

钛中间合金化学分析方法
第 2 部分：碳、硫含量的测定
高频燃烧红外法

编

制

说

明

（预审稿）

西安汉唐分析检测有限公司

2026 年 7 月

钛中间合金化学分析方法

第2部分：碳、硫含量的测定

高频燃烧红外法

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

根据国家标准化管理委员会《国家标准委关于下达2026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〔2026〕10号】文件的要求，标准《钛中间合金化学分析方法 第2部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》的主编单位为西安汉唐分析检测有限公司，归口单位为全国有色金属标准化技术委员会，项目计划编号为202660423-T-610，项目周期为16个月，计划完成年限为2027年。

（二）修订背景

中间合金应用广泛，作为制作钛合金的元素添加剂。现阶段钛合金等多个行业通过使用中间合金解决了熔炼含熔点差异很大的合金时，难度过大的问题，因为预制备的中间合金要比单独一种金属的熔点低，保证添加的不同金属相熔。钛合金生产用的中间合金，因成本低、合金化均匀，目前应用广泛。因此，中间合金中的杂质如碳硫等也要满足钛合金的要求。

碳硫作为中间合金中的微量杂质元素，是影响产品质量的重要控制指标，要求其含量控制在一定范围内，在日常生产过程中精确控制其含量是保证钛合金用中间合金产品质量的关键。目前钛合金用中间合金产品中碳硫量的测定尚无相应的国家和行业标准分析方法，制定其行业标准显得尤为迫切。该项目的完成对保证产品质量有积极的指导意义。

（三）主要参加单位和工作成员及其所作的工作

1.主要参加单位及其分工

本文件起草单位：西安汉唐分析检测有限公司、广东省科学院工业分析检测中心、国标（北京）检验认证有限公司、宝钛集团有限公司、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司、钢研纳克检测技术股份有限公司、承德天大钒业有限责任公司、金川集团股份有限公司、西安诺博尔稀贵金属材料股份有限公司。

西安汉唐分析检测有限公司作为标准主编单位，在工作前期，对钛中间合金的检测需求和现阶段国内外检测方法现状进行了充分的调研和梳理，并制定了系统的研究方案。在标准制定过程中，完成了试验样品的收集和分发；完成了分析方法的研究工作；撰写了标准文件、研究报告和编制说明；完成了数据分析统计工作；广泛征求了国内同行实验室及相关企业的意见。广东省科学院工业分析检测中心为第一验证单位，在标准制定过程中对标准文件和研究报告中的各项试验参数进行了验证，同时提供了试验样品的精密度数据，对标准文件、研究报告和编制说明提出了相应的修改建议。国标（北京）检验认证有限公司、宝钛集团有限公司、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司、钢研纳克检测技术股份有限公司、承德天大钒业有限责任公司、金川集团股份有限公司为第二验证单位，在标准制定过程中对试验样品进行了测试，提供了精密度数据，并对标准文件和研究报告提出了修改意见和建议。西安诺博尔稀贵金属材料股份有限公司为第二验证单位，负责本项目试验样品的设计、选材和制备，并对标准文件和编制说明提出修改意见和建议。

2.主要参与人员及其分工

王宽负责试验的设计、分析方法的研究、监管测量的执行；张哲负责根据标准测量方法实施测量，报告测试中遇到的异常现象和困难；汪大智负责试验样品收集和分发、实验室征集、意见汇总与处理、统计数据，撰写标准文本、研究报告和编制说明。XX 主要参与人：负责验证各项试验参数，提供精密度和正确度测试数据，提出修改意见和建议。XX，负责提供精密度测试数据，提出修改意见和建议。XX，负责本项目试验样品的设计、选材和制备，提出修改意见和建议。

（四）主要工作过程

西安汉唐分析检测有限公司联合各参编单位成立了标准编制组，对标准编写工作进行了部署和分工。研究确定了技术路线和试验方案，积极开展标准验证工作和统计工作。主要工作过程经历了以下几个阶段。

1.预研阶段

2024 年 12 月，西安汉唐分析检测有限公司赴西部超导、西北有色金属研究院等相关企业进行现场调研，参观企业现场工作情况，调研了解钛中间合金的性质、生产工艺、年产量、交付要求、应用情况与检测需求，与企业技术人员讨论标准的具体技术要求。根据此次调研情况，主编单位整理完成《钛中间合金化学分析方法 第 2 部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明。

2.立项阶段

2025 年 11 月，西安汉唐分析检测有限公司向全国有色金属标准化技术委员会提交了《钛中间合金化学分析方法 第 2 部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料，全体委员会议论证为同意国家标准立项。由秘书处组织委员投票，投票通过后转报国家标准化管理委员会，并挂网向社会公开征求意见。

2022 年 7 月，国家标准化管理委员会下达《国家标准化管理委员会关于下达 2022 年第二批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》文件通知，正式下达标准制定任务。项目计划编号为 20220745-T-610，项目周期为 22 个月，计划完成年限为 2024 年，归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

3.起草阶段

（1）任务落实

2025 年 11 月 10 号-13 号，在杭州举办的全国有色金属标准化技术委员会及各分技术委员会年会上，形成《钛中间合金化学分析方法 第 2 部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》标准任务落实会议纪要。会上确定了该标准由西安汉唐分析检测有限公司牵头制定，XX 为第一验证单位，XX 公司、XX 公司、XX 公司为第二验证单位。明确了项目所采用的分析方法及其测定范围，同时确定了试验样品制备单位、进度安排等事项。

（2）样品收集及试验研究

2025 年 2 月，西安汉唐分析检测有限公司根据市场上钛中间合金的生产和应用情况，开展试验样品的设计、选材和制备，完成分析方法样品的收集工作。

2025 年 3 月~8 月，西安汉唐分析检测有限公司开展了大量的系统性试验研究，包括样品的称量、助熔剂、分析功率、标准物质试验研究、方法检出限和定量限的试验研究、精密度和正确度的试验研究，形成《钛中间合金化学分析方法 第 2 部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》讨论稿 1 和研究报告。

（3）试验验证

2026 年 7 月，西安汉唐分析检测有限公司将《钛中间合金化学分析方法 第 2 部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》讨论稿 1 研究报告和验证样品寄给一验单位，组织开展方法的条件试验、检出限和定量限试验、精密度试验和正确度试验。根据一验的反馈意见和建议，优化实验步骤，形成《钛中间合金化学

分析方法 第2部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》讨论稿2。

2026年X月，西安汉唐分析检测有限公司将《钛中间合金化学分析方法 第2部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》讨论稿2、研究报告和验证样品寄给XX公司、XX公司、XX公司、XX公司。

2026年X月，西安汉唐分析检测有限公司将陆续收到了验证单位的研究报告及反馈意见，将意见进行汇总处理，对精密度试验数据进行统计和分析，对标准讨论稿、研究报告进行修改完善，形成《钛中间合金化学分析方法 第2部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》讨论稿3及其编制说明。

（4）标准讨论会

2026年4月21日~24日，全国稀有金属标准化技术委员稀有金属分标委在重庆召开《钛中间合金化学分析方法 第2部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》标准讨论会。来自有色金属技术经济研究院有限责任公司、宁夏东方钽业股份有限公司、广东省科学院工业分析检测中心、国标（北京）检验认证有限公司、宝钛集团有限公司、国合通用测试评价股份公司、金堆城钼业股份有限公司、西部新锆核材料科技有限公司、西部超导材料科技股份有限公司、承德天大钒业有限责任公司、新疆湘润新材料科技有限公司等30余名代表参会。主编单位对《钛中间合金化学分析方法 第2部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》的项目背景、研究进展、试验过程及结果等编制说明情况进行了汇报，与会专家代表对本标准文件进行了审阅和讨论，并提出了宝贵意见。

会议结束之后，标准编制组根据讨论结果，对讨论稿3进一步修改完善，形成了《钛中间合金化学分析方法 第2部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》征求意见稿及其编制说明。

4.征求意见阶段

（1）标准在线征求意见

编制组通过发函、中国有色金属标准质量信息网上公开和会议等形式对《钛中间合金化学分析方法 第2部分：碳、硫含量的测定 高频燃烧红外法》征询意见。

（2）标准征求意见会议

5.送审阶段

二、标准化文件编制原则

本标准起草过程遵循以下原则。

（一）规范性

本标准根据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》和GB/T 20001.4—2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的要求进行编写的；并按照GB/T 6379.2—2004《测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）第2部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法》进行试验设计和数理统计分析。

（二）先进性

钛中间合金应用广泛，作为制作钛合金的元素添加剂。现阶段钛合金等多个行业通过使用中间合金解决了熔炼含熔点差异很大的合金时，难度过大的问题，因为预制备的中间合金要比单独一种金属的熔点低，保证添加的不同金属相熔。钛合金生产用的中间合金，因成本低、合金化均匀，目前应用广泛。因此，中间合金中的杂质如碳硫等也要满足钛合金的要求。

碳硫作为钛中间合金中的微量杂质元素，是影响产品质量的重要控制指标，要求其含量控制在一定范围内，在日常生产过程中精确控制其含量是保证钛合金用中间合金产品质量的关键。目前钛合金用中间合金产品中碳硫量的测定尚无相应的国家和行业标准分析方法，制定其行业标准显得尤为迫切。该项目的完

成对保证产品质量有积极的指导意义。

（三）适用性

本标准适用于钛中间合金碳硫含量的测定。根据目前行业实际生产、应用情况以及相关检测需求，测定范围为碳：0.005%~0.10%，硫：0.005%~0.020%。

（四）合规性

充分考虑国家法律、安全、卫生、环保法规的要求。

三、标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况

本标准为新标准制定。主编单位主要对测定范围、样品的称量、助熔剂、分析功率、标准物质试验研究、方法检出限和定量限的试验研究、精密度和正确度的试验研究。XX 作为一验单位按照研究报告对各项试验参数进行了确认。XX 公司进行了精密度试验。主编单位对验证单位测定结果进行数据统计，确定了方法的重复性限和再现性限。

（一）测定范围

规定了钒铝、钼铝等钛中间合金中碳、硫量的测定方法。

适用于钒铝、钼铝等钛中间合金中碳、硫量的测定。碳测定范围：0.003%~2.0%，硫测定范围：0.005%~0.020%。

编制组成员对本标准测定范围无异议。

（二）称样量

试样的称样量由材料性质、熔化的难易程度而决定。本试验选择以上试样在不同的称样量下分别进行试验，结果见表 1。

表 1 称样量的选择

称样量(g)	碳测定结果 %	硫测定结果 %	试样的熔融情况
0.30	0.017	0.003	熔融物平展
0.40	0.017	0.004	熔融物平展
0.50	0.018	0.003	熔融物平展
0.60	0.016	0.002	熔融物有凸起

由表 2 可知，称取试样样量在 0.30 g~0.60g 之间时，结果波动不大，试样的熔融效果好。

（三）助熔剂选择的确定

目前，分析用助熔剂主要有钨粒，钨锡助熔剂（LECOCEL II），锡粒等，添加剂为纯铁助熔剂（LECO501-077），分别以钒铝合金、钼铝合金进行试验，结果见表 2。

表 2 助熔剂及铁屑的条件实验

	试样熔融情况	
助熔剂的选择	钒铝合金	钼铝合金
锡粒 0.5g	未融，样品基本无变化	未融，样品基本无变化

锡粒 0.5g 打底，再覆盖 1.0g 锡粒	熔融不完全，峰形呈锯齿状	熔融不完全，峰形呈锯齿状
锡粒 1.0g	熔融不完全	熔融不完全
钨粒 1.5g	灰尘大，且熔融不完全	灰尘大，且熔融不完全
纯铁（屑状）0.5g+锡粒 1.0g	熔融不完全，多峰，喷溅	熔融不完全，多峰，喷溅
纯铁（屑状）0.5g+钨粒 1.5g	熔融，但熔融物表面无金属光泽，结果重复性差	融，但熔融物表面无金属光泽，结果重复性差
锡粒 0.3g+钨粒 1.5g	熔融不完全	熔融不完全
纯铁（屑状）0.5g+锡粒 0.3g+钨粒 1.5g	样品基本熔融，峰形好，重复性不是很好	样品熔融基本完全，峰形好，重复性不是很好
钨锡（LECOCEL II）1.0g	样品熔融不完全	样品熔融不完全
纯铁（屑状）0.5g+钨锡（LECOCEL II）1.0g	样品熔融完全，峰形好，结果重复性好	样品熔融完全，峰形好，结果重复性好

由上表可知钨锡助熔剂在添加了纯铁后较之其他助熔剂更易氧化熔烧，燃烧过程产生较高的热量，钒铝、钼铝合金为高温难熔金属，在高频磁场中感应性较弱，本方法选用的助熔剂为钨锡（LECOCEL II）助熔剂，加入纯铁(LECO 501-077)助熔剂以增加感应耦合，钒铝、钼铝中间合金在高温富氧状态下瞬时燃烧，使碳硫释放生成二氧化碳和二氧化硫。

（四）分析功率

分析功率的大小，直接影响着样品的熔融效果、喷溅及对炉头的保护，因此选择合适的分析功率以保证样品中的碳能够完全释放又能减少喷溅，降低对炉头的损耗也很关键。本实验选用 CrMoVAI 合金来分析功率大小对试验的影响，结果见表 3。

表 3 分析功率的选择

样品名称	炉子功率（%）	碳测定值（%）	硫测定值（%）	熔融情况
CrMoVAI	70	0.016	0.002	少量不熔融
	80	0.017	0.004	熔融
	90	0.018	0.004	熔融
	100	0.017	0.004	熔融

由表 3 可知，分析功率在 80%以上样品已能完全熔融，在本方法中选择功率为 90%。

（五）空白试验、检出限、测定下限的确定

空白值的来源主要有载气的纯度、坩埚的质量、助熔剂的质量等。对坩埚、助熔剂进行测定，按试验选择的最佳测定条件连续分别测定坩埚、助熔剂 11 次，计算其标准偏差 SD，以 3 SD 所对应的浓度为检出限，10 SD 相对应的浓度值作为分析方法的测定下限，见表 4 碳检出限及测定下限试验。

表 4 空白试验

测定值（%）	平均值（%）	标准偏差 SD（%）	检出限	测定下限
0.000490,0.000483,0.000498,0.000508,0.000526,0.000475,0.000484,0.000535,0.000507,0.000565,0.000495	0.000506	0.000027	0.000081	0.00027

从表 4 结果看出，在试验选择的条件下，坩埚、纯铁、钨锡中碳空白值低且稳定，能满足方法中测定

下限 0.005%的要求。

（六）精密度试验

按实验确定的最佳方法对16批不同碳硫含量的试样进行7次独立测定,计算其平均值、标准偏差、相对标准偏差,其测定数据见表7。

由表8数据可知,所测定的结果稳定,分析精度好。

表 7 方法的精密度

序号	样品名称	测定次数 (n=7)																	
	次数	1		2		3		4		5		6		7		平均值/%		RSD/%	
	元素	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
1	V55Al	0.0208	0.000624	0.020 6	0.000488	0.0204	0.000593	0.0201	0.000634	0.020 9	0.000625	0.0198	0.000614	0.0211	0.000556	0.0205	0.000590 6	2.2	8.9
2	Mo64AL	0.0041 5	-0.00030 9	0.004 19	-0.00032 7	0.0047 3	-0.00126	0.0048 1	-0.00022 2	0.004 42	-0.00039 2	0.0053 0	-0.00029 6	0.0050 8	-0.00006 24	0.0046 7	-0.000247 7	9.4	47.5
3	AN70AL	0.0208	0.000273	0.021 9	0.000186	0.0203	0.000226	0.0213	0.000363	0.020 7	0.000116	0.0215	0.000042 0	0.0199	0.000051 3	0.0209	0.000179 6	3.3	65.9
4	Cr70AL	0.0007 12	0.000593	0.001 23	0.000808	0.0009 26	0.000227	0.0006 60	0.000517	0.001 70	0.00131	0.0008 67	0.00108	0.0008 04	0.000818	0.0009 87	0.000765 5	37. 2	47.3 2
5	ALMn60	0.0057 4	0.0101	0.005 06	0.00776	0.0055 8	0.00697	0.0067 4	0.00412	0.005 41	0.00524	0.0053 2	0.00561	0.0059 8	0.00714	0.0056 9	0.006709	9.7	29.3
6	Fe60AL	0.0171	0.000287	0.021 2	0.000391	0.0195	0.000493	0.0142	0.000081 6	0.019 1	0.000243	0.0178	0.000305	0.0182	0.000342	0.0181	0.000306 2	12. 1	41.8
7	Ta60AL	0.0043 2	0.000099 0	0.003 03	0.000040 5	0.0051 1	0.000131	0.0038 3	0.000094 6	0.007 97	0.000108	0.0063 7	0.000127	0.0075 5	0.000463	0.0054 6	0.000152 0	34. 7	92.3
8	W50AL	0.0093 6	0.000049 4	0.012 4	0.000073 7	0.0166	0.000176	0.0143	0.000206	0.011 2	0.000086 5	0.0166	0.000272	0.0133	0.000129	0.0134	0.000141 8	20. 1	56.6
9	VALFe	0.0037 1	0.00322	0.003 54	0.00418	0.0046 8	0.00377	0.0028 4	0.00204	0.004 65	0.00517	0.0035 2	0.00388	0.0039 6	0.00294	0.0038 4	0.003600	17. 1	27.6
10	Mo42VAL	0.0038 5	0.000979	0.004 45	0.000867	0.0036 4	0.00103	0.0048 2	0.000816	0.003 47	0.000771	0.0038 4	0.00101	0.0040 0	0.000828	0.0040 1	0.000899 9	11. 8	11.5 3
11	AL46MoW Ti	0.0764	0.000187	0.042 0	0.000324	0.0376	0.000125	0.0335	-0.00065 7	0.036 4	-0.00053 6	0.0484	-0.00048 6	0.0432	-0.00068 8	0.0454	-0.000247 2	32. 0	177. 5

12	Cr38MoVAL	0.0167	0.00281	0.0168	0.00335	0.0177	0.00302	0.0192	0.00363	0.0186	0.00361	0.0179	0.00358	0.01756	0.003771	0.0178	0.003396	5.2	10.5
13	ALNb30Ta30	0.00585	-0.000483	0.0184	-0.000630	0.00632	-0.00745	0.0105	-0.000590	0.00775	-0.000642	0.0141	-0.000495	0.01083	-0.00046	0.0105	-0.0005781	42.8	17.87
14	AL8V14Sn5Fe5Cu	0.0330	-0.0000588	0.0454	-0.000166	0.0301	-0.000118	0.0465	-0.000175	0.0389	-0.000168	0.0360	-0.000186	0.0297	-0.000328	0.0383	-0.0001451	17.3	33.3
15	Ti50Si	0.00608	-0.0000115	0.00464	-0.0000142	0.00490	-0.0000145	0.00564	-0.0000399	0.00566	-0.0000521	0.00439	-0.0000510	0.00600	-0.0000766	0.00533	-0.00003710	12.7	66.7
16	Sn80Ti	0.00864	0.0000566	0.0114	0.0000538	0.0102	0.000112	0.0116	0.000112	0.0141	0.000106	0.0105	0.000153	0.0115	0.000103	0.0111	0.00008748	15.0	48.8

（八）结论

以上试验结果表明：称取 0.4 g 合金样品，放入助熔剂，在瓷坩埚中熔融，以标样进行仪器校准，可实现高频燃烧-红外吸收法对合金中碳硫含量的测定。经仪器比对和实验室比对，说明了方法的准确性。高频燃烧-红外吸收法测定钛合金用中间合金中碳硫的分析方法，结果令人满意，因此推荐为分析方法标准。

四、标准中涉及专利的情况

本文件不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益等情况

（一）项目的必要性简述

碳硫作为中间合金中的微量杂质元素，是影响产品质量的重要控制指标，要求其含量控制在一定范围内，在日常生产过程中精确控制其含量是保证钛合金用中间合金产品质量的关键。目前钛合金用中间合金产品中碳硫量的测定尚无相应的国家和行业标准分析方法，制定其行业标准显得尤为迫切。该项目的完成对保证产品质量有积极的指导意义。

（二）项目可行性简述

中间合金应用广泛，作为制作钛合金的元素添加剂。现阶段钛合金等多个行业通过使用中间合金解决了熔炼含熔点差异很大的合金时，难度过大的问题，因为预制备的中间合金要比单独一种金属的熔点低，保证添加的不同金属相熔。钛合金生产用的中间合金，因成本低、合金化均匀，目前应用广泛。因此，中间合金中的杂质如碳硫等也要满足钛合金的要求，具有重要的社会效益。

（三）标准的预期作用

标准充分考虑了我国钛中间合金生产企业和使用加工企业的生产工艺技术水平。根据实际需求进行了大量相关试验，最终形成了本标准。本标准操作简便、快速，分析结果准确、可靠，代表了我国在钛中间合金检测领域的最高水平。本标准颁布执行后，有利于生产采用统一的分析方法开展产品质量检验工作，有利于市场公平交易环境的形成，具有较大的社会效益。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

（一）采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，国外无相同类型的国际标准。

（二）国际、国外同类标准水平的对比分析

经查，国外无相同类型的国际标准。

（三）与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

无。

（四）标准水平分析

本标准的建立提升了检测效率，有利于生产单位生产效率的提高，标准总体达到了国内先进水平。

七、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。

本文件与现行标准及制定中的标准无重复交叉情况。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

编制组严格按既定编制原则进行编写，本文件起草过程中未发生重大的分歧意见。

九、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准为推荐性国家标准，供相关组织参考采用。

十、公平竞争审查

经审查，该标准没有违反《公平竞争审查条例》和《公平竞争审查条例实施办法》，符合公平竞争要求。

十一、贯彻标准的要求和措施建议

本文件规范了钛中间合金中碳硫元素的测定，有利用整个行业分析水平的提升，为钛中间合金大规模生产及使用提供了质量保证。本文件发布执行后，建议标准主管单位积极向生产厂家及国内外用户推广。

十二、废止现行有关标准的建议

本文件为新制定文件，无废止其它标准的建议。

十三、其他应予说明的事项

无。