**行业标准**

**化学气相沉积炉**

**编制说明**

**（送审稿）**

**行业标准《化学气相沉积炉》**

**编制说明**

**1 工作简况**

**1.1 任务来源**

根据《工业和信息化部办公厅关于印发2023年第一批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅[2023]18号）文的要求，由湖南顶立科技股份有限公司牵头负责组织修订《化学气相沉积炉》有色金属行业标准。项目计划编号为2023-0256T-YS，计划完成年限为2024年11月。

**1.2 方法简介**

化学气相沉积法（Chemical Vapor Deposition，CVD）是指利用气态或蒸汽态的物质在气相或气固界面上发生反应生成涂层的过程。由CVD技术所形成的涂层致密且均匀，涂层与基体的结合牢固，涂层成分易控，沉积速度快，涂层质量也很稳定，某些特殊涂层还具有优异的光学、热学和电学性能，因而易于实现批量生产。但是，CVD的沉积温度通常很高，在900℃～2000℃之间，容易引起零件变形和组织上的变化，从而降低机体材料的机械性能并削弱机体材料和涂层间的结合力，使基片的选择、沉积层或所得工件的质量都受到限制。目前，CVD技术正朝着中、低温和高真空两个方向发展，并与等离子体、激光、超声波等技术相结合，形成了许多新型的CVD技术。CVD技术广泛应用与特殊材料的表面保护涂层制备、半导体材料外延生长、贵金属薄膜生产等工艺过程。

随着各个应用领域的不断发展，对化学气相沉积的要求也在不断提高。首先，化学气相沉积炉作为工件的承载场所，随着工件尺寸不断增大、单炉次装炉量不断提高，对大尺寸、多料柱的化学气相炉提出了十分急迫的需求；另外，作为CVD工艺的反应场所，为气体反应提供了所需如沉积温度、沉积压力、各气体流量等的工艺参数，满足沉积工艺需求、质量稳定的化学气相沉积炉对高性能材料的开发及技术发展具有重要意义。



图1 化学气相沉积炉实物图

本标准在2015年首次发布为行业标准，至今暂未修订过。随着国家科学技术的发展，国内化学气相沉积炉行业得到了快速发展，该标准无论从内容还是形式、规范上都不再适应现代化生产的要求，不能起到有效区分产品质量、规范市场、指导企业生产的作用。因此，为了更好地指导该类设备的设计与生产、保证产品质量，计划对该标准进行修订，以更好的满足行业的需求。

**1.3 起草单位情况**

**湖南顶立科技股份有限公司**是一家专业从事新材料、新能源高端热工装备研究开发、生产制造的“国家级火炬计划高新技术企业”，是“湖南省新型热工装备工程技术研究中心”的依托单位，被评为“湖南省企业技术中心”。公司与国防科大、中南大学、湖南大学、南昌大学及国内相关院所等院校和科研机构建立了密切的合作关系。公司共聘请国内知名科研院校的各类专家教授40余人为公司的顾问团队，为公司的快速发展提供了强有力的支持，特别在碳/碳化硅、铁铜基粉末冶金、硬质合金、金属复合材料以及先进真空热处理等领域的快速发展发挥了重要作用。申请和授权中国专利300余项，产品获国防科技奖励2项，中国有色金属工业科技进步奖6项，湖南省科技进步奖5项，长沙市科技进步奖3项，全国工商联科技进步优秀奖 1 项，并且一批成果已经实现产业化。

**安徽弘昌新材料有限公司**位于安徽省淮北市濉溪县经济开发区，是一家集碳纤维材料及制品研究开发、生产制造、销售与服务的高新技术企业，拥有国内最先进的标准化生产车间及研发测试中心4万余平方米，产品涉及PAN基、沥青基、黏胶基、预氧丝纤维等系列，并拥有预氧化、碳化、石墨化到制品的完整生产能力，产品应用涉及太阳能光伏、真空烧结、热处理、半导体、航天航空等领域。公司拥有副高以上职称人员2人，中级工程师3人，并聘请国内知名碳材料教授为高级顾问，秉承以优质且稳定的产品、高效的服务、领先的技术为客户提供最具性价比的热场保温产品和整套解决方案。

**1.4 参编单位及主要起草人工作情况**

整个标准起草过程中各参编单位给予了大力的支持帮助，参编单位提供了技术支持、实验数据的验证等工作。

标准主要起草人以及分工见下表1。

表1 标准主要起草人及分工

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 姓名 | 单位 | 分工 |
|  | 湖南顶立科技股份有限公司 | 负责调研、验证、标准起草全过程 |
|  | 湖南顶立科技股份有限公司 | 负责调研、验证、标准起草 |
|  | 湖南顶立科技股份有限公司 | 负责全过程的标准编制、审核、协调工作 |
|  | 湖南顶立科技股份有限公司 | 参与标准起草，资料收集、审核、协调工作 |
|  | 安徽弘昌新材料有限公司 | 参与标准起草，提供相关验证 |
|  | 安徽弘昌新材料有限公司 | 参与标准起草，提供相关验证 |
|  | 安徽弘昌新材料有限公司 | 参与标准起草，提供相关验证 |
|  | 安徽弘昌新材料有限公司 | 参与标准起草，提供相关验证 |

**1.5 主要工作过程**

计划下达后，全国有色金属标准化技术委员会组织各起草单位成立了修订工作组，由湖南顶立科技股份有限公司为组长单位，负责主要修订工作。修订工作组制定了研究技术路线、实施方案、工作计划和进度安排，并组织开展该项目的试验研究与验证工作。主要工作过程经历如下阶段：

**1.5.1 起草阶段**

接到该标准的制订任务后，湖南顶立科技股份有限公司立即与参编单位成立标准修订工作组，对目标任务进行了分解，明确成员的任务要求，制定工作计划和进度安排。组织专人进行了相关资料的查询与收集工作，通过技术查询、现状调研等方式对此标准进行了重新审查，对当前设备、工艺及技术水平进行了充分论证。

2023年4月-2024年4月，编制组成员查阅了大量的国内外相关文献资料，收集、整理、对比分析了相关企业的技术资料，同时也对化学气相沉积炉设备参数对CVD工艺的影响进行验证对比分析，并对响应结果进行汇总、分析。结合调研情况和多家比对的实验数据为基础，结合2023年9月在重庆市全国有色金属标准化技术委员会粉末冶金分标委组织召开《化学气相沉积炉》讨论会上专家的意见与建议，形成了标准征求意见稿。

**1.5.2 征求意见阶段**

2024年5月至2024年7月，全国有色金属标准化技术委员会将征求意见资料在工业和信息化部的“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](http://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。

2024年5月22日-5月24日在江苏无锡市全国有色金属标准化技术委员会粉末冶金分标委组织召开了《化学气相沉积炉》的预审会，共有10余家单位的代表参加了会议。会上，与会专家对标准征求意见稿进行了认真的讨论，编制组根据提出的意见制定了验证的实施方案，按照各单位的实际情况进行分工进行验证。2024年7月，编制组对收集到的意见进行整理，本编制组共向11家单位进行发送《化学气相沉积炉》征求意见， 共收到 \*\*条意见，其中有意见的单位数为XXX个。编制组根据意见对标准文本进行了更改，形成了标准送审稿及编制说明。

**1.5.3 审查阶段**

**1.5.4 报批阶段**

**二、标准的编制原则**

**2.1 标准编制原则**

1）符合性

本标准按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求进行编写。

2）适用性

本文件规定了化学气相沉积炉的型号与组成、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存、随行文件和订货单内容。

本文件适用于金属及金属合金材料、金属复合材料、碳及碳化硅材料、无机新材料、半导体材料等材料的化学气相沉积。

3）先进性

本次标准修订将结合行业化学气相沉积炉相关技术参数和检验方式等实际情况，统一规范，可操作性更强，将有助于提升产品质量的稳定性、批次稳定性，有利于各化学气相沉积炉企业能力的比对。可以评价化学气相沉积炉设备之间的差异性，确保化学气相沉积炉具有更好的稳定性与可比性，对提升化学气相沉积炉质量控制和生产水平及能力具有十分重要的意义。

**三、主要内容与论据**

**3.1 标准修订的主要内容与论据**

目前化学气相沉积炉属于非标产品，没有统一的分类、基本参数、尺寸规格、型号及型号表示规则。行业内对化学气相沉积设备的性能需求无统一尺度衡量，无相应的国家标准、行业标准和地方标准可作产品标准执行。

《化学气相沉积炉》标准编制组根据多年来所生产的化学气相沉积炉的实际应用情况，结合化学气相沉积行业的需求情况，对化学气相沉积炉的系统组成、性能特点进行了总结，并将总结形成《化学气相沉积炉》标准。

近年来，随着我国航天航空、光伏以及新能源等行业的迅猛发展，C/C、SiC/SiC复合材料在发动机热端部件、机翼、单晶硅用大尺寸坩埚等领域应用也越来越多，C/C、SiC/SiC复合材料呈现出尺寸大、曲面多、异型结构多的发展趋势，对化学气相沉积炉的要求也越来越高：工作区域越来越大、温度均匀性要求越来高等。对此，《化学气相沉积炉》标准编制组跟行业发展情况，结合生产企业的实际情况，在本次修订中，增加了大尺寸工作区域的化学气相沉积炉型号，同时，也对其技术参数及检测方法做了相应更新，确保化学气相沉积炉具有更好的稳定性与可比性，提升化学气相沉积炉质量控制和生产水平及能力。

**3.2 主要数据调研情况**

为了更好地验证本标准对化学气相沉积炉行业的普适性，本次数据调研，收集整理了设备的各项基本参数；测试了设备主要性能指标，包括极限真空度、压升率、炉温均匀性、空炉升温速率和空炉抽气时间；检查了设备的总体设计；最后以典型设备为参照进行了产品的沉积效果验证，验证了产品重量（沉积效率）、尺寸、密度及变形量。针对本标准中要求进行验证，各项测试数据主要由湖南顶立科技股份有限公司、安徽弘昌新材料有限公司、湖南搏盛天弘新材料技术有限公司、自贡长城装备技术有限责任公司等4家单位归集。

3.2.1 各家单位化学气相沉积炉基本参数

由于化学气相沉积炉属于非标定制产品，用户对设备的基本参数不尽相同。下表2-5统计了湖南顶立科技股份有限公司、自贡长城装备技术有限责任公司等多家设备制造厂商典型（包含立式、卧式化学气相沉积炉）的设备基本参数。

表2 各单位设备工作区域尺寸统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | 工作区域尺寸宽×高×长/mm | 湖南顶立实际测量值宽×高×长/mm | 自贡长城实际测量值宽×高×长/mm |
| 1 | HCVD-060609 | 600×600×900 | 602×601×905 | 604×601×902 |
| 2 | HCVD-080812 | 800×800×1200 | 803×801×1201 | 803×801×1200 |
| 3 | HCVD-101015 | 1000×1000×1500 | 1005×1002×1501 | 1002×1003×1502 |
| 4 | HCVD-121225 | 1200×1200×2500 | 1200×1202×2503 | 1201×1202×2504 |
| 5 | HCVD-151530 | 1500×1500×3000 | 1501×1500×3004 | 1501×1502×3001 |
| 6 | HCVD-202040 | 2000×2000×4000 | 2002×2001×4003 | 2003×2001×4002 |
| 7 | HCVD-252550 | 2500×2500×5000 | 2501×2502×5001 | 2502×2504×5003 |
| 8 | VCVD-0305 | φ300×500 | φ301×500 | φ302×502 |
| 9 | VCVD-0508 | φ500×800 | φ502×801 | φ500×804 |
| 10 | VCVD-0810 | φ800×1000 | φ801×1002 | φ800×1004 |
| 11 | VCVD-1015 | φ1000×1500 | φ1003×1503 | φ1001×1502 |
| 12 | VCVD-1218 | φ1200×1800 | φ1201×1802 | φ1202×1803 |
| 13 | VCVD-1520 | φ1500×2000 | φ1501×2002 | φ1502×2002 |
| 14 | VCVD-3344 | φ3300×4400 | φ3304×4405 | φ3303×4404 |

化学气相沉积炉的工作区域尺寸对于满足特定工件的处理需求至关重要。‌工作区域尺寸的大小直接决定了能够处理的工件尺寸，进而影响能够进行的工艺类型和批量。此外，工作区域尺寸还与温度均匀性、密封效果、抗污染能力以及沉积效果密切相关。较大的工作区域尺寸意味需要更好的温度均匀性和更强的处理能力，这对于需要大面积均匀沉积的应用尤为重要。统一的工作区域尺寸是选择和使用化学气相沉积炉时需要考虑的关键因素之一。‌

如表2所示，为各单位对化学气相沉积炉工作区域的实际测量值与标称值的差异均在公差范围内，本标准包含的典型型号符合实际生产情况，参数设置科学合理。

表3 各单位设备承载重量统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | 承载重量kg | 湖南顶立实际测量值kg | 自贡长城实际测量值kg |
| 1 | HCVD-060609 | 300 | 300 | 300 |
| 2 | HCVD-080812 | 800 | 800 | 800 |
| 3 | HCVD-101015 | 1500 | 1500 | 1500 |
| 4 | HCVD-121225 | 2500 | 2500 | 2500 |
| 5 | HCVD-151530 | 5000 | 5000 | 5000 |
| 6 | HCVD-202040 | 10000 | 10000 | 10000 |
| 7 | HCVD-252550 | 20000 | 20000 | 20000 |
| 8 | VCVD-0305 | 50 | 50 | 50 |
| 9 | VCVD-0508 | 150 | 150 | 150 |
| 10 | VCVD-0810 | 500 | 500 | 500 |
| 11 | VCVD-1015 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 12 | VCVD-1218 | 2000 | 2000 | 2000 |
| 13 | VCVD-1520 | 3000 | 3000 | 3000 |
| 14 | VCVD-3344 | 10000 | 10000 | 10000 |

承载重量直接决定了化学气相沉积炉能够处理最大工件的重量。对于需要处理大型或重型工件的应用场景，承载重量是一个关键指标；同时，承载重量较大的化学气相沉积炉可以一次性处理更多的工件，从而提高生产效率。这对于需要大规模生产的应用场景尤为重要。最后，承载重量也反映了化学气相沉积炉的结构强度和稳定性，在长时间运行或处理重型工件时，能避免设备变形、损坏或影响沉积效果等情况的发生‌。化学气相沉积炉的承载重量是评估其性能和应用范围的重要指标之一，需要根据具体的应用需求来确定合适的承载重量。

如表3所示，为各单位对化学气相沉积炉承载重量的实际测量值与标称值的差异均在公差范围内，本标准包含的典型型号符合实际生产情况，参数设置科学合理。

表4 各单位设备额定加热功率统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | 额定加热功率kW | 湖南顶立实际测量值kW | 自贡长城实际测量值kW |
| 1 | HCVD-060609 | 210 | 215 | 212 |
| 2 | HCVD-080812 | 360 | 366 | 364 |
| 3 | HCVD-101015 | 480 | 490 | 480 |
| 4 | HCVD-121225 | 600 | 615 | 610 |
| 5 | HCVD-151530 | 900 | 908 | 905 |
| 6 | HCVD-202040 | 1200 | 1221 | 1220 |
| 7 | HCVD-252550 | 1800 | 1815 | 1810 |
| 8 | VCVD-0305 | 45 | 48 | 50 |
| 9 | VCVD-0508 | 90 | 95 | 95 |
| 10 | VCVD-0810 | 180 | 190 | 185 |
| 11 | VCVD-1015 | 300 | 321 | 315 |
| 12 | VCVD-1218 | 420 | 429 | 425 |
| 13 | VCVD-1520 | 540 | 550 | 540 |
| 14 | VCVD-3344 | 840 | 855 | 845 |

‌化学气相沉积炉的额定加热功率是衡量其性能和适用性的重要指标，它直接决定了设备在特定工作条件下能够持续、安全运行的功率上限。‌额定加热功率的大小直接关系到设备能够处理的材料类型、加工规模以及生产效率。具体来说，化学气相沉积炉的额定功率有以下几个作用：

①确定适用场景‌：额定功率决定了设备能够处理的材料大小和加工的复杂程度。例如，对于需要较高功率的沉积过程，如制备石墨烯或其他高性能材料，需要选择额定功率较高的设备。

‌②保证生产效率‌：额定功率越高，设备在单位时间内能够处理的材料量就越多，从而提高生产效率。这对于大规模生产或急需产品的应用场景尤为重要。

③确保安全性‌：额定功率是设备设计和制造时考虑的安全上限，超过这个功率可能会导致设备损坏或安全事故，因此，正确选择额定功率匹配生产需求的设备是至关重要的。

‌④影响成本‌：设备的额定功率与其购买成本和维护成本密切相关。一般来说，高功率的设备成本较高，但能够提高生产效率，从而可能在长期运行中降低成本。

综上所述，选择合适的化学气相沉积炉额定功率对于确保生产效率、安全性以及成本控制都具有重要意义‌。

如表4所示，为各单位对化学气相沉积炉额定加热功率的实际测量值与标称值的差异均在公差范围内，本标准包含的典型型号符合实际生产情况，参数设置科学合理。

表5统计了安徽弘昌新材料有限公司、湖南搏盛天弘新材料技术有限公司等两家用户单位现有设备的基本参数。

表5 各单位设备基本参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 验证单位 | 设备名称 | 工作区域尺寸宽×高×长/mm | 承载重量kg | 额定加热功率kW |
| 1 | 安徽弘昌新材料有限公司 | HCVD-121225 | 1200×1202×2503 | 2500 | 615 |
| FCVD-1015 | φ1005×1508 | 300 | 300 |
| 2 | 湖南搏盛天弘新材料技术有限公司 | HCVD-151530 | 1501×1500×3004 | 5000 | 908 |
| LCVD-1520 | φ1503×2004 | 3000 | 550 |

3.2.2 各家单位化学气相沉积炉性能指标测试

根据本标准规定的各项测试方法，对各家单位的设备主要性能指标进行了测试，包括极限真空度、压升率、空炉抽气时间、炉温均匀性、空炉平均升温速率等。

表6 各单位设备极限真空度测试结果统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | 标准标称值Pa | 湖南顶立实际测量值Pa | 自贡长城实际测量值Pa |
| 1 | HCVD-060609 | ≤20 | 18 | 20 |
| 2 | HCVD-080812 | ≤20 | 15 | 22 |
| 3 | HCVD-101015 | ≤20 | 14 | 18 |
| 4 | HCVD-121225 | ≤20 | 18 | 21 |
| 5 | HCVD-151530 | ≤20 | 20 | 19 |
| 6 | HCVD-202040 | ≤20 | 19 | 25 |
| 7 | HCVD-252550 | ≤20 | 17 | 24 |
| 8 | VCVD-0305 | ≤20 | 12 | 17 |
| 9 | VCVD-0508 | ≤20 | 14 | 19 |
| 10 | VCVD-0810 | ≤20 | 15 | 22 |
| 11 | VCVD-1015 | ≤20 | 12 | 27 |
| 12 | VCVD-1218 | ≤20 | 18 | 25 |
| 13 | VCVD-1520 | ≤20 | 20 | 30 |
| 14 | VCVD-3344 | ≤20 | 19 | 27 |

化学气相沉积炉是一种用于制备大尺寸复合材料试件的专用设备，其性能指标之一是极限真空度。极限真空度的高低直接影响着沉积过程中的气体分子密度和反应条件，进而影响沉积材料的纯度和质量。具体来说，极限真空度的作用主要体现在以下几个方面：

①‌提高沉积材料的纯度‌：在低真空环境下，气体分子的平均自由程增加，有利于减少气体分子之间的碰撞，从而减少杂质的形成，提高沉积材料的纯度。

②优化沉积过程‌：适当的真空度有助于控制沉积过程中的化学反应，使得沉积层更加均匀和致密，从而提高材料的性能。

‌③适应不同材料需求‌：不同的材料可能需要不同的真空度条件，因此，化学气相沉积炉的极限真空度范围通常会有一定的变化，以适应不同材料的沉积需求。

④保护设备和材料‌：在较高的真空条件下，可以减少气体对设备的腐蚀和污染，同时也有利于保护沉积材料不受外界气体的干扰。

综上所述，化学气相沉积炉的极限真空度是确保高质量沉积过程的关键因素之一，它通过影响气体分子的密度和反应条件，从而影响沉积材料的纯度和性能‌。

如表6所示，为各单位按照GB 10066.1—2019中9.11.1的规定测量化学气相沉积炉极限真空度，实际测量值与标称值的差异均在公差范围内，本标准包含的典型型号符合实际生产情况，参数设置科学合理。

表7 各单位设备压升率测试结果统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | 标准标称值Pa/h | 湖南顶立实际测量值Pa/h | 自贡长城实际测量值Pa/h |
| 1 | HCVD-060609 | ≤0.67 | 0.55 | 0.58 |
| 2 | HCVD-080812 | ≤0.67 | 0.55 | 0.60 |
| 3 | HCVD-101015 | ≤0.67 | 0.62 | 0.62 |
| 4 | HCVD-121225 | ≤0.67 | 0.60 | 0.66 |
| 5 | HCVD-151530 | ≤0.67 | 0.67 | 0.65 |
| 6 | HCVD-202040 | ≤0.67 | 0.67 | 0.67 |
| 7 | HCVD-252550 | ≤0.67 | 0.67 | 0.67 |
| 8 | VCVD-0305 | ≤0.67 | 0.50 | 0.58 |
| 9 | VCVD-0508 | ≤0.67 | 0.53 | 0.58 |
| 10 | VCVD-0810 | ≤0.67 | 0.60 | 0.60 |
| 11 | VCVD-1015 | ≤0.67 | 0.62 | 0.64 |
| 12 | VCVD-1218 | ≤0.67 | 0.65 | 0.65 |
| 13 | VCVD-1520 | ≤0.67 | 0.67 | 0.67 |
| 14 | VCVD-3344 | ≤0.67 | 0.67 | 0.67 |

化学气相沉积炉的压升率是一个重要的技术参数，它反映了炉内真空度的稳定性和维持能力。压升率通常是指在一定时间内（如1小时），炉内真空度上升的压力值（以Pa/h为单位）‌。

具体来说，压升率的作用包括：

①评估真空系统性能‌：压升率越低，说明炉内真空度保持得越好，真空系统的密封性和抽气能力越强。这对于需要高真空度环境的化学气相沉积过程至关重要。

‌②影响沉积质量‌：在化学气相沉积过程中，真空度是影响沉积物质量和性能的关键因素之一。较低的压升率有助于减少杂质和气体的干扰，提高沉积物的纯度和均匀性。

③控制反应条件‌：通过控制压升率，可以间接地控制炉内的反应条件，如反应气体的浓度、扩散速率等，从而影响沉积物的结构和性能。

 ④‌延长设备寿命‌：较低的压升率意味着真空系统的工作负担较小，有助于减少磨损和故障，从而延长设备的使用寿命。

需要注意的是，压升率并不是唯一的评估指标，还需要结合其他技术参数（如温度均匀性、加热功率、极限真空度等）来综合评估化学气相沉积炉的性能。此外，在实际应用中，压升率可能会受到多种因素的影响，如炉内材料、气体流量、反应温度等，因此需要根据具体情况进行调整和优化。

如表7所示，为各单位按照GB 10066.1—2019中9.11.3的规定测量化学气相沉积炉压升率，实际测量值与标称值的差异均在公差范围内，本标准包含的典型型号符合实际生产情况，参数设置科学合理。

表8 各单位设备空炉抽气时间测试结果统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | 标准标称值min | 湖南顶立实际测量值min | 自贡长城实际测量值min |
| 1 | HCVD-060609 | ≤30 | 20.8 | 18.6 |
| 2 | HCVD-080812 | ≤30 | 23.5 | 20.8 |
| 3 | HCVD-101015 | ≤30 | 25.7 | 26.2 |
| 4 | HCVD-121225 | ≤30 | 26.0 | 25.5 |
| 5 | HCVD-151530 | ≤30 | 28.5 | 28.2 |
| 6 | HCVD-202040 | ≤30 | 29.3 | 27.8 |
| 7 | HCVD-252550 | ≤30 | 29.6 | 30.0 |
| 8 | VCVD-0305 | ≤30 | 15.8 | 16.5 |
| 9 | VCVD-0508 | ≤30 | 15.5 | 15.8 |
| 10 | VCVD-0810 | ≤30 | 17.8 | 17.2 |
| 11 | VCVD-1015 | ≤30 | 20.8 | 21.0 |
| 12 | VCVD-1218 | ≤30 | 23.9 | 25.3 |
| 13 | VCVD-1520 | ≤30 | 25.3 | 25.5 |
| 14 | VCVD-3344 | ≤30 | 28.6 | 29.1 |

‌化学气相沉积炉的空炉抽气时间的主要作用是确保炉内达到所需的真空度，从而为后续的材料沉积过程提供一个适宜的环境。‌

在化学气相沉积过程中，真空环境对于沉积过程的成功进行至关重要。通过空炉抽气，可以有效地排除炉内的空气及其他杂质，从而降低炉内的气压，达到或维持所需的真空度。这一步骤对于保证沉积材料的纯度和质量具有决定性的作用。此外，维持真空环境还有助于提高沉积速率和材料的均匀性，因为减少气体分子对沉积过程的影响可以避免形成不必要的杂质或缺陷。

如表8所示，为各单位按照GB 10066.1—2019中9.11.2的规定测量化学气相沉积炉空炉抽气时间，实际测量值与标称值的差异均在公差范围内，本标准包含的典型型号符合实际生产情况，参数设置科学合理。

表9 单位设备炉温均匀性测试结果统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | 标准标称值℃ | 湖南顶立实际测量值℃ | 自贡长城实际测量值℃ |
| 1 | HCVD-060609 | ±10 | ±7.5 | ±6.7 |
| 2 | HCVD-080812 | ±10 | ±7.1 | ±7.3 |
| 3 | HCVD-101015 | ±10 | ±7.3 | ±6.9 |
| 4 | HCVD-121225 | ±10 | ±7.5 | ±7.8 |
| 5 | HCVD-151530 | ±10 | ±8.4 | ±8.0 |
| 6 | HCVD-202040 | ±10 | ±9.5 | ±9.0 |
| 7 | HCVD-252550 | ±10 | ±9.5 | ±9.6 |
| 8 | VCVD-0305 | ±10 | ±5.1 | ±5.0 |
| 9 | VCVD-0508 | ±10 | ±5.5 | ±5.6 |
| 10 | VCVD-0810 | ±10 | ±5.8 | ±6.2 |
| 11 | VCVD-1015 | ±10 | ±7.5 | ±7.8 |
| 12 | VCVD-1218 | ±10 | ±8.2 | ±7.8 |
| 13 | VCVD-1520 | ±10 | ±9.6 | ±9.5 |
| 14 | VCVD-3344 | ±10 | ±9.8 | ±9.5 |

化学气相沉积炉的炉温均匀性对于确保沉积过程的均匀性和产品质量至关重要。‌炉温均匀性直接影响着沉积层的厚度和质量，以及材料的物理和化学性质。如果炉内温度分布不均，可能会导致沉积层厚度不一，甚至出现局部过热或过冷的情况，从而影响材料的整体性能。因此，保持炉内温度的均匀性是确保沉积过程成功和产品质量的关键因素之一。

具体来说，炉温均匀性对于化学气相沉积过程的作用体现在以下几个方面：

①‌保证沉积层的均匀性‌：炉温均匀性直接影响沉积层在工件表面的分布和厚度。如果炉内温度分布不均，可能会导致沉积层厚度不一，影响材料的整体性能。

‌②提高产品质量‌：保持炉内温度的均匀性有助于提高产品的均匀性和一致性，从而提升产品的整体质量和性能。

‌③优化工艺参数‌：通过控制炉温均匀性，可以优化化学气相沉积过程中的工艺参数，进一步提高沉积效率和产品质量。

综上所述，炉温均匀性是化学气相沉积炉设计和操作过程中的一个重要指标，对于确保沉积过程的成功和产品质量的稳定性具有重要意义‌。

如表9所示，为各单位按照GB 10066.4—2004中6.15的规定测量化学气相沉积炉炉温均匀性，实际测量值与标称值的差异均在公差范围内，本标准包含的典型型号符合实际生产情况，参数设置科学合理。

表10 各单位设备空炉平均升温速率测试结果统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | 标准标称值℃/min | 湖南顶立实际测量值℃/min | 自贡长城实际测量值℃/min |
| 1 | HCVD-060609 | 3～10 | 5.8 | 5.7 |
| 2 | HCVD-080812 | 3～10 | 5.6 | 5.3 |
| 3 | HCVD-101015 | 3～10 | 7.2 | 7.0 |
| 4 | HCVD-121225 | 3～10 | 8.4 | 8.0 |
| 5 | HCVD-151530 | 3～10 | 8.6 | 9 |
| 6 | HCVD-202040 | 3～10 | 9.2 | 9.8 |
| 7 | HCVD-252550 | 3～10 | 10.0 | 10.0 |
| 8 | VCVD-0305 | 3～10 | 4.3 | 3.5 |
| 9 | VCVD-0508 | 3～10 | 4.8 | 5.0 |
| 10 | VCVD-0810 | 3～10 | 5.7 | 5.5 |
| 11 | VCVD-1015 | 3～10 | 6.3 | 6.8 |
| 12 | VCVD-1218 | 3～10 | 7.2 | 6.9 |
| 13 | VCVD-1520 | 3～10 | 8.0 | 8.3 |
| 14 | VCVD-3344 | 3～10 | 9.2 | 8.5 |

‌化学气相沉积炉的空炉平均升温速率‌对于整个沉积过程至关重要，它直接影响着材料的沉积效率和成品的质量。以下是空炉平均升温速率的作用：

‌①影响沉积效率‌：较快的升温速率可以缩短加热时间，从而提高生产效率。在工业生产中，时间就是金钱，因此，较快的升温速率有助于企业提高生产效益。

‌②影响材料性能‌：不同的材料对温度变化的敏感度不同，适当的升温速率可以确保材料在均匀受热的情况下完成沉积，避免因局部过热或冷却不均导致的材料性能下降。

‌③优化工艺参数‌：通过调整升温速率，可以优化工艺参数，使得沉积过程更加可控，从而获得更好的成膜质量。例如，较慢的升温速率可以使材料在沉积过程中有更多的时间进行调整和适应，有助于形成更加均匀和致密的薄膜。

‌④适应不同需求‌：不同的应用场景对材料的性能有不同的要求，通过调整升温速率，可以适应不同应用场景的需求，确保最终产品满足特定的性能指标。

综上所述，化学气相沉积炉的空炉平均升温速率是影响沉积过程效率和质量的关键因素之一，通过合理的设置和控制升温速率，可以实现高效、高质量的沉积过程‌。

如表10所示，为各单位按照本标准的规定测量方法计算化学气相沉积炉空炉平均升温速率，实际测量值与标称值的差异均在公差范围内，本标准包含的典型型号符合实际生产情况，参数设置科学合理。

表11统计了安徽弘昌新材料有限公司、湖南搏盛天弘新材料技术有限公司等两家用户单位现有设备的性能指标参数。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 验证单位 | 设备名称 | 极限真空度Pa | 空炉平均抽气时间min | 压升率Pa/h | 炉温均温性℃ | 空炉平均升温速率℃/min |
| 1 | 安徽弘昌新材料有限公司 | HCVD-121225 | 18 | 26.0 | 0.60 | ±8.4 | 8.6 |
| FCVD-1015 | 10 | 15.8 | 0.50 | ±7.0 | 6.0 |
| 2 | 湖南搏盛天弘新材料技术有限公司 | HCVD-151530 | 20 | 28.5 | 0.67 | ±9.5 | 9.2 |
| LCVD-1520 | 20 | 24.8 | 0.62 | ±9.0 | 7.3 |

表11 各单位设备基本参数

3.2.3 各家单位化学气相沉积炉产品沉积效果验证

为了确保各家单位不同参数的化学气相沉积炉能稳定、一致的生产出产品，本编制组采用统一沉积工艺、初始状态接近的样品采用各家单位的化学气相沉积炉进行了沉积实验，样品的密度变化、增重率、变形量等参数统计如表12。

表12 样品沉积前后数据统计

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 验证单位 | 设备名称 | 样品初始重量g | 样品初始密度g/cm3 | 样品沉积后重量g | 样品沉积后密度g/cm3 | 样品增重率 |
| 1 | 安徽弘昌新材料有限公司 | FCVD-1015 | 1423.6 | 0.45 | 2853 | 0.90 | 100.40% |
| 2 | 湖南搏盛天弘新材料技术有限公司 | LCVD-1520 | 1425.3 | 0.45 | 2832.4 | 0.89 | 98.72% |
| 3 | 湖南顶立科技股份有限公司 | VCVD-1015 | 1437.6 | 0.45 | 2838.4 | 0.89 | 97.44% |
| 4 | 自贡长城装备技术有限责任公司 | VCVD-1015 | 1424.8 | 0.45 | 2775 | 0.88 | 94.76% |

从表12可以看出，在样品初始条件接近、在统一工艺下，采用各单位的化学气相沉积炉沉积后样品增重、增重率等指标相差不大，满足相关产品要求，说明在稳定、合适的工艺条件下，本标准设定的设备基本参数及性能指标能生产出符合客户需求的产品。

通过对各家单位提供的设备参数及性能指标的结果分析，可以得出以下结论：

——从表2—5可以看出，由于化学气相沉积炉属于非标定制设备，各单位设备型号多种多样，但各单位的设备基本参数如工作区域尺寸、额定加热功率等都几乎相同。本标准中的设备基本参数基本涵盖了主流化学气相沉积炉的典型型号；

——从表6—11可以看出，各单位对化学气相沉积炉的性能指标的参数范围要求基本一致，具有普遍性，保证化学气相沉积炉各参数的一致和稳定，才能保证沉积后产品的效果达到最佳。

——从表12可以看出，在样品初始条件接近、在统一工艺下，采用各单位的化学气相沉积炉沉积后样品增重、增重率等指标相差不大，满足相关产品要求，说明在稳定、合适的工艺条件下，本标准设定的设备基本参数及性能指标能生产出符合客户需求的产品。

以上数据及应用表明，本标准基本涵盖了各单位对化学气相沉积炉的基本参数、性能指标的参数范围，采取合适的工艺条件，本标准规定的化学气相沉积炉能沉积出符合性能要求的合格产品，证明了本标准的通用性和广泛实用性，为本标准的编制奠定了坚实的基础。

四**、标准水平分析**

**4.1 采用国际标准和国外先进标准的程度**

与国内主要生产厂家产品各项技术指标相比，本标准属于国内先进水平。

**4.2 与现有标准及制定中的标准协调配套情况**

本标准与现有及制定中的标准协调配套，无交叉重复。

**4.3 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。

**五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系**

与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

**六、重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

**七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议**

建议作为推荐性行业标准

**八、贯彻标准的要求和措施建议**

可积极向相关厂家及国内外用户推荐采用本标准。建议发布后6个月实施。

**九、废止现行有关标准的建议**

无。

**十、预期效果**

行业标准《化学气相沉积炉》的制定，考虑了我国化学气相沉积炉生产企业的特点和制造技术水平的状况以及用户使用的需求，本标准达到了国内先进水平。标准的制定遵循了合理性、规范性及先进性等原则，反映了我国生产制造商的技术状况和用户的使用水平。通过今后的运用和推荐，将使我国化学气相沉积炉制造业逐步走入正规，进行产品系列化和标准化生产，提高我国化学气相沉积炉制造业的整体水平。

**十一、其他应予说明的事项**

无

《化学气相沉积炉》标准编制组

2024年8月19日