

# 正交试验法在不锈钢着色 硬化处理中的应用

毕宝林 高福宝等

〔提要〕本文着重介绍了正交法在不锈钢着色硬化过程中的应用。由于采用了正交试验法，合理的安排了试验方案，在较短的时间内确定了工艺参数，使不锈钢着色这项新技术在较短的时间内收到了可喜的成果。

**关键词：**正交试验法 不锈钢着色

## 一、不锈钢着色与硬化处理

光亮耐腐蚀的不锈钢及其制品目前不只是在工业领域中而且在人们生活的领域中已经开始应用。象铝的氧化那样如果不锈钢表面也呈现一种绚丽多彩的氧化膜，那将更加丰富人们的生活给人们带来愉快和享受。不仅如此彩色不锈钢的出现将开辟不锈钢应用的新领域。

近些年来，国外对彩巴不锈钢的研制有了较大进展，特别是英国日本等国不锈钢着色技

## 五、结 论

对支承在二、三、四个轴承上的均匀轴。研究了阻尼和轴承对轴刚度比这两个因素对临界转速和阻尼比的影响，并进行了检验最佳阻尼比是否存在的实验。得到如下结论：

- (1) 对每一阶临界转速存在着一个产生最大阻尼比的最佳支承阻尼。
- (2) 当阻尼无限大时，临界转速等于简支轴的临界转速。
- (3) 可以作过减幅临界转速的数目等于支承轴承的数目，并且过减幅临界转速的阶次随着支承刚度的增加而变化。
- (4) 得到了使得阻尼比为常数的刚度和阻尼之间的关系曲线，最大阻尼比和最佳阻尼对支承刚度的特性曲线，并得到了标明有过减幅区域的临界转速图，这些图将有助于确定轴承对刚度之比。
- (5) 对超过过度衰减区域上限的刚度，最大阻尼比的减少与支承刚度成反比，而最佳轴承阻尼的增加与支承刚度成正比。因此，应避免过大的支承刚度。

**参 考 文 献：**（略）

〔曾阳摘译自 Transaction of the ASME, Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliab Lity in Design Vol. 106 No1, Jan 1984. 毕成武、余永清校〕

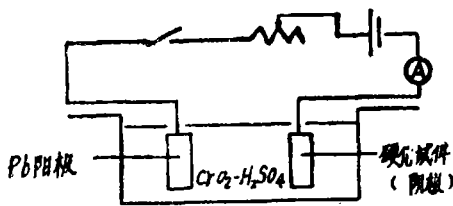


图 1 电化学硬化处理原理图

术发展迅速。彩色不锈钢不仅成功的用做太阳能集热板、橱窗设备、各种装饰等，而且别有风味的彩色不锈钢大楼精美迷人的不锈钢彩色壁画已经出现。目前只有英日等少数几个国家拥有专利权并控制着这些技术。

我国对彩色不锈钢的技术开发工作已经起步，许多高等院校、科研单位都对不锈钢着色

技术给予很大的关注，但大多数都还处于试验室阶段、更未转化为商品。一九八四年初哈尔滨市科委把不锈钢着色技术列为重点攻关课题之一。我所自承担这一课题后经过半年多的时间就完成了试验室阶段的研制工作，而后建立了试制车间进行了中试和工艺定形。目前不锈钢着色厂已经建成可以生产十多种颜色鲜艳色调均匀的单色不锈钢板，彩色不锈钢标牌及其他制品已经开始打入市场。

不锈钢着色法有许多种、我们采用的是INCO法(即化学浸渍着色法)。该法由着色和硬化等主要工序处理过程组成。着色后不锈钢表面氧化膜在光的干涉下呈现出一定颜色。但氧化膜软而多孔极易被磨损和污染，因此必须通过硬化处理使其保留颜色和提高耐磨性。这是不锈钢着色技术重要关键之一。硬化处理过程是将着色后的具有氧化色的不锈钢板做阴极，在铬酐-硫酸溶液中经过电化学处理。在析出氢的同时使六价铬离子被还原成三价铬离子生成 $Cr_2O_3 \cdot Cr(OH)_3$ 颗粒，填充和封闭着色后的氧化膜孔隙，从而提高表面膜的耐磨性和抗污染能力。其装置原理如图 1。

影响硬化效果的因素很多其中溶液的浓度，溶液状态和温度、电流密度和通电时间等。按上述因素取三个水平用常规方法设计试验方案试验次数之多，工作量之重、电力消耗之大是可想而知的。由于我们采用了正交试验法较快的确定了硬化处理的工艺参数。

## 二、用正交试验法选择硬化处理工艺参数

### 1. 试验目的

将着色后的不锈钢试样(20×50)，经硬化处理提高着色氧化膜的耐磨性。影响硬化效果的因素较多、本试验用正交法安排试验方案选择硬化工艺参数。

### 2. 考核指标

在荷重500g/50mm<sup>2</sup>铅笔橡皮直线往复磨擦来回为一次。大于1000次不明显改变颜色。次数越高越好。

### 3. 安排方案

(1) 参照有关文献和试验确定硬化液的浓度、配方和状态，主要寻求溶液的温度、电流密度、通电时间对硬化效果的影响和相互关系。

(2) 制定因素位级表

参考有关文献及有关试验确定并择取电流密度、通电时间和溶液的温度不同位级如下：

表 1

| 位 级 | 因 素 | 通电时间 A<br>(分)  | 溶液温度 B<br>(°C) | 电流密度 C<br>(A/dm <sup>2</sup> ) |
|-----|-----|----------------|----------------|--------------------------------|
| 1   |     | A <sub>1</sub> | B <sub>1</sub> | C <sub>1</sub>                 |
| 2   |     | A <sub>2</sub> | B <sub>2</sub> | C <sub>2</sub>                 |
| 3   |     | A <sub>3</sub> | B <sub>3</sub> | C <sub>3</sub>                 |

$$A_1 < A_2 < A_3 \quad B_1 < B_2 < B_3 \quad C_1 < C_2 < C_3$$

(3) 用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交表安排试验及试验结果

表 2

| 序号              | 因素<br>列号 | 通电时间 A<br>(分)       | 溶液温度 B<br>(°C)      | 电流密度 C<br>(A/dm <sup>2</sup> ) | 耐磨次数                         |
|-----------------|----------|---------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                 |          | 1                   | 2                   | 3                              |                              |
| 1               |          | 1 (A <sub>1</sub> ) | 1 (B <sub>1</sub> ) | 3 (C <sub>3</sub> )            | 1100                         |
| 2               |          | 2 (A <sub>2</sub> ) | 1 (B <sub>1</sub> ) | 1 (C <sub>1</sub> )            | 1300                         |
| 3               |          | 3 (A <sub>3</sub> ) | 1 (B <sub>1</sub> ) | 2 (C <sub>2</sub> )            | 1400                         |
| 4               |          | 1 (A <sub>1</sub> ) | 2 (B <sub>2</sub> ) | 2 (C <sub>2</sub> )            | 1500                         |
| 5               |          | 2 (A <sub>2</sub> ) | 2 (B <sub>2</sub> ) | 3 (C <sub>3</sub> )            | 1200                         |
| 6               |          | 3 (A <sub>3</sub> ) | 2 (B <sub>2</sub> ) | 1 (C <sub>1</sub> )            | 1200                         |
| 7               |          | 1 (A <sub>1</sub> ) | 3 (B <sub>3</sub> ) | 1 (C <sub>1</sub> )            | 800                          |
| 8               |          | 2 (A <sub>2</sub> ) | 3 (B <sub>3</sub> ) | 2 (C <sub>2</sub> )            | 1000                         |
| 9               |          | 3 (A <sub>3</sub> ) | 3 (B <sub>3</sub> ) | 3 (C <sub>3</sub> )            | 1000                         |
| I = 位级 1 三次之和   |          | 3400                | 3800                | 3300                           | I + II + III<br>= 总和 = 10500 |
| II = 位级 2 三次之和  |          | 3500                | 3900                | 3900                           |                              |
| III = 位级 3 三次之和 |          | 3600                | 2800                | 3300                           |                              |
| 极差 R            |          | 200                 | 1100                | 600                            |                              |

#### 4. 正交试验结果分析

(1) 直接看

第四号试验结果最好，耐磨次数达1500次，其次是第三号试验其耐磨次数为1400次这两个试验条件是：第四号 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 第三号是 A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>

表 3

| 试 验 号 | 通电时间(分)        | 溶液温度(°C)       | 电流密度 A/cm <sup>2</sup> |
|-------|----------------|----------------|------------------------|
| 第 四 号 | A <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | C <sub>2</sub>         |
| 第 三 号 | A <sub>3</sub> | B <sub>1</sub> | C <sub>2</sub>         |

(2) 计一计

(a) 可能好的配合  $A_3B_2C_2$

(b) 根据极差分析、极差大的因素意味着对试验结果影响大，因此对试验结果影响的主要因素排列顺序如下：B（溶液的温度）C（电流密度）、A（通电时间）。溶液的温度极差最大是主要因素、通电时间极差最小是最次要因素。

(c) 各因素趋势图如下

(3) 综合分析

从趋势图看通电时间从  $A_1$  分钟增到  $A_3$  分钟耐磨次数略有增加但不明显，采用短时间对耐磨次数影响并不显著但可大大提高生产率和降低电能消耗故采用  $A_1$  为好。

溶液的温度引起的极差最大  $B_2$  时耐磨次数最高同国外提供的资料是一致的好的位级为  $B_2$ 。

电流密度也是重要因素、 $C_2$  时耐磨次数较高

综合上述分析可能好的配合为  $A_1B_2C_2$  这与直接看的结果是一致的，因此选用了该参数并在试生产中达到了满意的结果。

为了提高生产率和节约电能，进一步设法减少通电时间是必要的。在不产生硬化层损伤的情况下适当提高些电流密度和减少通电时间也可能得到较好的硬化效果因此展望好的配合为：通电时间  $A'$  ( $A' < A_1$ )，电流密度  $C_2$  ( $C_2 < C_2' < C_3$ ) 溶液的温度为  $B_2$ 。

5. 第二批撒小网

(1) 制定因素位级表

表 4

| 因素 | 通电时间<br>(分) | 电流密度<br>( $A/dm^2$ ) |
|----|-------------|----------------------|
| 1  | $A'_1$      | $C_2$                |
| 2  | $A_1$       | $C'_2$               |

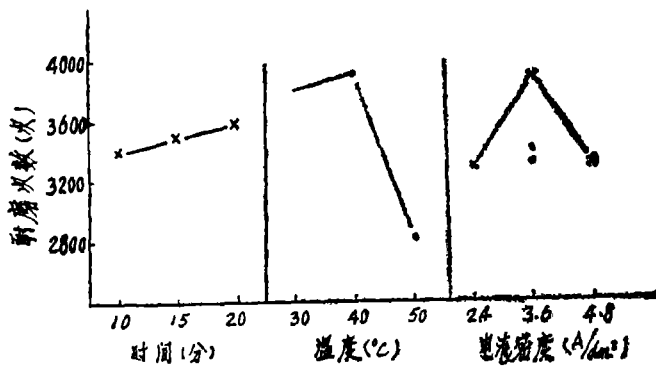


图 2 各因素趋势图

用  $L_4(2^3)$  正交表安排试验及其试验结果(见表 5)

(2) 试验结果

直接看：第三号试样耐磨次数最高。试验条件是溶液温度  $B_2$ ，电流密度  $C'_2$ 、通电时间  $A'_1$  即  $A'_1B_2C'_2$ 。

算一算：电流密度较通电时间影响硬化效果大些。电流密度是主要因素，较好的位级是：电流密度  $C'_2$ ，通电时间为  $A_1$ ，由于  $A_1 > A'_1$  所以通电时间长是我们不希望的。而  $A'_1$  时间较短与试验条件  $B_2$  和  $C'_2$  配合即  $A'_1B_2C'_2$  也可达到满意结果，这可能是由于电流密度的适当提高对耐磨次数的有利影响完全弥补了由于时间少的不利影响所致。

表 5

| 序号             | 因素  | 时 间 (分)     | 电 流 密 度 $A/dm^2$ | 耐 磨 次 数       |
|----------------|-----|-------------|------------------|---------------|
|                | 列 号 | 1           | 2                |               |
| 1              |     | 1( $A'_1$ ) | 1( $C_2$ )       | 500           |
| 2              |     | 2( $A_1$ )  | 1( $C_2$ )       | 1500          |
| 3              |     | 1( $A'_1$ ) | 2( $C'_2$ )      | 1600          |
| 4              |     | 2( $A_1$ )  | 2( $C'_2$ )      | 1400          |
| I = 位级 1 二次之和  |     | 2100        | 2000             | I + II = 5000 |
| II = 位级 2 二次之和 |     | 2900        | 3000             |               |
| 极 差 R          |     | 800         | 1000             |               |

### 三、结 语

1. 不锈钢着色的硬化处理工艺是多因素的，在掌握现有资料和必要的常规试验基础上把溶液的温度、通电的电流密度、通电时间等几个相互影响的电学因素用正交法确定试验方案，找出了较合适的硬化工艺参数。

2. 正交试验法的应用使彩色不锈钢研制工作加快了。由于我们较快地解决了硬化工艺，因而使彩色不锈钢耐磨度有显著提高并可以和日本柯丽娜公司彩色板相比美。因此1985年2月这项技术通过了技术鉴定。鉴定书认为：“这项成果填补了省内空白在国内处于领先地位，达到了国际水平。”

3. 彩色不锈钢目前已经不只是试验完的样品，而且在哈尔滨市和庆安县已建立了彩色不锈钢生产厂。它可使不锈钢制品穿上鲜艳多彩的衣装、它也可以使不锈钢更加耐蚀、长久耐用。随着生产的发展和人们生活水平的提高，彩色不锈钢及其制品即将在各个领域中得到广泛应用。

8. An attempt at modification of coal-fired boilers for firing sunflower husks(42)  
Synopsis  
Two coal-fired traveling grate boilers have been modified to burn sunflower husks in order to effect an economic disposal of the above-mentioned husks-a factory by-product. The boiler output has been increased with the boiler proper construction basically unchanged and the environmental protection requirements for smoke and dust abatement being successfully met. Furthermore, good economic results have been attained.
9. Control of solid fuel slagging.....(46)  
STRENGTH AND VIBRIATION
10. Study of damped critical speeds and damping ratios of flexible rotors .....(51)  
QUALITY CONTROL
11. Application of orthogonal method in adhesion strength treatment of stainless steel coloring.....Bi Baolin, Xu Chuenjiu(57)  
Synopsis  
The application of orthogonal method in adhesion strength treatment of stainless steel coloration is described in this paper. Orthogonal experimental method has been used in developing a test program with all technological parameters being determined within a relatively short period of time, which makes it possible to relatively quickly achieve satisfactory results in applying this new technique of stainless steel coloration.  
NEWS
12. Chinese Navy orders five LM 2500s from General Electric.....(62)
13. Successful development of a new type of energy saving product-column sleeve type float steam trap.....(62)