

[文章编号] 1004- 0609(2001)S2- 0152- 04

二元黄铜表面色的定量研究^①

张玉平^{1,2}, 张津徐¹, 吴建生¹, 梅品修³

(1. 上海交通大学 教育部高温材料及高温测试开放实验室, 上海 200030;

2. 太原重型机械学院, 太原 030024; 3. 上海欣品线材有限公司, 上海 200030)

[摘要] 采用 CIE LAB 表色系统, 用明度 L^* 、色品 a^* 和 b^* 描述合金的颜色。通过分光光度计定量地测定了 Cu-Zn 二元黄铜的色度参数, 探讨了 L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 随 Zn 含量的变化规律, 给出了常用二元黄铜表面色的定量定性结果。研究表明, Cu-Zn 二元合金的色度参数 a^* 和 b^* 值可以通过数学公式模拟计算, 从而预计二元黄铜的表面色。

[关键词] Cu-Zn; 黄铜; 颜色; 色度

[中图分类号] TP 146. 1⁺ 1

[文献标识码] A

随着人们生活水平的提高和市场竞争的加剧, 人们不仅对产品的内在质量要求越来越高, 而且开始注重其表面色泽, 特别是当用于装饰目的时, 对产品的颜色提出了更高的要求。铜合金因成分不同, 表面可呈现赤红、金黄、黄、白甚至紫色色泽^[1], 历来倍受青睐。然而, 人们对于铜合金的研究主要侧重于力学性能、加工性能、耐磨性能、腐蚀性能等方面, 国内外标准已给出了合金的强度、延伸率、电导、磁导等性能的详尽数据, 却没有颜色的定量标准。虽然有资料报导铜合金的色泽, 但大都是定性的描述, 而且结果不尽相同(见表 1)。如对含锌为 10% 的二元黄铜, 美国标准规定 C22000 的表面色为古铜-金色, 文献[3]认为是略带黄色的红色, 而文献[4]则认为是金黄色; 再如, 对含锌为 30% 的三七黄铜, 美国标准规定弹壳青铜 C26000 的表面色为绿-金色, 文献[3]认为是金黄色, 而文献[4]则为绿黄色。可见颜色的定性评价不能对材料的表面色泽进行精确的描述, 缺乏统一性、规范性和可比性, 而且不能定量研究合金元素对表面色的影响规律。因此, 有必要应用色度学基本原理来定量描述金属表面色泽; 并利用计算机数据处理技术, 探讨二元合金和三元合金的表面色与成分的关系, 绘制表面色随成分变化的颜色相图, 为装饰铜合金和工业铜合金的开发研究提供定量依据。我们选择 Cu-Mn-Zn 三元合金进行了系统的颜色定量研究^[5], 并主要探讨二元黄铜的表面色泽。

表 1 二元黄铜的表面色

Table 1 Surface color of some Cu-Zn binary alloys

Brand	w (Zn) / %	ASTM ^[2]	Ref. [3]	Ref. [4]
C21000	5	Red brown	Purplish red	
C22000	10	Bronze golden	Pale yellow red	Golden yellow
C23000	15	Tair golden	Orange	Golden yellow
C24000	20		Pale red golden	Golden yellow
C26000	30	Greer golden	Golden	Green yellow
C27000	35		Golden	Yellow
C28000	40	Drabr golden		Golden yellow

1 CIE1976(L^* , a^* , b^*) 均匀色空间^[6, 7]

图 1 是 CIE LAB 颜色空间的基本结构, 它有一个垂直的明度轴 L^* 和两个色品轴 a^* 和 b^* 。 L^* 轴为颜色的明度坐标轴, L^* 取值从 0 至 100, 它由底部的黑色($L^* = 0$)经中灰到达顶部的白色($L^* = 100$)即全反射色。色度研究结果表明, 彩色物体表面的光反射率愈高, 它的明度就愈高。过高的明度, 也就是反射率在 80%~90% 时, 该物体呈白色; 若反射率小于 4%, 则该物体为黑色。明度轴代表无彩色刺激, 离开明度轴的点代表有彩色刺激。 a^* 轴为红绿轴, $a^* > 0$ 表示物体表面色中含有红色成分, $a^* < 0$ 表示物体表面色中含有绿色成分。 b^* 轴为黄蓝轴, $b^* > 0$ 表示物体表面色中含有

① [基金项目] 上海市科委资助项目(99JC14021, 00ZE14035)
[作者简介] 张玉平(1964-), 女, 副教授, 博士研究生。

[收稿日期] 2001- 06- 18; [修订日期] 2001- 07- 05

黄色成分, $b^* < 0$ 表示物体表面色中含有蓝色成分。 C^* 为颜色的彩度, $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, 是由明度轴到色空间某一点的水平径向距离。 C^* 越大, 表明色彩的饱和程度越大。

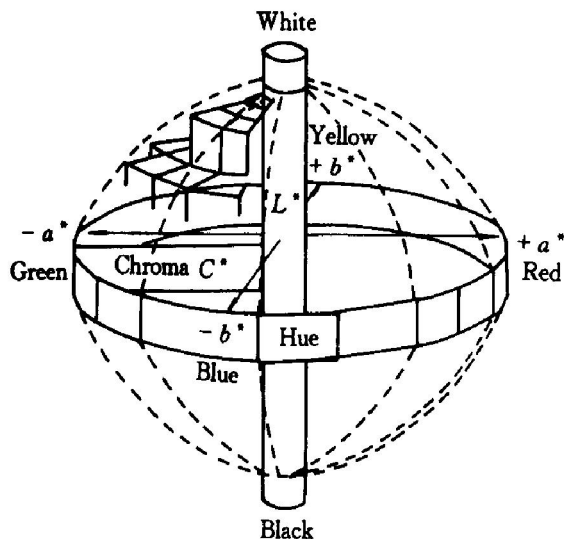


图 1 用 CIE LAB 表示的色空间

Fig. 1 CIE LAB uniform color space

2 颜色测量^[6, 8]

人类的眼睛是最古老的颜色测量工具, 人眼对微小的颜色差别有很敏锐的辨别能力, 人们长期利用目视比较的方法来判别产品的颜色。但是目视方法测量的结果带有主观性, 它受到视觉适应性、不同人眼的光谱响应、测量时人的身体状况(疲劳程度)及其它因素的影响。所以在颜色的分析和标定中, 目视比较法和目视测量仪器有不少缺陷。

分光测色仪是颜色测量中最重要的仪器。采用美国 ELREPHO 2000 分光测色仪, 直接测定 CIE1976(L^* , a^* , b^*) 坐标值, 选用 D65 标准照明体, 10° 视场, $0/d$ 观测条件, 测色结果见表 2。

试样采用高温电阻炉和刚玉坩埚熔铸而成, 最终经 600# 水砂纸打磨, 酒精清洗备用。测色在试样磨光后 24 h 内进行。为了准确研究不同含锌量的铜合金的颜色, 对每种试验合金的成分均进行了化学分析, 其实际成分如表 2 所示。

3 结果及分析

图 2 是按照表 2 的数据绘制的 Cu-Zn 二元系中色度参数 L^* , a^* , b^* 和 C^* 随 Zn 含量的变化曲线, 图 3 是根据文献[9]和[10]提供的数据绘制的二元黄铜色度参数与 Zn 含量的关系, 它们都是在

表 2 试验合金的成分及色度参数
(D65/10°, 0/d 条件, 磨光表面)

Table 2 Composition and chromaticity parameters of experimental alloys

No.	$w(\text{Zn})/\%$		Color parameter				Alloy code name (GB)
	Nominal	Measured	L^*	a^*	b^*	C^*	
600	0	0	66.95	12.7	14.0	18.9	
517	10	9	69.92	6.4	16.6	17.8	H90
402	20	19	73.93	1.0	19.1	19.1	H80
403	30	29	73.36	-1.7	20.3	20.4	H70
518	40	38	72.63	1.7	18.1	18.2	H62
602	45	46	74.03	1.6	17.9	18.0	
601	50	51	72.58	4.0	15.9	16.4	

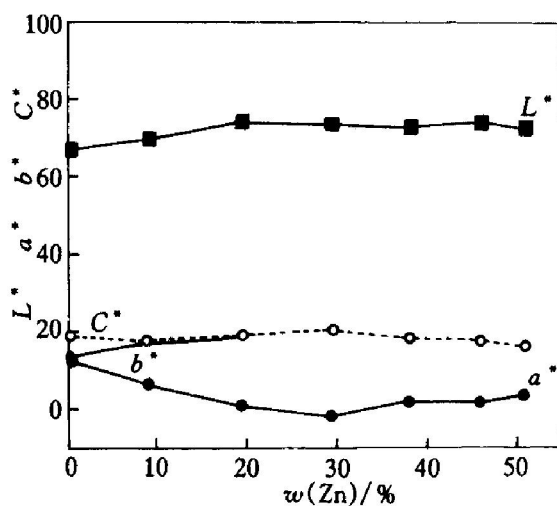


图 2 二元黄铜的色度参数

Fig. 2 Color variation with Zn content for Cu-Zn binary alloy

铸态抛光表面用分光光度计测色得到的数据。比较图 2 和 3 可发现, Cu-Zn 二元合金的色品 L^* , a^* , b^* 和 C^* 值随 Zn 含量的变化趋势相同; 从数值上看, a^* , b^* 和 C^* 值接近, 但图 2 所示的明度 L^* 较低。由色度学可知, 明度是人眼对物体的明暗感觉。发光物体的亮度越高, 则明度越高; 非发光物体反射比越高, 明度越高。而物体表面的粗糙度(光洁度)不同, 反射比不同。因为由物体表面散发出来的光, 可引起人眼感觉, 这种光包括从材料表面直接反射的光和由表面稍许进入内部, 经过内反射和折射以后再射出物体表面的光。前者是入射光直接反射回来的, 这种光对着色无作用。后者是光在物体中经选择吸收、反射后再射出的光, 是真正反映物体色泽的光。表面光洁度影响这两部分光的比例。表面越光洁, 白光反射越多, 材料越明亮,

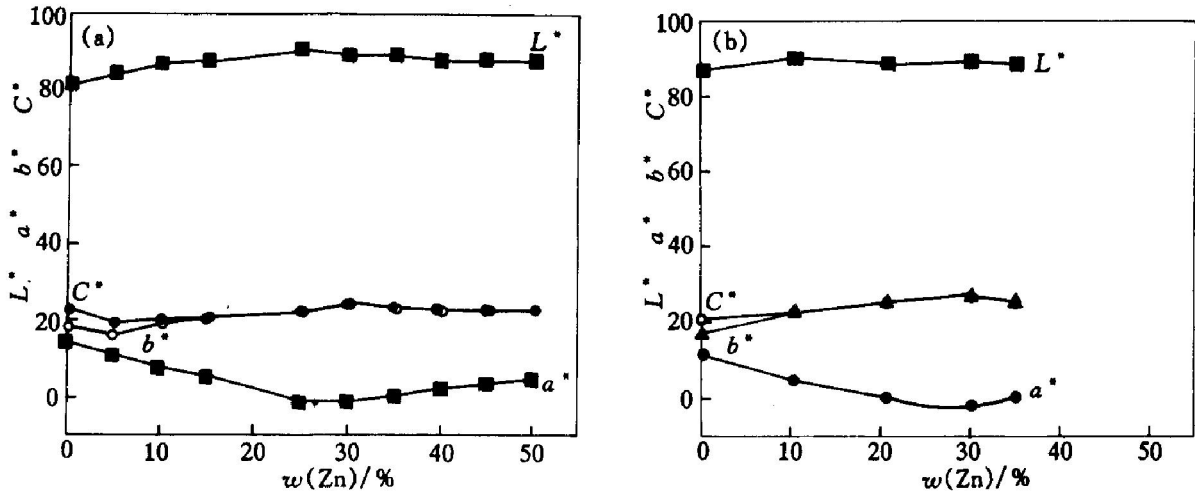


图3 二元黄铜的色度参数^[9,10]

Fig. 3 Color variation with Zn content in Cu-Zn binary alloy^[9,10]

(a) —By Li^[9]; (b) —By German^[10]

色泽越淡，越接近白光。由于试验中采用带光泽吸收阱的0/d测色条件，试样选用了600#水砂纸磨光的粗糙表面，因此图2的L*值偏低。而a*、b*和C*值的差异是由测色仪器、测试条件、试样制备条件和原材料纯度等因素造成的。

图4是色品a*随Zn含量的变化趋势及其回归分析结果。从图4可以看出，当铜中加入合金元素锌时，a*值下降，含锌量约30%处达到最低值(-1.7)。当锌含量大于30%后，二元黄铜的a*值由负变正逐渐提高；当Zn含量约为22%和33%时，a*值为零。可见当铜中加入锌后，表面色中的红色成分减少，当锌含量达22%时红色成分消失；在22%~33%范围内时表面色中不含红色成分，却含有其补色——绿色成分；当锌含量大于33%后，表面色中的红色成分又随着Zn的增加而提高。

对a*—w(Zn)曲线进行多项式拟合，Gaussian

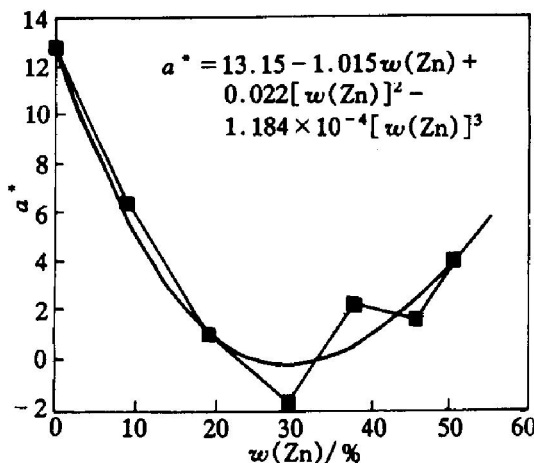


图4 二元黄铜的a*值及其回归曲线

Fig. 4 a* vs composition in Cu-Zn binary alloy

拟合、Sigmoidal拟合和Lorenzian拟合表明，在本试验条件下，三次多项式较好地表述了a*值随Zn含量的变化规律，相关系数为0.955，其表达式为：

$$a^* = 13.15 - 1.015(w(\text{Zn})) + 0.022(w(\text{Zn}))^2 - 1.184 \times 10^{-4}(w(\text{Zn}))^3$$

Zn含量对b*的影响与a*正好相反。由表2和图5可见，二元黄铜的b*值始终为正，且随着Zn的加入而先增加后减少，在30%处达到最大。表明黄铜表面色中含有黄色成分，含Zn约30%的黄铜中的黄色成分最多。曲线拟合表明，多项式拟合比Gaussian拟合、Sigmoidal拟合和Lorenzian拟合的相关系数大，拟合效果好。其中，二次多项式和三次多项式拟合的相关系数最大，均为0.942。b*—w(Zn)关系的模拟曲线取

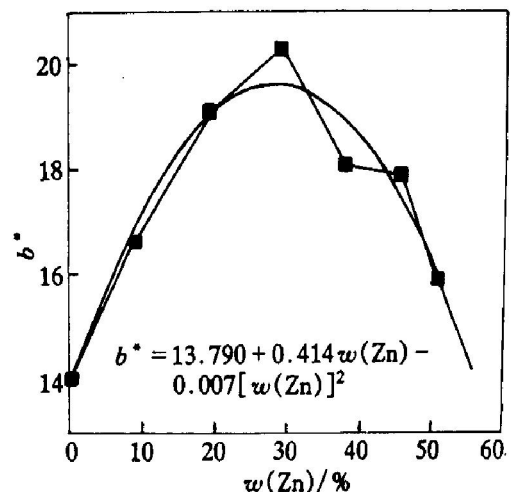


图5 二元黄铜的b*值及其回归曲线

Fig. 5 b* vs composition in Cu-Zn binary alloy

$$b^* = 13.790 + 0.414(w(\text{Zn})) - 0.007(w(\text{Zn}))^2$$

根据以上表达式, 可以计算出不同含锌量的 Cu-Zn 二元合金的色度参数 a^* 和 b^* 值, 从而预计二元黄铜的表面色。特别是对于黄铜仿金合金, 具有一定指导意义。

从图 2 还可看出, 随着 Zn 含量的增加, L^* 值增加, 当锌含量大于 20% 后, 明度 L^* 变化不大。在整个试验范围内, 彩度 C^* 值约等于或稍大于 b^* 值, C^* 值在 16.4~20.4 范围内, 随 Zn 含量的增加变化不大, 色彩饱和度基本处于同一水平。

就紫铜的色度参数而言, b^* 和 a^* 值接近但前者稍大, 亦即紫铜的表面色中含有的黄色成分和红色成分基本相当但黄色成分稍多。与二元黄铜相比, 紫铜的 L^* 和 b^* 值最小, a^* 值最大, 说明紫铜含红色成分最多、黄色成分最少且明度最低, 紫铜比二元黄铜偏暗、偏红, 表面色为铜红色。简单黄铜的表面偏亮、偏黄。对于简单黄铜, 由于 b^* 值总是大于 a^* 值(见图 2), 简单黄铜的表面色的主色调是黄色, 另外还可能含有少量红色或绿色成分, 也可能不含红绿成分。二元黄铜色泽的变化趋势是: Zn 含量在 0~21% 范围内时, 随着 Zn 含量的增加, 合金的表面色中明度提高, 黄色成分增加, 红色成分减少, 色调由铜红色向金黄色变化; 当含 Zn 量为 23%~32% 时, 合金表面色中含有较多黄色成分和少许绿色成分, 表面色呈现绿黄色; 当锌含量超过 33% 后, 合金表面色中黄色成分减少, 红色成分增加, 表面色又呈现金黄色; 锌含量约为 22% 和 33% 时, a^* 值等于零, 表面色为纯黄色。

由上可见, 在加工黄铜中, H96(4% Zn) 的颜色接近铜红色; H90(10% Zn) 较纯铜更黄, 红色成分

更少, 属红黄色; H80(20% Zn) 和 H68(32% Zn) 近于纯黄色; H70(30% Zn) 表面呈现绿黄色; H62(38% Zn) 为金黄色, 色度参数详见表 2。

[REFERENCES]

- [1] West E G. Copper and Its Alloys [M]. Chichester: Ellis Horwood Limited, 1982. 16- 17.
- [2] ZHAO Zu-de(赵祖德). Handbook of Copper and Copper Alloys(铜及铜合金材料手册) [M]. Beijing: Science Press, 1993. 31.
- [3] LI Bo-wu(李柏武). 金属的结构与色泽 [J]. Metal World(金属世界), 1990(2): 10- 11.
- [4] LI Bao-mian(李宝绵), WANG Yu-gui(王玉贵). Cu-Zn 合金铸件的色泽特性 [J]. Special Casting & Nonferrous Metals(特种铸造及有色合金), 1999(3): 46- 48.
- [5] ZHANG Yu-ping(张玉平), ZHANG Ji-r-xu(张津徐), WU Jian-sheng(吴建生). Cu-Mn-Zn 系合金的色度研究 [A]. Proceedings of the 10th National Symposium on Phase Diagram (第十届全国相图学术会议论文集) [C]. Wuhu: Anhui Normal University, 2000. 195- 198.
- [6] TANG Shun-qing(汤顺青). Chromatics(色度学) [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 1990. 80- 165.
- [7] CIE. CIE Publication No. 15. 2(TV-1. 3), 1982.
- [8] Wyszecki G, Stiles W S. Color Science [M]. John Wiley & Sons, INC, 1967. 65- 82.
- [9] LI Bao-mian, WANG Yu-gui. Color characteristics of Cu-Zr-Al alloys [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 1994, 4(3): 89- 92.
- [10] German R M, Guzowski M M, Wright D C. Color and color stability as alloy design criteria [J]. Journal of Metals, 1980, 32(3): 20- 27.

Quantitative research on surface color of binary brass

ZHANG Yu-ping^{1, 2}, ZHANG Ji-r-xu¹, WU Jian-sheng¹, MEI Pin-xiu³

- (1. Open Lab of the Ministry of Education for High Temperature Materials and Testing, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, P. R. China;
2. Taiyuan Heavy Machinery Institute, Taiyuan 030024, P. R. China;
3. Shanghai Xinpin Linear Products Co. Ltd., Shanghai 200030, P. R. China)

[Abstract] The color characteristics of Cu-Zn binary alloys were investigated quantitatively. Using CIE LAB color system, the surface color of the alloy was described by chromaticity parameters L^* , a^* and b^* , which were measured by the spectrophotometer. The changing law of color parameters (L^* , a^* , b^* and C^*) with Zn content was demonstrated. Therefore, the surface colors of some standard Cu-Zn binary alloys were given. The results show that a^* and b^* values are changed with Zn content abiding by the polynomial equation so that the surface color of the Cu-Zn alloy system can be forecast.

[Key words] Cu-Zn; brass; color; chromaticity

(编辑 袁赛前)