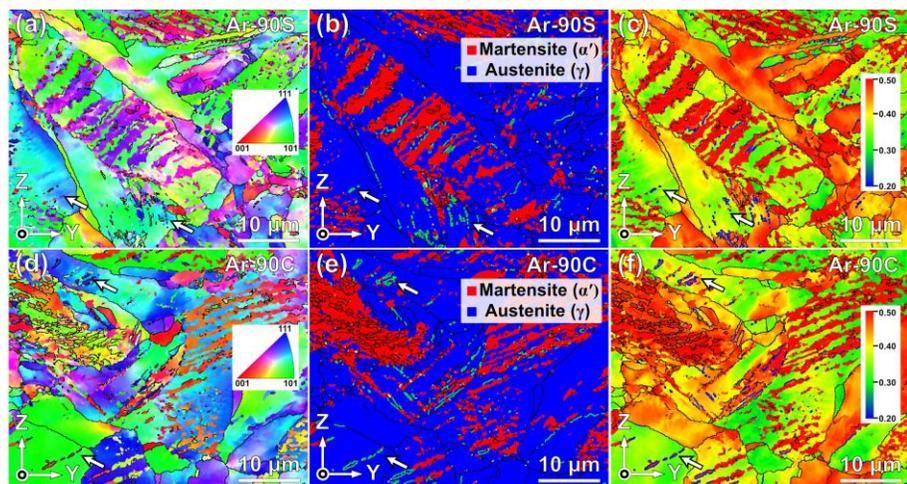


图12 氩气样品schmid因子

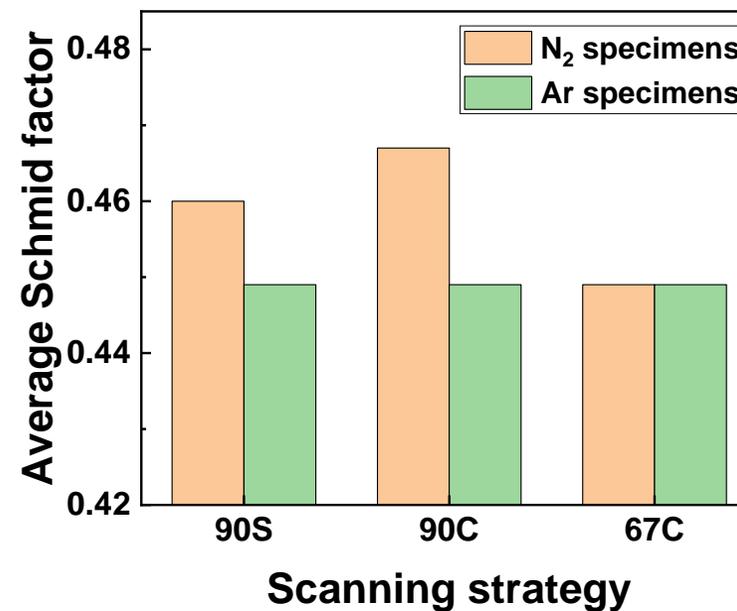
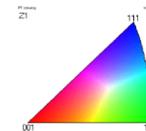
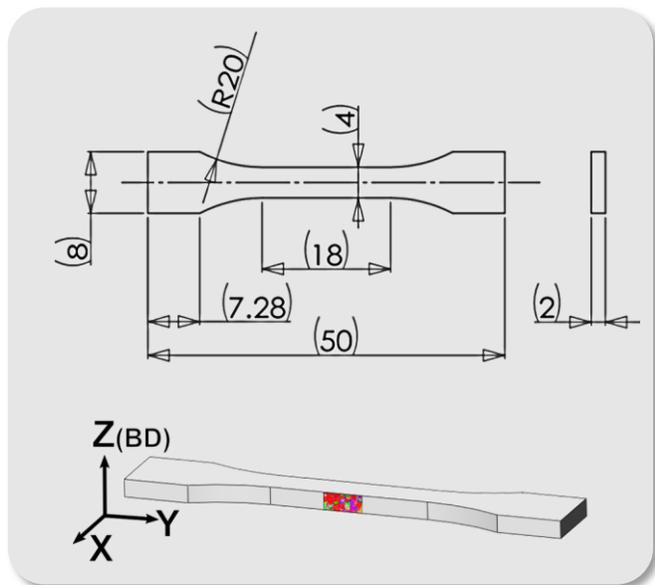


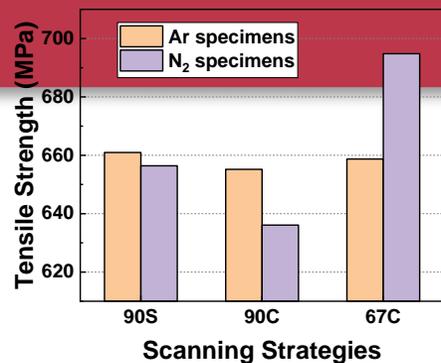
图13两种样品平均schmid因子统计



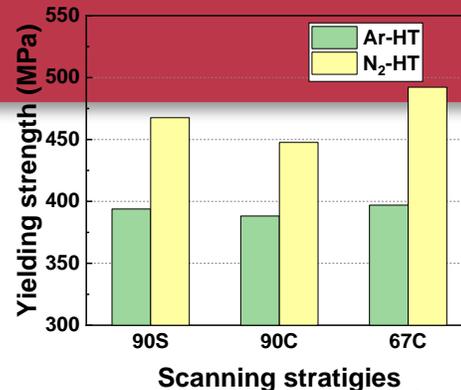
Ar气制粉样品	N <sub>2</sub> 气制粉样品
晶粒小	晶粒大
织构弱	织构强（立方织构，其中67C也比较弱）
孪晶多	无孪晶
结构对打印方式不敏感	结构对打印方式敏感

需要讨论Ar气的流速，样品仓Ar气的浓度等因素。：气体循环采用同样的风扇频率，28.55Hz

# 样品拉伸曲线

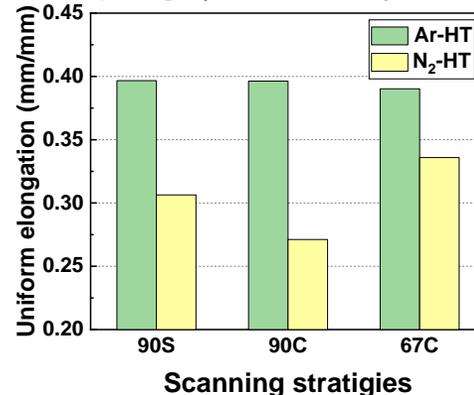


抗拉强度与扫描方式的关系



屈服强度与扫描方式的关系

工程应力应变曲线

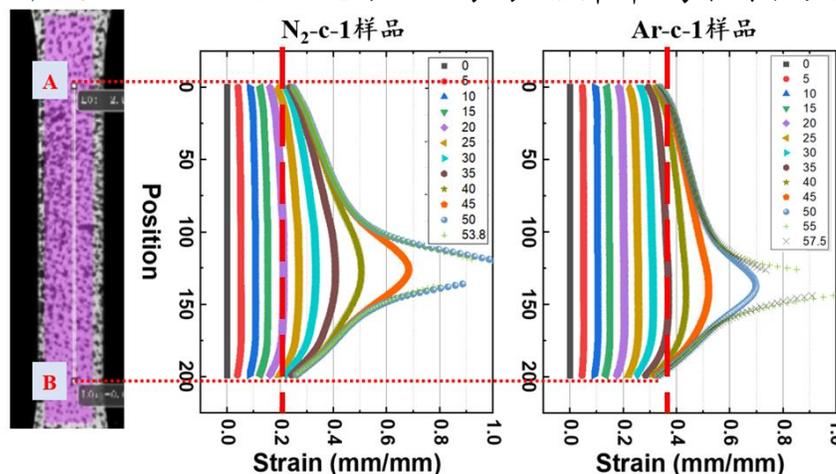


延伸率与扫描方式的关系

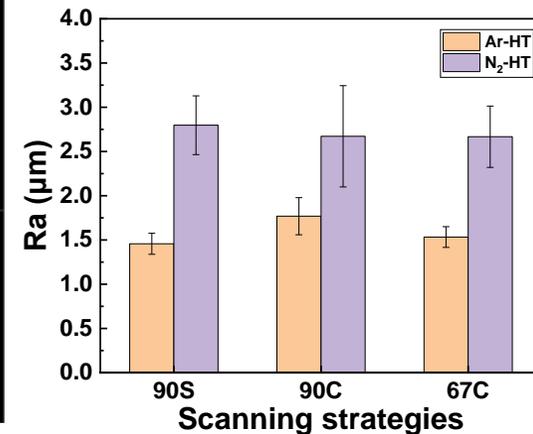
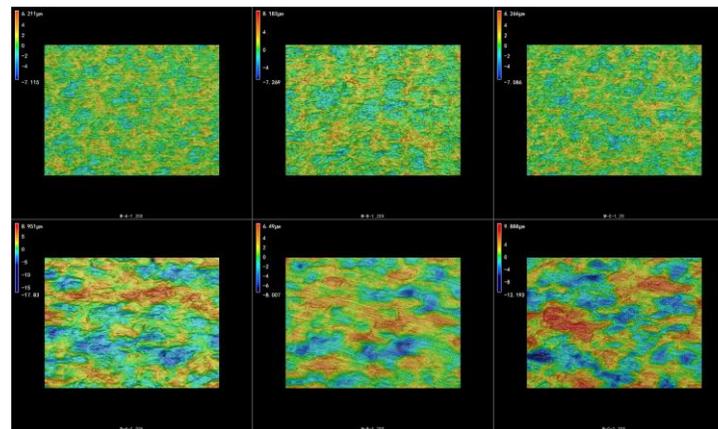
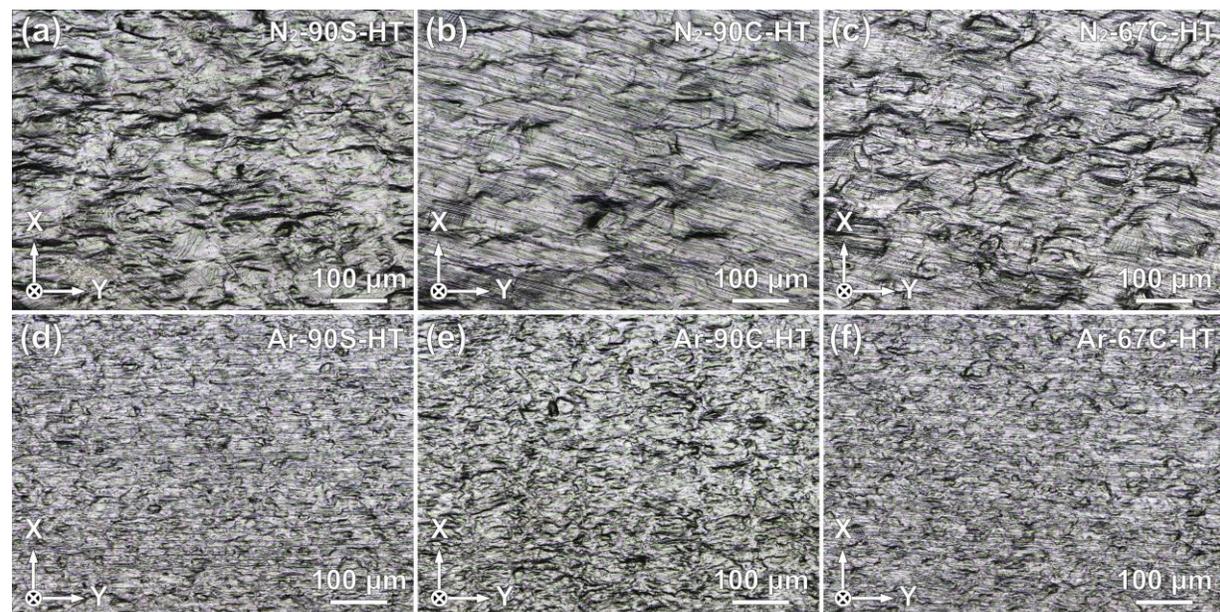
均匀延伸率与扫描方式的关系

由DIC应变测量可以看出N<sub>2</sub>气制粉的样品比Ar制粉的样品更早出现应变局域化。由加工硬化曲线也可以看出，Ar气制粉样品的加工硬化率明显高于N<sub>2</sub>气制粉的样品。

真应力-真应变及加工硬化率曲线



N<sub>2</sub>气和Ar气样品在拉伸过程中的应变局域化对比



可以看出：

1. N<sub>2</sub>样品的表面粗糙度高于Ar样品

Ar样品发生以Twip效应为主导的马氏体强化，晶粒细小，没有发生表面粗糙度的巨大变化。N<sub>2</sub>样品表面粗糙度发生较大的变化，主要因为粗大晶粒和柱状晶粒形成的异质结构造成口字状边界的硬度较高，口字内部的硬度较低。（也从软取向、硬取向方面进行讨论）。

2. 不同打印方式对表面粗糙度的影响没有明显的规律。

1. Ar气制粉样品含氮量较低，层错能高较高，造成了此材料稳定的高强高塑性。
2. N<sub>2</sub>气制粉样品中氮含量较高，这从一定程度上提高了材料的强度和塑性。
3. Ar气制粉有助于提高304L不锈钢的力学性能一致性；然而N<sub>2</sub>气氛可以与扫描方式协同作用提高材料的抗拉强度。

**Thanks for Your Attention!**

