金属粉末（不包括硬质合金用粉）与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法

编

制

说

明

（送审稿）

2025年5月

# 工作简况

## 任务来源

根据国家标准化管理委员会《关于下达2024年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发[2024] 16号）文件精神，国家标准《金属粉末（不包括硬质合金用粉） 与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法》由全国有色金属标准化技术委员会负责归口，由全国有色金属标准化技术委员会粉末冶金分会执行，由西部宝德科技股份有限公司、西北有色金属研究院、钢铁研究总院有限公司、北京科技大学、北京钢研高纳科技股份有限公司牵头起草。项目计划编号为20240528-T-610，研制周期16个月。

## 项目概况

在规定的压制和烧结条件下获得的尺寸变化对金属粉末（不包括硬质合金）的生产、测试和使用非常有用，绝对尺寸变化可用于对粉末进行分类或区分一种类型或等级，评估粉末混合物的添加量或测量工艺变化，并指导模具设计；可通过比较尺寸变化测量相同材料成分的大量金属粉末之间的变化，评估材料的加工性能和潜在应用价值；通过测量金属粉末制品在成型和烧结后的尺寸变化，可以评估产品的尺寸精度和稳定性，确保产品符合设计要求和质量标准‌；企业可以利用该标准提供的测定方法，对不同工艺参数（如压力、烧结温度和时间）下的尺寸变化进行比较，从而找到最优的生产工艺参数，提高生产效率和产品质量‌。

## 主起草单位简介

西部宝德科技股份有限公司（简称西部宝德）原身为西北有色金属研究院粉末冶金厂，经转制成立西部宝德粉末冶金有限责任公司，2015年新三板上市更名为西部宝德科技股份有限公司。西部宝德以西北有色金属研究院为技术依托，全面秉承了研究院在稀有和特种金属多孔材料领域的优质资产、先进技术和丰硕成果，在金属多孔材料及元件，过滤分离装备及相关工业项目和工程等方面赢得了超常发展的契机，在业界具有良好的口碑和一定影响力。西部宝德年销售收入3亿元，拥有金属粉末、金属粉末冶金制品、多孔金属材料、多孔金属陶瓷复合材料、多孔膜材料等完整生产线，包括模压机、全自动压片机、冷等静压机、粉末轧机、流延设备、喷涂设备、不同规格及气氛的烧结炉等生产设备；在材料性能测试方面，西部宝德具有多孔材料性能检测仪、气体渗透法孔径分析仪、万能试验机等多孔材料测试设备；拥有1000m2的烧结多孔材料专用实验室，为金属多孔材料的研究、中试及生产提供基础条件，也为本标准的开展提供了有力的技术保障和设备保障。

西部宝德与多家检测单位建立了长期友好的合作关系，能最大程度满足各类材料性能表征的需要。十多年来累计投入研发费用总额超过6000万元，承担包括国家863项目、军工配套项目、科技部创新基金重点项目、国家发改委中央预算内投资项目在内的新产品研发和技术成果产业化项目40多项。西部宝德自身拥有国家授权专利81项，其中发明专利42项，实用新型专利39项。西部宝德的专利技术涵盖新型过滤分离元件的制备技术、空气净化基站和车载式空气净化器的结构设计以及过滤分离系统的设计发明和局部改进。曾荣获2009年陕西省专利奖励二等奖1项，2013年陕西省中小企业专利新产品1项。制定了相关材料标准8项和检测标准11项。

## 主要起草单位和工作组成员及其工作

本文件起草单位有：西部宝德科技股份有限公司、西北有色金属研究院、钢铁研究总院有限公司、北京科技大学、北京钢研高纳科技股份有限公司。

其中西部宝德科技股份有限公司负责样品的收集和分发，分析方法的实验研究，样品测试结果的收集和处理，试验报告和标准文件、编制说明的撰写。西北有色金属研究院、钢铁研究总院有限公司、北京科技大学、北京钢研高纳科技股份有限公司负责分析方法的实验研究与讨论以及一、二验工作。

本文件主要起草人有：XXX、XXX、XXX……。

各起草人在本文件编制过程中的工作职责见表1所示：

表 1 各起草人及其工作职责

|  |  |
| --- | --- |
| 起草人姓名 | 工作职责 |
| （各单位提供起草人信息） | 负责样品收集、标准文本起草、标准编制说明撰写，意见汇总处理，参加标准讨论和审定会议 |
| （各单位提供起草人信息） | 负责对试验方案和试验条件进行验证，对标准技术内容进行审核，参加标准工作会议等。 |
| （各单位提供起草人信息） | 提供测试数据；对标准文本提出修改意见。 |

## 主要工作过程

西部宝德科技股份有限公司在接到修订任务后，立即组织骨干人员成立了标准编制组，制定了该标准的研究内容、技术路线、任务分工和进度安排。

### 立项阶段

2023年5月，西部宝德科技股份有限公司向全国有色金属标准化技术委员会粉末冶金分会（SAC/TC

243/SC4）提交国家标准《金属粉末（不包括硬质合金用粉）与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法》项目建议书。

2024年3月25日，国家标准化管理委员会印发《关于下达2024年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发[2024] 16号），国家标准《金属粉末（不包括硬质合金用粉）与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法》立项成功。

### 起草阶段

2024年7月，全国有色金属标准化技术委员会在山西大同召开工作会议，会议对《金属粉末（不包括硬质合金用粉）与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法》进行了任务落实。

西部宝德科技股份有限公司接到《金属粉末（不包括硬质合金用粉）与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法》修订任务后，立即组织相关技术人员成立了标准修订编制组，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 4492:2017标准进行了翻译，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，与参编单位一起开展与标准修订相关的测试工作，在此基础上于2024年12月形成了标准的讨论稿和编制说明。

2024年12月16日-18日，全国有色金属标准化技术委员会组织在黑龙江省哈尔滨市召开工作会议。参编单位西北有色金属研究院、钢铁研究总院有限公司、北京科技大学、北京钢研高纳科技股份有限公司等多家单位的代表对《金属粉末（不包括硬质合金用粉）与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法》标准的讨论稿和编制说明进行了充分、细致的讨论。标准编制组根据与会专家提出的修改意见，对标准讨论稿重新进行了翻译；同时，根据专家的意见，针对钛金属粉末试验异常及相关试验参数不统一造成的测试数据的差异，重新设计了实验方案并开展了二次验证，对测试结果进行了重新分析，于2025年4月形成了标准的征求意见稿、编制说明。

### 征求意见阶段

2024年12月23日至2025年2月21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。征求意见的单位包括主要生产、销售、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60天。

2025年4月16-19日，全国有色金属标准化技术委员会组织在云南省昆明市召开工作会议。西北有色金属研究院、钢铁研究总院有限公司、北京钢研高纳科技股份有限公司、北矿新材科技有限公司、广东省科学院工业分析检测中心、株洲硬质合金集团有限公司、国标（北京）检验认证有限公司、国合通用（青岛）测试评价有限公司、湖北万润新能源科技股份有限公司、西安欧中材料科技有限公司、西安塞隆增材技术股份有限公司、厦门钨业股份有限公司、中南大学、天津铸金科技开发股份有限公司等多家单位的专家代表参加了会议。与会专家对本标准预审稿和编制说明进行了对认真、细致的讨论，提出了修改意见和建议。根据与会专家提出的修改意见，标准编制组对标准进行了修改，形成了标准送审稿、编制说明及征求意见稿意见汇总处理表。

### 审查阶段

2025年5月14日~16日，全国有色金属标准化技术委员会组织在山西省运城市召开工作会议。

### 报批阶段

标准编制组对标准文本和编制说明进行修改完善，形成标准报批稿报送至全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）……。

# 标准修订原则、主要内容与依据

## 标准修订原则

标准负责起草单位在任务落实会上征求了与会专家和代表的意见，确定了修订的方案和标准起草原则：

1）合规性：依据国家相关的法律、法规；

2）适用性和先进性：本文件的试验方法以满足国内金属粉末冶金（不包括硬质合金）的实际生产、使用需要为原则，提高标准的普适性；

3）规范性：按照GB/T 1.1《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》的规定编写。

4）本文件等同采用ISO 4492:2017。

## 标准修订的主要内容

本文件代替GB/T 5159-2015《金属粉末（不包括硬质合金用粉） 与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法》，本文件与GB/T 5159-2015相比主要技术变化如下：

a）增加了对第9章及附录A的引用（见第4章）。

b）更改了图1上下模冲结构、尺寸及其尺寸公差（见7.1，2015年版的6.1）；

c）更改了图2上下模冲的尺寸公差（见7.1，2015年版的6.1）；

d）更改了“天平”的精度为0.001g（见7.3，2015年版的6.3）；

e）更改了“千分尺”的精度为0.005mm，（见7.4，2015年版的6.4）。

## 主要试验及验证试验情况分析

### 验证程序

按照以下实验步骤进行方法验证：

1）用蘸有乙醇的无尘纸清洁模具，包括模腔、上模冲及底座；

2）泄压状态下，用千分尺精确测量模腔尺寸*d*D，精确到0.005mm；

3）选择试验粉末，用电子天平按试验要求称取金属粉末至少3份，精确至0.001g；

4）在规定的压坯密度或成型压力下，将试验粉末用压机及相应模具成型，至少压制三个压坯；

5）脱模后，用千分尺精确测量压坯的尺寸*d*G ，精确到0.005mm；

6）烧结成型的压坯，采用的时间、温度、气氛条件应类似于工业生产条件，压坯彼此临近摆放；

7）冷却到室温后，测量烧结后压坯尺寸*d*S，精确到0.005mm，并保证烧结前和烧结后的尺寸测量是在压坯同一位置上进行的。

8）结果计算：

压坯尺寸变化（弹性后效）：

 ……………………………………… (1)

烧结尺寸变化（正或负）：

………………………………………… (2)

总尺寸变化（正或负）：

…………………………………………(3)

9）将同一金属粉末的三个试样计算结果记录，取其平均值，并修约到0.01%。

### 试验验证

2024年11月，西部宝德与参与单位讨论确定，选择水雾化不锈钢粉、氢化脱氢钛粉作为样品粉末，具体信息见表1所示；根据70%致密度及压坯厚度5.5mm，确定了成型及烧结参数，见表3~4所示。

表 2 第一次验证试验样品粉末信息

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 样品编号 | 样品种类 | 样品粒度 |
| 样品1 | 水雾化316L不锈钢粉 | 100-160目 |
| 样品2 | 氢化脱氢钛粉 | 200-300目 |

表 3 第一次验证试验成型参数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 金属粉末 | 使用模具 | 试料质量 | 成型压力 | 保压时间 | 备注 |
| 1 | 样品1 | 圆柱形，Φ25 | 13.000g | 10T | 10s |  |
| 2 | 样品2 | 圆柱形，Φ25 | 8.500g | 10T | 10s |  |

表 4 第一次验证试验烧结参数

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 金属粉末 | 烧结气氛 | 支撑板 | 烧结温度/时间 | 升温速度 | 冷却速度 | 备注 |
| 1 | 样品1 | 真空 | 陶瓷板或炉带 | 1280℃/4h | 4~10℃/min | 自然冷却 |  |
| 2 | 样品2 | 真空 | 陶瓷板或炉带 | 1000℃/4h | 4~10℃/min | 自然冷却 |  |

各参编单位按照试验程序及方案进行标准验证工作，记录的数据见表5~表9。

表 5 西部宝德第一次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2024/11/28-2024/12/4 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 10T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 5℃/min | 烧结设备 | RVS-6612真空气氛烧结炉/卧式真空烧结炉 |
| 烧结工艺 | 样品1，1280℃，4h；样品2，1000℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品1(第1次) | 24.940  | 25.047  | 24.683  | 0.43  | 0.42 | -1.45  | -1.45  | -1.03  | -1.03  |
| 24.940  | 25.043  | 24.682  | 0.41  | -1.44  | -1.04  |
| 24.940  | 25.047  | 24.683  | 0.43  | -1.45  | -1.03  |
| 样品1(第2次) | 24.940  | 25.046  | 24.687  | 0.42  | 0.43 | -1.43  | -1.43 | -1.01  | -1.01 |
| 24.940  | 25.049  | 24.689  | 0.44  | -1.44  | -1.01  |
| 24.940  | 25.044  | 24.685  | 0.42  | -1.43  | -1.02  |
| 样品1(第3次) | 24.940  | 25.047  | 24.685  | 0.43  | 0.42 | -1.44  | -1.44 | -1.02  | -1.03 |
| 24.940  | 25.043  | 24.681  | 0.41  | -1.45  | -1.04  |
| 24.940  | 25.046  | 24.686  | 0.42  | -1.44  | -1.02  |
| 样品2(第1次) | 24.940  | 25.037  | 23.881  | 0.39  | 0.38 | -4.62  | -4.63 | -4.25  | -4.27 |
| 24.940  | 25.032  | 23.868  | 0.37  | -4.65  | -4.30  |
| 24.940  | 25.033  | 23.874  | 0.37  | -4.63  | -4.28  |
| 样品2(第2次) | 24.940  | 25.035  | 23.863  | 0.38  | 0.38 | -4.68  | -4.70 | -4.32  | -4.34 |
| 24.940  | 25.037  | 23.863  | 0.39  | -4.69  | -4.32  |
| 24.940  | 25.032  | 23.845  | 0.37  | -4.74  | -4.39  |
| 样品2(第3次) | 24.940  | 25.033  | 23.839  | 0.37  | 0.38 | -4.77  | -4.77 | -4.41  | -4.41 |
| 24.940  | 25.035  | 23.836  | 0.38  | -4.79  | -4.43  |
| 24.940  | 25.035  | 23.847  | 0.38  | -4.75  | -4.38  |

表 6 西北院第一次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2024/12/2 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 10T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | VPS50/10真空气氛烧结炉 |
| 烧结工艺 | 样品1，1280℃，4h；样品2，1000℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品1 | 24.940  | 25.035  | 24.730  | 0.38  | 0.37 | -1.22  | -1.17 | -0.84  | -0.81 |
| 24.940  | 25.030  | 24.740  | 0.36  | -1.16  | -0.80  |
| 24.940  | 25.035  | 24.735  | 0.34  | -1.12  | -0.78  |
| 24.940  | 25.025  | 24.745  | 0.38  | -1.20  | -0.82  |
| 样品2 | 24.940  | 25.040  | 23.975  | 0.40  | 0.40 | -4.25  | -4.33 | -3.87  | -3.94 |
| 24.940  | 25.045  | 23.960  | 0.42  | -4.33  | -3.93  |
| 24.940  | 25.040  | 23.960  | 0.40  | -4.31  | -3.93  |
| 24.940  | 25.035  | 23.930  | 0.38  | -4.41  | -4.05  |

表 7 钢研院第一次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2024/11/28 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 10T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | 真空气氛烧结炉 |
| 烧结工艺 | 样品1，1280℃，4h；样品2，1000℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品1 | 24.940  | 25.045  | 24.687  | 0.42  | 0.43 | -1.43  | -1.42 | -1.02  | -1.00 |
| 24.940  | 25.050  | 24.697  | 0.44  | -1.41  | -0.98  |
| 24.940  | 25.046  | 24.693  | 0.42  | -1.41  | -0.99  |
| 24.940  | 25.046  | 24.695  | 0.43  | -1.40  | -0.98  |
| 24.940  | 25.043  | 24.687  | 0.41  | -1.42  | -1.01  |
| 样品2 | 24.940  | 25.045  | / | 0.42  | 0.43 | / | / | / | / |
| 24.940  | 25.050  | / | 0.44  | / | / |
| 24.940  | 25.046  | / | 0.42  | / | / |
| 24.940  | 25.046  | / | 0.43  | / | / |
| 24.940  | 25.043  | / | 0.41  | / | / |
| 注：样品2钛粉试样在烧结过程中出现氧化现象，烧结后数据无法使用，不列出。 |

表 8 北科大第一次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2024/11/28 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 10T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | 真空气氛烧结炉 |
| 烧结工艺 | 样品1，1280℃，4h；样品2，1000℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品1 | 24.940  | 25.025 | 24.712 | 0.34  | 0.36 | -1.25  | -1.21 | -0.91  | -0.85 |
| 24.940  | 25.034 | 24.740 | 0.38  | -1.17  | -0.80  |
| 24.940  | 25.033 | 24.735 | 0.37  | -1.19  | -0.82  |
| 样品2 | 24.940  | 25.032 | 24.039 | 0.37  | 0.36 | -3.97  | -4.06 | -3.61  | -3.72 |
| 24.940  | 25.026 | 23.983 | 0.34  | -4.17  | -3.84  |
| 24.940  | 25.033 | 24.018 | 0.37  | -4.05  | -3.70  |

表 9 北京钢研高纳第一次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2024/11/28 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 10T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | 真空气氛烧结炉 |
| 烧结工艺 | 样品1，1280℃，4h；样品2，1000℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品1 | 24.940 | 25.048  | 24.689  | 0.43  | 0.42 | -1.43  | -1.42 | -1.01  | -1.01 |
| 24.940  | 25.040  | 24.688  | 0.40  | -1.41  | -1.01  |
| 24.940  | 25.042  | 24.689  | 0.41  | -1.41  | -1.01  |
| 24.940  | 25.047  | 24.688  | 0.43  | -1.44  | -1.01  |
| 24.940  | 25.041  | 24.689  | 0.40  | -1.43  | -1.01  |
| 样品2 | 24.940  | 25.064  | / | 0.50  | 0.46 | / | / | / | / |
| 24.940  | 25.051  | / | 0.45  | / | / |
| 24.940  | 25.050  | / | 0.44  | / | / |
| 24.940  | 25.056  | / | 0.46  | / | / |
| 24.940  | 25.056  | / | 0.47  | / | / |
| 注：样品2钛粉试样在烧结过程中出现氧化现象，烧结后数据无法使用，不列出。 |

从表5~表9可以看出，同一批粉末用同一成型设备在相同成型压力及保压时间下成型的坯体，不同实验室间测量的尺寸存在差异，这可能是测试量具、测试人员的测量误差导致的；同时可以看出，西部宝德与其余四家单位的烧结升温速率存在差异，升温速率为5℃/min情况下烧结尺寸变化略大于10℃/min，但西部宝德与钢研院、钢研高纳的烧结尺寸变化的差异并不大，这可能是烧结设备不同及测试量具、测试人员的测量误差导致的。另外，钢研院及钢研高纳在进行钛粉样品烧结时出现了氧化现象，烧结后的尺寸数据无法采用。

同一批粉末用同一成型设备在相同成型压力及保压时间下，使用相同烧结设备在相同升降温速度、烧结温度及保温时间，用相同测量器具测量，得到的测试结果汇总分析如下表10所示。可以看出，同一实验室在相同条件下的不同粉末的不同尺寸变化重复性好。

表 10 同一实验室第一次验证试验数据分析

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 金属粉末 | 验证次数 | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 |
| 样品1 | 第一次 | 0.42 | 0.01 | -1.45 | 0.01 | -1.01 | 0.01 |
| 第二次 | 0.43 | -1.43 | -1.03 |
| 第三次 | 0.42 | -1.44 | -1.01 |
| 样品2 | 第一次 | 0.38 | 0.00 | -4.63 | 0.07 | -4.27 | 0.07 |
| 第二次 | 0.38 | -4.70 | -4.34 |
| 第三次 | 0.38 | -4.77 | -4.41 |

同一批粉末用同一成型设备在相同成型压力及保压时间下，使用不同烧结设备在相同烧结温度及保温时间下，用同一精度的测量器具测量，得到的测试结果汇总分析如下表11所示。可以看出，不同实验室的同一金属粉末的压坯尺寸变化偏差不大，但烧结尺寸变化及总尺寸变化偏差略大，分析认为，测试人员、测试量具、升温速率、烧结炉温度差异是造成偏差略大的重要因素。

表 11 不同实验室第一次验证试验数据分析

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 金属粉末 | 验证单位 | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 |
| 样品1 | 参照粉末--西部宝德 | 0.42  | 0.03 | -1.45 | 0.13 | -1.01 | 0.10 |
| 西北院 | 0.37  | -1.17 | -0.81 |
| 钢研院 | 0.43  | -1.42 | -1.00  |
| 北科大 | 0.36  | -1.21 | -0.85 |
| 北京钢研高纳 | 0.42  | -1.42 | -1.01 |
| 样品2 | 参照粉末西部宝德 | 0.38  | 0.04 | -4.63 | 0.29 | -3.77 | 0.12 |
| 西北院 | 0.40  | -4.33 | -3.94 |
| 北科大 | 0.43  | / | / |
| 钢研院 | 0.36  | -4.06 | -3.72 |
| 北京钢研高纳 | 0.46  | / | / |

 在2024年12月16~18日于哈尔滨召开的标准讨论会上，标准编制组针对上述问题提出了改进措施，将钛粉末更换为镍粉末，进一步明确了样品的尺寸测量方式、烧结支撑板选择以及升温速率的要求，以减少偏差。西部宝德于2025年1月重新制备了样品分发西北院、北科大、钢研院、钢研高纳进行了第二次试验验证。样品粉末、成型参数、烧结参数的具体信息见表12~14。

表 12 第二次验证试验样品粉末信息

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 样品编号 | 样品种类 | 样品粒度 |
| 样品3 | 水雾化316L不锈钢粉 | 300-400目 |
| 样品4 | 雾化镍粉 | 200-300目 |

表 13 第二次验证试验成型参数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 金属粉末 | 使用模具 | 试料质量 | 成型压力 | 保压时间 | 备注 |
| 1 | 样品3 | 圆柱形，Φ25 | 13.000g | 12T | 20s |  |
| 2 | 样品4 | 圆柱形，Φ25 | 16.800g | 12T | 20s |  |

 表 14 第二次验证试验烧结参数

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 金属粉末 | 烧结气氛 | 支撑板 | 烧结温度/时间 | 升温速度 | 冷却速度 | 备注 |
| 1 | 样品3 | 真空 | 陶瓷板 | 1200℃/4h | 10℃/min | 自然冷却 |  |
| 2 | 样品4 | 真空 | 陶瓷板 | 1200℃/4h | 10℃/min | 自然冷却 |  |

各参编单位第二次验证试验记录的数据见表15~表19。同一批粉末用同一成型设备在相同成型压力及保压时间下成型的坯体，不同实验室间测量的尺寸仍然存在明显差异：对样品3，西北院及北科大的测量数据偏小；对样品4，钢研院的测量数据偏大；北科大对2种样品的测量数据是所有验证单位中最小的。分析认为，仍然是测试量具、测试人员的测量误差导致的压坯尺寸差异。而在同样支撑板、升降速率及烧结温度下，对样品3，钢研院、北科大、钢研高纳的烧结尺寸变化数据偏大；对样品4，北科大的烧结尺寸变化数据最小；分析认为，这可能是不同烧结设备的温度差异以及测试量具、测试人员的测量误差导致的。

表 15 西部宝德第二次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2025/1/14-2025/1/21 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 12T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | RVS-6612真空气氛烧结 |
| 烧结工艺 | 1200℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品3(第1次) | 24.940 | 25.062 | 24.080 | 0.49 | 0.50 | -3.92 | -3.93 | -3.45 | -3.45 |
| 24.940 | 25.063 | 24.088 | 0.49 | -3.89 | -3.42 |
| 24.940 | 25.065 | 24.070 | 0.50 | -3.97 | -3.49 |
| 样品3(第2次) | 24.940 | 25.065 | 24.095 | 0.50 | 0.50 | -3.87 | -3.91 | -3.39 | -3.43 |
| 24.940 | 25.062 | 24.071 | 0.49 | -3.96 | -3.48 |
| 24.940 | 25.065 | 24.087 | 0.50 | -3.90 | -3.42 |
| 样品3(第3次) | 24.940 | 25.062 | 24.067 | 0.49 | 0.50 | -3.97 | -3.93 | -3.50 | -3.45 |
| 24.940 | 25.067 | 24.093 | 0.51 | -3.88 | -3.39 |
| 24.940 | 25.063 | 24.078 | 0.49 | -3.93 | -3.46 |
| 样品4(第1次) | 24.940 | 25.034 | 24.676 | 0.38 | 0.38 | -1.43 | -1.43 | -1.06 | -1.06 |
| 24.940 | 25.035 | 24.677 | 0.38 | -1.43 | -1.05 |
| 24.940 | 25.034 | 24.674 | 0.38 | -1.44 | -1.07 |
| 样品4(第2次) | 24.940 | 25.036 | 24.676 | 0.38 | 0.38 | -1.44 | -1.44 | -1.06 | -1.06 |
| 24.940 | 25.034 | 24.677 | 0.38 | -1.43 | -1.06 |
| 24.940 | 25.035 | 24.674 | 0.38 | -1.44 | -1.07 |
| 样品4(第3次) | 24.940 | 25.035 | 24.680 | 0.38 | 0.38 | -1.42 | -1.43 | -1.04 | -1.05 |
| 24.940 | 25.033 | 24.678 | 0.37 | -1.42 | -1.05 |
| 24.940 | 25.035 | 24.675 | 0.38 | -1.44 | -1.06 |

表 16 西北院第二次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2025/1/21 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 12T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | VPS50/10真空气氛烧结炉 |
| 烧结工艺 | 1200℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品3 | 24.940 | 25.047 | 24.057 | 0.43 | 0.43 | -3.95 | -3.96 | -3.54 | -3.55 |
| 24.940 | 25.045 | 24.050 | 0.42 | -3.97 | -3.57 |
| 24.940 | 25.048 | 24.057 | 0.43 | -3.96 | -3.54 |
| 样品4 | 24.940 | 25.033 | 24.668 | 0.37 | 0.37 | -1.46 | -1.46 | -1.09 | -1.10 |
| 24.940 | 25.030 | 24.670 | 0.36 | -1.44 | -1.08 |
| 24.940 | 25.032 | 24.662 | 0.37 | -1.46 | -1.12 |

表 17 钢研院第二次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2025/3/6 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 12T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | VS-50MDI高温真空烧结炉 |
| 烧结工艺 | 1200℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品3 | 24.940 | 25.061 | 23.927 | 0.49 | 0.50 | -4.53 | -4.61 | -4.06 | -4.14 |
| 24.940 | 25.067 | 23.893 | 0.51 | -4.68 | -4.20 |
| 24.940 | 25.064 | 23.904 | 0.50 | -4.63 | -4.15 |
| 样品4 | 24.940 | 25.053 | 24.687 | 0.45 | 0.47 | -1.46 | -1.46 | -1.01 | -1.00 |
| 24.940 | 25.058 | 24.691 | 0.47 | -1.46 | -1.00 |
| 24.940 | 25.059 | 24.695 | 0.48 | -1.45 | -0.98 |

表 18 北科大第二次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2025/3/4-2025/3/8 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 12T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | VS-50MDI高温真空烧结炉 |
| 烧结工艺 | 1200℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品3(第1次) | 24.940  | 25.020  | 23.858  | 0.32  | 0.33 | -4.65  | -4.67 | -4.34  | -4.36 |
| 24.940  | 25.024  | 23.846  | 0.34  | -4.71  | -4.39  |
| 24.940  | 25.023  | 23.857  | 0.33  | -4.66  | -4.34  |
| 样品3(第2次) | 24.940  | 25.025  | 23.895  | 0.34  | 0.34 | -4.52  | -4.58 | -4.19  | -4.26 |
| 24.940  | 25.023  | 23.879  | 0.33  | -4.57  | -4.25  |
| 24.940  | 25.023  | 23.855  | 0.33  | -4.67  | -4.35  |
| 样品3(第3次) | 24.940  | 25.013  | 23.831  | 0.29  | 0.31 | -4.73  | -4.66 | -4.45  | -4.36 |
| 24.940  | 25.017  | 23.862  | 0.31  | -4.62  | -4.32  |
| 24.940  | 25.018  | 23.862  | 0.31  | -4.62  | -4.32  |
| 样品4(第1次) | 24.940  | 25.013  | 24.707  | 0.29  | 0.28 | -1.22  | -1.21 | -0.93  | -0.94 |
| 24.940  | 25.006  | 24.703  | 0.26  | -1.21  | -0.95  |
| 24.940  | 25.007  | 24.708  | 0.27  | -1.19  | -0.93  |
| 样品4(第2次) | 24.940  | 25.009  | 24.711  | 0.28  | 0.27 | -1.19  | -1.20 | -0.92  | -0.94 |
| 24.940  | 25.006  | 24.701  | 0.27  | -1.22  | -0.96  |
| 24.940  | 25.005  | 24.705  | 0.26  | -1.20  | -0.94  |
| 样品4(第3次) | 24.940  | 25.022  | 24.721  | 0.33  | 0.31 | -1.20  | -1.22 | -0.88  | -0.92 |
| 24.940  | 25.016  | 24.703  | 0.30  | -1.25  | -0.95  |
| 24.940  | 25.010  | 24.709  | 0.28  | -1.20  | -0.92  |

表 19 北京钢研高纳第二次验证试验记录

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验日期 | 2025/3/6 | 成型设备 | 全自动压片机 | 成型压力 | 203MPa/10T |
| 成型模具 | 圆柱形，Φ25 | 烧结气氛 | 真空烧结 | 冷却速度 | 自然冷却 |
| 升温速度 | 10℃/min | 烧结设备 | VS-50MDI高温真空烧结炉 |
| 烧结工艺 | 1200℃，4h |
| 金属粉末 | 模腔直径dD/mm | 压坯尺寸dG/mm | 烧结尺寸dS/mm | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 | 数值 | 平均值 |
| 样品3 | 24.940 | 25.065 | 23.897 | 0.50 | 0.50 | -4.66 | -4.70 | -4.18 | -4.22 |
| 24.940 | 25.065 | 23.882 | 0.50 | -4.72 | -4.24 |
| 24.940 | 25.064 | 23.884 | 0.50 | -4.71 | -4.23 |
| 样品4 | 24.940 | 25.047 | 24.689 | 0.43 | 0.44 | -1.43 | -1.49 | -1.01 | -1.06 |
| 24.940 | 25.052 | 24.667 | 0.45 | -1.54 | -1.09 |
| 24.940 | 25.047 | 24.667 | 0.43 | -1.52 | -1.09 |

同一批金属粉末用同一成型设备在相同成型压力及保压时间下，使用不同烧结设备在相同升降温速度、支撑板、烧结温度及保温时间下，用同一精度的测量器具测量，得到的测试结果汇总分析如下表20所示。可以看出，不同实验室，受运输损失、测试量具及测试人员影响，导致坯体尺寸测量误差仍然显著存在；不同实验室，受烧结设备差异及炉温均匀性影响，两种金属粉末的烧结尺寸变化标准偏差略大，且烧结尺寸变化值越大，标准偏差越大；同时，测试量具及测试人员的测量误差也导致了标准偏差偏大。

表 20 不同实验室第二次验证数据分析

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 金属粉末 | 验证单位 | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 |
| 样品3 | 参照粉末--西部宝德 | 0.50 | 0.07 | -3.93 | 0.39 | -3.45 | 0.41 |
| 西北院 | 0.43 | -3.96 | -3.55 |
| 钢研院 | 0.50 | -4.61 | -4.14 |
| 北科大 | 0.33 | -4.67 | -4.36 |
| 北京钢研高纳 | 0.50 | -4.70 | -4.22 |
| 样品4 | 参照粉末西部宝德 | 0.38 | 0.07 | -1.43 | 0.11 | -1.06 | 0.06 |
| 西北院 | 0.37 | -1.46 | -1.10 |
| 北科大 | 0.47 | -1.46 | -1.00 |
| 钢研院 | 0.28 | -1.21 | -0.94 |
| 北京钢研高纳 | 0.44 | -1.49 | -1.06 |

西部宝德两次验证试验数据分析如表21所示。可以看出，同样是不锈钢粉末，粉末粒度、粉末形态差异会造成压坯尺寸变化、烧结尺寸变化以及总尺寸变化存在差异，粉末粒度越小，三种尺寸变化的数值越大；同一种金属粉末在同一实验室的两次验证试验结果显示，三种尺寸变化的重复性测试结果标准偏差均不超过0.01%，同一种金属粉末的三种尺寸变化在同一实验室的重复性好。对于两次验证实验的三种金属粉末，同一实验室的三种尺寸变化的三次重复性测试结果标准偏差最大不超过0.07%，进一步说明了同一实验室的重复性好。

表 21 同一实验室两次验证试验数据分析

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 实验室 | 金属粉末 | 验证次数 | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 |
| 西部宝德 | 样品1 | 第一次 | 0.42 | 0.01 | -1.45 | 0.01 | -1.01 | 0.01 |
| 第二次 | 0.43 | -1.43 | -1.03 |
| 第三次 | 0.42 | -1.44 | -1.01 |
| 样品3 | 第一次 | 0.50 | 0.00 | -3.93 | 0.01 | -3.45 | 0.01 |
| 第二次 | 0.50 | -3.91 | -3.43 |
| 第三次 | 0.50 | -3.93 | -3.45 |
| 样品2 | 第一次 | 0.38 | 0.00 | -4.63 | 0.07 | -4.27 | 0.07 |
| 第二次 | 0.38 | -4.70 | -4.34 |
| 第三次 | 0.38 | -4.77 | -4.41 |
| 样品4 | 第一次 | 0.38 | 0.00 | -1.43 | 0.01 | -1.06 | 0.01 |
| 第二次 | 0.38 | -1.44 | -1.05 |
| 第三次 | 0.38 | -1.43 | -1.06 |

同一批金属粉末用同一成型设备在相同成型压力及保压时间下，使用相同烧结设备在相同升降温速度、支撑板、烧结温度及保温时间下，用相同测量器具测量，得到的重复性实验测试结果汇总分析如下表22所示。同一实验室，两种金属粉末的压坯尺寸变化、烧结尺寸变化、总尺寸变化三次测试结果的标准偏差非常小，测试结果的重复性好；但两个实验室间，受运输损失、测试人员、测试量具、烧结设备的影响，同一批金属粉末的压坯尺寸变化、烧结尺寸变化、总尺寸变化三次测试结果存在差异。

表 22 同一实验室第二次验证试验数据分析

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 实验室 | 金属粉末 | 验证次数 | 压坯尺寸变化Δ*d*DG/% | 烧结尺寸变化Δ*d*GS/% | 总尺寸变化Δ*d*DS/% |
| 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 | 平均值 | 标准偏差 |
| 西部宝德 | 样品3 | 第一次 | 0.50 | 0.00 | -3.93 | 0.01 | -3.45 | 0.01 |
| 第二次 | 0.50 | -3.91 | -3.43 |
| 第三次 | 0.50 | -3.93 | -3.45 |
| 样品4 | 第一次 | 0.38 | 0.00 | -1.43 | 0.01 | -1.06 | 0.01 |
| 第二次 | 0.38 | -1.44 | -1.05 |
| 第三次 | 0.38 | -1.43 | -1.06 |
| 北科大 | 样品3 | 第一次 | 0.33 | 0.02 | -4.67 | 0.05 | -4.36 | 0.06 |
| 第二次 | 0.34 | -4.58 | -4.26 |
| 第三次 | 0.31 | -4.66 | -4.36 |
| 样品4 | 第一次 | 0.28 | 0.02 | -1.21 | 0.01 | -0.94 | 0.01 |
| 第二次 | 0.27 | -1.20 | -0.94 |
| 第三次 | 0.31 | -1.22 | -0.92 |

### 试验小结

综上所述，金属粉末（不包括硬质合金用粉）与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法，在同一实验室的重复性好；在不同实验室受测试人员、测试量具、烧结设备的影响会存在偏差，且偏差在不同单位的工业生产中不能消除，但并不影响不同单位按照此方法指导各自工业生产。

# 标准中涉及专利的情况

本文件不涉及专利。

# 标准预期达到的社会效益

本文件属于金属粉末冶金（与成型和烧结有关）基础通用测试方法类标准，与成型和烧结有联系的尺寸变化是粉末冶金厂家考察粉末特性、制品特性、改进生产工艺、改进模具设计、监测生产过程的重要指标，凡粉末冶金金属材料生产厂家均可以采用本标准。

1）本文件与ISO 4492标准保持一致，有助于提升我国金属粉末行业在国际市场上的竞争力，促进国际贸易和技术合作。

2）本文件提供了详细测试步骤指导和技术要求，可帮助企业或研究机构科学评估金属粉末在加工过程中的尺寸变化，从而优化生产工艺，优化模具设计，提高产品的尺寸精度和稳定性，提升产品质量‌。

3）通过统一测定方法，可促进金属粉末、粉末成型和烧结技术的交流与进步，有助于整个行业上下游的技术升级和创新发展。‌

# 采用国际标准和国外先进标准的情况

本文件使用翻译法等同采用ISO 4492:2017。

# 与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本文件与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

# 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

# 标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议本文件为推荐性国家标准，供相关组织参考采用。

# 贯彻标准的要求和措施建议

本文件属于金属粉末（不包括硬质合金）的粉末冶金（与成型和烧结有关）基础通用测试方法类标准，与成型和烧结有联系的尺寸变化是粉末冶金厂家考察粉末特性、制品特性、改进生产工艺、改进模具设计、监测生产过程的重要指标，凡粉末冶金金属材料生产厂家均可以采用本标准。建议向金属（不包括硬质合金）粉末冶金生产、销售、检测的相关企业和单位积极贯彻本文件的内容。

# 废止现行有关标准的建议

本文件是对GB/T 5159-2015的修订，在本文件实施后，同时应将GB/T 5159-2015废止。

**十二、其他应予说明的事项**

无。

《金属粉末（不包括硬质合金用粉）与成型和烧结有联系的尺寸变化的测定方法》标准编制组

 2025年5月13日