



LaserForm Ti Gr23 (A)

钛合金经过微调,用于 3D Systems 的 DMP Flex 100、DMP Flex 200、DMP Flex 350、DMP Factory 350、DMP Flex 350 Dual、DMP Factory 500 和 DMP Factory 350 Dual 3D 金属打印机。它可生产具有高比强度和优异生物相容性的技术和医疗部件。LaserForm Ti Gr23 (A) 属于 ELI (超低间隙原子) 级别,其铁、碳和氧含量较低,以纯度高于 LaserForm Ti Gr5 (A) 而闻名,因此具有更高的延展性和断裂韧性。

LaserForm Ti Gr23 (A) 经过专门配置,可提供最高的部件质量和最佳的部件性能。在推出系列材料的同时,3D Systems 还提供了打印参数数据库,该数据库已在 3D Systems 的部件生产设施中进行广泛的开发、测试和优化,这些设施拥有独特的专业技术,每年打印超过 100 万个具有挑战性的生产部件。以下列出的特性基于大量的测试样本,在作业与作业之间以及机器与机器之间的可重复性方面为用户提供了高度的信心。使用 LaserForm 材料,用户可以体验到一致和可靠的部件质量。

材料说明

这种钛合金强度高、密度低,生物相容性卓越,因而广泛应用于航天和医疗领域。Ti6Al4V ELI (23 级) 与 Ti6Al4V (5 级) 的本质区别是在 23 级时氧含量降低到 0.13% (最大值)。这提高了延展性和断裂韧性,但强度有所降低。

得益于这些优势,LaserForm TiGr23 (A) 成为最常用的医疗和航天钛合金等级。由于其生物相容性,它可用于生物医学领域,如外科植入物、牙齿矫正器和关节内置换。

分类

使用 LaserForm Ti Gr23 (A) 合金制造的部件,其化学成分符合 ASTM F3001、ASTM F3302、ISO 5832-3、ASTM F136 和 ASTM B348 标准。

机械属性

DMP FLEX 350, DMP FACTORY 350 - LT 30, 60, 90 ^{4,5,6,7}	测试方法	公制		美制	
		SR ³	HIP ²	SR ³	HIP ²
极限抗张强度 (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	1060±15	990±25	154±2	144±4
		1060±15	990±30	154±2	144±4
屈服强度 Rp0.2% (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	970±15	890±30	141±2	129±4
		960±20	900±50	139±3	130±7
塑料伸长率 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	15±3	17±3	15±3	17±3
		15±2	17±4	15±2	17±4
面积减少 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	40±8	46±9	40±8	46±9
		44±7	48±6	44±7	48±6
疲劳特性 (MPa ksi)	ASTM E466	通常为 640	不适用	通常为 92	-

DMP FLEX 350 DUAL, DMP FACTORY 350 DUAL - LT 30, 60, 90 ^{5,7,8}	测试方法	公制		美国	
		SR ²	HIP ³	SR ²	HIP ³
极限抗张强度 (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1045±15	955±20	152±2	138±3
		1040±10	960±20	152±2	139±3
屈服强度 Rp0.2% (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	940±20	845±20	135±3	123±3
		950±40	835±20	137±4	121±3
塑料伸长率 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	19±4	17±4	19±4	17±4
		19±3	19±3	18±3	19±3
面积减少 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	50±10	45±5	50±10	45±5
		50±10	45±5	50±10	45±5

¹ 在 DMP Flex 和 Factory 350 上按标准参数制造的部件,配置 A

² 基于平均值和 95% 公差区间的值,置信度为 95%

³ 基于有限数据集的值

⁴ 根据 ASTM E8M 使用 4 型圆形拉伸测试样本进行测试

⁵ 根据 ASTM E8 使用 4 型圆形拉伸测试样本进行测试

⁶ 轴向往控制疲劳测试 (R=0.1)。5 x 10⁶ 次循环后达到耐力极限。机加工表面的疲劳样品。数值基于有限的样品,仅供参考

⁷ NHT: 非热处理状态;SR: 应力释放状态;HIP: 热等静压状态

⁸ 在 DMP Flex 和 Factory 350 Dual 上按标准参数制造的部件,配置 A,使用层厚为 30、60 和 90 μm

⁹ 在 DMP Factory 500 上按标准参数制造的部件,使用层厚为 60 μm (LT60)

机械属性

DMP FACTORY 500 - LT 60 ^{2,5,7,9}	测试方法	公制		美国	
		NHT	SR	NHT	SR
极限抗张强度 (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1310±20 1290±40	1060±15 1060±25	190±3 187±6	154±2 154±4
屈服强度 Rp0.2% (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1150±20 1150+30/-55	960±15 950±30	167±3 167+4/-8	139±2 138±4
塑料伸长率 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	9±3 11±2	17±2 18±3	9±3 11±2	17±2 18±3
面积减少 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	23±11 32±4	49±5 52±4	23±11 32±4	49±5 52±4

DMP FLEX 100 - LT30 ^{4,7,10,11}	测试方法	公制			美国		
		NHT	SR	HIP	NHT	SR	HIP
极限强度 (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	1310±150 1280±70	1060±60 1040±30	1020±60 1020±60	190±22 186±10	154±9 151±4	148±9 148±9
屈服强度 Rp0.2% (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	1130±140 1070±70	960±40 930±40	930±60 930±60	164±20 155 ± 10	139±6 135±6	135±9 135±9
塑料伸长率 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	8±2 8±2	12 ± 4 14±4	14±4 14±4	8±2 8±2	12 ± 4 14±4	14±4 14±4
面积减少 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8M	35±20 35±10	50±10 50±10	40±10 40±10	35±20 35±10	50±10 50±10	40±10 40±10

DMP FLEX 200 - LT30 ^{2,5,7,16}	测试方法	公制		美国	
		SR		SR	
极限强度 (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1120±40 1130±55		162±6 164±8	
屈服强度 Rp0.2% (MPa ksi) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	1025±40 1040±75		149±6 151±11	
塑料伸长率 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	13±4 15±7		13±4 15±7	
面积减少 (%) 水平方向 - XY 垂直方向 - Z	ASTM E8	30±10 40±25		30±10 40±25	

密度

测量	测试方法	公制	美国
理论密度 ¹² (g/cm ³ lb/in ³)	文献中的值	4.42	0.16
DMP Flex 100			
相对密度 (%), 层厚 30 μm ^{10,13,14}	光学方法 (像素数)	≥ 99.4 通常为 99.9	≥ 99.4 通常为 99.9
DMP Flex 200			
相对密度 (%), 层厚 30 μm ^{13,14,16}	光学方法 (像素数)	≥ 99.5 通常为 99.9	≥ 99.5 通常为 99.9
DMP Flex/Factory 350, DMP Flex/Factory 350 Dual, DMP Factory 500			
相对密度 (%), 层厚 30 μm ^{1,8,13,14}	光学方法 (像素数)	≥ 99.6 通常为 99.8	≥ 99.6 通常为 99.8
相对密度 (%), 层厚 60 μm ^{1,8,9,13,14}	光学方法 (像素数)	≥ 99.6 通常为 99.8	≥ 99.6 通常为 99.8
相对密度 (%), 层厚 90 μm ^{8,13,14}	光学方法 (像素数)	≥ 99.6 通常为 99.8	≥ 99.6 通常为 99.8

¹⁰ 在 DMP Flex 100 上按标准参数制造的部件, 使用层厚为 30 μm (LT30)

¹¹ 基于平均值和双标准偏差的值

¹² 基于文献的值

¹³ 可能会因具体的部件几何形状而有所偏差

¹⁴ 最小值基于 95% 公差区间, 置信度为 95%; 在典型密度测试形状上进行测试

¹⁵ 在依原样打印条件下获得的结果

¹⁶ 在 DMP Flex 200 上按标准参数制造的部件, 使用层厚为 30 μm (LT30)

¹⁷ 沿构建方向垂直侧进行表面测量

¹⁸ 在 5 巴下使用氧化锆喷砂介质进行表面处理

表面粗糙度 R_a

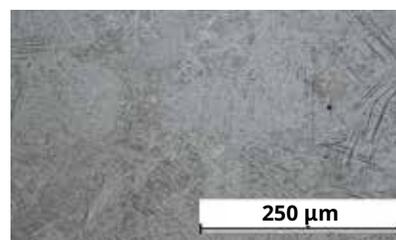
测量 ¹³	测试方法	公制	美国
DMP Flex 100, DMP Flex 200^{10, 15, 16, 17}			
垂直侧面 ($\mu\text{m} \mid \mu\text{in}$) 层厚 30 μm	NF EN ISO 4288	通常为 9	通常为 354
DMP Flex/Factory 350, DMP Flex/Factory 350 Dual, DMP Factory 500^{17, 18}			
垂直侧面 ($\mu\text{m} \mid \mu\text{in}$) ^{1, 8} 层厚 30 μm	ISO 25178	通常为 7	通常为 276
垂直侧面 ($\mu\text{m} \mid \mu\text{in}$) ^{1, 8} 层厚 60 μm	ISO 25178	通常为 9	通常为 354
垂直侧面 ($\mu\text{m} \mid \mu\text{in}$) ⁸ 层厚 90 μm	ISO 25178	通常为 10	通常为 394

电气特性和热特性

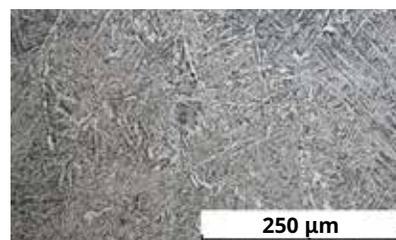
测量	条件	公制	美国
导电性 ³ (S/m) [$\times 10^5$]	根据 ASTM B193 四点接触, 温度为 20°C 68°F 时	5.9±0.1	5.9±0.1
导热性 ¹² ($W/(m.K) \mid \text{BTU inch}/(\text{hr. ft}^2. ^\circ\text{F})$)	温度为 20°C 68°F 时	6.70	46.5
热膨胀系数 ¹² ($\mu\text{m}/(\text{m.}^\circ\text{C}) \mid \mu \text{ inch}/(\text{inch.}^\circ\text{F})$)	在 20 至 100°C 的温度范围内	8.6	4.8
熔点范围 ¹² ($^\circ\text{C} \mid ^\circ\text{F}$)		1604 - 1660	2919 - 3020

化学成分

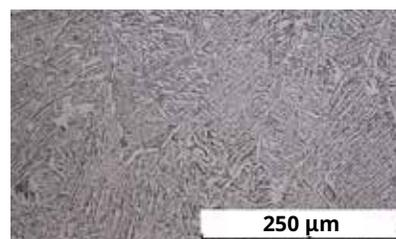
元素	重量百分比
Ti	配平
N	≤ 0.03
C	≤ 0.08
H	≤ 0.012
铁	≤ 0.25
O	≤ 0.13
AL	5.50 - 6.50
V	3.50 - 4.50
Y	≤ 0.005
其他 (单量)	≤ 0.10
其他 (总量)	≤ 0.40



未经热处理的微观结构 (NHT)



经应力释放 (SR) 后的微观结构



经热等静压 (HIP) 后的微观结构

化学成分要求 (重量 %) ^A

材料	碳, 最大值	氧气, 最大值	氮气, 最大值	氢气, 最大值	铁, 最大值	铝	钒	钇, 最大值	其他元素, 最大值, 单量 ^B	其他元素, 最大值, 总量 ^B
CP ^C Ti	0.08	0.35	0.05	0.015	0.30	—	—	—	0.10	0.40
Ti-6Al-4V	0.08	0.20	0.05	0.015	0.30	5.50 - 6.75	3.50 - 4.50	0.005	0.10	0.40
Ti-6Al-4V ELI ^D	0.08	0.13	0.05	0.012	0.25	5.50 - 6.50	3.50 - 4.50	0.005	0.10	0.40

^A 无需对钛含量百分比差异进行确定或认证。

^B 其他元素无需报告, 除非浓度水平高于单量 0.1%, 或总量 0.4%。不得人为添加其他元素。其他元素可能少量存在于钛合金中, 并且是制造过程所固有的。在钛中, 这些元素通常包括锡、铬、钼、铌、锆、钨、铍、钒、钽、铜、硅、钴、钽、镍、硼、锰和钨。

^C 本标准中的 CP (商用纯) 钛类似于 UNS R50550 或 3 级钛。

^D ELI (超低填隙原子) 表示原始 Ti-6Al-4V 合金中对已知影响材料性能的元素化学成分限制。