

铂铱合金电接点脆断分析

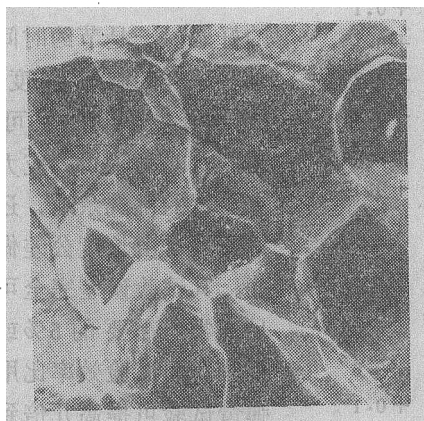
金鹤龄 陶正炎

发动机磁电机高压点火器系采用铂铱25合金板材作为电接点材料。这种材料具有高熔点、高硬度、高化学稳定性、高导电导热性,以及足够的延展性。然而在某种特定条件下,这种延展性良好的铂铱合金也会产生脆断。这是从故障实践所揭示出来的一种不为人们熟知的断裂现象。

一、不同寻常的电接点断裂故障

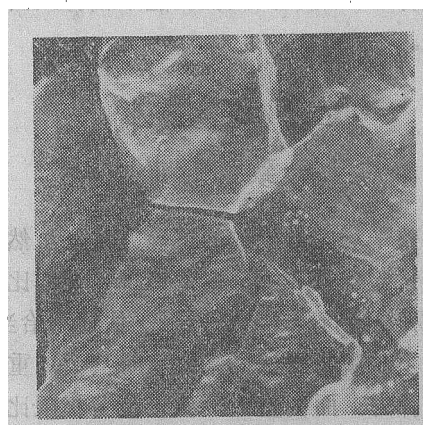
在检验某发动机点火器铜钎焊的接点时,发现批号为7915-1电接点沿圆周方向开裂,后来不慎掉在地上裂成两半。用扫描电镜观察故障件断口,呈现典型的沿晶脆断(图1)。

又一次,总装车间对点火线圈试车检查时,接通电源后42秒就发现冒烟,停车检查发现批号为7915-2接点头部掉落,局部烧熔。又用扫描电镜检查断口,也是典型的沿晶脆断特征(图2)。



1500× (缩至2/3)

图1 7915-1故障接点断口特征



1500× (缩至2/3)

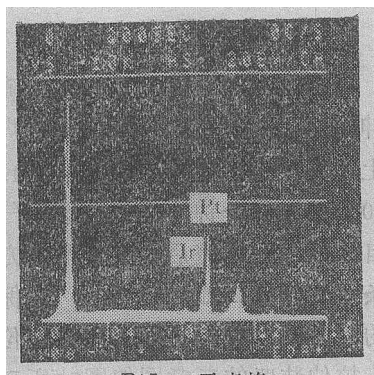
图2 7915-2故障接点断口特征

在延展性良好的铂族合金中发现沿晶界脆性断裂是罕见的,也未见资料记载。弄清脆断原因,不仅为排除故障所必需,也为研究电接点脆断机理提供有益的资料。

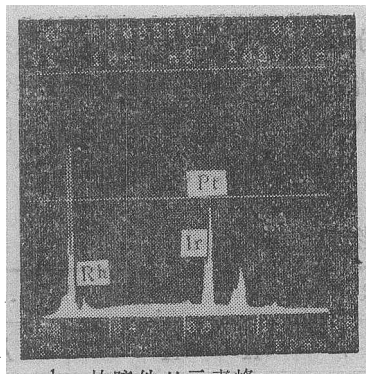
二、材质分析

断裂特性主要受材质、应力状态、显微组织和使用环境等因素的影响。为了查清接点脆断的原因,首先对接点的材质,尤其是断裂部位的材质进行分析。

用X线能谱仪检测,发现两个故障接点中除存在铂(Pt)铱(Ir)二种元素外,还出现相当明显的铑(Rh)元素峰(图3a、b)。多次测量发现不同微区铑含量在4.7~12.2%范围内波动。再对制造该二故障接点的7915批原材料进行成分对比检查,同样发现有铑元素存在。分析的结果列于表1。



a. PtIr25元素峰



b. 故障件的元素峰

图3 故障接点与合格料的成分对比

表1 能谱成分分析数据

样 品	成 分	元素平均含量, %		
		Pt	Ir	Rh
7915-1故障件		57.02	30.74	12.23
7915-2故障件		64.95	29.80	5.25
7915批原材料		66.21	29.05	4.74

由于X线能谱分析得到的是微区分析的数据,为了验证,又对原材料进行了化学定量分析复验。证实了7915批材料确实含铑。精确的含量通过化学定量分析为Pt67%, Ir24.9%, Rh8.2%。

正常情况下,铂铱25合金按配方应含Ir25%,其余为Pt。那么,8.2%的铑从哪里来的呢?经查明,由于合金配制过程中误将铑粉当成铱粉加入炉料熔成一体,致使二元合金

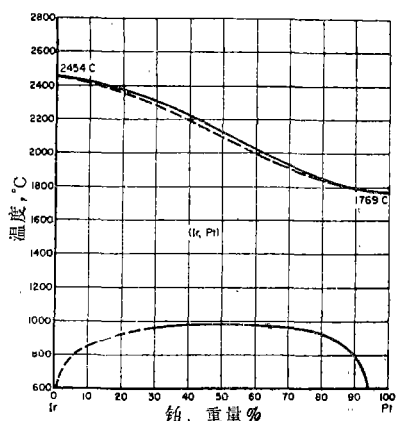
炼成三元合金。这一故障向我们提出了另一个更有意义的问题,铑又怎么会使铂铱合金变脆呢?

铑也是铂族元素,与铂、铱同属面心立方结构。铑与铂、铱的基本性质相似,铑比铱柔软,机械性能介于铂、铱之间。铑的特性与合金脆化之间有什么联系,铑在铂铱合金中的作用是什么需要通过实验弄清。

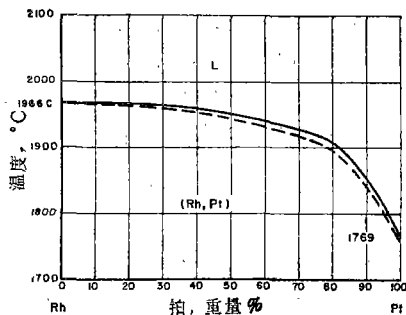
三、结构与性能分析试验

1. X线相分析

根据资料报道^[1],铂-铱及铂-铑在高温下都形成连续固溶体。它们的相图列于图4。但铂-铱-铑三元合金没有相图可供参考,不知道是否可能形成脆性相。为此,我们对故障批



a. 铱-铂平衡图



b. 铑-铂平衡图

图4 铱-铂和铑-铂平衡图

料及合格料分别作了X线衍射相分析。从表2列出的测试结果说明,由于铑元素的点阵常数比铂元素略小,加入8.2%铑后合金的点阵常数稍为缩小,但没有发现新相。

表 2 铑对衍射面点阵常数的影响

合格料, Rh=0			故障批料, Rh=8.2%			
hkl	d(Å)	I/I ₀	a(Å)	d(Å)	I/I ₀	a(Å)
111	2.256	12	3.907	2.245	52	3.888
200	1.953	100	3.906	1.944	100	3.888
222	1.381	86	3.906	1.374	70	3.888
311	1.178	35	3.907	1.172	43	3.887
222	1.126	2	3.901	1.122	17	3.886

2. 微区元素含量检测

用X线能谱仪测定故障批(7915批)及合格批(8018批)金相抛光表面的微区成分。从不同晶粒微区测定的成分数据列于表3。

测量的数据表明:合金微区成分与平均含量有较大偏离。合格料的成分也有一些波动。故障批料由于增加铑后便打破了原来的成分配比,使铑与铂的相对比值从原来的25:75上升到27:64。在故障件断口区域则分别达到30.7:57及29.8:65。铑含量的相对提高,必然会

表 3 X线能谱微区成分测定数据

炉批	成 分 , %		
	Pt	Ir	Rh
8018	74.46;71.11	25.54;28.89	
	74.31;74.29	25.69;25.71	
	74.14;71.42	25.86;28.58	
	75.72;78.29	24.28;21.71	
	77.25	22.75;	
	*74.55	*25.45	
7915	65.79;59.77	25.60;27.58	8.61;12.64
	60.44;71.11	32.13;21.85	7.42;7.03
	*64.28	*26.79	*8.93

*平均值。

3. 机械性能

选取PtIr25合格批及7915故障批板材进行拉伸对比试验。将冲压好的接点焊在专用拉杆上,并按工厂现有铜钎焊工艺1200℃入炉,1160℃保温40分钟,用氨分解氢气保护,出炉后自然冷却,焊完后在试片厚度方向两侧各开一条线切割缺口如图5a所示。为保证拉杆与试样的同心度,钎焊是在特制的定位夹具内进行的。拉伸装置的示意图如图5b所示。

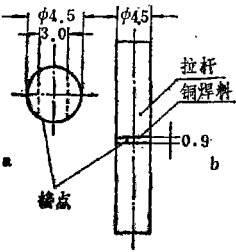


图 5 铂铑接点(a)及专用拉伸装置(b)示意图

表4列出二种炉批的横向拉伸强度数据。同时又对这两组材料在供货状态下的金相磨片作维氏显微硬度测定,数据也列于表4。于是可以看到一组不相对应的性能数据。合格料的拉伸强度较高,而显微硬度较低,故障料的强度较低,显微硬度却较高。这组看来是矛盾的数据,却反映出二种板料表面与内部性能的不一致。

表 4 两种接点试片横向拉伸强度及显微硬度值

炉批	试 样 编 号	拉伸强度, 公斤/毫米 ²		维氏显微 硬度值	
		实测值	平均值	实测值	平均值
8018	1—1	57.05		293	
	1—2	58.16	53.47	289	287
	1—3	45.19		280	
7915	2—1	43.37		329	
	2—2	35.95	37.54	325	326
	2—3	33.33		325	

4. 扫描电镜观察

对两种炉料接点的拉伸断口进行扫描电镜

观察发现：轧制板片钎焊后，由于束缚应力的作用，横向拉伸断口一般表现出脆性倾向。图6及7为PtIr25合金合格料及7915批料的横向断口特征，二者都表现出明显的沿晶断裂特征。尤其是7915批缺口试片，即使用手沿着线切割缝掰开，断口也呈现清晰的沿晶断裂特征（图8）。另外，在7915批断口上还出现大量内裂纹，有些内裂纹很长（图9），可能在轧制时已经产生，以后在工艺及使用过程中继续扩展。另外，在7915批断口中，夹杂物比较严重，很容易看到含Al、Si、K、Ca等元素的大块夹杂（图10a,b）。对比之下，PtIr25合格料中却很少有内裂及大块夹杂。

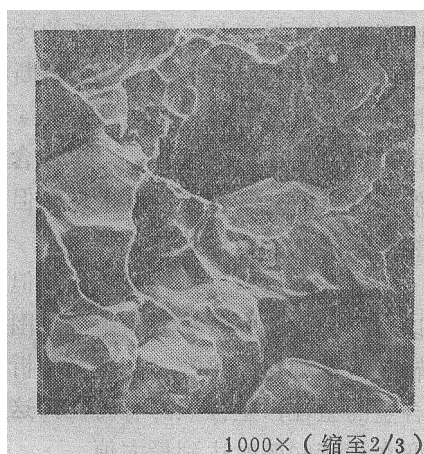


图 6 铂铱25合金横向断口特征

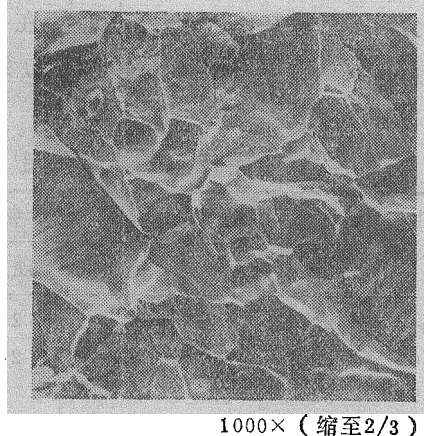


图 7 7915批横向断口特征

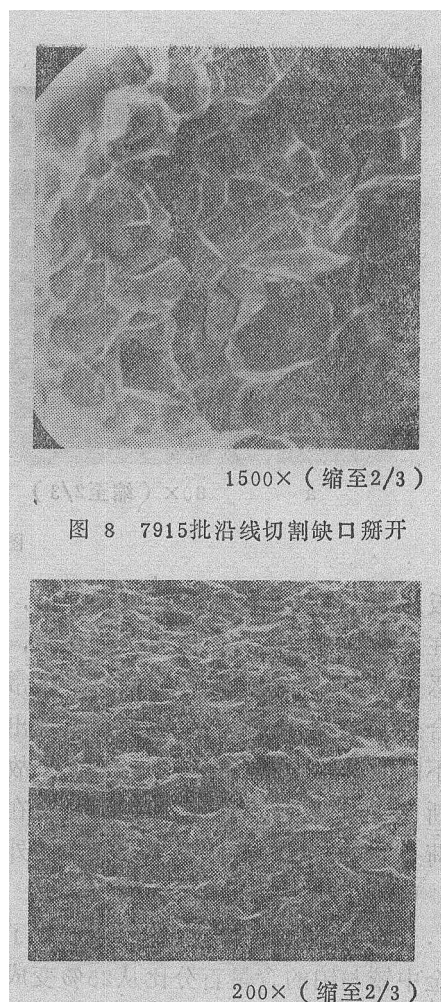


图 8 7915批沿线切割缺口掰开

图 9 7915批断口内裂纹

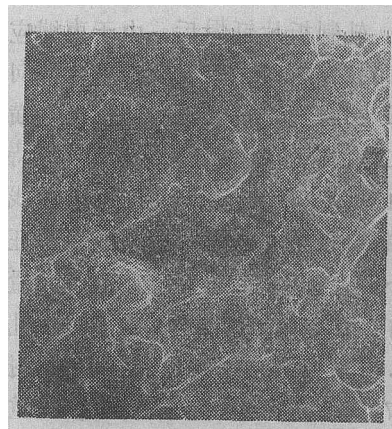
四、试验结果讨论

有人做过研究^[2]，铂族合金基本不吸氢，也没有发生过氢脆的事例。接点的脆断并不属于延迟断裂性质，在快速拉断时就能出现沿晶脆断特征，因此接点在钎焊过程中虽有氮分解保护工艺，也不是由于氢脆所造成的结果。

铂铱合金的性能随铱含量及加工状态而不同（见表5）。含铱越高，塑性越差，越难冷加工变形。经冷轧的材料其拉伸断口虽然还可以看到微观韧窝特征，但韧窝尺寸较小（图11）。制作电接点的板材是冷轧硬化状态下冲制成小圆片，再经过钎焊焊在点火器上使用。冷轧状



a 60× (缩至2/3)



b 600× (缩至2/3)

图 10 断口夹杂物

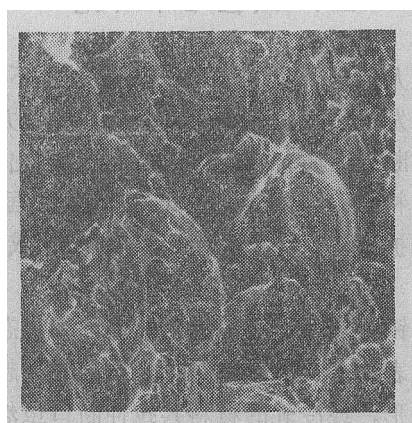
态的板片塑性本来已经很差，铜钎焊后，接点又处在束缚应力状态，使横向变形受阻，塑性更加恶化。在这种状态下，即使对于正常的铂铱25合金，其横向拉伸断口也普遍表现出严重程度不同的沿晶脆断特征。不过7915批故障件不仅断口呈现典型的沿晶脆断，而且是在极低的载荷条件下开裂的。除了上述共同的外部因素外，可能还存在以下几个内在因素：

1. 由于添加了8.2%铑元素取代了铂，使合金中铱与铂的含量百分比从25%变成30%左右。铱含量的相对增加，必然导致合金冷加工性能及塑性下降。工艺试验表明，铱含量超过30%时，合金的轧制加工变得非常困难。铱

含量达到50%必须采用特殊的工艺才能加工。如果仍按原来的轧制工艺，采用50%的冷轧变形率，就有可能产生大量内裂纹。7915批断口呈现出大量内裂纹证实了这种可能性。表4测得的数据也可以得到适当的解释：由于铱含量增加，必然使合金的轧制表面硬度增加，但由于存在内裂纹，降低了整体的拉伸强度。

2. 铂铱合金虽然呈连续固溶体，但从平衡图可以看到，在975~700℃的中温范围出现有序化转变，这种转变尽管不导致新相析出，但会使合金的塑性产生强烈的有向性。这种有序化转变在含铱50%时达到最大值。

3. 由于存在铑，必须经过多次熔炼才能使铱含量达到规定的要求。这样就使杂质产生的机会增多。像7915批合金断口存在的大块夹杂物，有可能成为削弱基体的应力集中源。



1500× (缩至2/3)

图 11 铂铱合金纵向拉伸断口特征

表 5 不同含铱量的铂合金的机械性能^[3]

牌 号	拉 伸 强 度 σ_b 公 斤 / 毫 米 ²		延 伸 率, %	
	退 火 态	硬 态	退 火 态	硬 态
PtIr5	28.2	46.3	22~32	2.0
PtIr10	38.7	65.3	25~27	2.0
PtIr15	53	87	—	—
PtIr20	70.3	102	20~21	—
PtIr25	88	119.7	—	—
PtIr30	110	140	—	—

钛合金耐磨蚀涂层

冬 人

钛合金具有较高的强度重量比,是先进发动机应用的优选材料,但它的表面状况对其疲劳强度的影响特别敏感,尤其是飞机在恶劣的环境中飞行或着陆时,灰砂对发动机压气机钛合金叶片的磨蚀擦伤使这种影响更为严重,往往会缩短发动机的维修间隔周期,有时甚至会使零件破坏^[1]。直升机在不合乎要求的场地上降落时,灰砂的磨蚀会破坏压气机转动叶片和静止叶片的空气动力型面。即使采用进气道颗粒隔离装置,压气机的磨蚀破坏仍然继续发生。在中东地区使用的某些战斗机,由于灰砂的磨蚀,其发动机压气机钛合金叶片的前缘受到一定的磨损。因此,如何提高钛合金的抗灰砂磨蚀性能,是一个需要解决的问题。在钛合金表面施加一种抗灰砂擦伤的涂层来防止钛合金零件的表面磨蚀从而避免零件的损坏,是解决这一问题的主要手段之一。在钛合金耐磨蚀涂层的研究工作中采用了广泛的新型工艺和多种的涂覆材料。

~ * ~

~ * ~

~ * ~

五、结 束 语

1. 铈加入铂铱合金中只使基体的晶格常数相对缩小,没有发现新相。
2. 冷轧状态下的铂铱合金接点在钎焊后处于三向束缚应力状态,促使产生沿晶脆断。
3. 加入8.2%铈后,使铂铱合金成分相对变化,铈量相应增加,导致合金塑性下降。原有轧制工艺不能适应新成分的要求,从而产生大量内裂,导致合金结合强度降低。
4. 由于多次熔炼导致7915批合金暴露出

涂层品种^[1, 2]

1. 扩散型化学镀镍涂层

用扩散结合方法来提高化学镀镍层与钛合金基体之间的结合力。镍与钛相互间的扩散能产生一个可在滑动或摩擦运动情况下耐磨损的表面。表面硬度可达HRC60。涂层工艺对钛合金基体的性能(抗拉强度、屈服强度、冲击值、延伸率和断面收缩率)没有影响或影响很小。若在扩散型化学镀镍层外再加一层全包覆的镀铬层,则可提供更好的抗磨蚀和抗腐蚀性能。此外,对化学阳极化“Tiodize II”镀层和氟化物磷酸盐转化涂层也进行过试验。

2. 热喷涂涂层

(1) 等离子喷涂硼涂层

由于该涂层具有高的密度(1.95克/厘米³)和硬度(HRC57~63),所以选用进行试验。涂层用电弧等离子喷涂工艺来制备。为了获得

较多的夹杂物。这些夹杂物的存在提高了铂铱合金的脆性敏感性。

5. 材质的内在变化及外部工艺条件结合在一起是引起7915批电接点发生脆断故障的二个互相依存的必要条件。

参 考 文 献

- [1] PB161823 (1959)。
- [2] Smithells, C. J., Metal Reference Book, Interscience Publisher Inc. (1949)。
- [3] 贵金属材料及加工手册,贵金属研究所,1963年。