

铝合金硬阳极化膜的耐磨试验

Wear Resistance Tests of Hard Anodic Coatings on Aluminium Alloys

刘佑厚 井玉兰 胡若莹 (北京航空材料研究院)

Liu Youhou Jing Yulan Hu Ruoying (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 评述了关于铝合金硬阳极化膜耐磨试验的三种试验方法,即轮式磨损试验法,喷磨试验法和 Taber 耐磨试验法,着重评述了 Taber 试验法的各种影响因素。

关键词 硬阳极化膜 耐磨试验

[Abstract] Three test methods for wear resistance of hard anodic coatings on aluminium alloys, which are the abrasive wheel wear test method, abrasive jet test method and the Taber abraser test method, have been reviewed in the present paper. Various influence factors for the Taber abraser test have been emphatically reviewed.

Keywords hard anodic coatings wear resistance tests

1 引言

铝合金硬阳极化膜,以膜的硬度和耐磨性作为其主要特性。和普通阳极化膜相比,硬阳极化膜通常是更厚、更致密。它们主要应用于工程上一些需要非常耐磨表面的零件,如象活塞,汽缸和液压装置等^[1],所以膜层的耐磨性能是硬阳极化膜的首要检验项目。尽管有各种各样的耐磨试验方法,但到目前为止,最为流行和被国际社会普遍接受的是下述三种方法,即轮式磨损试验法,喷磨试验法和 Taber 耐磨试验法。前两者已经分别列为国际标准^[2,3]和我国国家标准^[4,5],Taber 耐磨试验虽然尚未列为国际标准,但在美国仍占统治地位^[1,6],并且在宇航工业中被普遍采用。

2 轮式磨损试验法

Erichsen 耐磨试验机^[1]的原理是采用碳化硅的砂纸带作为磨蚀介质。该方法设计成让砂纸每一部分只用一次。它是将这种砂纸带固定在磨轮的周边上,然后让磨轮上的砂纸带在一定的载荷下与被试表面接触,让试样与磨轮作相对往返运动,但每一次往返行程之后,磨轮就向前转动一角度,让砂纸的新的部位发挥作用。这样就保证了试片总是与新的砂纸面相接触。每往返 400 次,磨轮正好转一周(每次转 0.9 度),恰好一条砂纸带用完,继续试验就要更换一条新的砂纸带。耐磨性的测定,是在用固定数目的轮子往返运动之后,测定膜层的

重量损失或厚度损失。

日本人研制的一种平面耐磨试验机^[8]与 Erichsen 仪器的不同在于,磨轮是在试样的下面,试样在选位时保持在轮子上面。这就允许试样精确选位,以便能在该试样的同一部位进行多次测定。而且,来自试样上的任何氧化物渣,也随着磨蚀的进行而从试样上掉落。

据报导^[9],上述两种型式的仪器我国都有引进,而且沈阳仪表工艺研究所已于 1985 年研制成功了 PWJ-1 型平面磨耗试验机^[9,10],1988 年还进行了改型。

国际标准化组织 ISO^[10]曾分别采用 Taber 法、喷磨法和平磨法对阳极化膜的耐磨性进行测定,然后比较这三种试验结果的再现性。结果发现,平磨法的再现性明显地优于其它两种方法。

3 喷磨试验法

喷磨法是在落砂法的基础上变化而来,最早由英国人提出,并首先在 1949 年英国标准 BS 1615 第一版中被采用,后来又在 1955,1961 和 1972 年几次修订^[1]。由于不同批次的磨料会使试验结果产生一定误差,所以本试验只是一种相对的检验。这种试验方法的影响因素比较多, S Wernick^[1]详细地列举了英国铝公司 P. G. Herris 对这种方法的各种观察和分析。这些影响因素包括:磨料的批次;磨料使用次数和磨料一致性的关系;管子内部粗糙度的影响;喷射装置的磨损;磨料流速的影响;空气流速的影响;空气温度的影响;空气的含水量以及

碳化硅磨料中水分的影响等等。这种试验方法的优点是可以用在面积小的试样上,甚至是用在弯曲的表面上。这种方法所报告的试验结果,为膜层磨穿时所消耗的磨料重量,或磨掉单位厚度的膜层所消耗的磨料重量。

4 Taber 耐磨试验机法

该法所得的耐磨性由两只加载的磨轮磨穿平面膜层的转数给出,也能测定每1000转的重量损失。试样必须是边长8cm 方形平板形式,它带动轮子旋转,磨蚀面积大约为30cm²,以两个彼此交叉往来的弧的形式进行。对于铝阳极化膜,采用1000g 载荷、粗糙而有弹性的磨轮或是500g 载荷、细粒度而无弹性的磨轮。

Taber 耐磨试验方法虽然尚未形成国际标准,但已被广泛用于阳极化膜,特别是硬阳极化膜,它被规定在许多军用标准和宇航标准中^[1]。关于 Taber 耐磨试验方法本身的文本,已经检索到3个^[12~14]。

R. W. Thomas^[15]指出, Taber 试验所需的时间,频繁更换轮子的费用,以及试样的尺寸和形状,对其应用有很大的局限性。另外,试验的重现性又是一个问题。而且要制造质量一致的磨轮,也有一定困难。湿度变化,对其也有重要影响。

R. F. Hitchcock^[6]也提出: Taber 耐磨试验机已经统治着规范,转换角度的磨轮和在适当条件下的喷磨这两种方法都是适宜的,但 Taber 耐磨试验机往往是不稳定的。

ASTM D4060^[13]中明确提出了 Taber 耐磨试验方法的重现性不好,并在标准文本中给出了试验值的精度表。该表所列结果表明:在一个试验室内,其试验结果的变化系数基本上为10%,其最大允许差值,基本上为50%;在不同的试验室之间,其试验结果变化系数,基本上为30%,其最大允许差值,基本上为100%。而联邦标准试验方法 NO. 141C (6192.1)^[12],虽然86年的C版比79年的B版相比增加了“精度”一章,但无数据。

ISO10074-1994附录B^[14]所提出的 Taber 耐磨试验方法,有一项重要的改进,那就是该方法规定在预定磨蚀10000转测量试验的质量损失之前,试片要预备性磨蚀1000转。我们注意到,在 ASTM D4060-95^[13]中,在处理试验结果时也提到:在计算磨损指数时,舍弃掉最后200转可能是合理的,因为其结果可能受暴露基体磨蚀的影响;在计算磨损转数时,舍弃掉最初和最后的读数是合理的,因为最初的读数受表面不均匀的影响,而最后的读数可能受基体部分磨蚀的影响。这个思路和上述

先预备性磨蚀1000转不计的思路是相通的,都是合情合理的。

实际上,R. W. Thomas^[15]比 R. H. Hitchcock^[6]早10年(1981年)就已经提出了这种想法: Taber 试验中最恒定的结果,应是靠进行短的预备性运行,将它忽略,然后在磨损试验之前和之后立即进行适当的称重。

在10000转的 Taber 耐磨试验中发现,在第一个1000转内的重量损失,通常比以后的1000转要大一些(试验时每磨1000转都要重新修复磨轮)。而在试验过程中,将试验中断几个小时之后,再继续耐磨试验时,这种现象再次出现。

M. Lerner^[17]报导了 Taber 耐磨试验结果的季节性波动。他根据三年多积累的大量数据,证明了试验结果的季节性波动,是由于试验期间湿度条件的变化。他的试验室所在的 Natick 地区,位于波士顿以西大约20英里,那里相对湿度的变化,为冬季的10%~30%到夏季的70%~95%。

Taber 耐磨试验方法中所用的磨轮为CS-17,这是一种有粘弹性的橡胶磨轮。磨轮本身也是影响试验重现性的一个因素:首先,每批制造的磨轮是否完全一致;其次就橡胶老化问题来说,即使是在有效期之内,硬化程度也是在变化的。

Taber 耐磨试验中的磨轮,是应该经常修复的。其方法让磨轮在S11砂纸上修磨50转,以保证磨轮的磨削性。但各标准文献中规定或执行修整磨轮这一点是不尽一致的:ASTMD1060^[13]规定每磨500转要修整磨轮;DPS11.04^[18]以及文献[16]是每磨1000转要修整磨轮;BAC582^[14]规定每磨3000~3500转要修整磨轮;文献[20]每磨5000转修整磨轮;新的军标MIL-A8625F^[21]和ISO10074的附录B^[14]是规定磨10000转才修整磨轮;而最早的AMS2468A,是以运转12h为最大间隔,就要重新修理磨轮表面,此即每磨50000转才修整磨轮。这一串数字是:500 1000 3000~3500 5000 10000 50000。可见,这个修整磨轮的间隔是没有统一过。不过,从最新的军标和国际标准都已规定磨10000转才修复磨轮,看来是正在走向统一。

5 三种耐磨试验方法的小结

上述三种耐磨试验方法,尽管喷磨法和磨轮法已经制定了国际标准,而 Taber 试验法还尚未形成正式的国际标准,但基本上都属于相对比较型试验方法。所以国

(下转第29页)

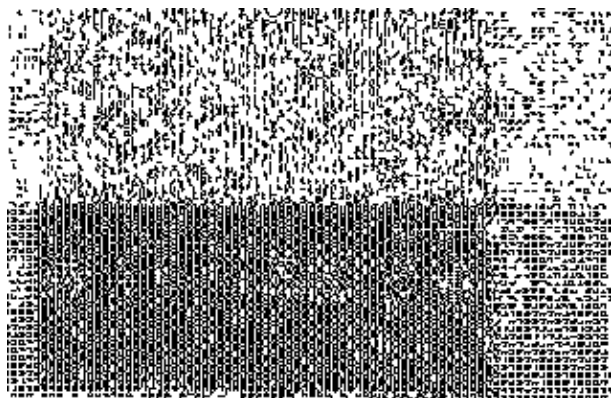


图3 冲刷试验后 ZrN 涂层表面形貌

Fig. 3 Surface of ZrN after erosion test

参考文献

- 1 William D. Sproul. Thin Solid Films, 1983 (107): 141
- 2 P. C. Johnson, H. Randhawa. Surf. Coat. Technol., 1987 (33): 53
- 3 G. Fenske et al. J. Vac. Sci. Technol., 1986 (A4): 2879
- 4 William D. Sproul. J. Vac. Sci. Technol., 1986, A4 (6)
- 5 J. A. Sue & H. H. Troue. Surf. Coat. Technol., 1989 (39/40): 421
- 6 R. Brown & M. N. Alias. Surf. Coat. Technol., 1993 (62): 467

收稿日期: 1998. 6. 1

张建苏, 男, 1960年12月生, 高级工程师, 现从事航空发动机叶片腐蚀机理与防护涂层的研究工作。

联系地址: 北京81信箱5分箱 (100095)

* * * * *

(上接第24页)

际标准^[14]规定: 一定的合金, 在一定的工艺条件下产生的膜层作为比较标准, 将在其它条件下所作的数据与标准情况进行对比。

在这三种试验方法中, 喷磨法由于是测量磨穿膜层所耗磨料重量, 所以它得出的是关于膜层整体的或平均的耐磨性; 而磨轮法或 Taber 法只是磨蚀了膜的表层。这样, 这类方法可用于研究不同层次膜层的耐磨性能。此外, 喷磨法属于最容易, 最快速, 最多用途的方法, 可用于小面积的试样或弯曲表面的试件, 这种方法在英国一直是最主要的耐磨试验方法^[1]。平磨法则是较后出现的一种方法, 但它的试验重现性最好, 所以在西欧和日本受到普遍重视^[15], Taber 试验方法在美国占统治地位^[6], 而且被许多军用标准和宇航标准所采用^[1]。

参考文献

- 1 S. Wernick et al. The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and its Alloys. Fifth edition. ASM International Metals Park Chil U. S. A., 1987
- 2 ISO 8251: 1987, Anodized Aluminum and Aluminum Alloys—Measurement of Wear Resistance and Wear Index of Anodic Oxide Coatings with Abresive Wheel Wear Test Apparatus
- 3 ISO 8252: 1987, Andized Aluminum and Aluminum Alloys—Measurement of Mean Specific Abrasion Resistance of Anodic Oxidation Coatings with an Abrasive Jet Test Apparatus
- 4 GB/T. 12967. 2- 91, 铝及铝合金阳极化—用轮式损试验仪测定阳极氧化膜的耐磨性和磨损系数

- 5 GB/T, 12967. 1- 91, 铝及铝合金阳极化—用喷磨试验仪测定阳极氧化膜的平均耐磨性
- 6 R. T. Hitchcock. Trns Inst Metal Finish, 1991, 69(3): 100
- 7 C. A. Witt and G. Giken. Aluminium, 1971, 47 (12): 748
- 8 T. Nadayama and K. Hagasaka. Proc. of 10th World Congress on Metal Finishing (S. Harugara Ed.), 1980, Kakgo, Japan
- 9 张凤林. 轻合金加工技术, 1989 (6): 40
- 10 何克明, 续玉琛. 电镀与精饰, 1988, 10 (1): 43
- 11 朱祖芳. 铝阳极氧化膜(建筑装饰用)性能及检测方法. 国家有色金属材料质量检测中心, 铝阳极氧化技术标准资料之一: “铝阳极氧化性能检测”, 1994
- 12 FED TEST, STD NO. 141C Method 6192. 1, Abrasion Resistance (Taber Abraser). 1986
- 13 ASTM D4060- 95, Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser
- 14 ISO 10074- 1994, Specification for Hard Anodic Oxidation Coatings on Aluminium and Its Alloys, AnnexB (Normative), Taber Abrasion Test Method
- 15 R. W. Thomas. Turns IFM, 1981, 59: 97
- 16 G. C. Tu and L. Y. Huang. Trans. IMF, 1987, 65: 60
- 17 M. Lerner. Plating and Surface finishing, 1979, 656 (12): 401
- 18 Douglas Process Standard DPS11. 04. M, 1990, Hard Anodizing Aluminum
- 19 Boeing Process Specification BAC 5821C, 1981, Hard Anodizing
- 20 D. J. George and J. H. Powers. Plating, 1969, 56 (11): 1240
- 21 MIL- A- 8625F, 1993, Anodic Coatings, for Aluminum and Aluminum Alloy