

硬质合金直线往复磨损试验方法 编制说明

(预审稿)

编制单位：株洲硬质合金集团有限公司

编制时间：2025 年8月

行业标准《硬质合金直线往复磨损试验方法》编制说明

一 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2024年第六批行业标准制修订计划的通知工信厅科函〔2024〕503号文件要求，行业标准《硬质合金直线往复磨损试验方法》的制订工作由株洲硬质合金集团有限公司负责牵头，项目编号2024-2123T-YS，项目完成年限为2025年12月。

1.2 方法简介

硬质合金具有高硬度、高耐磨性的特性，广泛应用于切削、矿山、模具、耐磨零件等行业。作为一种耐磨材料，硬质合金的耐磨性评价非常有必要，通过对硬质合金的耐磨性研究进而深入地全面地研究硬质合金的磨损机理，获得硬质合金的磨损规律，可以预测环境改变时，材料耐磨性的变化，指导新型硬质合金的研发与应用。

目前关于材料的耐磨性表征，应用广泛的测试方法有三种：落砂试验、环块试验、销/盘试验，其中销盘试验又分为旋转法和直线往复法。这几种试验方法试验装置和力学结构都完全不一样。

本方法采用销/盘+直线往复试验结构，考察了多种对磨材料，最终确定以球形 Al_2O_3 对磨材料作为销，硬质合金试样为盘的摩擦方式，并针对硬质合金的特点将各项参数以及操作过程进行具体化。

1.3 起草单位情况

1.3.1 株洲硬质合金集团有限公司

株洲硬质合金集团有限公司是国家“一五”期间建设的156项重点工程之一。主要生产金属切削工具、矿山及油田钻探采掘工具、硬质材料、钨钼制品、钽铌制品、稀有金末制品等六大系列产品。公司目前下设7个产品专业事业部、2个生产厂、5家控股子公司，是国内最大的硬质合金生产、科研、经营和出口基地，被湖南省认定为“十大标志性工程”企业，产品国内市场占有率30%左右，并销往世界70多个国家和地区。“钻石牌”硬质合金于2007年被国家技术监督局评为“中国名牌”产品。公司拥有较强的技术创新能力。拥有国家级技术中心、分析测试中心、硬质合金国家重点实验室和具有国际先进水平的研发中心，承担了多项国家重大专项。

株硬集团分析测试中心作为硬质合金全国重点实验室重要组成部分，拥有业内一流的成分分析、合金制品性能测试以及使用性能测试的分析测试设备以及行业内具体较高声誉的测试及科研团队。先后引进国外先进的原子吸收分光光度仪、电感耦合等离子质谱仪、直流电弧全谱直读光谱仪、高频红外碳硫仪、氧氮氢分析仪、高碳分析仪等元素分析仪器，以及激光粒度分布仪、比表面测试仪、平均粒度测试仪、全自动费氏粒度分析仪、矫顽磁力计、磁饱和测试仪、洛氏硬度

计、维氏硬度计、金相显微镜、扫描电子显微镜、电子背散射衍射仪（EBSD）、X 射线能谱仪、X 射线衍射仪、差热分析仪、静态机械热分析仪、导热系数以及弹性模量等性能测试及研究仪器。

分析测试中心1997年通过国家检验检疫局的实验室认可，2004年正式通过了中国合格评定国家认可委员会的实验室认可。挂靠的“中国有色金属工业硬质合金质检站”于1989年通过国家质量技术监督局组织的计量认证。挂靠的“湖南省有色加工材质量监督检验授权站”于1987年通过了湖南省技术监督局的计量认证和审查认可。2010年成为国家科技部“硬质合金国家重点实验室”的分析检测平台。2012年12月26日正式被国家工业和信息化部批准为“工业（硬质合金及钨制品）产品质量控制及技术评价实验室”。

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支持帮助。由株洲硬质合金集团有限公司、国合通用测试评价认证股份公司等单位一起提供样品的数据验证。

标准主要起草人及分工见下表。

表1 起草单位、起草人及承担工作

序号	起草单位	起草人	承担工作
1			负责标准数据调研及收集整理、标准起草工作
2			负责标准审核、协调工作
3			参与标准数据调研、起草、协调工作
4			参与调研、验证、标准审核工作
5			负责标准审核、协调工作
6			参与标准起草，提供相关数据验证
7			参与标准起草，提供相关数据验证
8			参与标准起草，提供相关数据验证

1.5 主要工作过程

1.5.1 立项阶段

2022年11月，株洲硬质合金集团有限公司向全国有色金属标准化委员会提交《硬质合金直线往复磨损试验方法》的标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料，全体委员会论证结论为同意标准制订申报。

2024年根据工业和信息化部办公厅关于印发2024年第六批行业标准制修订计划的通知工信厅科函〔2024〕503号文件要求，行业标准《硬质合金直线往复磨损试验方法》的制定工作由株洲硬质合金集团有限公司负责牵头，项目编号2024-2123T-YS，项目完成年限为2025年12月。

1.5.2 起草阶段

2024年10月，株洲硬质合金集团有限公司接到行业标准《硬质合金直线往复磨损试验方法》制定任务后，立即组织相关技术人员成立了标准编制组，并联合标准参编单位开始进行标准起

草工作，收集相关的标准资料，查阅相关国内标准，并对资料进行了全面的分析与讨论。

2024年11月～2025年3月，株洲硬质合金集团有限公司与参编单位经过讨论制定了初步试验方案，形成了本标准《硬质合金直线往复磨损试验方法》的讨论稿。

2025年4月～2025年5月，株洲硬质合金集团有限公司对分析方法的各项测量条件进行了试验，确定最终的分析条件，完成了验证试验，形成了本标准《硬质合金直线往复磨损试验方法》的编制说明。

1.5.3 征求意见阶段

2025年6月19日，全国有色金属标准化技术委员会在新疆石河子市召开标准工作会议，来自国合通用测试评价认证股份公司、成都美奢锐新材料有限公司及中南大学等单位代表对本标准讨论稿进行了认真、细致的讨论，提出了修改意见和建议，编制组根据修改意见进行修改，形成了本标准的征求意见稿和编制说明。

2025年8月15日至2025年10月30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。

1.5.4 审查阶段

1.5.5 报批阶段

二、标准的编制原则、主要内容与论据

2.1 标准的编制原则

2.1.1 符合性：本着与时俱进、切合实际、合理利用资源、促进科技进步、促进产业升级与产品结构调整、满足市场需要和供需双方公平受益、获取最大社会综合效益的基本原则。文件严格按照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》、GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》、GB/T 6379.2-2004《测量方法与结果的准确度》的要求进行了编写。

2.1.2 合理性：反映当前国内各相关企业的生产检测技术水平，宜于应用，经济上合理。

2.1.3 先进性：本文件涉及的内容，技术水平不低于当前国内先进水平。通过本标准的制定，促进国内外生产企业和相关行业的技术进步以及硬质合金耐磨性的检测起到积极作用。

2.2 标准的主要内容与论据

2.2.1 对磨副材料的选择

本方法的力学结构决定了对磨副选择为球形材料更为合适，球形材料可以保证每次试验的点面接触条件的一致性。标准编制组考察了三种材料：球形 Al_2O_3 ，球形SiC以及表面曲率为0.2mm的金刚石（洛氏硬度压头）。

2.2.1.1 金刚石压头

金刚石压头作为对磨副材料，其优点是硬度超高，可以覆盖所有硬质合金牌号的测试，表1为使用金刚石压头与某牌号合金对磨的试验数据，其磨痕深度随载荷增加而增加，但从磨痕形貌（见图1，图2）来看，使用小力值时，磨痕容易发生偏转而造成磨痕形状为波浪形，这实际上是增加了往复行程。将载荷增大到30N磨痕才能保持线性，但单次磨损试验即可造成压头严重磨损，如单次测试耗费一个压头，那么试验的成本将非常高，测试方法没有经济性。

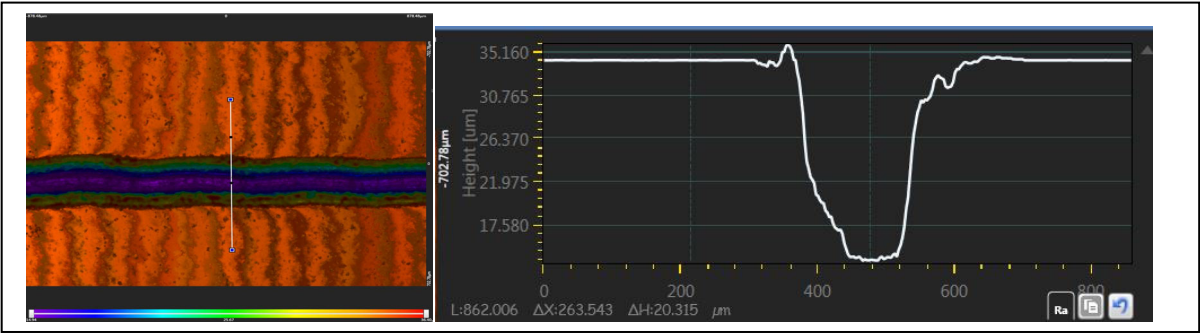


图1金刚石对磨材料，载荷5N

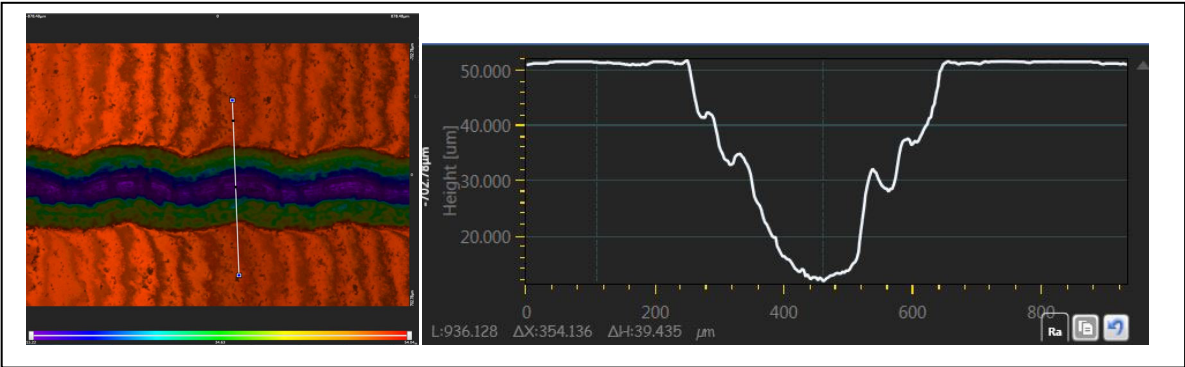


图2金刚石对磨材料，载荷10N

表1 金刚石压头磨损试验数据

载荷 (N)	磨痕最大深度 (μ m)	磨痕形状	压头磨损情况
5N	20. 0	波浪形	轻微
10N	39. 4	波浪形	轻微
15N	47. 1	波浪形	较大

30N	79.5	直线形	严重
-----	------	-----	----

2.2.1.2 球形 Al_2O_3

Al_2O_3 球作为轴承滚珠其应用广泛，较易采购，测试成本经济性好。其规格为9.5mm（英制单位3/8英寸），其洛氏硬度为92HRA，可以对大部分硬质合金材料进行有效磨损（能被准确测到磨痕体积的磨损），见表3及图3。但对硬度超过90HRA的材料则很难形成有效磨损，即便将载荷加大到300N其磨痕仍然很浅，不到1微米，后续使用白光干涉仪测磨痕体积时，测得误差非常大（见表2及图4）。故此材料不适用于评估洛氏硬度超过90HRA的硬质合金的耐磨性能。

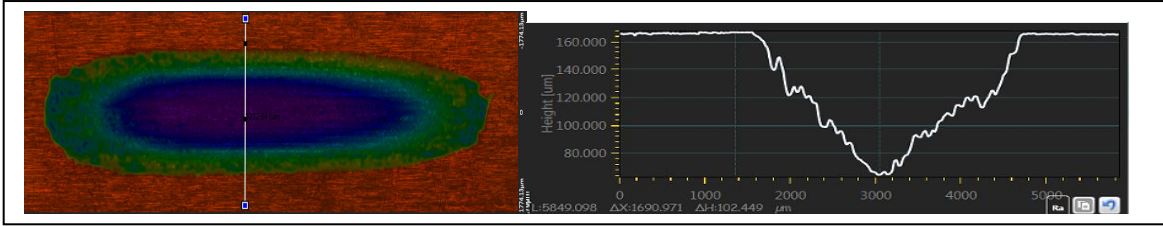


图3某牌号合金（89.7HRA）磨痕形貌及截面轮廓，载荷150N

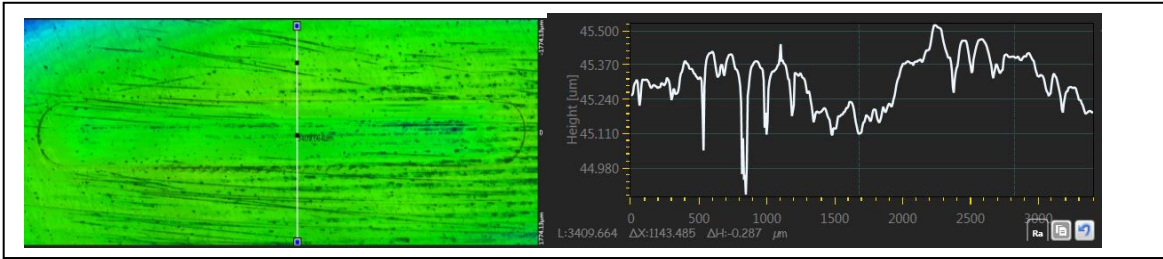


图4某牌号合金（92.6HRA）磨痕形貌及截面轮廓，载荷300N

表2 磨痕体积计算

某合金HRA92.6	磨痕体积 mm^3	相对误差
测量1	0.00184	45%
测量2	0.001002	

表3 磨痕体积计算

某合金HRA89.7	磨痕体积 mm^3	相对误差
测量1	0.5449	3.7%
测量2	0.5655	

2.2.1.3 球形SiC

球形SiC材料同样易于获得，价格便宜，其硬度值为91HRA，其本身耐磨性能较 Al_2O_3 略差，使用9.5mmSiC球对2.1.2所述合金进行同参数条件下进行磨损试验后，白光干涉仪所测到磨痕如图5，其磨痕较 Al_2O_3 对磨材料所致磨痕更浅，几乎无法测出，故球形SiC材料适用范围比 Al_2O_3 更小。

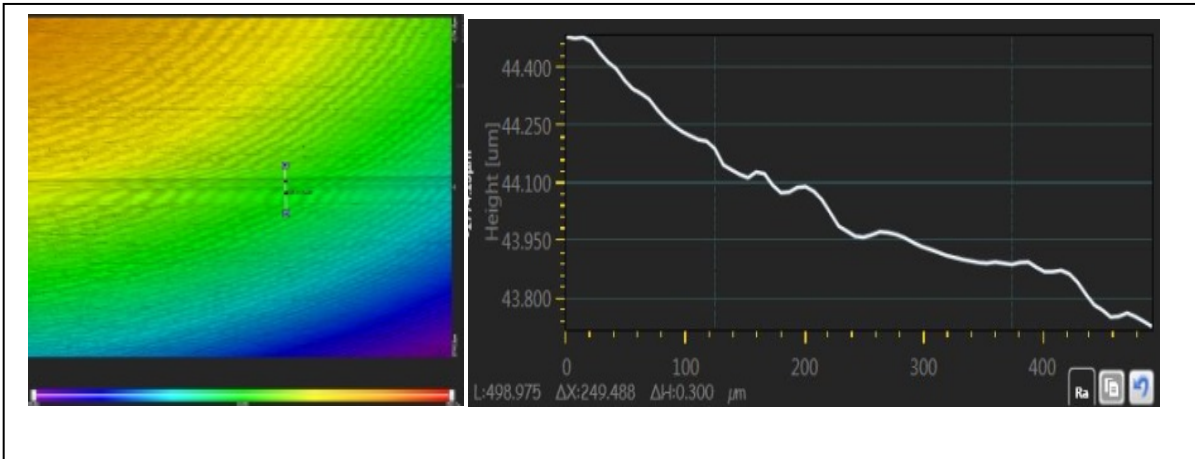


图5 合金（92.6HRA）与球形SiC磨损试验后形貌及磨痕截面轮廓

综上所述，标准编制组确定采用9.5mm规格 Al_2O_3 球作为本标准磨损试验的对磨材料，并将适用范围确定为洛氏硬度HRA不大于90HRA的硬质合金（包括钢结合金）。

2.2.2 试验过程

2.2.2.1 试样要求

试样尺寸的规定是为了适应试样的夹持以及在同一个试样上能有足够的空间进行三次以上的试验。因试验过程中由于氧化铝球夹持不稳或试样夹持不稳，容易导致试验失败，需重新进行试验，故样品尺寸宜有足够空间进行三次试验。

试样初始表面粗糙度极大地影响整个摩擦试验的结果，为了减少最终磨痕体积的波动，统一了试样的初始表面粗糙度为 $0.2\text{ }\mu\text{m} < \text{Ra} \leq 0.4\text{ }\mu\text{m}$ ，在这个粗糙度范围内，更便于三维白光干涉调干涉纹路，通过200目砂轮精磨即可满足要求。

平行度的要求首先是确保试样磨痕两端的受力角度一致，其次便于调整光学干涉镜头与样品表面的角度差，样品上下表面不平行将导致角度过大则无法进行干涉拼接成像。

2.2.2.3 试验步骤

当试验由于各种原因被中断时，重新试验的接触点不能保证在原来的位置，并且由于氧化铝球表面也有一定的磨损，造成接触面点形状发生改变，故而应舍弃未完成的试验，重新进行一次全新的试验。

对磨副材料是 Al_2O_3 球，为了确保每一次试验的初始状态是一致的，每一次试验可以选择全新的球进行试验，也可以选择通过转动 Al_2O_3 球得到一个新的接触面，这样更节省材料。

2.2.2.4 试验参数

试验参数的确定原则为将磨痕体积控制在合理的范围内，即高耐磨的样品产生的小磨痕能被白光干涉仪准确测到体积，同时使低耐磨性牌号合金产生的磨痕不至于过大，超过白光干涉仪的测量范围。

2.2.2.4.1 往复行程

往复行程更大则整个试验结构更稳定，白光干涉仪的2.5X镜头单个视场面积为 $4.5\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ ，

如使用单个视场测试则只能使往复行程小于3mm，而过小的往复行程使得试验过程变得不稳定，图6为同一样品设置往复行程为2mm时的两次试验，可以看到两次试验产生的磨痕有明显差异。故需要加大行程，使用三维白光干涉的拼接技术进行分段拼接，考虑到行程过大会又会增加白光干涉拼接的难度，并且需要的时间也将成倍增长。所以标准编制组经综合考虑将往复行程确定为10mm，磨损试验后使用白光干涉仪进行三段拼接，图7为耐磨性较差的合金样品10mm行程磨损试验的磨痕拼接后的形貌与截面轮廓图，由于其磨痕深度和宽度均较大，白光干涉扫描成像及拼接耗时30分钟左右。可知设置10mm行程可以得到满意的拼接数据。

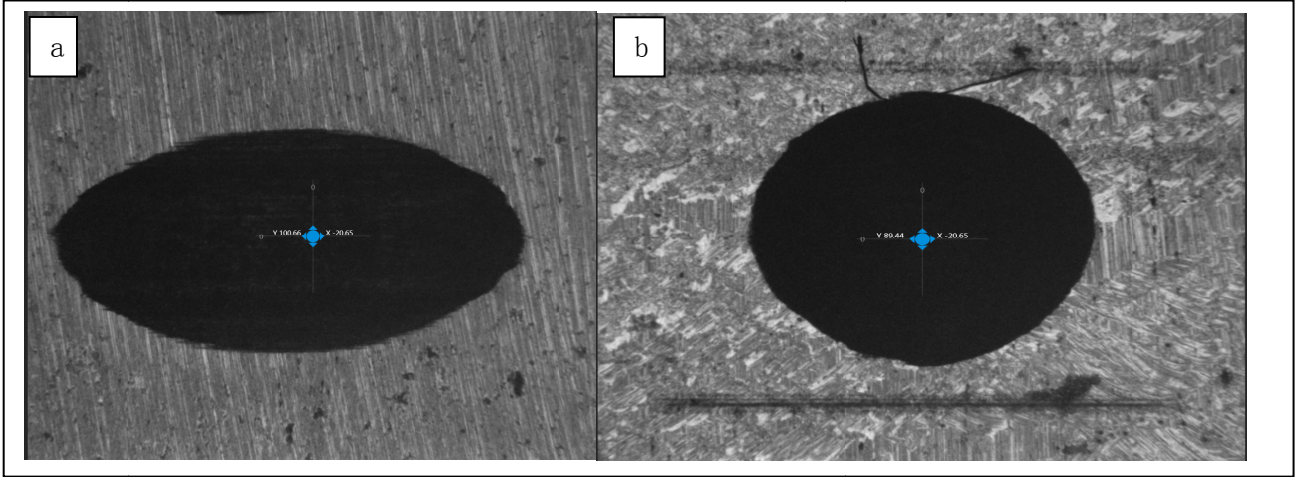


图6 （a），（b）为同一样品2mm往复行程条件下两次试验磨痕形貌

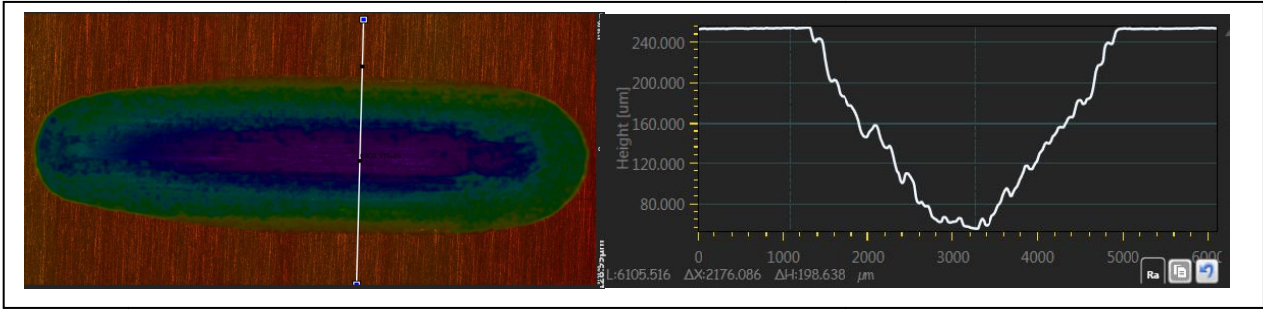


图7 低耐磨性合金（80HRA）磨痕形貌及截面轮廓

2.2.2.4.2 往复频率

往复频率太低则试验时间大幅延长，往复频率过高则摩擦试验进行太剧烈，数据重复性差，而且试样和对磨副发热明显，噪音巨大，试验结构容易失稳。编制组对分别进行了2Hz频率和5Hz频率下试验结果的对比，见表4。

表4 不同频率磨损量结果重现性对比

参数	序号	磨损量	平均值	相对误差
150N5hz	1	1.569	1.312	19.6%
	2	1.054		19.7%
	3	1.314		0.2%
150N2hz	1	2.974E-1	3.009E-1	1.2%
	2	3.035E-1		0.8%
	3	3.018E-1		0.3%

由表4可知频率为2Hz时三次结果重现性明显优于5Hz，试验产生的噪音也相对较小。故将往复频率确定为2Hz。

2.2.2.4.2 载荷

试验使用的载荷P的确定同样基于将磨痕的产生控制在合理的范围内的原则，并且当载荷过大时，整个试验结构容易发生失稳，造成样品移位或者球形对磨材料发生移动，导致试验失败率高。同时当载荷超过100N时，试验将产生较大的噪音，超过200N时其产生的噪音让操作人员无法忍受。图8-图12分别为载荷设定为30N、50N、100N、150N及200N时三维白光干涉仪测得的形貌图，可以看出载荷P过小难以形成足够的磨损量，载荷过大则形貌拼接难度加大导致拼接质量差。故编制组将试验载荷确定为150N，既能使高硬度高耐磨样品产生足够的磨损量同时也避免低耐磨材料磨痕过大，噪声环境也在可以接受范围。

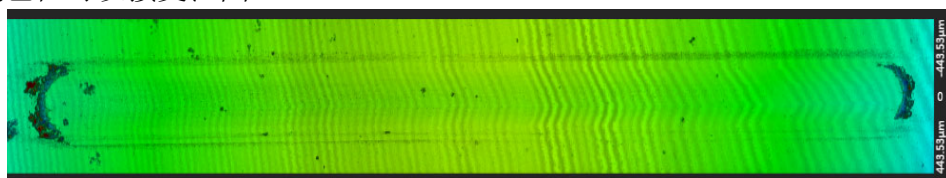


图8 载荷30N

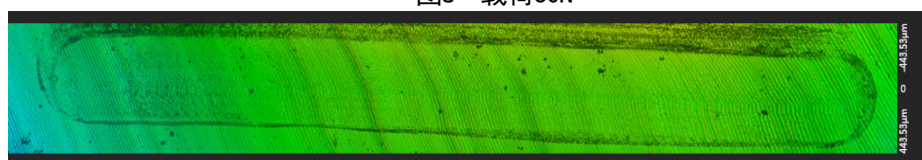


图9 载荷50N

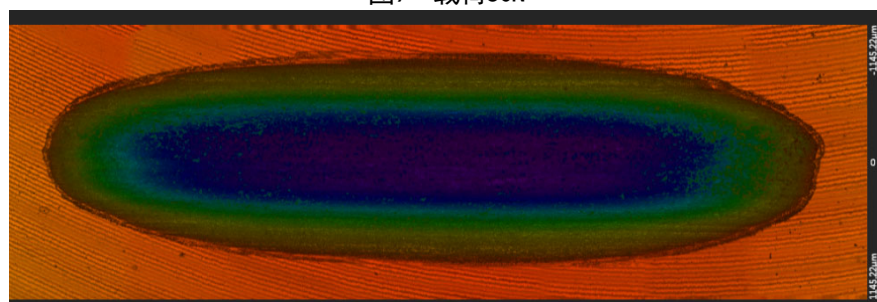


图10 载荷100N

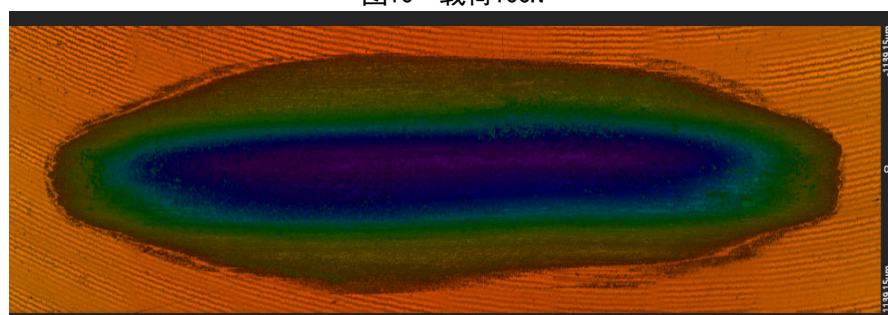


图11 载荷150N

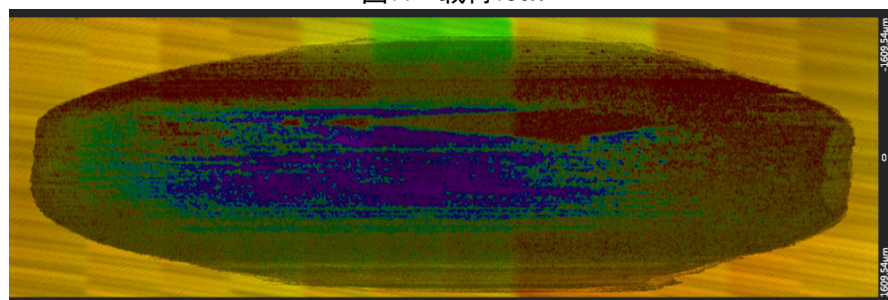


图12 载荷200N，拼接质量较差

针对参会单位代表对标准讨论稿中载荷这一参数疑似过大的意见，编制组选取洛氏硬度为88.1HRA的硬质合金重新进行了一系列试验，见表5。

表5 不同载荷的磨损试验结果

参数	试验序号	磨痕深度	磨损量	相对误差
100N-2hz-10min	1	12.0	9.808E-2	7.4%
	2	12.5	8.453E-2	
100N-2hz-30min	1	11.1	8.635E-2	13.0
	2	9.6	6.645E-2	
100N-2hz-60min	1	14.6	7.651E-2	9.2%
	2	12.5	9.195E-2	
150N-2hz-10min	1	25.6	1.045E-1	1.8%
	2	23.6	1.003E-1	2.3
	3	24.1	1.031E-1	0.5%

降低载荷为100N进行了10分钟、30分钟、60分钟两次重复试验，其结果重复性均不理想，结果波动大，并且发现30分钟试验对比10分钟试验其磨损量不升反降，即便将时间延长至60分钟其磨损量增加并不明显。由此可知降低载荷至100N对硬质合金这种超耐磨材料而言，并不合适。同时，可以看出，磨损试验进行10分钟试验的相对误差比长时间试验更优。

故编制组将载荷仍然维持为150N，其他参数优化为往复频率2Hz，试验时间10分钟，进行多次重复试验的结果波动大大减少。

2.2.3 试验结果对比

表6 不同硬度试样磨损试验测试结果对比

样品批号	HRA	序号	磨损量 (mm ³)	平均mm ³	相对误差
牌号1	89.5	1	9.814E-03	9.510E-03	3.2%
		2	9.145E-03		3.8%
		3	9.563E-03		0.6%
牌号2	88.1	1	2.356E-01	2.171E-01	8.5%
		2	2.051E-01		5.5%
		3	2.106E-01		3.0%
牌号3	84.0	1	2.974E-01	3.010E-01	1.2%
		2	3.035E-01		0.8%
		3	3.018E-01		0.3%
牌号4	80.0	1	2.374E-00	2.321E+00	2.3%
		2	2.363E-00		1.8%
		3	2.226E-00		4.1%

由表6可知，使用该方法对四种不同牌号硬质合金进行磨损试验，其结果较为可靠，方法的重复性在合理范围内。磨损量值也能准确反映了样品的实际耐磨性。

起草单位对磨损量数据验证试验结果(待补充)。

三、标准水平分析

本标准是根据我国实际情况制定的，本标准的制定适合我国国情，标准简练、操作性强。

四、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与现有及制定中的标准协调配套，无交叉重复。

经查，本标准没有涉及国内外专利。

与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

六、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。

七、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。

八、其他应予说明的事项

无

《硬质合金直线往复磨损试验方法》标准编制组
2025年8月