

# 两级温差控制的热电法金属分选仪

陈小泉

## 摘 要

本文叙述了热电势检测方法的研究进展和新研制的8507型金属分选仪。

文中论述了温差控制和两级温差( $\Delta t_1=55^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_2=85^\circ\text{C}$ )的意义和重要性。该方法主要特点是对试件的形状和尺寸无严格要求,因此适宜品种较多、规格复杂的合金材料或零件的现场检验。主要用于混料分选。该分选仪已通过航空部鉴定。

## 一、前 言

在金属材料和制品工业中,合金混料是个本应杜绝却又难以杜绝的问题,产品发生混料不但浪费大量原材料,而且可能引起重大事故。金属热电势检测方法是金属或合金混料分选、热处理状态鉴别的常用无损检测技术之一<sup>[1]</sup>。此方法的研究和应用在西德、美国、苏联等有较多报导<sup>[2-4]</sup>,而国内研究和应用甚少,与国外水平相比有较大差距,为适应我国金属产品质量检验的要求,提高和推广应用这一技术,有必要研制新型的金属热电势分选仪。

## 二、热电势检测法基本原理及所研究问题

金属热电势检测方法的基本原理即热电偶测温原理。当两种不同金属a和b组成的热电偶(见图1)在接点处的温度 $T_1$ (热端)同远离接点处的温度 $T_2$ (冷端)存在温差时,用微伏计就可测出C、D两端的热电势。反之,当温度 $T_1$ 和 $T_2$ 恒定时,测得的热电势值就同组成该热电偶的金属材料或其状态有关。

在实验室条件下,要获得稳定的、重现性较好的热电势检测数据,必须按图2的方式安排,金属接触表面须无任何污染,而且必须将接点焊合。显然,该装置不适于金属材料或零件的工业现场无损检测。

为研制出适用的热电势检测仪器,必须解

决方法与设计方面的关键问题,即:(1)热电势同温度的关系及其测值标准化;(2)环境温度变化对测量结果的影响及测值指示灵敏度和线性关系;(3)探头设计;(4)测量装置的小型化等。

对这些问题的研究要点分述如下:

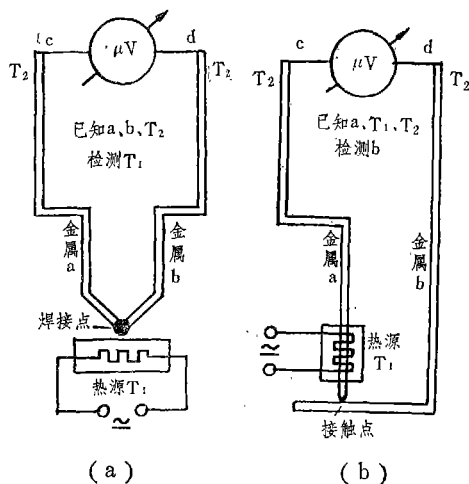


图1 (a) 热电偶测温原理  
(b) 热电势鉴别金属原理

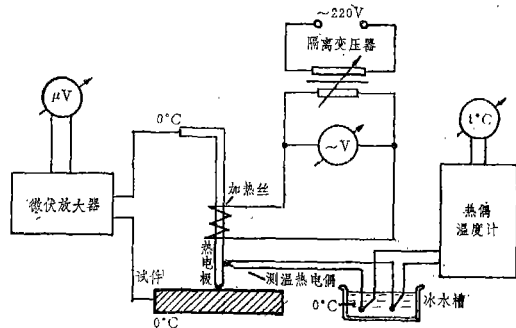


图2 E的实验室检测装置

1. 在T.J. Seebeck热电效应关系式中, 热电势 $E$ 同温度 $t$ 的关系为

$$E = at + bt^2 + ct^3$$

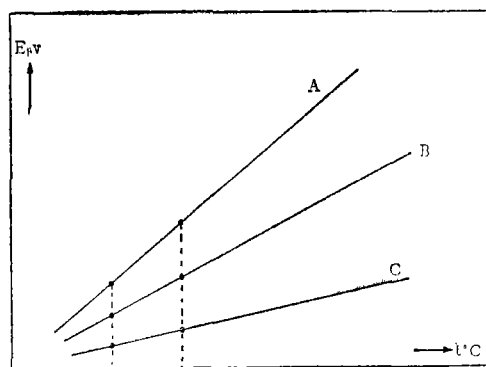
式中 $t$ 为热端温度, 冷端温度为 $0^\circ\text{C}$ ,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 为与热偶材料有关的常数。按一般理解,  $E$ 随 $t$ 上升而增高, 因此 $t$ 可以任意选择, 或者说提高温度 $t$ 就可以提高检测灵敏度。但该式中的常数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 对合金成分、状态及试验温度十分敏感, 故 $E$ - $t$ 关系曲线相当复杂, 大体可分为下述几种情况:

(1) 若几种合金的 $E$ - $t$ 曲线无交点、或交点处于无温差的坐标原点(图3a)时, 则适当的温差(如 $30^\circ\text{C}$ )就能产生可测知的热电势。用提高电子放大器增益的方法, 即可获得可靠的热电势测量结果。

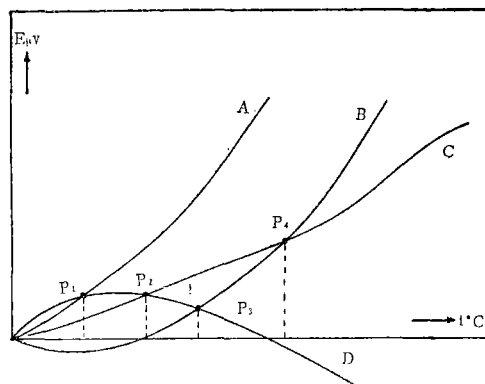
(2) 若 $E$ - $t$ 曲线存在交点时(图3b、c), 因不同合金在交点处的热电势相同, 故无法依靠提高电子放大器增益的方法实现合金的分选。可见, 选择 $t$ 的目的主要在于避开可能存在的交点, 以提高分选的可能性和可靠性。

工业应用时, 由于被检测件(冷端)不可能总保持 $0^\circ\text{C}$ , 设热端和冷端的温度分别为 $T_2$ 与 $T_1$ , 若这一温差在检测过程中不恒定, 便会导出测出的 $E$ 值改变。固定 $\Delta t$ 或规定一个共同认可的 $\Delta t$ 值, 才能使对同一合金测出的 $E$ 值具有可比性, 这就是热电势测量的“标准化”问题。西德Förster公司著名产品Tevotest 3.205型热电仪规定 $\Delta t = 55^\circ\text{C}$ , 国内外研制的其它同类仪器均未指明 $\Delta t$ 的值, 有些则根本没考虑这一点。8507型分选仪除了选用 $\Delta t = 55^\circ\text{C}$ 外还增加了 $\Delta t = 85^\circ\text{C}$ (特殊情况为 $280^\circ\text{C}$ ), 目的就在于避开 $55^\circ\text{C}$ 和 $85^\circ\text{C}$ 时 $E$ - $t$ 曲线上的交点。这样, 不更换探针材料而仅改变温差, 即可达到更佳的分选效果。 $\Delta t$ 数值的选择, 应当以不同合金的 $E$ - $t$ 曲线为依据。

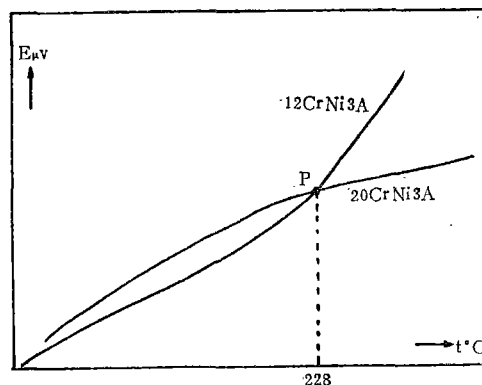
2. 环境温度 $T_1$ 不是固定值, 至少在 $0 \sim 40^\circ\text{C}$ 范围内会随时间变动。为保持 $\Delta t$ 不变, 必须使热端温度 $T_2$ 随环境同步升降, 否则便不能免除环境温度变动对检测结果的影响。



(a)



(b)



(c)

图3 合金的 $E$ - $t$ 曲线图

温差控制同热电极中放置的测温或控温元件有关。热敏电阻、热敏二极管、电阻电桥等非线性元件或电路, 均不易实现宽温度范围的温差控制。8507分选仪采用 $E$ - $t$ 线性良好的镍铬-康铜热电偶(图4), 取得了满足需求的温差控制效果。

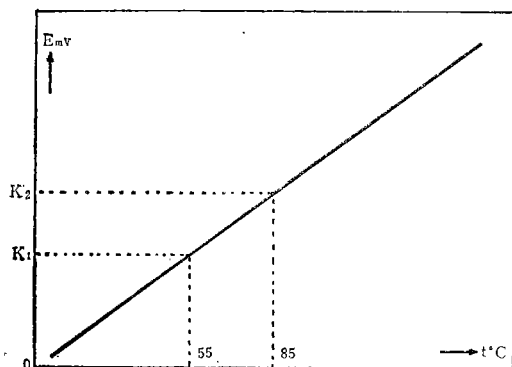


图 4 镍铬-康铜热电偶E-t关系

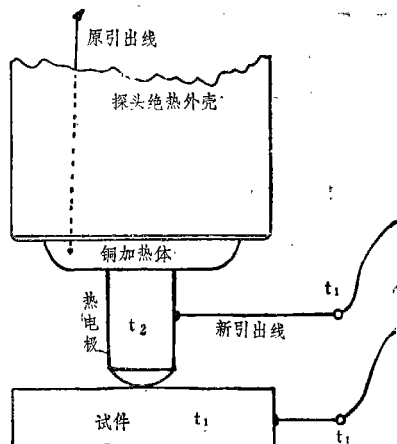


图 5 热电极引出线接法

3. 加热电极第二挡温差为85℃, 当环境温度温度为40℃时, 该电极温度应自动调整至125℃。如果温度再高, 常用铜电极的表面将迅速氧化, 氧化铜层影响冷热电极的接触质量, 致使测量结果的稳定性和重复性均明显下降, 因此, 使用铜电极时, 电极温度不能再提高。

探针材料的选择和该电极引出线的连接方法与受检材料有关。经常使用纯铜电极是因为铜的导电、导热性能较佳, 故测量点的温度与冷电极(被检料)接触点的温度更接近。否则因为 $\Delta t$ 不一致E也会改变, 这同样会干扰测量结果。但是, 无论温差如何, 两种成分和状态完全一样的合金不应产生热电势。这一原则常适用于成分相近但合金元素有差别且能产生可测知热电势的场合。

热电极的引出线问题, 在西德3.205型热电仪的设计上并未很好解决。该商品虽有二只备用探针, 可以更换常用的铜电极, 以便对产生负值或正值热电势的材料起补偿作用, 但按材料试验的要求, 更关心的是少量合金元素的热电势差别。所以更好的方法是利用同检测材料基本成分和状态相同的热探针。

热电势检测法中有所谓“相加法则”, 因此应使用与探针材料及其状态相同的引出线, 并按图5的方式连接。

8507分选仪的工作原理方块图示于图6。电路详图系独立设计。外观见图7。

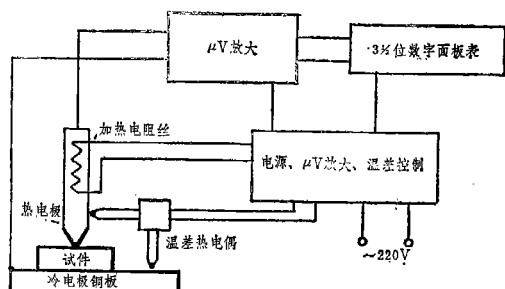
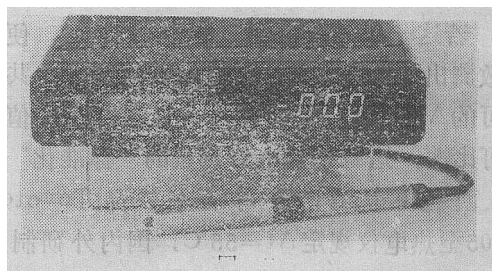


图 6 8507型金属分选仪电路方块图



### 三、8570分选仪性能评价

测量精度和稳定性是大多数电子测量仪表的基本技术指标。8507分选仪具有自动调零功能, 短期观测时数字显示的零点偏离 $\leq \pm 1$ 个字。读数精度为 $\pm 2\mu V$ 。用 $100\mu V$ 标准信号源校准, 多次测量平均值 $\leq \pm 2$ 个字, 即 $\leq \pm 4\mu V$ 。若以满量程计( $\pm 4000\mu V$ ), 精度 $\leq \pm 0.1\%$ , 这个数据同《国际电子报》见到的相同<sup>[5]</sup>。

但是, 仪表精度和稳定性同实际测量结果

的精度和数据重现性的概念是不同的。实测数据的平均值是统计值, 单次测量值可以是分散的。就热电势测量方法而言, 对测量精度至今尚无统一规定<sup>[5]</sup>, 原因是热电势检测值的稳定性和精度受多种因素影响, 如合金的均质性、表面状态、冷热电极间的偶合情况、探针压力、探针接触角度、接触时间等。这些因素在检测时只能尽量避免或减轻, 某些要求已列入操作规程。但更合理的解决办法是: 适用的检测灵敏度和数据重现性, 可由用户根据实测对象和数据自行确定。

实验室的检测实例见表 1 和表 2。

表 1 为实际分选的情况。分析表 1 的数据

可知:

①  $\Delta t$  仅差  $30^{\circ}\text{C}$ , 1 号合金的 E 值竟差  $412\ \mu\text{V}$ , 可见控制温差的重要性;

② 当  $\Delta t=55^{\circ}\text{C}$  时, 合金 3 同 4、7 同 8、10 同 11 分不开, 而当  $\Delta t=85^{\circ}\text{C}$  时则可能分开。合金 6 同 7 则相反。这里便显示出采用两种温差条件的必要性;

③ 有些合金如表 1 中的 19 同 20, 在两种温差条件下都不易区分开, 此时只能更换探头材料或选择别的  $\Delta t$ ;

④ 表 1 列举的合金可在不更换电极只改变温差的条件区分开, 对使用一级温差和同一电极的国内外热电仪来说是不可能的。

表 1 温差变动 E 检测数据

序号	合 金 牌 号 (状态略)	$\Delta t=55^{\circ}\text{C}$				$\Delta t=85^{\circ}\text{C}$			
		一次	二次	三次	平均	一次	二次	三次	平均
1	1Cr11Ni2W2MoV	329	332	328	330	537	541	530	536
2	15Cr11MoV	281	283	279	281	453	455	458	455
3	33CrA	229	222	234	228	371	369	372	371
4	Cr12MoV	224	232	228	228*	355	365	354	358
5	4Cr13	211	212	209	211	332	335	344	337
6	TA-3	185	188	188	187	291	287	286	288
7	Cr17Ni2	174	173	173	173	288	293	296	292*
8	TA-2	173	173	172	173*	263	264	267	265
9	45	148	147	142	146	201	203	202	202
10	GCr15	117	120	111	116	177	170	172	173
11	16Cr2MnTi	115	113	119	116*	168	166	174	169
12	20CrNiMo	84	84	85	85	114	117	118	116
13	40CrNiMo	69	72	73	71	105	93	94	97
14	30SiMnMoVA	44	43	44	44	56	51	54	54
15	30CrMnSiA	-16	-17	-16	-16	-41	-41	-43	-42
16	GH-35	-55	-54	-54	-54	-90	-89	-89	-89
17	2Cr13	-85	-83	-87	-85	-131	-136	-132	-133
18	1Cr18Ni9Ti	-96	-98	-98	-97	-160	-164	-166	-163
19	2Cr13Ni2Mn9	-104	-106	-103	-104	-176	-174	-176	-175
20	TC-1	-111	-111	-110	-111	-178	-182	-186	-182
21	TC-4	-202	-202	-206	-203	-318	-327	-327	-323

\*用铜电极分不开。

表2 环境温度变动对E的影响  
(1982年12月测)

合金 温度t, °C		A	B	C	D	E	F
1982.12.7 20°C	第一次	-91	-100	20	-82	43	333
	第二次	-91	-101	25	-82	48	356
	平均	-91	-101	23	-82	46	345
1982.12.9 20°C	第一次	-90	-100	18	-83	39	336
	第二次	-89	-93	20	-78	42	333
	平均	-90	-97	19	-81	41	335
12.16, 13°C	单次	-91	-97	17	-83	39	329
12.16, 3°C	单次	-95	-105	16	-86	34	317
12.16, 3°C	单次	-93	-101	17	-85	37	323

表2为分选仪在不同时间、不同地点、不同环境温度下几种合金的实测结果。

热电仪的工业应用实例可参见资料〔6~9〕。

#### 四、小 结

1. 热电检测方法能够对热电势差别较大的金属或合金做可靠的区分,如碳钢、不锈钢、耐热合金、石墨、金刚石、粉末冶金制品(硬质合金)、纯金属、半导体等,有效地弥补了其它电磁无损分选方法(涡流,磁感应方法等)的不足,因此有推广使用的意义。

2. 实验数据表明,采用的温差控制原则和方法是正确的。无温差控制的商品或自制仪器仅能在环境温度不变的条件下作相对比较测量,所以数据不能在另一环境温度下重现或采用。

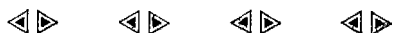
3. 8507型分选仪的主要特点是两级温差控制,因此提高了金属分选的可靠性,在使用同一电极的条件下可增加分选的合金品种,体积和重量是国内外同类商品中最小的。

4. 8507分选仪已于1987年6月通过部级

鉴定,首批产品由621所组织生产并签发合格证。

#### 参 考 资 料

- 〔1〕 The 9th International Conference on NDT,(1973).
- 〔2〕 Materials Evaluation Sept,p1279, 1136,Jan., (1985),p34.
- 〔3〕 《国际电子报》, 1985.5.
- 〔4〕 Förster 公司产品说明书.
- 〔5〕 ASTM Standard \*E977-84.
- 〔6〕 用户报告, 3107厂, 1986.9.
- 〔7〕 用户报告, 124厂, 1986.9.
- 〔8〕 用户报告, 石油院机械所, 1986.12.
- 〔9〕 用户报告, 沙市第二机床厂, 1987.4.



(上接第13页)

经800°C×800h处理的合金,其高温瞬时强度明显降低。导致降低的原因是800°C长期时效后 $\gamma'$ 明显聚集长大和存在少量连续膜状碳化物,故合金的长时工作温度不宜超过800°C。

#### 四、结 语

1. 合金经700°C长期时效处理后,其室温和高温拉伸性能、高温持久性能无大变化,合金的组织基本上是稳定的。

2. 合金经800°C长期时效处理后, $\gamma'$ 聚集长大,室温和高温强度明显下降,高温持久断裂寿命亦有降低,故合金的长时工作温度应低于800°C。

#### 参 考 文 献

- 〔1〕 Woodyaff, L.R., Sims, C.T. and Beattie, H.J., Predication of Sigma type phase occurrence from composition in Austenitic superalloys, Transaction of AIME, 1966, No.4, Vo.236.