

热 双 金 属

夏 承 達 編

上 海 科 学 技 术 出 版 社

73.862
468(2)

热 双 金 属

夏 承 遠 編

3457/24



內 容 提 要

本书介绍国外近几年有关热双金属組合层材料的选择及其基本特性和热双金属的制造及試驗方法与标准。书末附有一些国外热双金属的品种及其技术数据。

本书可供仪表与电器設計制造者及热双金属生产者参考之用。

本书是編者以前写的《双金属》一书的修訂本。

热 双 金 属

夏 承 遠 編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/32 印张 5 2/32 插页 1 排版字数 111,000

(原大东、科技版共印 4,020 册 1955 年 8 月第 1 版)

1959 年 3 月新 1 版印 2 次共印 3,500 册

1965 年 10 月第 2 版 1965 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—4,200

統一书号 15119·209 定价(科六) 0.75 元

目 录

第1章 导言	1
第2章 热双金属組合层材料的选择及其性质	7
1. 被动层材料——殷鋼型合金	9
2. 主动层材料	28
第3章 热双金属特性及其元件設計	33
3. 热双金属的特性	33
4. 热双金属元件的設計	44
第4章 热双金属基本原理分析及其計算	63
5. 热双金属的基本原理及其計算	63
6. 热双金属由于温度产生負荷的計算	69
7. 各种形状的热双金属元件的应用公式	70
第5章 热双金属的应力及其稳定热处理	77
8. 应力	77
9. 热双金属的稳定处理	80
第6章 热双金属的生产	88
10. 热双金属的結合	88
11. 冷軋間热处理	92
第7章 热双金属的标准与試驗	94
12. 标准	94
13. 試驗	97
第8章 热双金属的应用	103
14. 温度指示	103
15. 温度控制	106
16. 温度补偿	109
17. 串流电路的控制	112
附录 I. 国外热双金属品种及其技术数据	122

附录 II. 热双金属性能調整快速檢査表	150
附录 III. 热双金属术语簡釋	153
参考文献	155

第 1 章

导 言

工业上应用的双金属,种类很多,例如,为了減輕成品重量或节约稀有金属,用两种不同的金属所組合的双金属,其基本金属通常是結構鋼板或带材,用銅、銅合金、鎳、鋁、不銹鋼或其他合金来包覆,故亦称为包层金属。它的优点是把經過特別选择的金属和合金中那些最宝贵的成份和性质連合在一起,例如高强度和抗腐蝕性、高强度和高导电性、耐热性和抗腐蝕性、焊接性和耐磨性等等,这些不同的性质都可以結合起来。这种双金属現已广泛应用于船舶、化工、机械、造纸和制药等工业中。此外,为节约触头材料所用的鉑、銀和鎢等貴金属,触头双金属已投入大量生产。同时,在电真空器件方面也使用了双金属,例如,为了增强輻射能力的复鎳鉄和复鋁鉄以及与玻璃熔封的杜美絲(鉄鎳合金与銅的双金属)。这些双金属不属于本书范围,这里所介紹的是在工业中另一范畴的特殊工程材料。它是用两种或两种以上不同膨脹系数的金属和合金組成的复合材料。

近年来,自动調节和自动控制的需要日益增长,这种双金属已成为电器、仪器和仪表中不可缺少的控制元件。由于它受热而起作用,更正确地称为“热金属”,但是大多数的热金属都是由两种金属和合金所組成的,因此在习惯上一沿用“热

双金属”这一名称^①。

热双金属的发现,从18世纪开始。据说,热双金属的作用原理还是在锅炉间里偶然发现的。当时,有一位司炉工注视着锅炉的炉门,这炉门一直是在炉子冷却到需要重行添加燃料时就按时打开。后来研究出这种“自动化”原来是因为这扇炉门偶然用了不同的金属板迭合的,而它们的膨胀系数相差很大,因此在温度变化时即自动打开。热双金属最早的应用是在1766~1775年,当时把它装在時計中作为补偿四周温度变化的元件,以提高時計的准确性。1817年,出现了采用双金属的Brequet温度计,其中控制元件用高纯度的铂、金和银制成的三金属螺旋。这螺旋的直径为7.4毫米、长36毫米,其节距为1毫米。三金属螺旋的总厚度为0.5毫米,圈成34匝。1831年,尤里(A. Ure)用铁皮与4.5%Cu、1%Sn的锌合金焊合为双金属,作为启闭阀门、停止旋塞、空气调节器和暖炉调节器的恒温元件。据说,由于温度变化,双金属所产生的翘曲动作胜于杠杆的使用。1858年,美国威尔逊(Wilson)提出的热双金属是采用黄铜与钢所组成的。由于这两种金属的热膨胀系数相差不大,双金属的热动作受到了限制,因此实际使用价值很小。但是,人们对于热双金属的研究,引起了兴趣。1863年,法国威洛索(A. T. Yvon Villarceau)发表了“热双金属的分析”一文,文中介绍了关于時計在轴承摩擦的影响、空气阻力、擒纵机的振动、弹簧的减弱动作以及温度变化等情况下的数学分析,指出了温度补偿的需要,详细地叙述了双金属的理论。这是阐述双金属力学的重要文献。

① 热双金属不一定是用两种金属和合金所组成的,有时为了求载流量的增加以控制一定的电阻,在两层金属之间另加一层其他金属和合金,例如:铜、银、铜、锡或纯锡等。

1896~1899年，法国吉耳奥姆 (C. E. Guillaume) 曾搜求比一直使用的、作为测量标准的铂铱合金更廉价的材料。他曾发现，一根具有磁性的、含 30% Ni 的镍铜条在常温时的热膨胀系数仅为铂的 $\frac{2}{3}$ 左右。这一发现为其开辟了进一步探索的途径。首先，吉耳奥姆确定了铁镍合金的膨胀性与成份的关系，这样引导他发现了可逆和不可逆合金之间的区别。铁镍合金热膨胀可逆性之确定，无疑地找到了一条规律，即这种合金在常温时的膨胀系数在 36% Ni 附近具有最小值。这种合金就是现在我们熟知的殷钢（殷钢是取 Invar 字首的译音，Invar 是英文 Invariable 一字的缩写，即不变之意）。殷钢的发明对于热双金属的发展赋予极大的动力，一直到现在仍用作热双金属的被动层材料。殷钢-黄铜所组合的双金属，在温度变化下的翘曲动作三倍于旧的钢与黄铜的双金属，大大提高了控制元件的灵敏性。它的偏转虽大，由于黄铜的强度特性较差，却限制了其使用温度。此后逐渐改进，使镍铜合金代替了黄铜，而以后复又采取了强度更高的铁镍铬合金代替有色金属。在最近的发展过程中，对于热双金属组合层材料，更不断地作了创新，丰富了品种和提高性能，使其日益广泛地应用于电力、煤气、油、热、光等各方面多种多样的自动控制装置中。

顾名思义，热双金属是用两种不同的金属或合金的复合材料。平常用片状的较多，所以常称为热双金属片，但是也有用条、棍和丝各种形状。图 1 表示热双金属片的工作状况。

热双金属的作用可从下列几种方式来实现：

- (1) 通过接触热源或辐射所获得的热传递；
- (2) 通过一个为电阻元件围绕的热双金属的热传递；
- (3) 用一个电流直接通过热双金属，然后使之发热。

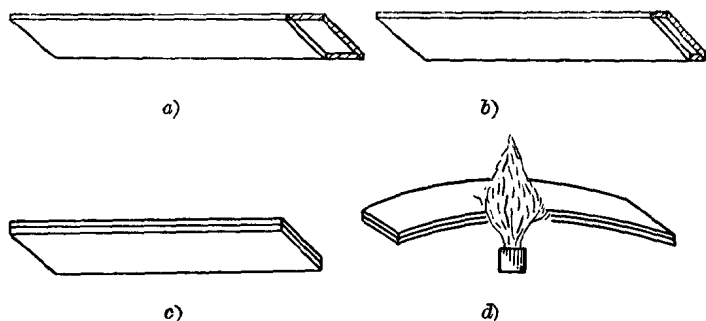


图1 热双金属片的工作状况

a——片高热膨胀性金属；*b*——片低热膨胀性金属；
c——二片焊接起来；*d*——受热弯曲

热双金属借助这些方法将热能直接转换为机械能，也就是通过这些方法使双金属元件产生一定的力或位移，或两者之合并，应用于电器仪表的多种多样的控制。

热双金属目前还没有一定的分类标准。有从组合层的合金来分类的，也有根据其特性来划分的。

(1) 按主动层合金分类：

- 1) 有色金属的热双金属；
- 2) 黑色金属的热双金属。

(2) 按电阻系数的分类：

这是以热双金属的电阻系数作为分类标准，如美国生产从 0.16 到 1.42 欧·毫米²/米范围内各种不同电阻系数的热双金属，即大约每隔 0.1 欧就有一种牌号的品种。

(3) 按使用目的的分类：

1) 普通型。这一类型的热双金属用于一般目的，如一般简单的自动控制装置。属于这种类型的如苏联 TB3，美国 Highflex、B1 和 Chace 2400 以及德国 Ge 和 2036 等热双金

属^①。

2) 高灵敏类型。用于室温调节装置(在較小的温度变化时需产生大的位移)。例如苏联 TB36, 美国 P675R 等热双金属。

3) 高温类型。用于电烙鉄控制或其他控制較高温度的装置。这类型的如苏联 TB2, 美国的 E3、E4、E5 和 Chace 2300 等热双金属。

4) 额定电阻类型。大多用于断流器(热元件由通过电流而发热)。这类型热双金属也有称为“断路器材料”。它具有不同的电阻系数, 因而可以簡化电器結構并使其統一化。这一类型以三金属为主, 但具有高电阻的双金属, 如苏联 TB37, 美国的 P850 等亦可属于該类型。

5) 耐腐蝕类型。用于蒸汽控制閥以及在腐蝕介质中的控制机构, 例如苏联 TB69 和美国 J7、Chace 4700 等热双金属。

(4) 按特性的分类:

1) 直綫动作的热双金属。在一个較大的温度变化范围内热双金属具有均匀的偏轉, 即在該范围内偏轉与温度的关系是直綫的。

2) 在达到預定温度点之前需較慢的动作。这就是說, 一个热双金属元件在达到預定温度之前对于温度变化是不很灵敏的。

3) 在温度上升时加速动作。

4) 在温度上升时减速动作。

5) 在預定的温度以上减速动作。

^① 关于热双金属的品种和类型可參閱附录 I 国外热双金属产品品种及其技术数据。

6) 在預定的溫度以上無動作。

7) 在預定的溫度之前相反動作。

綜本章所述,可以作出熱雙金屬較完整的定義:

熱雙金屬是一個用兩種熱膨脹係數不同的金屬和合金,而全面焊合的材料,當溫度變化時,它改變形狀,利用這一特性達到多樣的自動控制的目的。

第 2 章

热双金属組合层材料的选择及其性质

对热双金属組合层材料的选择是个比較复杂的问题，要求它們在一个广闊的温度范围中具有特殊的物理性能，其中最重要的是：

- (1) 热膨胀系数——双金属敏感性能的量度；
- (2) 弹性模数——刚性的量度；
- (3) 冷轧后的弹限——硬度的量度；
- (4) 导电率——电阻的量度。

当然，其他性质如韧性、冶金稳定性、各种温度下强度、焊接性和耐腐蝕性等等也很重要。在这些性能中，热膨胀系数更为重要，可是一般純金属并不具备上述的綜合性能。图 2 为十种純金属的膨胀系数。

从图 2 可知，鎢和鉬具有小的膨胀系数，但其焊接性很差；鉑的膨胀系数也很小，却是貴金属；錫、鎳和鋅都有很大的膨胀系数，而强度极坏；鋁的强度虽較高，然它与鎳合金的焊接性不好。因此，热双金属的組合层材料必須采用合金来制造。

关于合金的热膨胀性，A. И. 古里耶也夫曾談到两个規律：

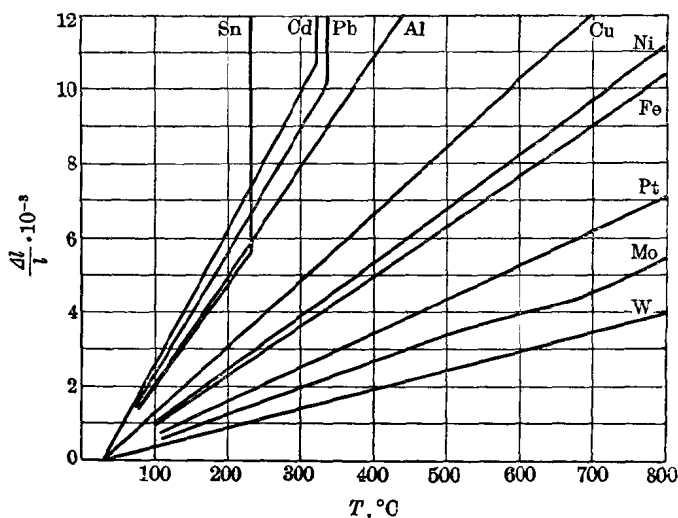


图 2 純金属的伸长率

(1) 如二組元形成机械混合物时，則綫膨脹系数与二組元的体积比呈直綫关系；

(2) 如二組元形成固溶体，則綫膨脹系数依曲綫規律变化，但任何合金的綫膨脹系数决不超过或低于純組元的綫膨脹系数。

热双金属組合层材料的要求是：綫膨脹系数等于零(被动层)，或者是极大(主动层)。根据这两个規律，并不是所有的金属和合金都能达到这一要求。

过渡族金属和合金，特别是鉄磁性合金的膨脹沒有任何規律。例如，鉄-鎳合金就是“反常”的：含 36% 鎳的鉄鎳合金在室温时的綫膨脹系数小到 $1.2 \sim 1.5 \times 10^{-6}$ ，而含 25% 鎳时，其綫膨脹系数大到 20×10^{-6} 。这种“反常”現象是由于鉄磁性性质(見下节)所形成的。因此，鉄鎳基合金是制造热双

金属的最适当的合金,特别是作为被动层的殷钢型合金,迄今尚无新的合金可以代替。

1. 被动层材料——殷钢型合金

铁镍合金因含镍量的不同而有許多特殊的性质, 其中一部份铁镍合金替工程材料解决了不少困难问题, 特别是在精密仪表制造、計量、航空和电子管等的生产中, 因此必須制訂整个一系列具有类似殷钢性质的特殊铁镍基合金。这类热膨胀系数可預先正确规定的合金在精密合金中已建立了一个独立的系列。例如, 含 56% 镍的铁镍合金具有如普通钢的膨胀系数, 并且有着随时间、尺寸不变以及較高耐腐蝕的优点, 所以有用于測量装置; 含 46% 镍合金有与玻璃大約相等的膨胀系数, 因而用作电灯中的引入綫; 如将 42% 镍合金涂复铜, 即为大量用于灯泡中的杜美絲; 在无綫电工程中, 含 39% 镍合金用在特殊的低膨胀系数的玻璃制造之强射管中; 还有将两种各具特別高及特別低的热膨胀性的铁镍合金接合起来的复合材料, 就是本书所談的热双金属。目前所知具有殷钢性质的合金有: Fe-Ni (殷钢, 代用白金), Fe-Pt, Fe-Ni-Co (超級殷钢、可伐), Fe-Ni-Cr 及 Fe-Co-Cr (不銹殷钢) 等。在热双金属中, Fe-Ni 二元系合金 (34~50% Ni) 应用最广。

殷钢含 36% Ni, 附有一定杂质, 其余为鉄的合金。其化学成分如下:

Ni	C	Mn	Si	P	S
35~37	<0.05	<0.5	0.2	0.03	0.03 (%)

在相平衡图上, 殷钢处于与不可逆的 $\gamma + \alpha$ 区毗邻的可逆区边界上, 如图 3 所示。左方点表示純鉄的膨胀系数 11.9×10^{-6} , 右方点表示純镍的膨胀系数 13×10^{-6} 。連接純

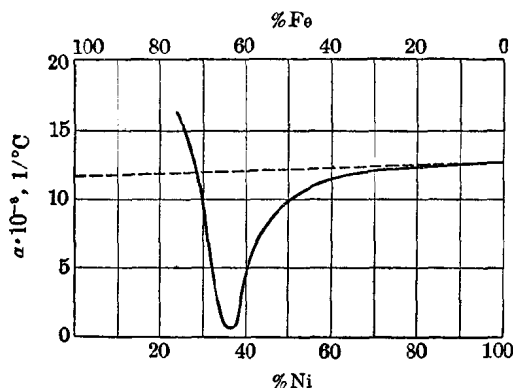


图3 铁镍合金的热膨胀系数与含镍量的关系

铁与纯镍的膨胀系数数值的虚线表示根据混合法则的理论结果。可是从图中看到实际数值远远地离开理论数值。这种低膨胀点仅出现在含一定含镍量的合金。

图4为铁镍合金热膨胀系数与含镍量关系的等温曲线，左方为不可逆合金的曲线。这种合金按其有无磁性及温度高低具有各种不同的膨胀系数。从图中可以看出，铁镍合金的热膨胀系数随温度的上升而增长，而在高温时，所有铁镍合金的膨胀系数都接近于 20×10^{-6} 。例如，殷钢在 0°C 时膨胀系数约为 1×10^{-6} ， 100°C 时为 3×10^{-6} ， 200°C 时为 8×10^{-6} ， 300°C 时为 15×10^{-6} ，而在 500°C 已为 18×10^{-6} ，即接近于铁镍合金膨胀系数的极限值。因此殷钢的工作温度有其一定的范围(参见图5)。

从 F 点冷却时，合金沿 FE 线收缩。这是无磁性 γ 相的膨胀曲线。在 E 点开始的斜度之改变并不表明 $\gamma \rightarrow \alpha$ 转变的开始，这仅标志着铁磁性的出现。斜度沿着逐渐收缩的方向而迅速改变继续到 D 点。然后沿着 DC 线继续冷却，这时则

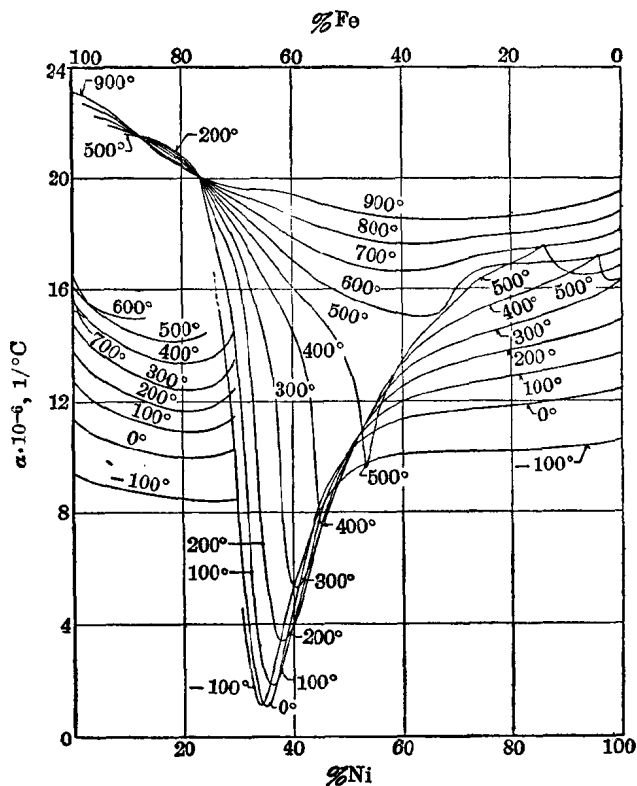


图4 铁镍合金在不同含镍量的范围时的
热膨胀系数的等温曲线

伴随着减小的而接近不变的收缩。当重新加热时，这现象相反地重合。实际上，*CD* 部分是最重要的，因为其斜度决定最小膨胀系数值，而这段长度为合金最有用的温度范围。所以殷钢只能使用到 $150 \sim 170^{\circ}\text{C}$ 。含 40% Ni 的铁镍合金可以用于 $200 \sim 340^{\circ}\text{C}$ 。在温度达到 450°C 时，含 46% 镍合金具有最小膨胀系数。这些合金都已广泛用作热双金属的被动层材

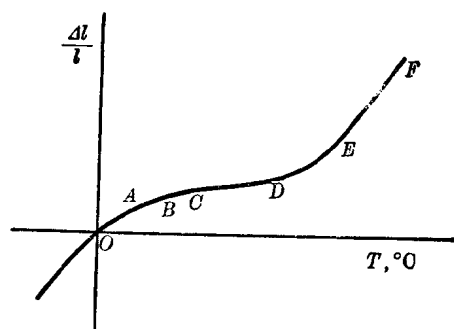


图5 含40% 镍合金的典型膨胀曲线

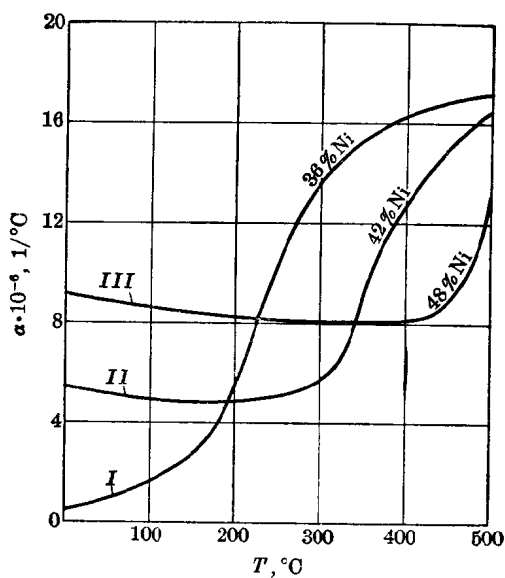


图6 铁镍合金的热膨胀系数与温度的关系