

ICS 77.120.40

CCS H 60



团体标准

T/CSTM 00844—2022

核燃料组件用 GH4169H 合金冷轧薄带

Cold-rolled strips of GH4169H alloy for nuclear fuel assembly

2022-06-30 发布

2022-09-30 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

全国标准信息公共服务平台
CSTM标准发布使用

前 言

本文件参照 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》，GB/T 20001.10 《标准编写规则 第 10 部分：产品标准》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国材料与试验团体标准委员会综合标准领域委员会（CSTM/FC99）提出。

本文件由中国材料与试验团体标准委员会综合标准领域委员会（CSTM/FC99）归口。

全 国 团 体 标 准 发 布 使 用

全国标准信息公共服务平台
CSTM标准发布使用

引 言

压水堆燃料组件格架弹簧采用厚度小于 0.8mm 的核级镍基合金带材制造而成，国外类似牌号为 Inconel 718，国内类似牌号为 GH4169。该合金在 650℃ 以下具有较高的强度和塑性，具备良好的耐蚀、抗氧化、抗疲劳、抗辐照等性能，以及优异的断裂韧性，目前已作为关键材料广泛应用于航空、航天、核能、石油和化工等领域。

国内核级镍基合金带材尚未形成成熟制造技术，至今仍未实现国产化，面临着无行业标准、无成熟工艺、无合格产品的“三无”窘境。尽管目前已有航空、航天领域用 GH4169 合金带材标准，但已有标准不具备通用性，无法实现其在核电领域的应用。本文件首次按照核电要求制定建立核燃料组件用合金带材自主标准，可支撑国内核电用镍基合金冷轧薄带产业高质量发展。

全国标准信息公共服务平台
CSTM标准发布使用

核燃料组件用 GH4169H 合金冷轧薄带

1 范围

本文件规定了核燃料组件用 GH4169H (NG718) 合金冷轧薄带的牌号和标记、尺寸、外形、重量、技术要求、订货内容、取样、试验方法、检验规则、质量证明书、包装、运输和贮存等要求。

本文件适用于核燃料组件用 GH4169H 合金厚度不大于 0.8mm 的冷轧薄带 (以下简称“带材”)。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 223.5	钢铁 酸溶硅和全硅含量的测定 还原型硅钼酸盐分光光度法
GB/T 223.9	钢铁及合金 铝含量的测定 铬天青 S 分光光度法
GB/T 223.11	钢铁及合金 铬含量的测定 可视滴定或电位滴定法
GB/T 223.17	钢铁及合金化学分析方法 二安替比林甲烷光度法测定钛量
GB/T 223.19	钢铁及合金化学分析方法 新亚铜灵-三氯甲烷萃取光度法测定铜量
GB/T 223.25	钢铁及合金化学分析方法 丁二酮肟重量法测定镍量
GB/T 223.28	钢铁及合金化学分析方法 α -安息香肟重量法测定钨量
GB/T 223.37	钢铁及合金 氮含量的测定 蒸馏分离靛酚蓝分光光度法
GB/T 223.38	钢铁及合金化学分析方法 离子交换分离-重量法测定铌量
GB/T 223.42	钢铁及合金化学分析方法 离子交换分离-溴邻苯三酚红光度法测定钽量
GB/T 223.62	钢铁及合金化学分析方法 乙酸丁酯萃取光度法测定磷量
GB/T 223.63	钢铁及合金化学分析方法 高碘酸钠(钾)光度法测定锰量
GB/T 223.65	钢铁及合金 钴含量的测定 火焰原子吸收光谱法
GB/T 223.73	钢铁及合金 铁含量的测定 三氯化钛-重铬酸钾滴定法
GB/T 223.75	钢铁及合金 硼含量的测定 甲醇蒸馏-姜黄素光度法
GB/T 223.80	钢铁及合金 铋和砷含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
GB/T 223.85	钢铁及合金 硫含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法
GB/T 223.86	钢铁及合金 总碳含量的测定 感应炉燃烧后红外吸收法
GB/T 228.1	金属材料拉伸试验第 1 部分: 室温试验方法
GB/T 232	金属材料弯曲试验方法
GB/T 247	钢板和钢带检验、包装、标志及质量证明书的一般规定
GB/T 708	冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 1958	产品几何技术规范 (GPS) 几何公差 检测与验证
GB/T 2970	中厚钢板超声波探伤方法
GB/T 4340.1	金属维氏硬度试验第 1 部分: 试验方法
GB/T 6394	金属平均晶粒度测定方法

- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法
- GB/T 10610 产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法
- GB/T 11261 钢铁氧含量的测定脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法
- GB/T 14999.2 高温合金横向低倍组织酸浸试验法
- GB/T 20123 钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法(常规方法)
- GB/T 20124 钢铁 氮含量的测定惰性气体熔融热导法(常规方法)
- GB/T 20127.7 钢铁及合金 痕量元素的测定 第7部分: 示波极谱法测定铅含量
- GB/T 20127.8 钢铁及合金 痕量元素的测定 第8部分 氢化物发生-原子荧光光谱法测定铈含量
- GB/T 20127.13 钢铁及合金 痕量元素的测定 第13部分: 碘化物萃取-苯基荧光酮光度法测定锡含量
- GB/T 25829 高温合金成品化学成分允许偏差
- GB/T 38939 镍基合金 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱分析法(常规法)
- HB 5220.49 高温合金化学分析方法 第49部分: 脉冲加热-红外、热导法测定氧、氮含量
- HB 20241.5 高温合金化学成分光谱分析方法 第5部分: 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定硅含量
- HB 20241.7 高温合金化学成分光谱分析方法 第7部分: 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定铝、钴、铜、铁、锰、钼、钛含量
- HB 20241.8 高温合金化学成分光谱分析方法 第8部分: 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定钨、铌、钨含量
- HB 20241.9 高温合金化学成分光谱分析方法 第9部分: 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定铌、钽、锆含量

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 牌号和标记

GH4169H中“G”、“H”分别为“高”、“合”汉语拼音的首位字母, 后缀中“H”为“核”的汉语拼音首位字母。

GH4169H合金、退火态、厚度为0.4mm, 宽度为230mm的带材, 标记为: 带材—GH4169H合金—0.4×230—退火态。

5 尺寸、外形、重量及允许偏差

5.1 厚度及允许偏差

带材厚度及允许偏差应符合表1的规定。带材厚度通常不超过0.8mm, 经供需协商并在合同中注明, 可供应其他厚度的带材。

表 1 单位为毫米

公称厚度	厚度允许偏差			
	公称宽度≤210		公称宽度>210	
	普通精度	高级精度	普通精度	高级精度
≤0.15	±0.010	±0.008	±0.020	±0.008
>0.15~0.25	±0.015	±0.010	±0.025	±0.010
>0.25~0.45	±0.020	±0.010	±0.030	±0.010
>0.45~0.65	±0.025	±0.015	±0.040	±0.015
>0.65~0.80	±0.030	±0.020	±0.040	±0.020

5.2 宽度及允许偏差

带材宽度允许偏差应符合表 2 的规定。带材宽度一般不大于 250mm，经供需双方协商并在合同中注明。也可提供宽度大于 250mm 的带材。

表 2 单位为毫米

公称厚度	宽度允许偏差		
	公称宽度≤80	公称宽度>80~150	公称宽度>150~250
≤0.60	±0.10	±0.15	±0.20
>0.65~0.80	±0.15	±0.20	±0.25

5.3 不平度

带材应平直，不平度应不大于 3mm/m。

5.4 镰刀弯

带材的侧面镰刀弯最大允许值应符合表 3 的规定。

表 3

公称宽度/mm	镰刀弯/(mm/m)
≤50	3
>50	2

5.5 边浪

带材的边浪=浪高 h /浪形长度 L ，应不大于0.03。

5.6 塔形

带材应牢固地成卷，卷的一侧塔形应不大于35mm。如对卷内径有特殊要求，应在合同中注明。

5.7 重量

带材按实际重量交货。

6 技术要求

6.1 制造方法

6.1.1 合金应采用下列冶炼方法生产，所采用的冶炼方法应在合同和质量证明书中注明。

- a) 真空感应熔炼+电渣重熔；
- b) 真空感应熔炼+真空电弧重熔；
- c) 真空感应熔炼+电渣重熔+真空电弧重熔。

6.1.2 铸锭的头、尾应有足够的切除量，以确保无缩孔等缺陷。铸锭或坯料应进行均匀化处理。

6.1.3 带材采用冷轧成形。

6.2 化学成分

6.2.1 合金的化学成分（熔炼分析）应符合表 4 的规定。

表 4

化学成分（质量分数） %								
C	N	Cr	Mo	Nb+Ta	Ti	Al	Ni	Fe
≤ 0.020	≤ 0.01	17.00~ 21.00	2.80~ 3.30	4.75~ 5.50	0.65~ 1.15	0.20~ 0.80	50.00~ 55.00	余
Ta	Co	Mn	Si	S	O	P	B	Cu
不大于								
0.10	0.04	0.35	0.35	0.001	0.003	0.015	0.006	0.3
As	Sn	Pb	Sb	Bi				
不大于								
0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.0001				

6.2.2 成品带材化学成分允许偏差应符合 GB/T 25829 的规定。

6.3 交货状态

6.3.1 带材经光亮固溶处理、平整、切边后成卷交货。

6.3.2 带材固溶处理制度为： $(920^{\circ}\text{C}\sim 1100^{\circ}\text{C})\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，保温时间根据产品厚度和固溶温度确定，空冷或以油冷、水冷等其他冷却方式冷却。

6.3.3 实际固溶处理制度应在质量证明书中注明。

6.4 室温力学性能

6.4.1 试样的时效处理制度

试样的时效处理制度为： $720^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，保温 8h~9h，以 $(50\pm 10)^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 速率炉冷至 $620^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，保温

8h~9h，空冷至室温，总的时效时间应控制在 18~20h。试样的实际时效处理制度应在质量证明书中注明。

6.4.2 室温拉伸

带材的室温拉伸性能应符合表 5 的规定。室温拉伸试样标距为 15mm。

表 5

试样状态	抗拉强度 R_m /MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 A/%
交货状态	实测值	实测值	≥40
交货状态+时效处理	≥1240	≥1030	≥12

6.4.3 硬度

交货状态的带材经时效处理后的维氏硬度应不小于380HV。

6.5 弯曲性能

交货状态的带材应进行室温弯曲试验，带材的弯芯直径应等于带材的公称厚度。试样在芯棒上弯曲 180°后，在放大 10 倍下进行检验，试样受检部位不应有裂纹。试样的弯曲轴应平行或垂直于带材的轧制方向。

6.6 低倍组织

带坯的横向低倍组织不允许有目视可见的缩孔、孔洞、裂纹、夹杂、折叠和针孔等缺陷。经需方同意，供方可在中间坯上采用超声检测代替横向低倍组织检验。

6.7 高倍组织

6.7.1 非金属夹杂物

带坯应进行非金属夹杂物检验，带坯的非金属夹杂物应符合表 6 的规定。

表 6

非金属夹杂物（级）												
A		B		C		D		B_{TIN}		D_{TIN}		DS
粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	≤2.5	≤1.5	≤3.0	/

6.7.2 晶粒度

交货状态的带材应为完全再结晶状态，晶粒度应为8级或更细。

6.7.3 晶间腐蚀

交货状态的带材应检查表面晶间腐蚀深度，单面晶间腐蚀深度应不超过0.013mm。

6.8 超声检测

带坯应进行超声检测。验收标准由供需双方协商确定。

6.9 外观质量

6.9.1 带材表面必须清洁、光亮、无氧化色，不允许有裂纹、气泡、夹杂和结疤，且不能有可观测到的腐蚀痕迹或划痕。

6.9.2 带材表面粗糙度 Ra 应不超过 0.13 μm ，Rt 应不超过 1.5 μm 。

6.9.3 带材的边缘应平整，剪切到指定宽度后，最大毛刺尺寸应不超过 0.05mm。

7 订货内容

按照本文件订货的合同或订单应包括下列内容：

- a) 供方名称；
- b) 需方名称；
- c) 产品名称；
- d) 牌号；
- e) 状态；
- f) 尺寸规格；
- g) 重量（卷重和托重）；
- h) 外形尺寸及其允许偏差（较高级或有特殊要求时需注明，未注明时按普通级供货）；
- i) 外观质量；
- j) 力学性能、弯曲性能、低倍组织、非金属夹杂物、晶粒度、超声检测；
- k) 本文件编号；
- l) 其他。

8 取样

带材的检验项目、取样部位、取样数量应符合表7的规定。

表 7

序号	检验项目	取样数量	取样位置	要求的章条号	检验方法的章条号
1	尺寸、外形	逐卷		5	9.1
2	熔炼化学成分	每炉2个	锭头、尾各1个	6.2	9.2
3	室温拉伸	每批6个或12个	宽度<230mm时，纵向，每批6个（交货态每批3个，交货态+时效态每批3个）； 宽度≥230mm时，纵向，每批6个（交货态每批3个，交货态+时效态每批3个）；横向，每批6个（交货态每批3个，交货态+时效态每批3个）	6.4.2	9.3
4	硬度	测量点每批不少于10个，每个测量点至少位于最近的	任取	6.4.3	9.4

		一个测量点20cm处			
5	弯曲性能	每批2个或4个	宽度<230mm时,纵向,每批2个; 宽度≥230mm时,纵向,每批2个; 横向,每批2个	6.5	9.5
6	低倍组织	每批2个	板坯,相当于锭头、尾各1个	6.6	9.6
7	非金属夹杂物	每批2个	板坯,相当于锭头、尾各1个	6.7.1	9.7
8	晶粒度	每批2个	带材头、尾各1个	6.7.2	9.8
9	晶间腐蚀	每批2个	带材头、尾各1个	6.7.3	9.9
10	超声检测	逐坯	整坯	6.8	9.10
11	外观质量	逐卷		6.9	9.11

9 试验方法

9.1 尺寸、外形及允许偏差

尺寸、外形及允许偏差按GB/T 708进行。

9.2 化学成分

化学成分分析通常按 GB/T 20123、GB/T 20124、GB/T 38939、HB 5220.49、HB 20241.5、HB 20241.7、HB 20241.8、HB 20241.9 或其它通用方法进行。仲裁时按 GB/T 223.5、GB/T 223.9、GB/T 223.11、GB/T 223.17、GB/T 223.19、GB/T 223.25、GB/T 223.28、GB/T 223.37、GB/T 223.38、GB/T 223.42、GB/T 223.62、GB/T 223.63、GB/T 223.65、GB/T 223.73、GB/T 223.75、GB/T 223.80、GB/T 223.85、GB/T 223.86、GB/T 11261、GB/T 20127.7、GB/T 20127.8、GB/T 20127.13 的规定进行。

9.3 室温拉伸

室温拉伸试验按 GB/T 228.1 进行。

9.4 硬度

维氏硬度按 GB/T 4340.1 进行。

9.5 弯曲试验

弯曲性能按 GB/T 232 进行。

9.6 低倍组织

低倍组织检验按 GB/T 14999.2 进行。

9.7 非金属夹杂物

非金属夹杂物检验按 GB/T 10561 进行。

9.8 晶粒度

晶粒度检验按 GB/T 6394 进行。

9.9 晶间腐蚀

晶间腐蚀检验应在经抛光的带材横截面试样上不经浸蚀放大 500 倍下进行。

9.10 超声检测

超声检测按 GB/T 2970 进行。

9.11 外观质量

带材表面情况采用目视检验。Ra 检测按 GB/T 10610 进行，Rt 检测按 GB/T 1958 进行。

10 检验规则

10.1 检验项目

带材的质量一致性检验项目、取样部位、取样数量以及相应要求和检验方法的章条号应符合表7的规定。

10.2 组批规则

带材应成批提交验收。每批应由同一合金牌号、同一熔炼炉号（子炉号）、同一交货状态、同一加工方法、同一热处理炉次和同一规格的带材组成。

10.3 判定和复验规则

10.3.1 化学成分分析结果不合格时，允许重新取样对不合格元素进行复验，复验结果仍不合格，该炉批判为不合格。

10.3.2 力学性能、弯曲性能、非金属夹杂物、晶粒度、晶间腐蚀某一检验项目不合格时，允许从该批带材（包括原取样不合格带材）切取双倍数量的试样进行该项目的复验，复验结果即使只有一个试样不合格时，该批带材应判为不合格。

10.3.3 当低倍检验不合格时，应判为不合格（缩孔残余除外）。对缩孔痕迹有规律分布的缺陷进行切除处理后，再进行复验，复验仍不合格，该批判为不合格。

10.3.4 对超声检测、尺寸、外形及外观质量检验不合格的带材，该卷带材应判为不合格。

11 质量证明书

每批带材应附有质量证明书，其内容应包括：

- a) 供方名称；
- b) 需方名称；
- c) 产品名称及合同号；
- d) 本文件号；
- e) 合金牌号；
- f) 冶炼方法；
- g) 炉号、批号；

- h) 规格、重量、卷数;
- i) 按本文件或协议、合同规定的各项检验结果 (如复验, 应包括两次检验结果);
- j) 质量检验部门印记;
- k) 出厂日期。

12 包装、运输和贮存

12.1 包装

带材包装按GB/T 247的规定进行。

12.2 运输

带材运输过程中不应损伤表面。

12.3 贮存

带材应贮存于干净整洁的环境。

附录 A
(资料性)
起草单位和主要起草人

本文件起草单位：北京钢研高纳科技股份有限公司、中广核铀业发展有限公司，安泰科技股份有限公司和中国科学院金属研究所。

本文件主要起草人：石照夏，胥国华，盛国福，丁怀博，王惠生，宋艳丽，马颖澈，鞠泉，罗俊义，陈嘉诚，张龙，李昊泽。