

高性能金属粉末材料及增材制造应用

2022.10.28

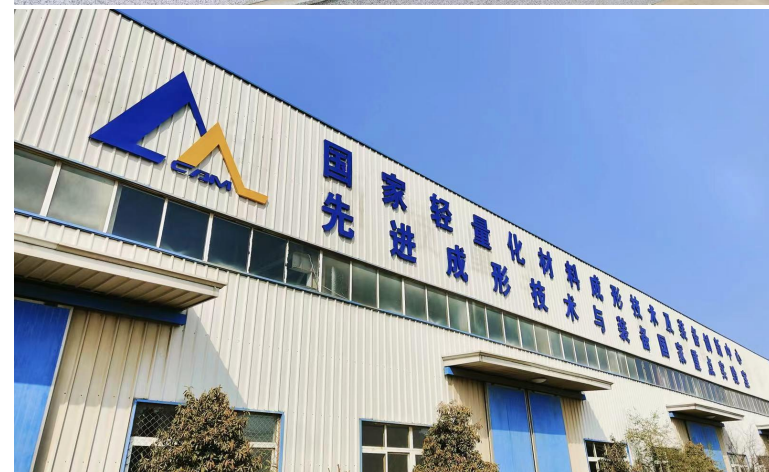


中机新材料研究院（郑州）有限公司

中机新材隶属于国务院国资委直属的大型科技型中央企业——中国机械总院集团，项目总投资2亿元。研究院依托国家轻量化材料成形技术及装备创新中心、先进成形技术及装备国家重点实验室最新技术成果，开展成果转化转移。

研究院位于郑州高新区，围绕增材制造用**高性能金属粉末材料**、**高品质粉末冶金材料**、**超高速激光熔覆**、**工业级金属3D打印**等方向开展专用材料、工艺、装备研发及全流程解决方案。

核心技术团队拥有中国工程院院士1人，国务院特贴专家2人，80%以上拥有硕士、博士学位，70%以上拥有高级职称，技术成果先后获国家科技进步二等奖、中国机械工业科学技术进步一等奖、中国专利金奖、中国专利银奖等。





二、公司经营布局

MAJOR ASSETS

2 亿元

项目总投资

8000 m²

科研生产、办公面积

23 台

重要生产科研设备

5 个

专业实验室

30+ 项

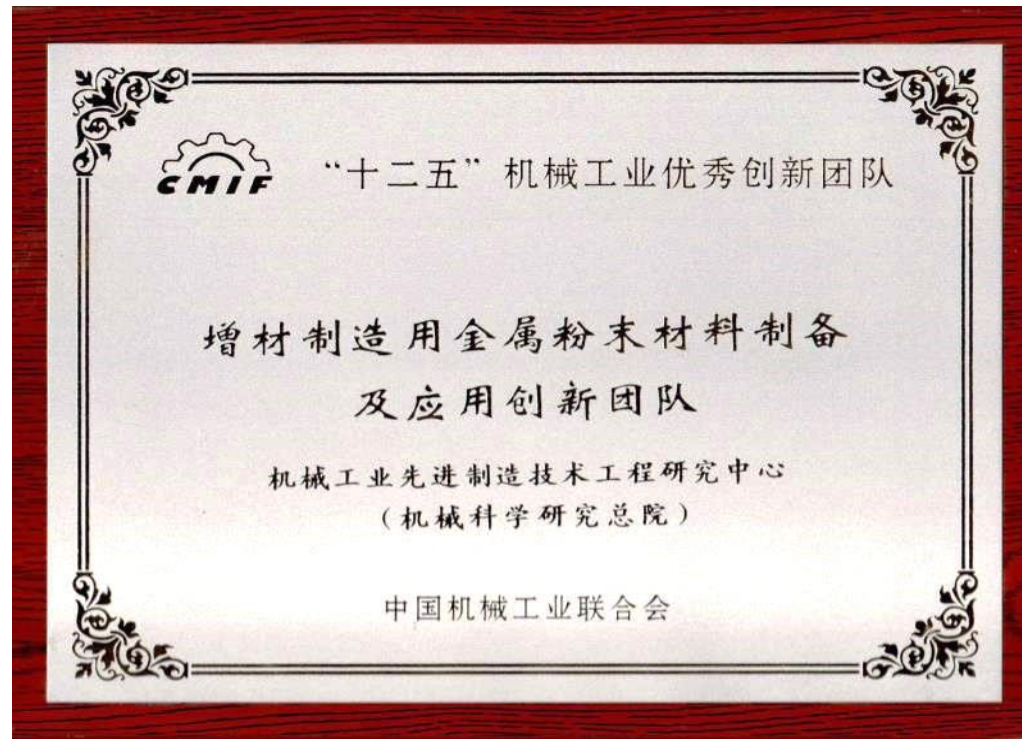
知识产权

89 名

员工



三、公司核心团队



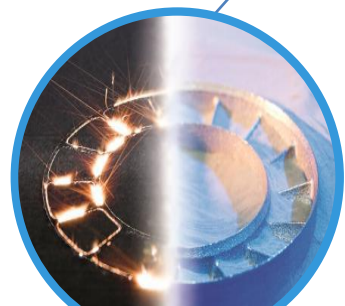


四、公司荣誉奖励

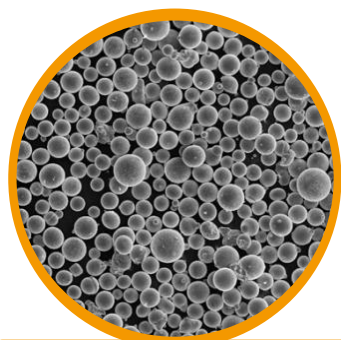




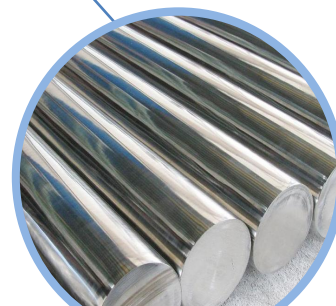
超高速激光熔覆



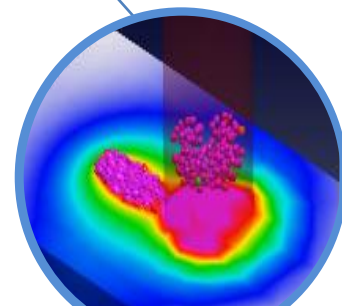
3D打印



金属粉末材料



粉末钢



数字化仿真



业务一 高性能金属粉末材料 产品

主要面向3D打印、激光熔覆、粉末冶金等多种工艺，开展增材制造专用金属粉末材料研发、测试及应用性能验证，为增材制造行业提供高品质金属粉末原材料。





Part 1

3D打印用金属粉末材料 制备技术

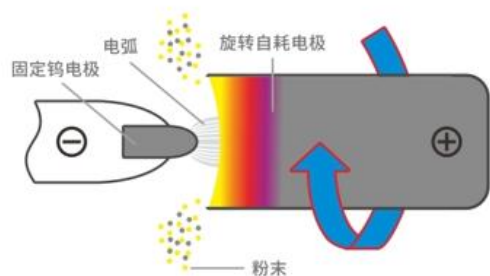
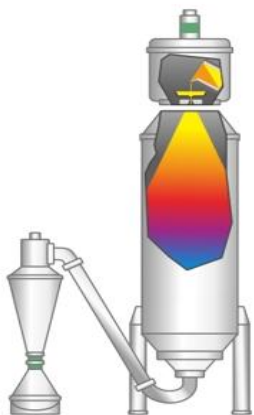


中机新材高性能粉末制备技术

利用真空感应气雾化制粉、等离子旋转电极雾化制粉两条技术路线，3D打印用金属粉末成粉率达50%-70%，达到国际领先水平。

所制备的粉末球形度高、氧含量低，粉末粒度均匀，具有良好的流动性以及较高的松装密度和振实密度。

可生产不锈钢、工模具钢、高温合金、钛合金等系列化金属粉末制品。年产200吨铁基、镍基、钴基金属粉末材料产品，100吨钛合金粉末产品。



250kg级VIGA型
真空气雾化制粉设备



PREP-30000型
等离子旋转电极雾化制粉设备



VIGA真空雾化金属粉末制备技术

基础
理论

喷嘴流道
设计方程

气液两相
雾化机理



关键
技术

特征线方法
气流道型面
构建

大容量高效
率连续雾化
技术

高速射流高
效率雾化
技术

依托项目

国家04科技重大专项、重点研发计划、国家智能制造专项、中德战略性国际科技创新专项
(2018ZX04028001-005、2016YFB0300404、2018智能制造新模式应用, 2016YFE0206000)

原创  发明

2022年第二十三届中国专利金奖

一种新型紧耦合气雾化喷嘴 ZL201911323841.5

创新喷嘴设计理论及方法



突破增材制造领域“卡脖子”困境

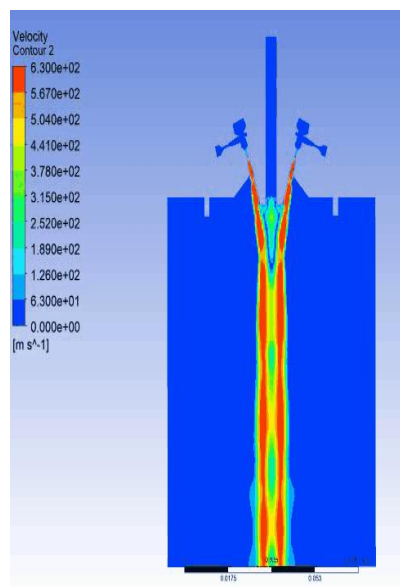
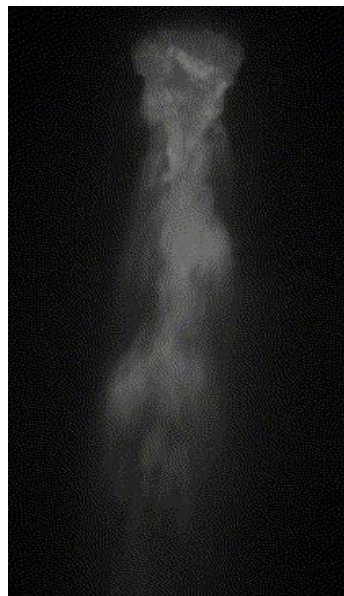
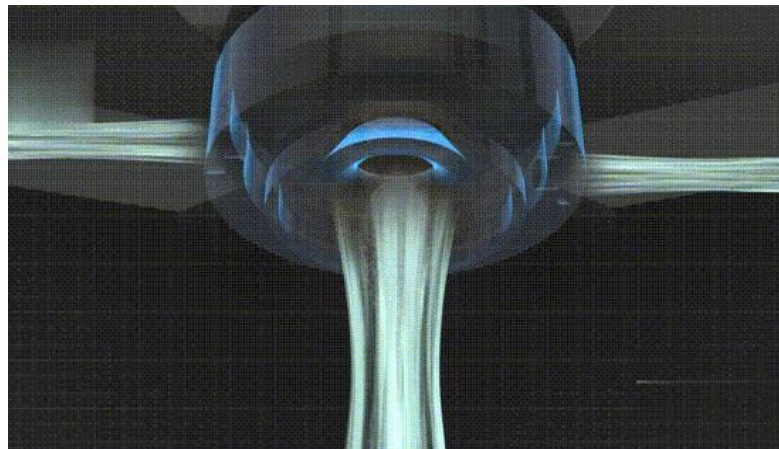
制备效率控制

粉末形貌控制

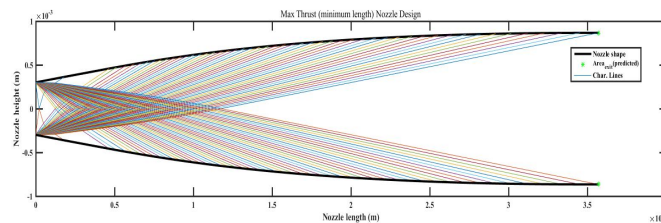
成粉率控制



VIGA真空雾化金属粉末制备技术——成粉率控制



- 基于气动力学理论，采用特征线方法，从**三维轴对称角度构建特征线方程**，精准迭代求解气流道型面。
- 基于气-液两相流雾化机理，**首次提出新型双喷嘴结构及雾化理论**，实现制备合金粉末的成粉率大幅度提高。3D打印用金属粉末成分效率达到50%-70%，达到国际领先水平。



$$\text{轴对称 } (u^2 - a^2) u_x - (v^2 - a^2) v_y + 2uvu_y - \frac{a^2 v}{y}$$

$$\text{无旋条件 } u_x - v_y = 0$$

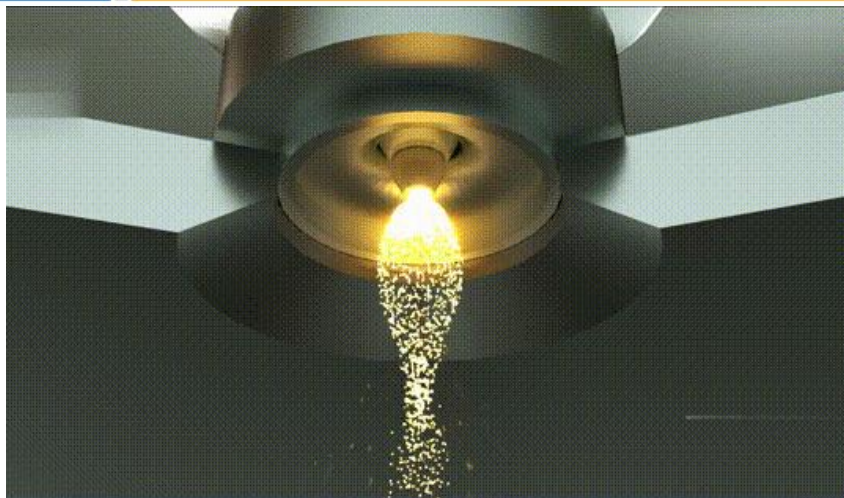
$$\text{其中音速 } a = a(u, v)$$

$$\text{特征线方程 } \left(\frac{dy}{dx} \right)_{\pm} = \lambda_{\pm} = \tan(\theta \pm \alpha)$$

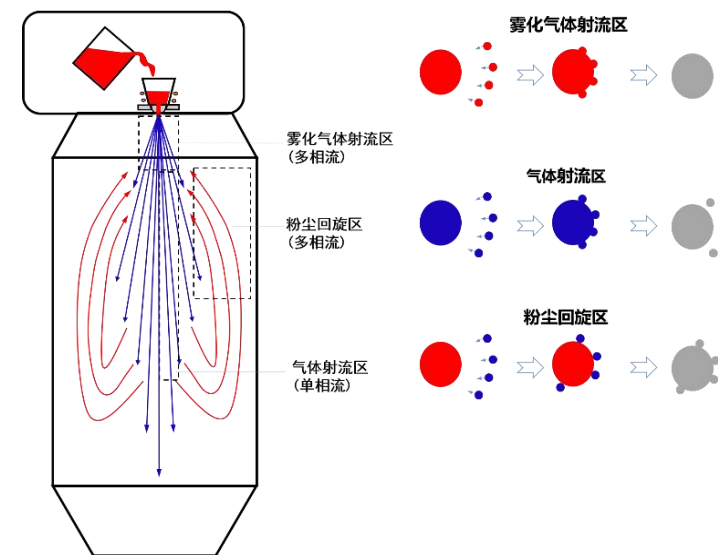
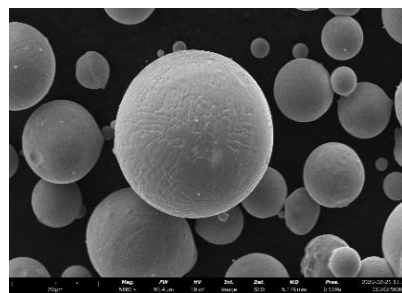
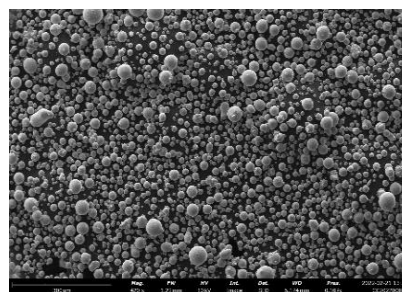
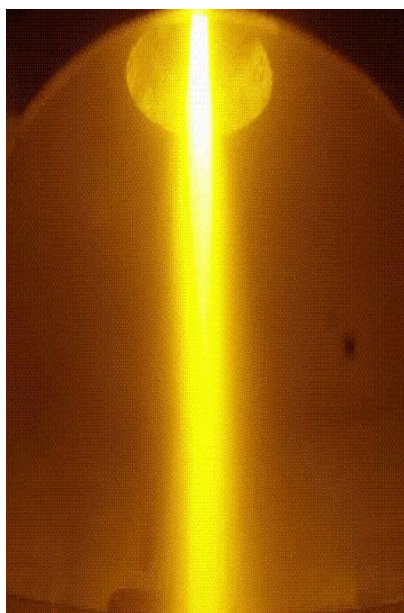
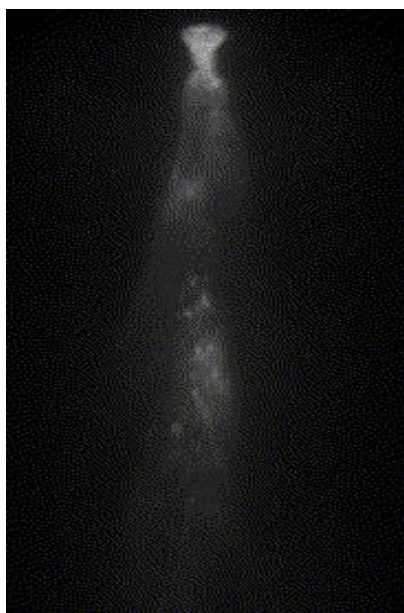
$$\text{相容性方程 } (u^2 - a^2) du_{\pm} + [2uv - (u^2 - a^2) \lambda_{\pm}] dv_{\pm} - \frac{a^2}{y}$$



VIGA真空气雾化金属粉末制备技术——粉末形貌控制

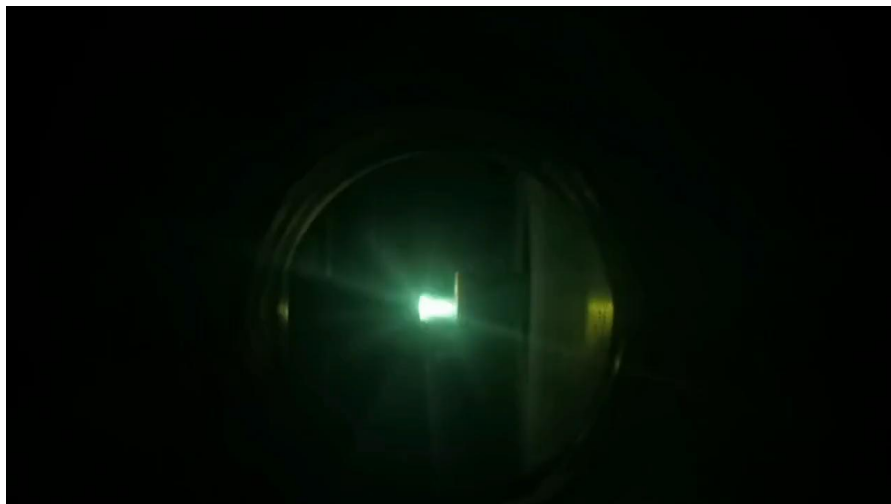


- 基于紧耦合喷嘴两相流雾化理论，首次提出新型双喷嘴结构，抑制雾化炉体粉尘回旋区碰撞行为，达到高球形度合金粉末的制备。
- 首次采用喷嘴底面倾斜角度控制激波射流膨胀，实现对喷嘴雾化合金粉末形貌的控制。

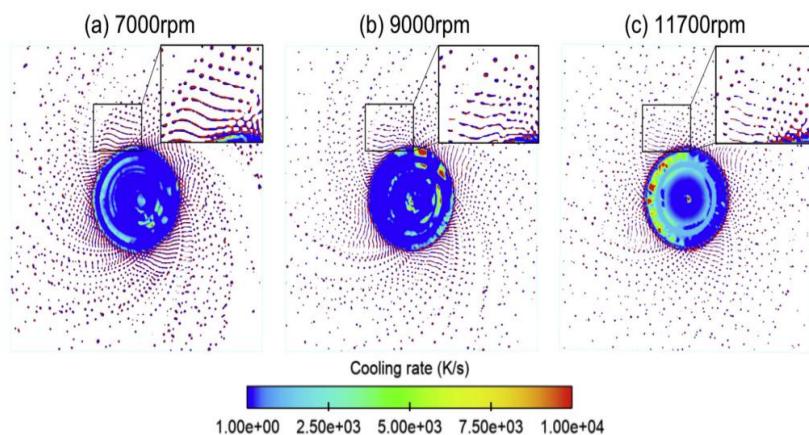




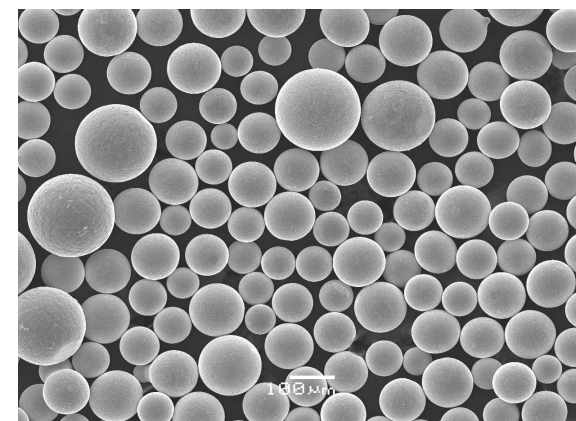
等离子旋转电极金属粉末制备技术



等离子旋转电极 (PREP)



- 突破了大功率等离子枪系统，实现了高效连续生产。
- 解决了高速驱动及动平衡调教，实现了最高30000rpm高转速。
- 通过制备工艺仿真模拟，在高转速下实现SLM用高温合金粉末成粉率超过50%，LMD用钛合金粉末成粉率超过60%。



同轴送粉用钛合金粉末



Part 2

3D打印用金属粉末材料 性能介绍

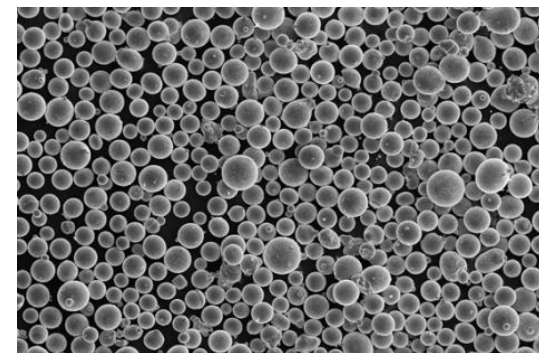


➤ 3D打印用高温合金粉末

性能：具有较高的高温强度，良好的抗氧化和抗腐蚀性能，良好的疲劳性能、断裂韧性等综合性能。

应用：广泛地用来制造航空喷气发动机、各种工业燃气轮机热端部件。

主要牌号：**GH3536(HastelloyX)、GH3625(Inconel625)、GH4099(GH99)、GH4169(Inconel718)、GH5188(Hayness188)等**

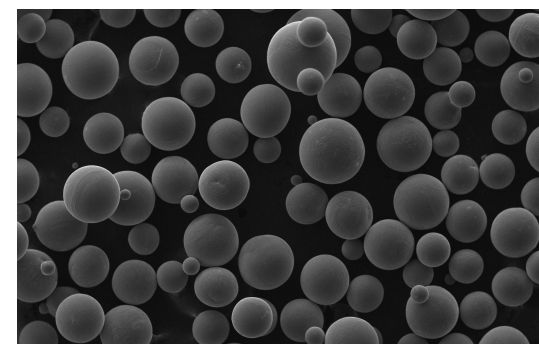


➤ 3D打印用铁基金属粉末

性能：具有良好的强度、耐腐蚀性和硬度，具有加工性能好，韧性高的特点

应用：广泛应用在汽车工业、航天涡轮、食品化工和消费品行业

主要牌号：**316L、304、17-4PH、1.2709、CX、M2、CAM-J55**

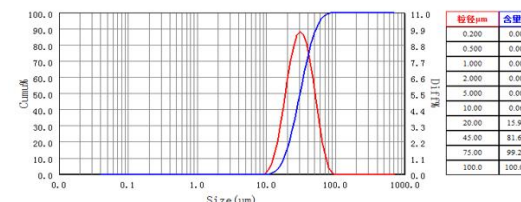


➤ 3D打印用钛基金属粉末

性能：质量轻、强度高、耐蚀性好、耐热性高、低温性能好、生物相容性好

应用：航空航天、医疗、船舶制造等多个领域。

主要牌号：**TC4、TA15、TA1、TC11、TC18、TA18、Ti65等**





GH4169高温合金粉末

1、性能：GH4169高温合金是Ni-Cr-Fe基沉淀硬化型变形高温合金，具有良好的抗氧化、抗蠕变、抗腐蚀能力和良好的疲劳特性。尤其在650℃高温下，其力学性能具有很好的稳定性，能够在600~1200℃下承受一定的工作压力

2、粉末特性：球形度好、氧含量低、粒度分布均匀，批次稳定性高、具有良好的流动性以及较高的松装密度和振实密度。

3、合金应用：广泛地用于制作航空航天、核能、石化工业中的工作叶片、导向叶片、涡轮盘和燃烧室等多种零部件。

4、相近牌号：Inconel1718(美)、NC19FeNb(法)



高温合金粉末牌号	化学成分 (Wt%) Chemical Composition													熔覆硬度 (HRC)			
	Ni	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ti	Co	Al	B	Nb	Fe				
GH4169	50.0-55.0	≤0.08	≤0.35	≤0.35	17.0-21.0	2.8-3.3	≤0.3	0.65-1.15	≤1.0	0.2-0.8	-	4.75-5.5	Bal.	16-19			
范围Scope	粒径分布 (μm)				松装密度Apparent Density(g/cm ³)		振实密度Tap Density(g/cm ³)		流动性FlowRate(s /50g)		含氧量Oxygen content (%)		含氮量Nitrogen content (%)		含氢量Hydrogen content (%)		球形度Degree of spherical
	15-53μm				最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	
	D10	D50	D90	D95	4.12	4.70	-	-	-	30	-	0.05	-	0.04	-	0.05	
测量值Test Value	17.30	30.04	49.08	55.55	4.25		5.09		19.3		0.012		0.004		0.0003		0.893



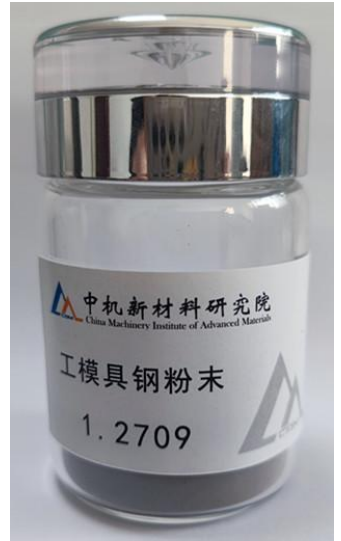
1.2709工模具钢粉末

1、性能：1.2709是一种低碳马氏体时效钢，具有较高的强度和硬度（抗拉强度，表面硬度50~54HRC），兼具良好的韧性和塑性，经热处理后硬度可以最大达到54HRC，并且具有优异的可抛光性。

2、粉末特性：球形度好、氧含量低、粒度分布均匀，批次稳定性高、具有良好的流动性以及较高的松装密度和振实密度。

3、合金应用：广泛应用于航空、航天、模具等工业领域，是制造航空航天和工业装备的一种关键材料，主要用作制造导弹壳体、铀同位素离心分离机高速转筒等高精密承重零件

4、相近牌号：18Ni300、MS1



铁基合金粉末牌号	化学成分 (Wt%) Chemical Composition													
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Co	W	V	Cu	Fe			
1.2709	≤0.3	≤0.15	≤0.1	17.0-19.0	≤0.25	4.5-5.5	8.5-10.0	-	-	≤0.5	Bal.			
范围Scope	粒径分布 (μm)				松装密度Apparent Density(g/cm ³)		流动性FlowRate(s /50g)		含氧量Oxygen content (%)		含氮量Nitrogen content (%)		球形度Degree of spherical	
	15-53μm				最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max
	D10	D50	D90	D95	4.14	4.70	-	30	-	0.03	-	0.03	0.85	-
测量值Test Value	17.09	31.37	55.03	64.09	4.23		22.7		0.020		0.002		0.89	



TA15钛合金粉末

1、性能：TA15属于高Al当量的近 α 型钛合金，既具有 α 型钛合金良好的热强性和可焊性，又具有接近于 $\alpha + \beta$ 型钛合金的工艺塑性。TA15拥有比TC4更高的室温及高温强度、断裂韧性、疲劳极限、抗应力、抗腐蚀能力和焊接性能，但工艺塑性稍低于TC4。

2、粉末特性：球形度好、氧含量低、粒度分布均匀，批次稳定性高、具有良好的流动性以及较高的松装密度和振实密度。

3、合金应用：主要制造500℃以下长时间工作的飞机、发动机零件和焊接承力零部件。

4、相近牌号：BT-20（俄罗斯）



钛基合金粉末牌号	化学成分 (Wt%) Chemical Composition													
	C	Ni	Cr	Mo	W	V	Mn	Si	Zr	Cu	Co	Fe	Ti	Al
TA15	0.1	-	-	0.5-2.0	-	0.8-2.5	-	0.15	1.5-2.5	-	-	0.25	Bal.	5.5-7.0
范围Scope	粒度分布 (μm)			松装密度 Apparent Density (g/cm^3)		流动性 Flow Rate (s / 50g)		含氧量 Oxygen content (%)		含氮量 Nitrogen content (%)		含氢量 Hydrogen content (%)		球形度 Degree of spherical
	60-200目			最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	最小Min	最大Max	
	60-150目 (250-106 μm)	150目-200目 (106-75 μm)	200目筛下 (< 75 μm)	-	-	-	35	0.08	0.13	-	0.03	-	0.006	
测量值 Test Value	85.9	11.3	2.3	2.46		31.7		0.08		0.005		0.002		0.92



Part 3

3D打印用金属粉末材料 应用案例



LiM-X260A设备打印的GH4169零件



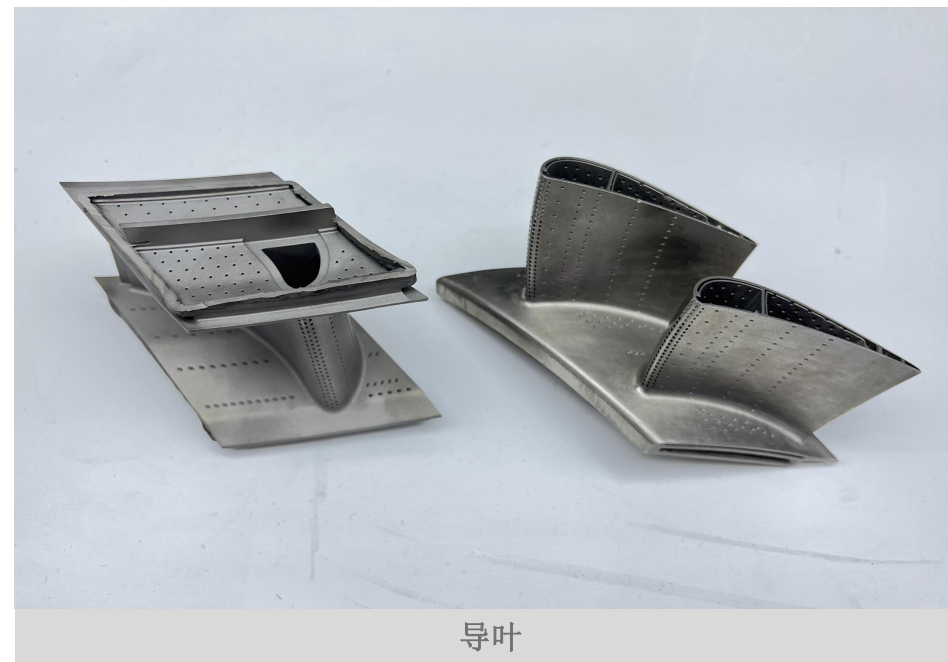
油气混合燃烧室

	金相	热处理状态	测试温度	抗拉强度, MPa	Rp0.2, MPa	断后伸长率, %	断面收缩率
性能标准	光学显微镜: 50倍放大倍数, 每个视场中尺寸大于30um的气孔或未熔合不超过3个。	固溶时效	室温	≥1280	≥1030	≥12	≥15
检测结果	光学显微镜: 50倍放大倍数, 未见未熔合, 尺寸>30um的气孔<3个	固溶时效	室温	1401	1235	22.5	23.0

	取样方向	测试温度	抗拉强度, MPa	Rp0.2, MPa	断后伸长率, %	断面收缩率
性能标准	-	650°	≥1000	≥860	≥12	≥15
检测结果	纵向	650°	1025	948	13.2	25.5
	横向	650°	1117	1019	13.5	17.5



LiM-X260A设备打印 的GH3536零件



导叶

	金相	热处理状态	测试温度	抗拉强度, MPa	Rp0.2, MPa	断后伸长率, %
性能标准	光学显微镜: 50倍放大倍数, 每个视场中尺寸大于30um的气孔或未熔合不超过3个。	固溶时效	室温	≥ 690	≥ 275	≥ 30
检测结果	光学显微镜: 50倍放大倍数, 未见未熔合, 尺寸>30um的气孔<3个	固溶时效	室温	816	593	33.0



业务二

粉末钢产品

开展粉末制备、热等静压成形、锻造及热处理等全流程研发及生产，研发出多种达到国际先进水平的粉末钢产品，并已在刀具和多种模具领域进行了产业化应用。





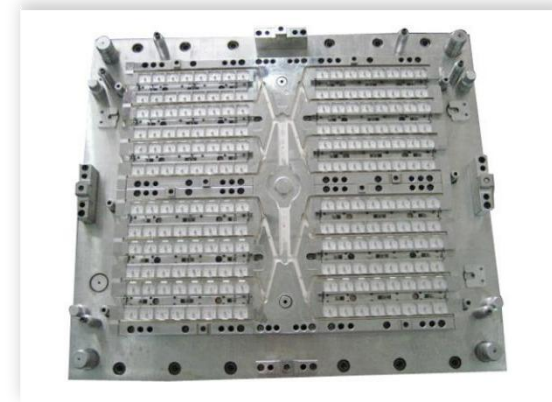
粉末钢产品——产品列明

	CAM牌号	欧美牌号	最高硬度 (HRC)
粉末合金钢	CAM-D2	D2	60
	CAM-D10V	CPM10V	65
	CAM-D440	ELMAX/APZ10	58
粉末高速钢	CAM-M2	EM2/S600	62
	CAM-M35	EM35	65
	CAM-M42	EM42	67
	CAM-T15	-	65
	CAM-D23	ASP2023/PM23	66
	CAM-D30	ASP2030/PM30	67
	CAM-D53	ASP2053	65
	CAM-D60	ASP2060	69
	CAM-D290	S290	70
	CAM-D390	S390	69
	CAM-D590	S590	67



粉末钢材料产品

依托科研成果，研发了PM23、PM30、PM60、PM X818等多品种的粉末冶金工模具钢产品，应用于冷作工具、挤压模具、IC封装模具等多个领域主要应用领域，如整体孔式双联滚刀、超高速干切插齿刀、高精度车齿刀、精冲模、压铸模镶块、注塑模镶块等。

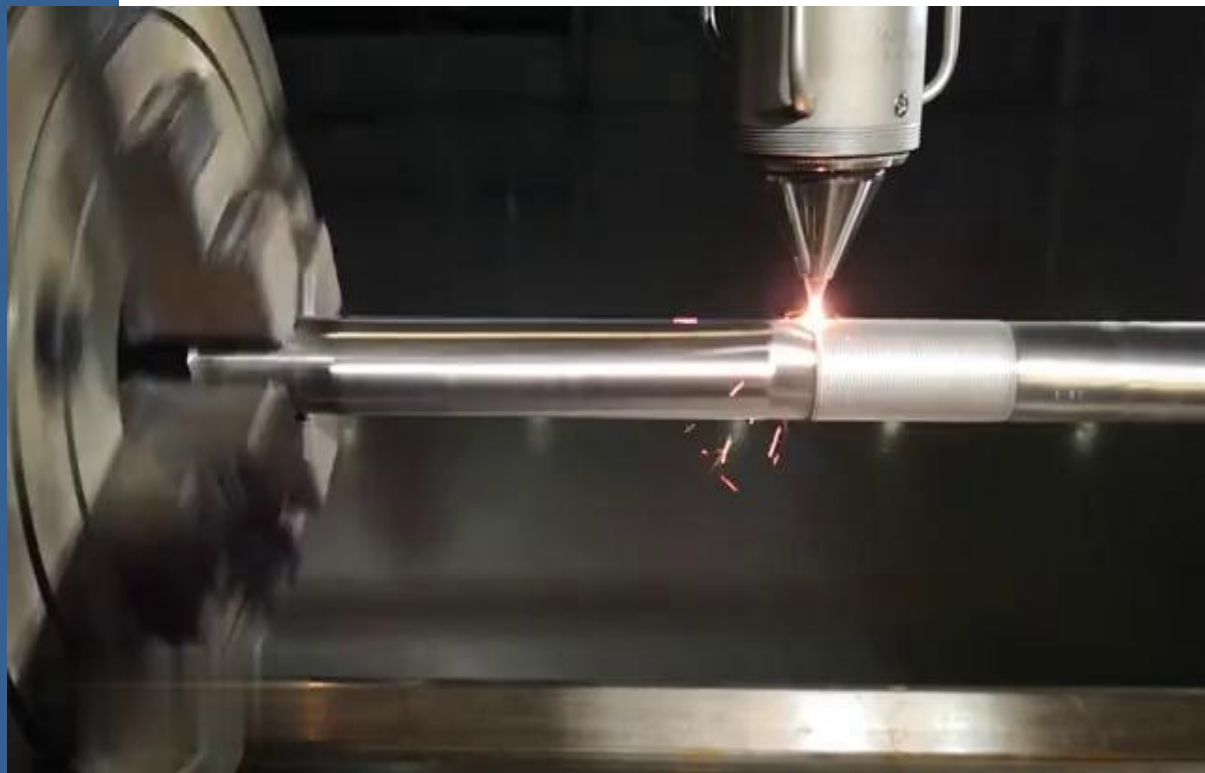




业务三

超高速激光熔覆服务

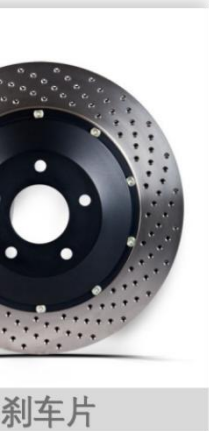
针对煤机、汽车、石油、工程机械等领域大型轴类件耐磨耐腐蚀涂层制备需求，开展超高速激光熔覆加工技术及装备研发，形成了**专用粉末材料—核心关键部件—成套装备集成—工艺技术开发**的完善技术体系替代电镀铬、热喷涂等污染工艺，实现绿色制造工艺替代。



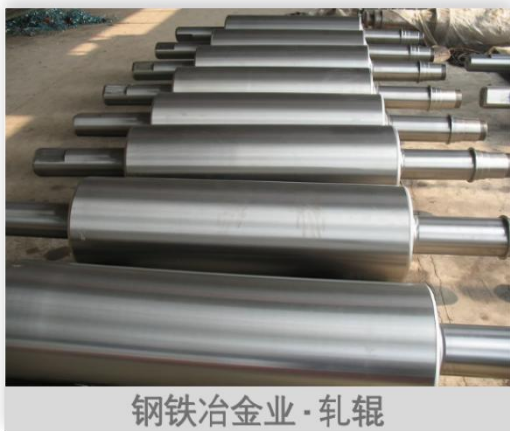


超高速激光熔覆服务——行业应用

针对零件表面耐磨、耐腐蚀、耐高温及抗氧化等性能需求，可制备铁基、镍基、钴基、复合材料等多种功能复合涂层，已在煤矿机械、工程机械、石油钻采、钢铁冶金等多个领域实现应用，未来将继续推广在航空航天、汽车制造等多个行业应用。



刹车片



钢铁冶金业·轧辊



航空航天及能源·起落架



工程机械业·液压油缸



石油



效率高

- 熔覆线速率20~200 m/min
- 熔覆效率0.5~3m²/h

质量高

- 完全冶金结合
- 熔覆层厚50~800μm
- 热输入低，热影响区 < 100μm
- 熔覆层稀释率 < 1%

成本节省

- 低功率
- 粉末利用率高达90%
- 熔覆层表面粗糙度Ra < 10μm，
后续无需车削加工，可直接磨削





业务四

3D打印服务

3D打印中心是面向金属3D打印应用的最前沿科技创新机构。拥有国际先进的微尺度SLM金属3D打印机、常规尺度SLM金属3D打印机。公司设备可打印镍基合金、钛合金、不锈钢、模具钢、工具钢等多种材料，致力于解决高精度金属3D打印的相关需求。





3D打印服务



拥有各类金属3D打印设备7台，涵盖微米级SLM 3D打印与常规SLM 3D打印，零部件成形尺寸最大可达400*400*400mm。



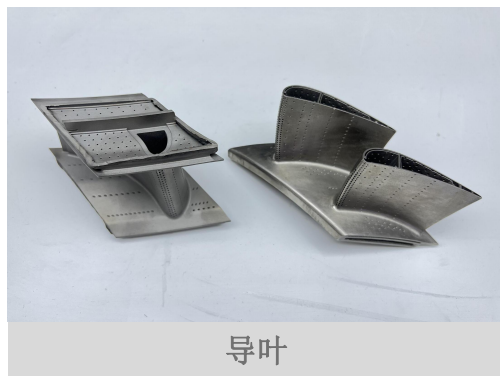
滤油器



航空发动机模型



油气混合燃烧室



导叶



散热涡轮





微米级3D打印（Micro-SLM）设备



微米级3D打印设备

- 激光器类型：200W光纤激光器
- 光斑尺寸：20-25 μm
- 定位精度：1 μm
- 粉末粒径：<20 μm
- 成形尺寸： $\phi 100 \times 150 \text{ mm}$
- 适用材料： 不锈钢、钛合金、高温合金、记忆合金、贵金属

针对航空航天、精密机械、集成电路等行业高精度3D打印需求，开展了微米级3D打印工艺技术及装备研发；开发了微米级超高精度激光3D打印装备；攻克了关键工艺技术并实现了成形精度<20 μm 、表面粗糙度 $R_a < 1 \mu\text{m}$ ，成形精度较现有增材制造工艺大幅提升。



常规SLM

- 粉末粒度范围：15–53 μm
- 典型铺粉层厚：20–50 μm
- 成型精度：100–200 μm
- 表面粗糙度：Rz 40–100 μm
Ra 约10 μm
- 需大量支撑结构



常规SLM打印

Micro-SLM打印

Micro-SLM

- 粉末粒度范围：0–20 μm
- 典型铺粉层厚：5–10 μm
- 成型精度： $<20 \mu\text{m}$
- 表面粗糙度：Rz 5–10 μm
Ra 约1 μm
- 可实现 10° 以上无支撑3D打印



Micro-SLM打印结构
与蒲公英对比

尺寸约10 mm



超细金属粉末的均匀铺粉技术

通过特殊的铺粉技术，可实现对0-20 μm 超细金属粉末的均匀铺粉，可确保良好的铺粉平整度。



激光光斑精密整形聚焦技术

通过开发激光光斑整形系统，聚焦光斑尺寸可达20 μm ，保证了微米级3D打印的超高打印精度。



激光点能精确控制技术

打印技术不同于常规3D打印的连续激光加工，微米级3D采用脉冲激光，实现对打印过程中激光点能的精确控制，可实现复杂结构的无支撑打印。

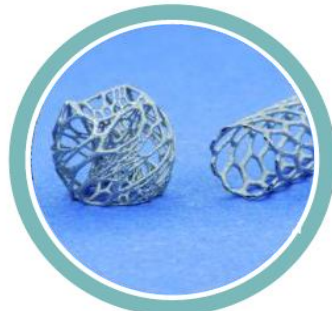


航空航天行业



可一次性成形具有高表面光洁度和复杂内部结构的镍基高温合金航空发动机部件，大幅提高其使用性能。

医疗行业



可直接成形微创手术器材，实现可活动铰链结构，免除精密加床加工和后期多重组装，还可快速制造个性化植入体。

微电子行业



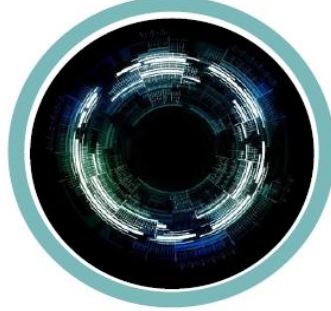
直接打印优化后的散热片结构。同时打印封闭式的微结构管道，实现传统工艺无法加工的微米级复杂部件，提高产品散热性能。

模具行业



可直接制造微米级电子接插件模具，从而实现快速经济的批量生产。并可以实现随形冷却流道系统，提高冷却效率，延长设备使用寿命并提升设备产能。

尖端测量技术行业

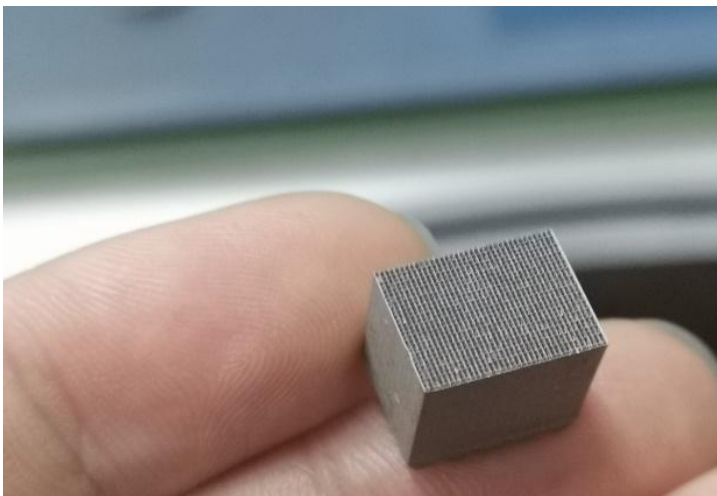


多孔流体力学探测器内部结构复杂，制造困难，且尺寸普遍偏大。微米级打印可以直接打印多孔多流道、微型、高精度探测装置，并具有超高表面光洁度，无需后期处理，可直接使用。

饰品行业



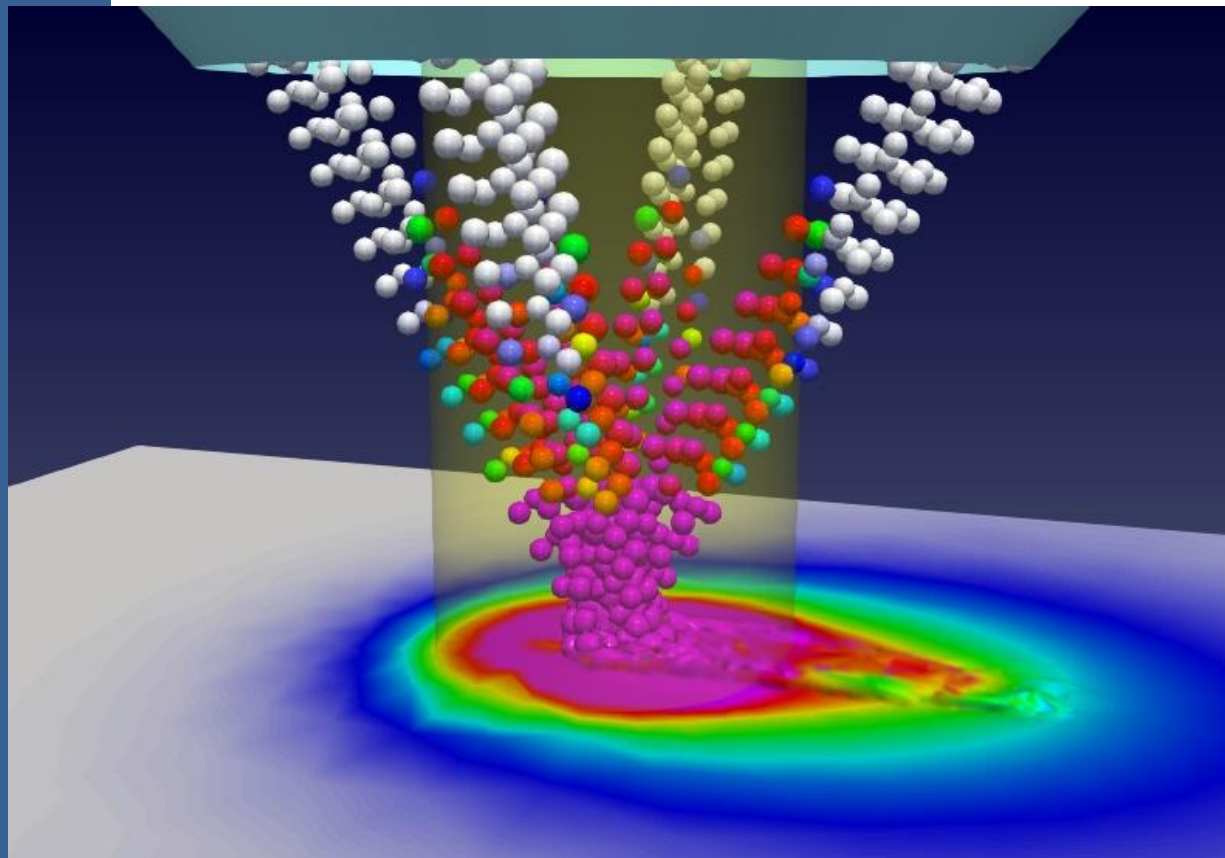
可打印18K黄金粉末，成形精细复杂结构，打印产品表面光洁度高。同时，在打印过程中大量减少支撑件的使用，减少后期加工工序，节约贵金属粉末，降低加工成本。





业务五 数字化模拟仿真技术服务

针对3D打印增材制造、高速激光熔覆等技术开发建模与模拟仿真软件，对制造工艺、产品使用性能、寿命等进行全流程数值模拟与仿真，建立面向重点行业的设计制造虚拟数字服务平台。





数字化模拟仿真技术服务——服务项目

激光增材制造工艺与
关键系统仿真及开发

气雾化制粉工艺与关
键系统仿真及开发

高能束焊接温度场与
应力场仿真分析

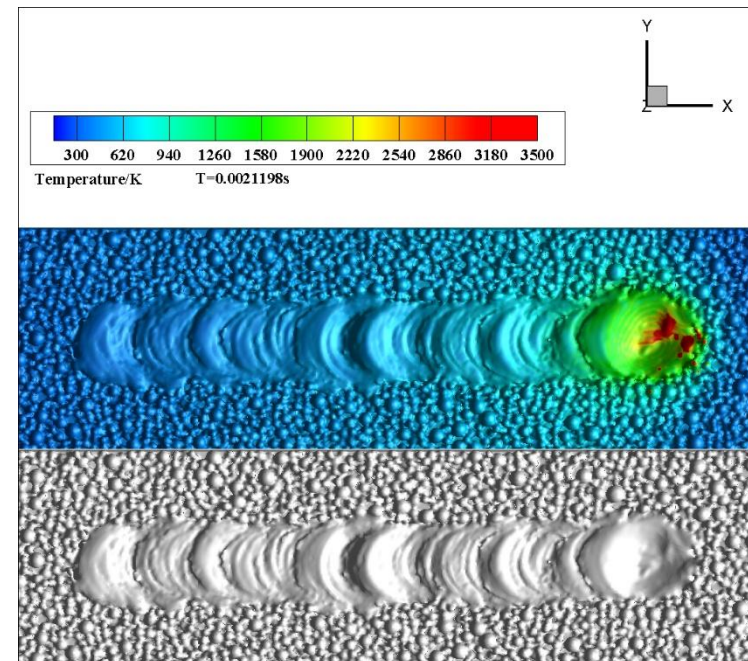
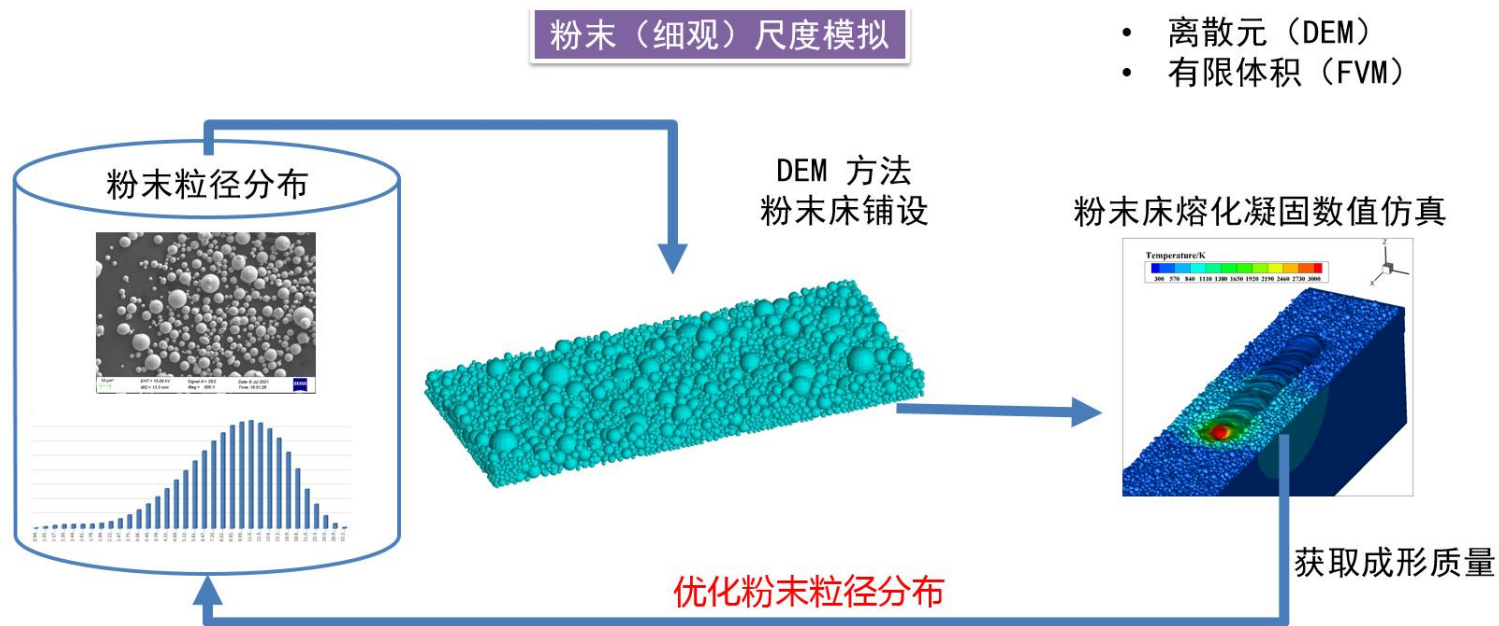
热挤压成形及模具应
力分析

其他结构、流体、传热
等典型问题仿真分析



数字化模拟仿真技术服务——案例展示

1、粉末尺度激光选区熔化仿真服务



感谢您的聆听！



中机新材料研究院（郑州）有限公司

电话：0371-55287790

邮箱：camtczz@163.com

地址：河南省郑州市高新区化工路与香蒲路交叉口向北100米路西