

# 镀铬枪管内膛的起始烧蚀行为研究

张坤, 罗耕星, 陈光南

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

严宏民

(中国兵器工业集团第 208 研究所, 北京 102202)

**摘要:** 为分析某型号机枪枪管的失效机制, 对其进行寿命射击实验。通过监测在不同寿命阶段线膛起始处烧蚀情况, 发现阴线 and 阳线在起始破坏时机和破坏方式两方面都有很大不同, 其根本原因是载荷条件和涂层剥落机制不同。

**关键词:** 枪管; 烧蚀; 涂层

**中图分类号:** TJ01    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001—4012(2005)增刊

## 1 引言

身管(枪管、炮管)内膛烧蚀寿命低下问题是兵器工业普遍存在的难题<sup>[1]</sup>。我国某新型号大口径机枪枪管原来采用电镀铬防护工艺, 寿命一直不能满足定型要求。后采用激光处理/电镀铬复合工艺后, 寿命提高了 50% 并达到定型要求。但随该型号武器应用领域的扩展, 军方提出将其寿命指标再次提高一倍的要求。为了发展新型制造工艺, 需要对该枪管失效机制进行更加系统和深入的认识。但我们以往的研究局限于对寿终枪管的最终烧蚀状态进行分析, 本文介绍了我们在烧蚀过程方面的初步实验结果, 力图掌握内膛起始烧蚀规律。

## 2 试验

选择现行定型工艺制造的枪管共 4 根并进行编号(分别为 1 号管、2 号管、3 号管和 4 号管)。1 号管和 2 号管均按现行寿命要求进行全寿命射击实验。3 号管和 4 号管作为对比样品用, 其中 3 号管进行 20% 寿命射击实验, 4 号管不进行寿命射击实验。

1 号管、2 号管、3 号管的实弹射击实验均按照国军标进行, 每次连续射击 100 发后都进行必要的冷却。在冷却周期内用自制的工业内窥镜观察、拍摄线膛起始处及前方镀铬层的剥落情况。每射击 200~300 发, 进行一次弹丸初速检测。在射击实验完成后, 4 根枪管全部沿轴向用线切割方法剖开并

用数码相机拍摄线膛起处内膛烧蚀特征。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 射击过程中阴线和阳线的烧蚀时机

图 1 为 1 号、3 号和 4 号三根枪管的轴向解剖照片。从 3 号管可以看出, 线膛起始处部分阳线沿轴向方向已发生一定长度的烧蚀, 此时阴线尚未破坏。1 号管由于进行了全寿命射击, 线膛起始处阴线和阳线均完全烧蚀, 内膛尺寸扩大, 从寿终管无法分辨阴线和阳线烧蚀的先后顺序(2 号管也是如此)。但用内窥镜在冷却周期内进行观察时发现(见表 1), 线膛起始处阳线也是先于阴线发生破坏。从表 1 还可看出, 三根射击枪管的阳线烧蚀发生的时机均较早, 约在全寿命的 12%—20% 期间内。阴线烧蚀发生的时机相对较晚, 约在全寿命的 35% 之后。

表 1 阴线和阳线烧蚀时机的统计情况

| 枪管编号 | 阴线和阳线烧蚀时机  |
|------|--|
| 1    | 12% 寿命时阴阳线均无烧蚀; 20% 寿命时有 7 根阳线烧蚀; 35% 寿命时所有阳线烧蚀(平均烧蚀长度 17mm); 54% 寿命时有 3 根阴线烧蚀(最大烧蚀长度 20mm)。 |
| 2    | 12% 寿命时阴阳线均无烧蚀; 20% 寿命时有 5 根阳线烧蚀; 35% 寿命时所有阳线烧蚀(平均烧蚀长度 12mm); 54% 寿命时有 1 根阴线烧蚀(最大烧蚀长度 22mm)。 |
| 3    | 12% 寿命时阴阳线均无烧蚀; 15% 寿命时有 1 根阳线烧蚀; 20% 寿命时 3 根阳线烧蚀; 随后射击终止。                                   |

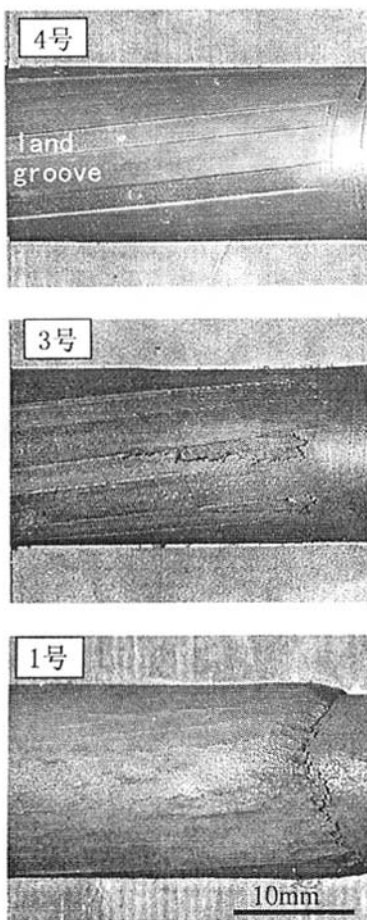


图1 射击前后内膛结构的变化

弹丸初速测试结果表明,1号和2号管在所有阳线都烧蚀的情况下(35%寿命的射弹数)初速下降都很少(1号管为0.49%,2号管为0.59%)。这是由于该型号枪管的弹丸外径尺寸与阴线内径属过渡配合,此时弹丸仍能基本填满线膛并可起到闭气作用。但当增加射弹数并有多根阴线烧蚀出现时,初速会发生明显降低,从此进一步推断阴线烧蚀对初速影响明显。

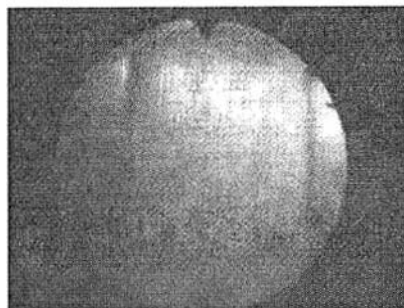
### 3.2 射击过程中阴线和阳线的破坏方式

对于有涂层身管,内膛烧蚀过程就是涂层的开裂和剥落过程。由于1号管和2号管内膛涂层破坏的发展过程基本相同,将2号管的情况给予具体说明。

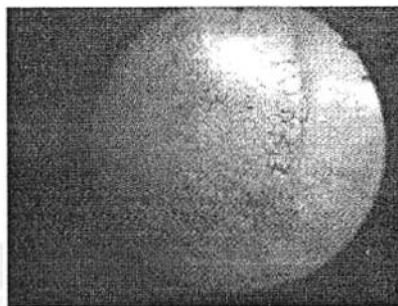
经过12%寿命的射弹数后,阴线上涂层(见图2a)和阳线上涂层均出现龟裂,且龟裂块的尺寸基本相同。一般来说,热应力、机械应力作用下涂层都可发生龟裂。但由于阴阳线所受机械应力迥然不同,

相同的龟裂块尺寸意味着龟裂起源于热应力。

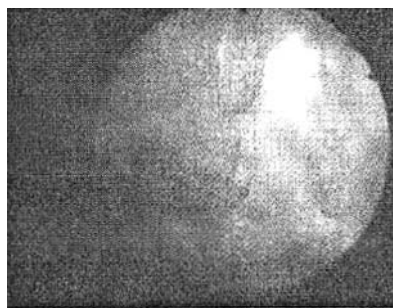
继续增加射弹数,阴阳线镀层的破坏差异逐渐显示出来。对比20%射弹数和12%射弹数的阴阳线龟裂纹宽度发现,线膛起始处阴线龟裂纹宽度基本不变,但大部分阳线龟裂纹明显加宽。由于龟裂纹加宽总是伴随着阳线的压塌(图2b),可以判断此时弹丸挤进的破坏效应体现出来。更为严重的是,部分阳线涂层已发生大面积剥落(图2c)。从暴露的基体都还未出现明显烧蚀的特征推断,阳线涂层剥落的发展过程比较迅速即表现出整体剥落行为。



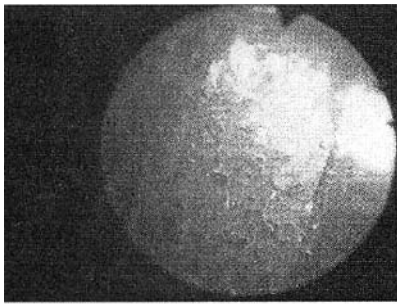
(a)12%寿命(距线膛起始处26mm)



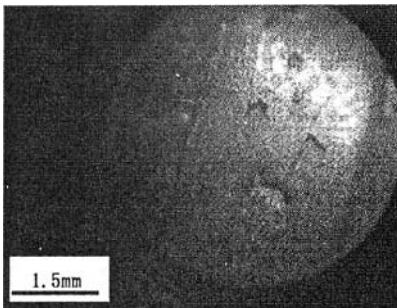
(b)20%寿命(线膛起始处)



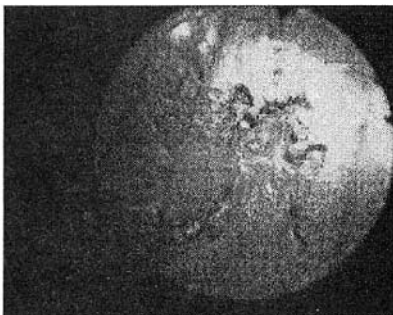
(c)20%寿命(线膛起始处)



(d)35%寿命(距线膛起始处 37mm)



(e)35%寿命(距线膛起始处 11mm)



(f)54%寿命(距线膛起始处 22mm)

图2 不同寿命阶段和不同位置处涂层的剥落行为

阳线压塌现象普遍存在,内因是其强度不足。Duke 等人证实<sup>[2]</sup>,采用软铬涂层时阳线容易压塌。本枪管采用硬铬涂层,但其高温服役时组织退化会导致硬度大幅度衰减。笔者以前在研究寿终枪管的最终失效状态时发现:① 烧蚀区前端阳线涂层表层由于发生再结晶现象而使显微硬度从射击前的 770 衰减到 270;② 该枪管由于考虑到低温性能,所选基体材质的热强性不高,后经多方工艺调整使基体初始显微硬度从原来的 325 提高到 404,阳线压塌现象得到明显抑制。但从本文工作来看,要想进一步大幅度提高寿命,需要发展热强性更好的涂层和基体材料。

当射弹数增加到 35%寿命时,阳线烧蚀进一步

加剧,具体表现除了前文所述的阳线烧蚀根数和烧蚀长度增加外,涂层剥落后暴露出的基体也出现了龟裂。而此时阴线在一定长度范围内则出现龟裂块突起(图 2d)、以龟裂块方式发生的点状剥落、点状剥落连片(图 2e)并存的三种现象,这反映了阴线涂层的剥落有一个渐进过程,这与阳线破坏迥然不同。

阴线片状剥落的报道较多。Duke 等人证实<sup>[2]</sup>,涂层界面结合强度不高和涂层较厚时容易发生。确实,本文所研究的枪管在未采用激光处理工艺前,也出现同样情况。由此看来,激光处理在提高界面结合强度上确实发挥了积极作用,从而延长了点状剥落连片的过程。但要想进一步抑制阴线破坏,需要发展新的界面强化工艺。

当射弹数达到 54%寿命时,阳线烧蚀进一步加剧,此时可以看出明显的烧蚀沟。阴线已有明显烧蚀,从烧蚀前端涂层剥落不规则的特征(图 2f)来看,阴线烧蚀是由于涂层点状剥落区域的大面积连接所致。在烧蚀后端,阴阳线烧蚀区已连通。此时阴线和阳线烧蚀的起始过程全部完成。

另外,阳线烧蚀前端虽观察不到点状剥落特征,但在 35%寿命后导转侧和非导转侧的磨损特征却十分明显,此后磨损进一步加剧。而阴线始终无磨损现象。这再次反映阴阳线所承载荷不同所导致的差异。

#### 4 结论

对某型号机枪枪管来说,在寿命初期膛线起始处的阳线即发生破坏,但对弹丸初速影响不大,随后阴线的破坏才会明显影响初速;阳线镀层和阴线镀层的破坏过程存在根本差别,前者主要是弹丸作用下的压碎性、突发性剥落,后者则存在明显的剥落渐进过程。

#### 参考文献:

- [1] 田青超,樊新民,张越,等. 镀铬衬管钢烧蚀的失效分析[J]. 机械工程材料,2000,24(3):43-46.
- [2] Duke S R, Perrin D P, Blair M A. GAU-8/A barrel life improvement program [A]. Picard J. Proceedings of the Tri-Service Gun Tube Wear and Erosion Symposium[C]. Dover: ARRADCOM, 1982; II-71-II-86.