

国家标准

金属粉末（不包括硬质合金粉末） 在单轴压制中压缩性的测定

编制说明

（预审稿）

国家标准

《金属粉末(不包括硬质合金粉末)在单轴压制中压缩性的测定》

编制说明（送审稿）

一、工作简况

1.1 任务来源

根据《国家标准化管理委员会关于下达 2019 年推荐性国家标准计划(修订)的通知》(国标委发函〔2020〕6 号)精神,由深圳市注成科技股份有限公司负责修订国家标准《金属粉末(不包括硬质合金粉末)在单轴压制中压缩性的测定》,项目计划编号为:20200747-T-610。按计划要求,本标准应在 2021 年 8 月完成。

1.2 项目概况

压缩性的测量主要应用于金属材料、建筑工程用材料(如混凝土、土体等)、流体、气体、工业原油、农业(如玉米秸秆)、医学(如骨骼、脊椎等)等领域。通过对金属粉末压缩性的测量能够充分利用原材料、了解材料的特性,合理地材料做出评价,并制定出科学的工艺技术,有助于推动粉末冶金工业技术的发展。

粉末冶金是采用金属粉末(或非金属粉末混合物)为原料,经成形和烧结操作制造金属材料、复合材料及其零部件的加工方法。

成形是将粉末转变成具有所需形状的凝聚体的过程。常用的成形方法有模压、轧制、挤压、等静压、松装烧结成形、粉浆浇注和爆炸成形等。

模压即粉末料在压模内压制。常用的模压方法有单向压制、双向压制、浮动模压制等。单向压制即固定阴模中的粉末在一个运动模冲和一个固定模冲之间进行压制的方法。单向压制模具简单,操作方便,生产效率高,但压制时受摩擦力的影响,制品密度不均匀,适宜压制高度或厚度较小的制品。双向压制是阴模中粉末在相向运动的模冲之间进行压制的方法。双向压制比较适宜高度或厚度较大的制品。双向压制压坯的密度较单向压制均匀,但双向同时加压时,压坯厚度的中间部分密度较低。浮动压制是浮动阴模中的粉末在一个运动模冲和一个固定模冲之间进行压制。阴模由弹簧支承,处于浮动状态,开始加压时,由于粉末与

阴模壁间摩擦力小于弹簧支承力，只有上模冲向下移动；随着压力增大，当二者的摩擦力大于弹簧支承力时，阴模与上模冲一起下行，与下模冲间产生相对移动，使单向压制转变为压坯的双向受压，而且压坯双向不同时受压，这样压坯的密度更均匀。

粉末的物理性能包括粉末粒度及粒度分布（粉料中能分开并独立存在的最小实体为单颗粒。实际的粉末往往是团聚了的颗粒，即二次颗粒）；颗粒形状（即粉末颗粒的外观几何形状。常见的有球状、柱状、针状、板状和片状等，可以通过显微镜的观察确定）；比表面积（单位质量粉末的总表面积，可通过实际测定，其大小影响着粉末的表面能、表面吸附及凝聚等表面特性）等。

粉末的工艺性能包括流动性、填充特性、压缩性及成形性等。

(1) 填充特性

指在没有外界条件下，粉末自由堆积时的松紧程度。常以松装密度或堆积密度表示。粉末的填充特性与颗粒的大小、形状及表面性质有关。

(2) 流动性

指粉末的流动能力，常用 50 克粉末从标准漏斗流出所需的时间表示。流动性受颗粒粘附作用的影响。

(3) 压缩性

表示粉末在压制过程中被压紧的能力，用规定的单位压力下所达到的压坯密度表示，在标准模具中，规定的润滑条件下测定。影响粉末压缩性的因素有颗粒的塑性或显微硬度，塑性金属粉末比硬、脆材料的压缩性好；颗粒的形状和结构也影响粉末的压缩性。

(4) 成形性

是指粉末压制后，压坯保持既定形状的能力，用粉末能够成形的最小单位压制压力表示，或用压坯的强度来衡量。成形性受颗粒形状和结构的影响。

粉末压制（此处主要指粉末冶金）是用金属粉末（或金属粉末和非金属粉末的混合物）做原料，经压制成型后烧结而制造各种类型的零件和产品的的方法。

压制性粉末的压制性包括压缩性和成型性。粉末压缩性主要受粉末硬度塑性变形能力与加工硬化性决定，塑性金属粉末比硬、脆材料的压缩性好，颗粒的形状和结构也影响着粉末的压缩性。压缩性的好坏决定了压坯的强度和密度，影

响最终粉末压制产品的质量和综合性能。

1.3 承担单位情况

深圳市注成科技股份有限公司专业从事粉末冶金材料与武器装备研究，已经形成了金属注射成形材料、金属注射成形生产工艺、硬质合金武器装备、钨合金武器装备、铁基合金武器装备等一系列核心技术，粉末冶金新材料制品涵盖钨合金、铁基合金、硬质合金、钨铜合金、铜合金、钛合金、陶瓷合金、不锈钢等多种材料，并在枪弹、炮弹及枪械等行业得到规模化的应用。

公司为国家高新技术企业、深圳市国防科技工业协会副会长单位、“轻武器装备理事会”理事单位，全国粉末冶金标准化委员会委员单位。公司在粉末冶金主要过程（粉体材料、粘结剂、成型工艺、烧结工艺）中拥有自主核心技术，生产工艺一流，加工设备先进，试验检测手段齐全，具备较强的产品研发、生产能力。

1.4 参编单位及主要起草人工作情况

标准起草过程中各参编单位给予了大力的支持帮助。西北有色金属研究院、有研粉末新材料有限公司、广东省工业检测分析中心、中南大学、西安赛隆金属材料有限责任公司、钢铁研究总院、安泰天龙钨钼科技有限公司等单位提供了相关产品的测试数据。

标准主要起草人以及分工见下表。

标准主要起草人及分工

姓名	单位	分工
张越	深圳市注成科技股份有限公司	负责调研、验证、标准起草
		负责调研、验证、标准起草
		负责调研、验证、标准起草
		负责全过程的标准编制、协调工作
		负责标准审核、协调工作
		参与标准起草，资料收集，提供相关验证
		参与标准起草，资料收集，提供相关验证
		参与标准起草，资料收集，提供相关验证

1.5 主要工作过程

1.5.1 起草阶段

深圳市注成科技股份有限公司接到《金属粉末（不包括硬质合金）在单轴压制中压缩性的测定》的修订任务后，立即组织相关工程技术人员成立了标准编制组，进行相关资料的查询与收集工作，制订工作计划和进度安排。编制组首先对

ISO 3927: 2017《金属粉末（不包括硬质合金）在单轴压制中压缩性的测定》标准的进行了翻译，并对重点内容进行了熟悉，同时收集、分析、研究了国内外相关技术资料和标准资料，开展与标准修定相关的测试工作，在此基础上，于 2021 年 1 月形成了标准的征求意见稿和编制说明。

1.5.2 征求意见阶段

2021 年 4 月 20 日~22 日，全国有色金属标准化技术委员会组织在贵阳召开标准的讨论会，编制组成员西北有色金属研究院、有研粉末新材料股份有限公司、广东省科学院工业检测分析中心、中南大学、西安赛隆金属材料有限责任公司、钢铁研究总院以及参会单位国联汽车动力电池研究院有限责任公司、北京科技大学、天津国安盟固利新材料科技股份有限公司、格林美股份有限公司、西安欧中材料科技有限公司、金驰能源材料有限公司、湖南长远锂科股份有限公司、湖南杉杉能源科技股份有限公司、北矿新材料科技有限公司、深圳市万泽中南研究院有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、深圳清华大学研究院、广东省科学院材料与加工研究所、广东邦普循环科技有限公司、江苏锂源电池材料有限公司、成都易态科技有限公司、江苏威拉里新材料科技有限公司、自贡长城硬面材料有限公司、中伟新材料股份有限公司等 25 家单位对标准的征求意见稿和编制说明进行了充分、细致地讨论。

2021 年 4 月 30 日至 2021 年 7 月 5 日，全国有色金属标准化技术委员会将征求意见资料在国家标准化管理委员会的“公共信息服务平台”上挂网，向社会公开征求意见。同时，全国有色金属标准化技术委员会通过工作群、邮件向委员单位征求意见，并将征求意见资料在 www.cnsmq.com 网站上挂网。征求意见的单位包括主要生产、经销、使用、科研、检验等单位及大专院校，征求意见单位广泛且具有代表性，征求意见时间大于 2 个月。

2021 年 7 月，编制组单位对收集到的意见进行整理，共收到了 8 条意见，形成了标准征求意见稿意见汇总处理表。标准制定工作组对征求意见稿进行修改，形成标准预审稿。

二、标准的修订原则、主要内容与论据

2.1 标准修订的原则

该标准按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编

写》和 GB/T 20000.2-2009《标准化工作指南 第2部分：采用国际标准》的要求编写。本标准等同采用 ISO 3927-2017《金属粉末（不包括硬质合金）在单轴压制中压缩性的测定》。

2.2 标准修订的主要内容

本标准代替 GB/T 1481-2012《金属粉末（不包括硬质合金粉末）在单轴压制中压缩性的测定》。与 GB/T 1481-2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 本标准改为本文件。
- b) 增加规范性引用文件；
- c) 增加术语和定义；
- d) 符号改为符号和定义；
- e) 天平的精度由±0.01 g 改为±0.001 g；
- f) 尺寸测量精度由±0.01 mm 改为±0.005 mm；
- g) 步骤改为试验步骤；
- h) 图2 上模冲和下模冲的长度和宽度由正公差改为负公差： $30^{+0.01}_0$ 和 $12^{+0.01}_0$ 变为 $30^{-0.01}_{-0.02}$ 和 $12^{-0.01}_{-0.02}$ 。

2.3 主要试验验证情况

2.3.1 同一试验室对同一金属粉末在单轴压制中压缩性的测试结果

编制组各单位按照 ISO 3927: 2017《金属粉末（不包括硬质合金粉末）在单轴压制中压缩性的测定》标准要求测试了同一试验室对同一金属粉末在单轴压制中的压缩性，金属粉末包括水雾化不锈钢 316L 粉、气雾化不锈钢 304 粉、气雾化铁粉、水雾化铜粉、电解铜粉和氢化脱氢钛粉，测试结果见表1～表7。

表1 西北有色金属研究院水雾化不锈钢 316L 粉测试结果

实验条件	直径（mm）	高度（mm）	截面积（mm ² ）	压力（N/mm ² ）	加载（N）	压制吨位（T）
	25	21	490.63	200	98125	9.8
	25	19	490.63	300	147188	14.7
	25	18	490.63	400	196250	19.6
	25	18	490.63	500	245313	24.5
	25	17	490.63	600	294375	29.4
	25	16	490.63	800	392500	39.3

压力		样品1	样品2	样品3
----	--	-----	-----	-----

200N/mm ²	质量 (g)	50.04	50.05	50.16	密度平均值
	高度 (mm)	20.61	20.59	20.91	
	直径 (mm)	25.25	25.23	25.04	
	截面积 (mm ²)	500.4865625	499.6940265	492.196256	
	体积 (cm ³)	10.31502805	10.28870001	10.29182371	
	密度 (g/cm ³)	4.851	4.864	4.873	
重复性	r (0.025 g/cm ³)	0.012	0.001	0.010	—

压力 300N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	50.01	50.07	50.03	
	高度 (mm)	19.23	19.27	19.26	
	直径 (mm)	25.09	25.11	25.07	
	截面积 (mm ²)	494.1638585	494.9519985	493.3763465	
	体积 (cm ³)	9.502770999	9.537725011	9.502428434	
	密度 (g/cm ³)	5.263	5.250	5.265	
重复性	r (0.025 g/cm ³)	0.004	0.009	0.006	—

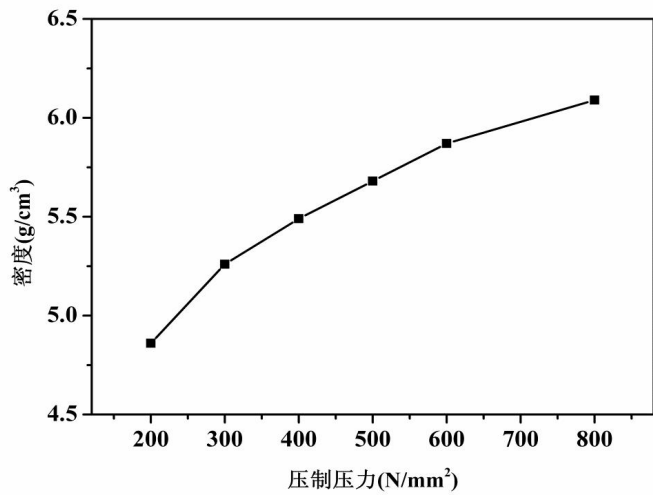
压力 400N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	50.06	50.06	50.08	
	高度 (mm)	18.56	18.25	18.36	
	直径 (mm)	25.18	25.13	25.09	
	截面积 (mm ²)	497.715434	495.7407665	494.1638585	
	体积 (cm ³)	9.237598455	9.047268989	9.072848442	
	密度 (g/cm ³)	5.419	5.533	5.520	
重复性	r (0.025 g/cm ³)	0.072	0.042	0.029	—

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	50.05	50.01	50.04	
	高度 (mm)	18.04	17.63	17.8	
	直径 (mm)	25.11	25.08	25.06	
	截面积 (mm ²)	494.9519985	493.770024	492.982826	
	体积 (cm ³)	8.928934053	8.705165523	8.775094303	
	密度 (g/cm ³)	5.605	5.745	5.703	
重复性	r	0.079	0.061	0.019	—

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	50.00	50.04	50.00	
	高度 (mm)	17.17	17.27	17.28	
	直径 (mm)	25.10	25.09	25.09	
	截面积 (mm ²)	494.55785	494.1638585	494.1638585	
	体积 (cm ³)	8.491558285	8.534209836	8.539151475	

	密度 (g/cm ³)	5.888	5.863	5.855	5.869
重复性	r (0.025 g/cm ³)	0.019	0.006	0.014	—

压力 800N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	50.06	50.03	50.08	
	高度 (mm)	16.45	16.71	16.45	
	直径 (mm)	25.21	25.19	25.11	
	截面积 (mm ²)	498.9021185	498.1108385	494.9519985	
	体积 (cm ³)	8.206939849	8.323432111	8.141960375	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	6.100	6.011	6.151	6.087
重复性	r (0.025 g/cm ³)	0.013	0.076	0.064	—

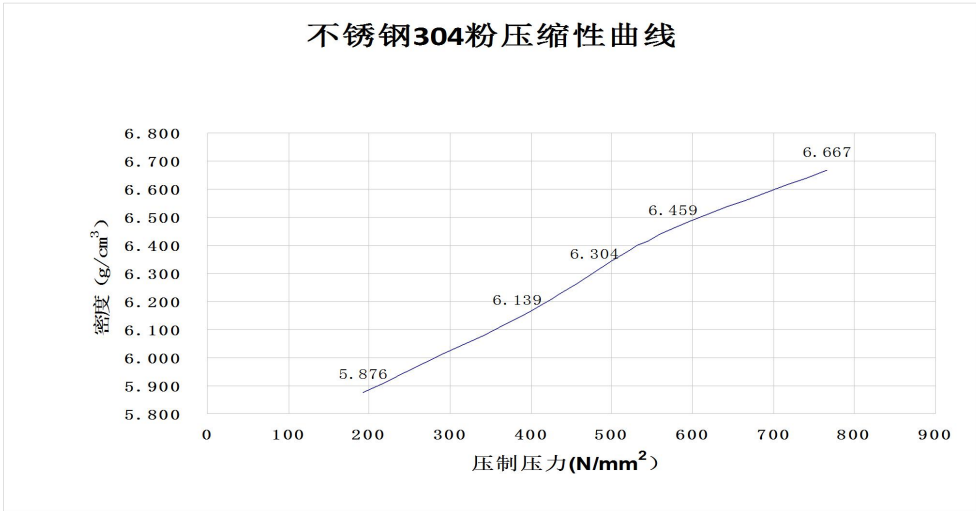


水雾化不锈钢 316L 粉压缩性曲线可以看出，随压制压力增大，压坯密度增加，粉末压缩性曲线的斜率逐步降低，压坯密度增加幅度逐渐减小。压制压力为 200N/mm²、300N/mm² 和 600N/mm² 时，密度测定方法的重复性 r 小于 0.025g/cm³，重复性好。压制压力为 400N/mm²、500N/mm² 和 800N/mm² 时，各个试验结果的绝对误差超过 0.025g/cm³ 的大于 5%，重复性差。测试结果表明水雾化不锈钢 316L 粉压制易于成型，所需压力较小。

表 2 广东省科学院工业分析检测中心气雾化不锈钢 304 粉测试结果

压制吨位 (T)	压制压 (N/mm ²)	直径 (mm)	编号	密度 (g/cm ³)	平均密度 (g/cm ³)	重复性 r
7	192	21.348	1	5.898	5.876	0.022
		21.343	2	5.834		0.042
		21.350	3	5.896		0.020
14	384	21.352	1	6.136	6.139	0.003
		21.348	2	6.105		0.034
		21.357	3	6.175		0.046
17.5	479	21.348	1	6.361	6.304	0.057

		21.345	2	6.291		0.013
		21.353	3	6.261		0.043
		21.353	1	6.517		0.058
21	575	21.350	2	6.399	6.459	0.060
		21.355	3	6.460		0.001
		21.362	1	6.671		0.004
28	766	21.357	2	6.661	6.667	0.006
		21.362	3	6.669		0.002

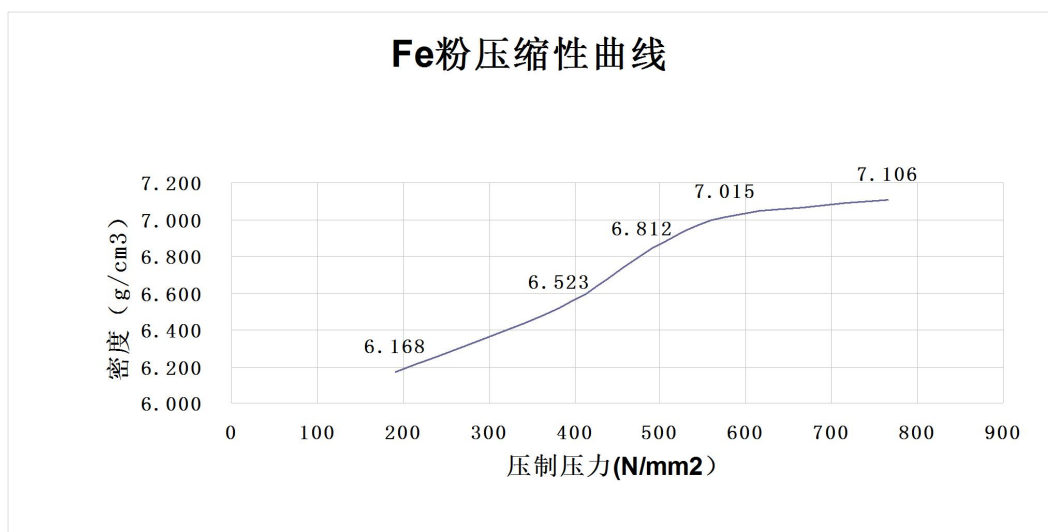


气雾化不锈钢 304 粉压缩性曲线可以看出，随压制压力增大，压坯密度值增加，粉末压缩性曲线呈直线上升，压坯密度随压制压力增加而增大。压制压力为 766N/mm² 时，密度测定方法的重复性 r 小于 0.025g/cm³，重复性好。其他压制压力下，密度测定方法的重复性 r 波动大，各个试验结果的绝对误差超过 0.025g/cm³ 的大于 5%，重复性差。测试结果表明气雾化不锈钢 304 粉的压制性能整体较差。

表 3 广东省科学院工业分析检测中心气雾化铁粉测试结果

压制吨位 (T)	压制压力 (N/mm ²)	直径 (mm)	编号	密度 (g/cm ³)	平均密度 (g/cm ³)	重复性 r
7	192	21.325	1	6.086	6.168	0.082
		21.323	2	6.248		0.080
		21.325	3	6.169		0.001
14	384	21.335	1	6.607	6.523	0.084
		21.333	2	6.340		0.182
		21.330	3	6.620		0.097
17.5	479	21.340	1	6.833	6.812	0.021
		21.345	2	6.821		0.009
		21.340	3	6.782		0.030
21	575	21.353	1	7.020	7.015	0.005

		21.350	2	7.011		0.004
		21.350	3	7.016		0.001
28	766	21.353	1	7.089	7.106	0.017
		21.358	2	7.115		0.009
		21.357	3	7.113		0.007



注：圆柱体试样截面积 357.1639mm²

气雾化铁粉压缩性曲线可以看出，随压制压力增大，压坯密度增加，粉末压缩性曲线先呈直线上升，压坯密度增加较快，当压制压力达到 575N/mm² 以后，压坯密度增加放缓。压制压力为 575N/mm² 时和 766N/mm² 时，密度测定方法的重复性 r 小于 0.025g/cm³，重复性好。其他压制压力下，密度测定方法的重复性 r 波动大，各个试验结果的绝对误差超过 0.025g/cm³ 的大于 5%，重复性差。测试结果表明，气雾化铁粉的压制压力越大，压坯性能提高。

表 4 有研粉末新材料股份有限公司水雾化铜粉测试结果（模壁润滑）

实验条件	直径 (mm)	高度 (mm)	截面积 (mm ²)	压力 (N/mm ²)	加载 (N)	
	25	20	490.87	200	98175	100000
	25	20	490.87	300	147262	150000
	25	20	490.87	400	196350	200000
	25	20	490.87	500	245437	250000
	25	20	490.87	600	294524	300000
	25	20	490.87	800	392699	400000
备注:高径比 0.8-1.0						

力 200N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3
	质量 (g)	66.98	67.01	67.03
	高度 (mm)	20	20	20
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87

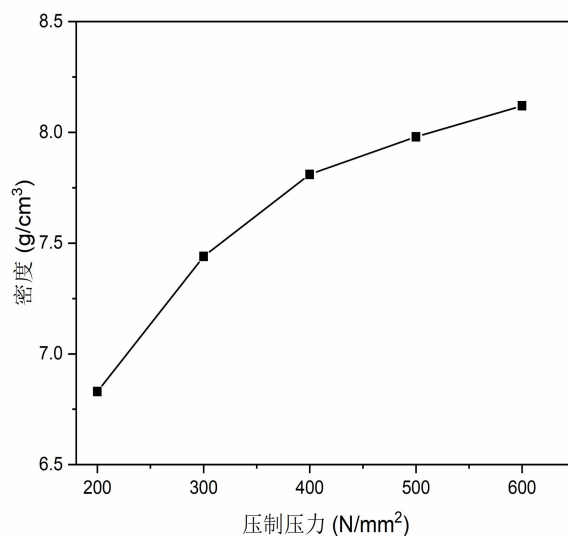
	体积 (cm ³)	9.8174	9.8174	9.8174	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	6.823	6.826	6.828	6.825
重复性	r	0.002	0.001	0.003	—

压力 300N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	73.46	73.48	73.53	
	高度 (mm)	20.09	20.15	20.13	
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm ³)	9.8615783	9.8910305	9.8812131	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	7.449	7.429	7.441	7.440
重复性	r	0.009	0.0011	0.001	—

压力 400N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	80.02	79.96	80.01	
	高度 (mm)	20.84	20.89	20.79	
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm ³)	10.2297308	10.2542743	10.2051873	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	7.822	7.798	7.840	7.820
重复性	r	0.002	0.022	0.020	—

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	86.55	78.91	78.97	
	高度 (mm)	22.1	20.14	20.16	
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm ³)	10.848227	9.8861218	9.8959392	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	7.978	7.982	7.980	7.980
重复性	r	0.002	0.002	0	—

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	84.4	81	80.97	
	高度 (mm)	21.17	20.3	20.31	
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm ³)	10.3917179	9.964661	9.9695697	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	8.122	8.129	8.122	8.124
重复性	r	0.002	0.005	0.002	—



水雾化铜粉压缩性曲线可以看出，随压制压力增大，压坯密度增加，粉末压缩性曲线斜率逐步减小，压坯密度增加的幅度逐渐减小。模壁润滑后各压制压力下密度测定方法的重复性 r 均小于 0.025g/cm^3 ，重复性好。测试结果表明，模壁润滑可以显著改善粉末的压制性能，减少压坯密度波动，提高粉末的压缩性能。

表 5 深圳市注成科技股份有限公司电解纯铜（紫铜）粉测试结果

实验条件	直径 (mm)	高度 (mm)	截面积 (mm²)	压力 (N/mm²)	加载 (N)	压制吨位 (T)
	20	16	314.00	200	62800	6.3
	20	14	314.00	400	125600	12.6
	20	14	314.00	500	157000	15.7
	20	13	314.00	600	188400	18.8
	20	13	314.00	800	251200	25.1

压力 200N/mm²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	33.02	32.89	32.97	
	高度 (mm)	16.46	16.45	16.24	
	直径 (mm)	20.63	20.66	20.63	
	截面积 (mm²)	334.0935665	335.065946	334.0935665	
	体积 (cm³)	5.499180105	5.511834812	5.42567952	
	密度 (g/cm³)	6.004	5.967	6.077	
重复性	r	0.012	0.049	0.061	—

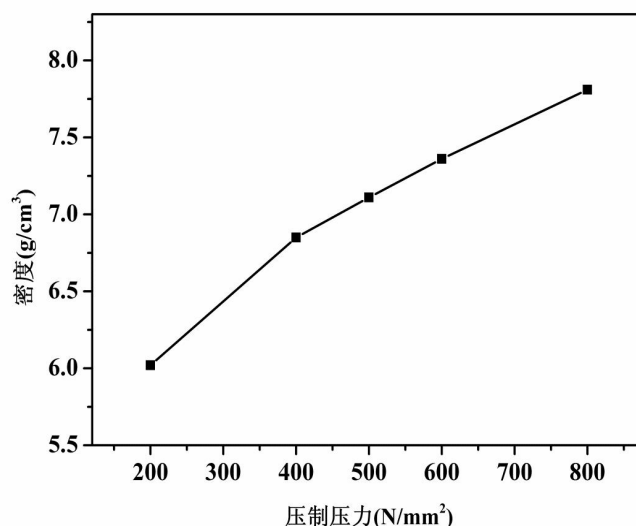
压力 400N/mm²		样品 1	样品 2	样品 3
	质量 (g)	32.98	33.03	32.96
	高度 (mm)	14.26	14.29	14.39
	直径 (mm)	20.65	20.70	20.77

	截面积 (mm ²)	334.7416625	336.36465	338.6434265	密度平均值
	体积 (cm ³)	4.773416107	4.806650849	4.873078907	
	密度 (g/cm ³)	6.909	6.872	6.764	
重复性	r	0.061	0.024	0.084	—

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	33.01	33.05	32.93	
	高度 (mm)	13.77	13.75	13.79	
	直径 (mm)	20.72	20.75	20.67	
	截面积 (mm ²)	337.014944	337.9915625	335.3903865	
	体积 (cm ³)	4.640695779	4.647383984	4.62503343	
	密度 (g/cm ³)	7.113	7.111	7.120	
重复性	r	0.002	0.004	0.005	—

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	33.04	32.97	32.99	
	高度 (mm)	13.34	13.39	13.37	
	直径 (mm)	20.77	20.63	20.63	
	截面积 (mm ²)	338.6434265	334.0935665	334.0935665	
	体积 (cm ³)	4.51750331	4.473512855	4.466830984	
	密度 (g/cm ³)	7.314	7.367	7.385	
重复性	r	0.041	0.012	0.030	—

压力 800N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	32.97	32.98	33.01	
	高度 (mm)	12.62	12.56	12.64	
	直径 (mm)	20.63	20.65	20.7	
	截面积 (mm ²)	334.0935665	334.7416625	336.36465	
	体积 (cm ³)	4.216260809	4.204355281	4.251649176	
	密度 (g/cm ³)	7.820	7.844	7.764	
重复性	r	0.011	0.035	0.045	—



电解纯铜（紫铜）粉压缩性曲线可以看出，随压制压力增大，压坯密度增加，粉末压缩性曲线基本上呈直线上升，压坯密度随压制压力增加而匀速增加。压制压力为 500N/mm² 时，密度测定方法的重复性 r 小于 0.025g/cm³，重复性好。其他压制压力下，密度测定方法的重复性 r 波动大，各个试验结果的绝对误差超过 0.025g/cm³ 的大于 5%，重复性差。测试结果表明，电解纯铜粉较水雾化铜粉的外观形貌更不规则，流动性比较差，需要添加润滑剂改善粉末的压制性能。

表 6 西安赛隆金属材料有限责任公司氢化脱氢粉测试结果

实验条件	直径 (mm)	高度 (mm)	截面积 (mm ²)	压力 (N/mm ²)	加载 (N)	压制吨位 (T)
	25	20	490.63	200	98125	9.8
	25	20	490.63	300	147188	14.7
	25	20	490.63	400	196250	19.6
	25	20	490.63	500	245313	24.5
	25	20	490.63	600	294375	29.4

压力 200N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	29.06	29.06	28.97	
	高度 (mm)	20.65	20.75	21.1	
	直径 (mm)	25.12	25.16	25.09	
	截面积 (mm ²)	495.346304	496.925096	494.1638585	
	体积 (cm ³)	10.22890118	10.31119574	10.42685741	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	2.841	2.818	2.778	2.812
重复性	r	0.029	0.006	0.034	—

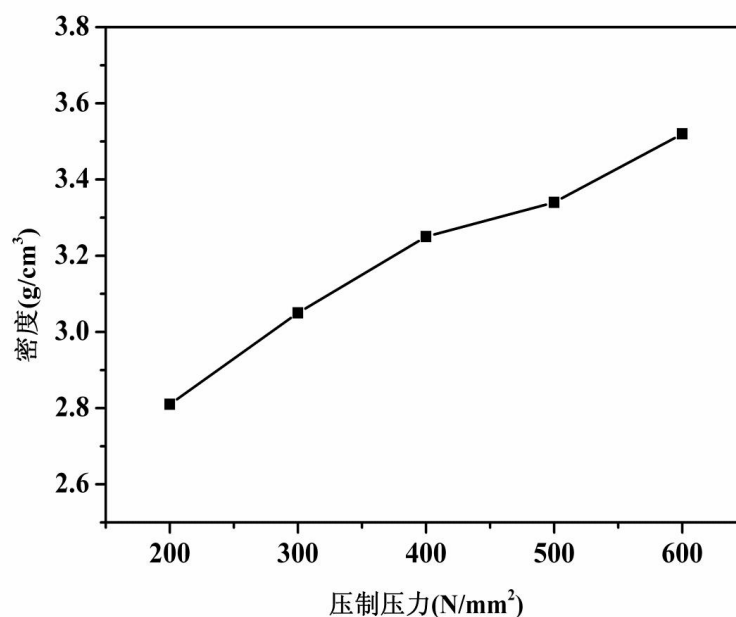
压力 300N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3
	质量 (g)	29.04	29.02	28.85

	高度 (mm)	19.07	19.17	19.19	
	直径 (mm)	25.14	25.09	25.2	
	截面积 (mm ²)	496.135386	494.1638585	498.5064	
	体积 (cm ³)	9.461301811	9.473121167	9.566337816	
	密度 (g/cm ³)	3.069	3.063	3.016	密度平均值 3.049
重复性	r	0.020	0.014	0.033	—

压力 400N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	28.99	29.01	28.98	
	高度 (mm)	18.06	17.89	18.17	
	直径 (mm)	25.14	25.09	25.07	
	截面积 (mm ²)	496.135386	494.1638585	493.3763465	
	体积 (cm ³)	8.960205071	8.840591429	8.964648216	
	密度 (g/cm ³)	3.235	3.279	3.233	密度平均值 3.249
重复性	r	0.014	0.030	0.016	—

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	28.98	28.96	28.80	
	高度 (mm)	17.27	17.33	17.32	
	直径 (mm)	25.21	25.26	25.25	
	截面积 (mm ²)	498.9021185	500.883066	500.4865625	
	体积 (cm ³)	8.616039586	8.680303534	8.668427263	
	密度 (g/cm ³)	3.363	3.336	3.322	密度平均值 3.340
重复性	r	0.023	0.004	0.018	—

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	28.94	28.89	28.95	
	高度 (mm)	16.71	16.47	16.59	
	直径 (mm)	25.09	25.13	25.18	
	截面积 (mm ²)	494.1638585	495.7407665	497.715434	
	体积 (cm ³)	8.257478076	8.164850424	8.25709905	
	密度 (g/cm ³)	3.505	3.538	3.506	密度平均值 3.516
重复性	r	0.011	0.022	0.010	—



氢化脱氢钛粉压缩性曲线可以看出，随压制压力增大，压坯密度增加，粉末压缩性曲线基本上呈直线上升，压坯密度随压制压力增加而匀速增加。压制压力为 500N/mm² 和 600N/mm² 时，密度测定方法的重复性 r 小于 0.025g/cm³，重复性好。其他压制压力下，密度测定方法的重复性 r 波动大，各个试验结果的绝对误差超过 0.025g/cm³ 的大于 5%，重复性差。结果表明，氢化脱氢钛粉的形貌不规则，流动性较差，提高压制压力时，可以改善压坯密度，提高密度的一致性。

表 7 钢铁研究总院、安泰天龙钨钼科技有限公司钨合金粉测试结果

实验条件	直径 (mm)	高度 (mm)	截面积 (mm ²)	压力 (N/mm ²)	加载 (N)	压制吨位 (T)
	20		314.00	200	62800	6.3
	20		314.00	400	125600	12.6
	20		314.00	500	157000	15.7
	20		314.00	600	188400	18.8
	20		314.00	800	251200	25.1

压力 200N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	64.84	64.81	64.90	
	高度 (mm)	18.81	18.86	18.85	
	直径 (mm)	20.07	20.05	20.06	
	截面积 (mm ²)	316.20	315.57	315.89	
	体积 (cm ³)	5947.76	5951.69	5954.47	
	密度 (g/cm ³)	10.902	10.889	10.889	10.897
重复性	r	0.005	0.007	0.003	—

压力 400N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	68.78	68.80	69.03	
	高度 (mm)	18.93	19.01	18.90	
	直径 (mm)	20.07	20.05	20.05	
	截面积 (mm ²)	316.20	315.57	315.57	
	体积 (cm ³)	5985.70	5999.02	5964.31	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	11.491	11.469	11.574	11.511
重复性	r	0.020	0.043	0.063	—

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	68.87	69.12	68.97	
	高度 (mm)	18.36	18.32	18.27	
	直径 (mm)	20.05	20.05	20.07	
	截面积 (mm ²)	315.57	315.57	316.20	
	体积 (cm ³)	5793.90	5781.28	5777.01	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	11.887	11.956	11.939	11.927
重复性	r	0.040	0.029	0.012	—

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)				
	高度 (mm)				
	直径 (mm)				
	截面积 (mm ²)				
	体积 (cm ³)				密度平均值
	密度 (g/cm ³)				
重复性	r				

压力 800N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)				
	高度 (mm)				
	直径 (mm)				
	截面积 (mm ²)				
	体积 (cm ³)				密度平均值
	密度 (g/cm ³)				
重复性	r				

钨合金粉压坯密度变化可以看出，随压制压力增大，压坯密度增加。压制压力为 200N/mm² 时，密度测定方法的重复性 r 小于 0.025g/cm³，重复性好。压制

压力增大，压坯密度波动变大，密度测定方法的重复性 r 波动大，各个试验结果的绝对误差超过 0.025g/cm^3 的大于 5%，重复性差。测试结果表明，钨合金粉较其他几种金属粉末的硬度偏高，是压坯密度变化大的原因。

同一试验室对同一金属粉末在单轴压制中压缩性的测试结果表明，随压制压力增大，压坯密度增加，粉末压缩性曲线呈上升趋势，同一压制压力对不同金属粉末压缩性测试结果的精确度影响是不一致的，测试结果还需要进一步验证。模壁润滑可以显著改善粉末的压制性能，减少压坯密度波动，减少各个测试结果的绝对误差，提高测试结果的精确度，可以在下一步验证试验中推广应用。

2.3.2 两个试验室对同一金属粉末在单轴压制中压缩性的测试结果

编制组单位西北有色金属研究院、有研粉末新材料股份有限公司按照 ISO 3927: 2017《金属粉末（不包括硬质合金粉末）在单轴压制中压缩性的测定》标准要求分别测试了同一批次水雾化不锈钢 316L 粉和同一批次水雾化铜粉在单轴压制中的压缩性，测试结果见表 9～表 12。（水雾化不锈钢 316L 粉由西北有色金属研究院提供，水雾化铜粉由有研粉末新材料股份有限公司提供）

表 9 有研粉末新材料股份有限公司水雾化不锈钢 316L 粉测试结果（模壁润滑）

实验条件	直径 (mm)	高度 (mm)	截面积 (mm^2)	压力 (N/mm^2)	加载 (N)
	25	20.15	490.87	200	98175
	25	20	490.87	300	147262
	25	20	490.87	400	196350
	25	20	490.87	500	245437
	25	20	490.87	600	294524
备注: 高径比 0.8					

压力 200N/mm^2		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	49.92	49.18	50.03	
	高度 (mm)	20.00	20.00	20.00	
	截面积 (mm^2)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm^3)	9.8174	9.8174	9.8174	密度平均值
	密度 (g/cm^3)	5.08	5.07	5.10	5.08
重复性	r	0	0.01	0.02	

压力 300N/mm^2		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	58.98	56.01	55.99	
	高度 (mm)	21.60	20.63	20.55	
	截面积 (mm^2)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm^3)	10.602792	10.1266481	10.0873785	密度平均值

	密度 (g/cm ³)	5.56	5.53	5.55	5.55
重复性	r	0.01	0.02	0	

压力 400N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	64.99	58.99	58.99	
	高度 (mm)	22.37	20.35	20.33	
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm ³)	10.9807619	9.9892045	9.9793871	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	5.92	5.91	5.91	5.91
重复性	r	0.01	0	0	

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	67.76	61.02	61.29	
	高度 (mm)	22.55	20.30	20.40	
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm ³)	11.0691185	9.964661	10.013748	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	6.12	6.12	6.12	6.12
重复性	r	0	0	0	

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	64.12	63.00	63.07	
	高度 (mm)	20.77	20.43	20.45	
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm ³)	10.1953699	10.0284741	10.0382915	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	6.29	6.28	6.28	6.28
重复性	r	0.01	0	0	

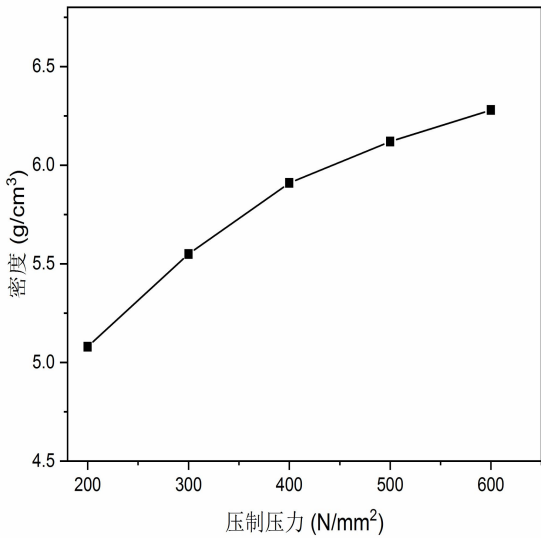


表 10 西北有色金属研究院水雾化不锈钢 316L 粉测试结果（模壁润滑）

实验条件	直径 (mm)	高度 (mm)	截面积 (mm ²)	压力 (N/mm ²)	加载 (N)	压制吨位 (T)
	25	20	490.63	200	98125	10
	25	20	490.63	300	147188	15
	25	20	490.63	400	196250	20
	25	20	490.63	500	245313	25
	25	20	490.63	600	294375	30
	备注:高径比 0.8					

压力 200N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均 值
	质量 (g)	51.111	51.999	52.014	
	高度 (mm)	20.28	20.65	20.61	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	9.981740072	10.16385269	10.14416484	
	密度 (g/cm ³)	5.12	5.12	5.13	
重复性	r	0	0	0.01	

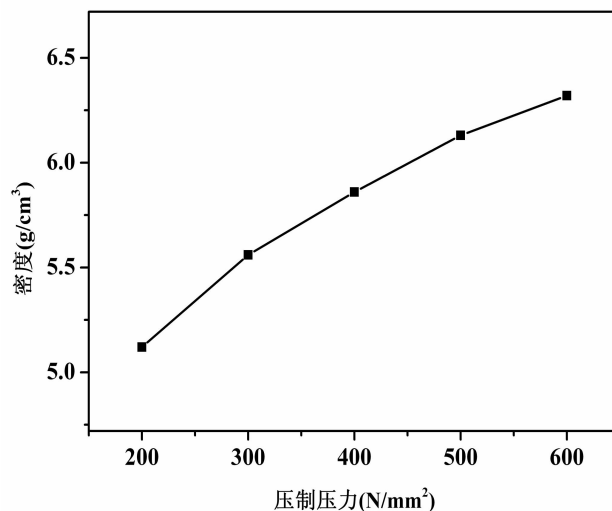
压力 300N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均 值
	质量 (g)	59.038	58.070	58.065	
	高度 (mm)	21.53	21.23	21.26	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	10.59698539	10.44932651	10.4640924	
	密度 (g/cm ³)	5.57	5.56	5.55	
重复性	r	0.01	0	0.01	

压力 400N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均 值
	质量 (g)	59.188	59.040	59.109	
	高度 (mm)	20.51	20.47	20.49	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	10.09494521	10.07525736	10.08510129	
	密度 (g/cm ³)	5.86	5.86	5.86	
重复性	r	0	0	0	

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3
	质量 (g)	61.135	61.050	61.091

	高度 (mm)	20.25	20.19	20.26	密度平均值
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	9.966974184	9.937442409	9.971896147	
	密度 (g/cm ³)	6.13	6.14	6.13	
重复性	r	0	0.01	0	

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	密度平均值
	质量 (g)	64.066	64.096	64.071	
	高度 (mm)	20.56	20.62	20.59	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	10.11955502	10.1490868	10.13432091	
	密度 (g/cm ³)	6.33	6.32	6.32	
重复性	r	0.01	0	0	



两个试验室对同一批次水雾化不锈钢 316L 粉在单轴压制中压缩性的测定结果可以看出, 同一试验室水雾化不锈钢 316L 粉的测试结果, 密度测定方法的重复性 r 均小于 0.025g/cm^3 , 测试结果精确度好。西北有色金属研究院两次水雾化不锈钢 316L 粉测试结果比较, 对模壁进行润滑显著改善了不锈钢粉的压制性能, 减少了压坯密度波动, 提高了测试结果的精确度。在两个试验室对同一批次水雾化不锈钢 316L 粉进行测试, 密度测定方法的再现性 R 均小于 0.07g/cm^3 , 测试结果精确度好。同时证明了模壁润滑可以显著提高测试结果的精确度。

表 11 有研粉末新材料股份有限公司水雾化铜粉测试结果（模壁润滑）

实验条件	直径（mm）	高度（mm）	截面积（mm ² ）	压力（N/mm ² ）	加载（N）	
	25	20	490.87	200	98175	100000
	25	20	490.87	300	147262	150000
	25	20	490.87	400	196350	200000
	25	20	490.87	500	245437	250000
	25	20	490.87	600	294524	300000
	25	20	490.87	800	392699	400000
备注：高径比 0.8						

力 200N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量（g）	66.98	67.01	67.03	
	高度（mm）	20	20	20	
	截面积（mm ² ）	490.87	490.87	490.87	
	体积（cm ³ ）	9.8174	9.8174	9.8174	密度平均值
	密度（g/cm ³ ）	6.82	6.83	6.83	6.83
重复性	r	0.01	0	0	—

压力 300N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量（g）	73.46	73.48	73.53	
	高度（mm）	20.09	20.15	20.13	
	截面积（mm ² ）	490.87	490.87	490.87	
	体积（cm ³ ）	9.8615783	9.8910305	9.8812131	密度平均值
	密度（g/cm ³ ）	7.45	7.43	7.44	7.44
重复性	r	0.01	0.01	0	—

压力 400N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量（g）	80.02	79.96	80.01	
	高度（mm）	20.84	20.89	20.79	
	截面积（mm ² ）	490.87	490.87	490.87	
	体积（cm ³ ）	10.2297308	10.2542743	10.2051873	密度平均值
	密度（g/cm ³ ）	7.82	7.80	7.84	7.82
重复性	r	0	0.02	0.02	—

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量（g）	86.55	78.91	78.97	
	高度（mm）	22.1	20.14	20.16	
	截面积（mm ² ）	490.87	490.87	490.87	
	体积（cm ³ ）	10.848227	9.8861218	9.8959392	密度平均值
	密度（g/cm ³ ）	7.98	7.98	7.98	7.98
重复性	r	0	0	0	—

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	84.4	81	80.97	
	高度 (mm)	21.17	20.3	20.31	
	截面积 (mm ²)	490.87	490.87	490.87	
	体积 (cm ³)	10.3917179	9.964661	9.9695697	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	8.12	8.13	8.12	8.12
重复性	r	0	0.01	0	-

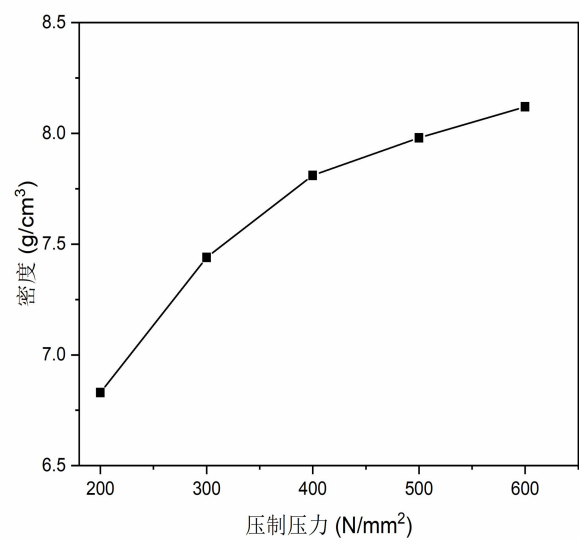


表 12 西北有色金属研究院水雾化铜粉测试结果（模壁润滑）

实验条件	直径 (mm)	高度 (mm)	截面积 (mm ²)	压力 (N/mm ²)	加载 (N)	压制吨位 (T)
	25	20	490.63	200	98125	10
	25	20	490.63	300	147188	15
	25	20	490.63	400	196250	20
	25	20	490.63	500	245313	25
	25	20	490.63	600	294375	30
备注:高径比 0.8						

压力 200N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	71.490	71.490	71.511	
	高度 (mm)	20.61	20.59	20.65	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	10.14416484	10.13432091	10.16385269	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	7.05	7.05	7.04	7.05
重复性	r	0	0	0	

压力 300N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	74.854	74.933	74.843	
	高度 (mm)	20.45	20.49	20.47	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	10.06541344	10.08510129	10.07525736	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	7.44	7.43	7.43	7.43
重复性	r	0.01	0	0	

压力 400N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	80.894	80.002	80.021	
	高度 (mm)	21.01	20.81	20.79	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	10.34104334	10.24260409	10.23276016	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	7.82	7.81	7.82	7.82
重复性	r	0	0.01	0	

压力 500N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	81.976	80.029	80.049	
	高度 (mm)	20.81	20.29	20.28	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	10.24260409	9.986662034	9.981740072	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	8.00	8.01	8.02	8.01
重复性	r	0.01	0	0.01	

压力 600N/mm ²		样品 1	样品 2	样品 3	
	质量 (g)	81.432	82.390	82.447	
	高度 (mm)	20.18	20.39	20.4	
	直径 (mm)	25.04	25.04	25.04	
	截面积 (mm ²)	492.196256	492.196256	492.196256	
	体积 (cm ³)	9.932520446	10.03588166	10.04080362	密度平均值
	密度 (g/cm ³)	8.20	8.21	8.21	8.21
重复性	r	0.01	0	0	

两个试验室对不同批次水雾化铜粉在单轴压制中压缩性的测定结果可以看出，同一试验室水雾化铜粉的测试结果，密度测定方法的重复性 r 均小于 0.025g/cm^3 ，测试结果精确度好。模壁润滑显著改善了粉末的压制性能，减少了压坯密度波动，提高了测试结果的精确度。在两个试验室对不同批次水雾化铜粉进行测试，密度测定方法在 300N/mm^2 、 400N/mm^2 、 500N/mm^2 压力下再现性 R 均小于 0.07g/cm^3 ，在 200N/mm^2 和 600N/mm^2 压力下再现性 R 大于 0.07g/cm^3 ，在两个试验室对不同批次水雾化铜粉所测定的各个试验结果的绝对误差超过 R 的不大于 5%，测试结果精确度差。说明即使是模壁润滑，两个试验室采用不同批次材料对密度测定方法的重现性 R 影响较大，影响测试结果的精确度。

三、标准水平

3.1 采用国际标准及国外先进标准的程度

本标准等同采用 ISO 3927: 2017《金属粉末（不包括硬质合金）在单轴压制中压缩性的测定》。

3.2 与国际标准及国外同类标准水平的对比

本标准达到了国内领先，国际先进水平。

3.3 与现有标准及修订中的标准协调配套情况

本标准与现有标准及修订中的标准协调配套。

3.4 涉及国内外专利及处置情况

经查，本标准没有涉及国内外专利。

四、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与有关现行法律、法规和强制性国家标准具有一致性，无冲突之处。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

六、标准作为强制性或推荐性国家（或行业）标准的建议

本标准建议作为推荐性国家标准。

七、贯彻标准的要求和措施建议

无。

八、废止现行有关标准的建议

无

九、其他应予以说明的事项

无。

十、预期效果

本标准修订后，有利于进一步提高金属粉末（不包括硬质合金）在单轴压制中压缩性测定的精确度，进一步提高金属粉末（不包括硬质合金）在单轴压制中压缩性测定的检测水平，有利于我国粉末冶金行业制造工艺水平的提升。

《金属粉末（不包括硬质合金）在单轴压制中压缩性的测定》

标准编制组

2021 年 07 月 13 日