

# 工程材料实用手册

4 铜合金 精密合金 粉末冶金及无机涂层材料

# 工程材料实用手册

铜 合 金      精密合金

粉末冶金及无机涂层材料

工程材料实用手册编辑委员会

中国标准出版社

## 内 容 提 要

本卷为工程材料实用手册之一，共有铜合金、精密合金、粉末冶金及无机涂层材料。对上述材料各种数据及每种合金的特性数据均收集齐备。为各行业的工程设计人员的选材及进行“损伤容限设计”时，提供了全面技术资料。

### 工 程 材 料 实 用 手 册

铜 合 金    精 密 合 金

粉 末 冶 金 及 无 机 涂 层 材 料

工 程 材 料 实 用 手 册 编 辑 委 员 会

责 任 编 辑   夏 恭 忱

中 国 标 准 出 版 社 出 版

(北 京 复 外 三 里 河)

中 国 标 准 出 版 社 秦 皇 岛 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行   各 地 新 华 书 店 经 售

版 权 专 有   不 得 翻 印

开 本 787 × 1092 1/16   印 张 67.50   字 数 1736.000

1989年 9 月 第 一 版   1989年 9 月 第 一 次 印 刷

印 数 1—8 500    定 价 26.10

ISBN7 - 5066 - 0123 - 5 / TB · 052

标 目 178—459

攀登材料  
科学高峰

方良



有乃乃積量原材  
料才能造出  
精產品

張笑華

## 编 辑 委 员 会

主任委员  
副主任委员

委 员  
(按姓氏笔画排列)

编 辑  
(按姓氏笔画排列)

常 务 编 辑

颜鸣皋

刘多朴

戚 彪

王祖法

王新民

刘家林

李志广

林 风

周瑞发

夏恭忱

王世伦

杨大灼

葛志明

张朝纲

师昌绪

范 棠

王道平

叶济生

李文龙

陈宗瑾

赵世荃

侯印初

黄志豪

王峙南

范 棠

姜作义

高 良

王峙南

王惠泉

朱之棻

李成功

沈嗣唐

罗昌远

张朝纲

郭絮吟

朱之棻

张瑞清

## 序 言

材料是现代科学技术的重要支柱。工程材料是材料科学中最重要的部分,是实现四个现代化的物质基础,也是国民经济发展速度的决定性因素之一。

三十多年来,我国工程材料的研究和生产发展迅速,实现了国产化、系列化,并推出了许多高性能的优质材料,有的达到了世界先进水平。

近年来,随着新技术、新工艺、新产品、新设备的开发,新材料也大量涌现。工程材料的牌号、品种、规格日益增多,原有按专业或行业编写的材料手册已不能满足设计、研究、生产和使用的要求。要做到正确选材,合理用材,充分发挥材料的潜力,使产品精密化、轻量化,迫切需要一部比较完整的、综合性的工具书。为此,航空工业部航空材料研究所倡议编写一部《工程材料实用手册》,得到了中国科学院、冶金工业部、有色金属总公司、化学工业部、石油化工总公司、轻工业部、纺织工业部、建筑材料工业局及其所属研究院、所、工厂、高等院校等单位的大力支持。参加编辑委员会工作或承担编写任务的有各方面经验丰富的专家;提供数据、资料的单位达300多个,参加人员有1100多人。

《工程材料实用手册》共八册,即铸铁、铸钢、普通碳钢、低合金钢;结构钢、不锈钢;变形高温合金、铸造高温合金;铝合金、镁合金、钛合金;铜合金、精密合金、粉末冶金及无机涂层材料;塑料、透明材料、复合材料、胶粘剂;橡胶、密封剂、燃料及润滑材料;涂料、绝缘材料、纺织材料。它具有以下几个特点:

1. 先进性 本手册选录了近年来我国研制的钛合金、先进复合材料、定向凝固和单晶合金、粉末冶金等新型材料,以及某些带有发展方向、有一定研究成果的新材料,如形状记忆合金、非晶态软磁合金、超导电材料等,虽然它们并不完全属于工程材料的范畴。此外,还列入了各科研、生产和使用单

位近年来测定的各种持久、蠕变、疲劳断裂、应力腐蚀以及接近使用条件的各种模拟试验性能的大量数据,在一定程度上反映了我国工程材料研究的成就和已达到的水平。

《手册》的编写格式统一,采用数字编码,便于计算机存贮与检索。

2. 综合性 包括金属材料、有机和无机非金属材料,既有工程结构材料,又有功能材料;既有物理、化学、力学性能数据,又有工艺、组织结构方面的参数和扼要描述。

3. 可靠性 所选录的数据大部分是有关科研、生产、使用单位测定和提供的,并且经过严格处理和核算。重要结构材料的拉伸强度性能还提供了A、B基值,为设计提供了许用值。

4. 实用性 按材料牌号给出了技术标准、品种规格、供应状态、应用概况和生产、使用中应注意的事项等,是一部带有标准性质的实用工具书。它不仅可供机械产品设计人员,还可供有关科研、生产、使用和维修人员使用,并对飞机、汽车、燃气轮机、船舶、机械、仪表制造业,以及石油、化工、轻工、建材、纺织各部门有关人员也有重要的参考价值。

《手册》的编成和出版是全国各材料工业部门、材料研究单位大力协作的结果,是全国材料研究、生产、使用单位科研人员三十多年来辛勤劳动的结晶。

编写如此重要和内容广泛的《工程材料实用手册》还是第一次,缺乏经验,难免有不足之处,诚请各界广大读者批评指正,以期在增刊和再版时使它更完善,更富有实用价值。

《手册》在编写过程中,承蒙各有关单位的支持,积极提供研究报告、准确的数据、曲线、图表、资料等,在此谨向各有关单位和个人表示深切的谢意。

工程材料实用手册编辑委员会



## 编写说明

《工程材料实用手册》分8卷24篇，包括铸铁、铸钢、普通碳钢、低合金钢；结构钢、不锈钢；变形高温合金、铸造高温合金；铝合金、镁合金、钛合金；铜合金、精密合金、粉末冶金及无机涂层材料；塑料、透明材料、复合材料、胶粘剂；橡胶、密封剂、燃料及润滑材料；涂料、绝缘材料、纺织材料，共约2000个牌号，900多万字，含大量数据、图表、曲线。《手册》中数据经过严格处理，对于某些重要材料，除了提供指标值和典型数据外，还提供了A、B基值。为了便于计算机存贮，《手册》采用了数字编码的形式。

### 1 取材原则

纳入《手册》材料的选取条件是：

- (1) 已通过鉴定并已正式使用的材料；
- (2) 虽未鉴定（非技术原因）但已正式使用的材料；
- (3) 已通过鉴定，正在或准备推广应用的材料；
- (4) 工程用关键材料，数据齐全，相近牌号在国外已有成熟使用经验的材料；
- (5) 新研制的带方向性的材料，数据齐全，正在或准备试用的材料。

在每个独立编写单元（一般是一个牌号一类材料，或一个系统）“概述”部分的应用概况中说明了该材料的应用成熟程度，各独立编写单元排列的先后次序也是基本上按照上列条件次序安排的。

## 2 编写格式

《手册》中大部分材料以一个牌号为一个独立编写单元；橡胶、塑料、绝缘材料、纺织材料及涂料，也有以一类材料为一个独立编写单元；涂料还有以一个系统为一个独立编写单元的。每个独立编写单元分章、条、款、项进行叙述。

结构钢、不锈钢、高温合金、铝合金、镁合金、钛合金、铜合金、精密合金、粉末冶金及无机涂层材料的编写格式与编码(编码不连续时表示该缺项无数据或暂缺)如下：

### 1 概述

- 1.1 材料牌号
- 1.2 相近牌号
- 1.3 材料的技术标准
- 1.4 化学成分
- 1.5 热处理制度
- 1.6 品种规格与供应状态
- 1.7 熔炼与铸造工艺
- 1.8 应用概况与特殊要求

### 2 物理及化学性能

- 2.1 热性能
  - 2.1.1 熔化温度范围
  - 2.1.2 热导率
  - 2.1.3 比热容
  - 2.1.4 线膨胀系数
- 2.2 密度
- 2.3 电性能
- 2.4 磁性能

- 2.5 化学性能
  - 2.5.1 抗氧化性能
  - 2.5.2 耐腐蚀性能
- 3 力学性能
  - 3.1 技术标准规定的性能
  - 3.2 室温及各种温度下的力学性能
    - 3.2.1 硬度
    - 3.2.2 拉伸性能
    - 3.2.3 压缩性能
    - 3.2.4 冲击性能
    - 3.2.5 弯曲性能
    - 3.2.6 扭转和切变性能
    - 3.2.7 承载性能
    - 3.2.8 应力集中
    - 3.2.9 其他性能
  - 3.3 持久和蠕变性能
    - 3.3.1 高温持久性能
    - 3.3.2 高温蠕变性能
  - 3.4 疲劳性能
    - 3.4.1 高周疲劳
    - 3.4.2 低周疲劳
    - 3.4.3 特种疲劳
  - 3.5 弹性性能
    - 3.5.1 弹性模量
    - 3.5.2 切变模量或割线模量
    - 3.5.3 泊松比
  - 3.6 断裂性能

- 3.6.1 断裂韧度
  - 3.6.2 应力腐蚀断裂韧度
  - 3.6.3 疲劳裂纹扩展速率
  - 3.6.4 应力强度因子门槛值
  - 3.7 模拟试验性能
  - 4 组织结构
    - 4.1 相变温度
    - 4.2 时间-温度-组织转变曲线
    - 4.3 合金组织结构
  - 5 工艺性能与要求
    - 5.1 成形性能
    - 5.2 焊接性能
    - 5.3 零件热处理工艺
    - 5.4 表面处理工艺
    - 5.5 切削加工与磨削性能
- 参考资料

塑料、透明材料、复合材料、胶粘剂、橡胶、密封剂、燃油及润滑材料、涂料、绝缘材料、纺织材料的独立编写单元的基本编写格式与编码(编码不连续时表示该缺项无数据或暂缺)如下:

- 1 概述
  - 1.1 牌号及名称
  - 1.2 基本组成
  - 1.3 材料标准
  - 1.4 使用工艺说明书
  - 1.5 供应状态
  - 1.6 应用概况

1.7 研制及生产单位

1.8 鉴定级别及日期

## 2 性能

2.1 物理及化学性能

2.2 力学性能

2.3 耐环境性能

2.4 工艺性能

2.5 使用性能

## 3 使用工艺

### 4 其他

4.1 包装

4.2 运输

4.3 贮存

4.4 技术安全

## 参考资料

## 3 名词术语

《手册》中的名词术语一律采用国家标准，没有国家标准的，则参照《航空工业科技词典》有关术语。

## 4 量与符号

《手册》中各种量的名称和符号按照GB 3100~3102—86规定；单位一律采用国务院公布的法定计量单位。如有必要说明，列于相应篇的绪论之后。

## 5 单位换算与数字修约

《手册》中的量，由其他单位制换算而来的，在采用法定

计量单位后,应适当选择量的单位词头,一般使量的数值处于0.1~1000范围内。

各种测量值或计算数值的修约,是按照4舍6入5单双的原则。

金属材料标准中力学性能(拉伸强度、屈服强度等)的指标值,以及A基、B基许用值,经换算后,修约到保留整数,并精确至5 MPa,采用2舍3入的原则,即不满3 MPa时舍去;满3 MPa计为5 MPa。但修约后,如果修约部分超过原指标值1%的,则暂未作修约。

## 6 数据

编入《手册》的各类数据,均注有出处及相关条件,数据统计处理是参照MIL-HDBK-5D进行的。

《手册》中的数据以下列四种方式表示:

(1) 当试样数 $n$ 为:  $3 < n \leq 10$ 时,以单一均值表示;

(2) 当 $10 < n < 30$ 时,以均值、最大值及最小值表示;

(3) 当 $n > 30$ 时,以均值、标准差及离散系数表示;

(4) 某些重要结构材料(高温合金、结构钢、钛合金等)的室温拉伸强度和屈服强度,除了标准值(S值)、典型值外,还给出了A、B基值,其前提条件是: $n \geq 100$ ,并且代表几个批次(或厂家)及10个以上炉次。

## 7 图表

《手册》中的图、表一般紧跟条文,图号及表号在每个独立编写单元内是按章顺序编号的。曲线图上,不出现实验点者只表明趋势。

铜合金、精密合金、粉末冶金及无机涂层材料常用量的名称及符号表

名 称	符 号	单 位
马氏体逆转变终止温度	$A_f$	℃
马氏体开始逆转变为母相温度	$A_s$	℃
弹性后效	$A_t$	%
磁感应强度	$B$	T
宽度	$B(b)$	mm, cm, m
剩余磁感应强度	$B_r$	T
饱和磁感应强度	$B_s$	T
工作磁感应强度	$B_w$	T
最大磁能积	$(B \cdot H)_m$	J/m <sup>3</sup>
方形系数(剩磁比)	$B_r/B_s (B_m)$	
比热容	$C$	J/kg·℃, J/kg·K
电阻修正系数	$C_t$	
直径	$D(d)$	mm, cm, m
裂纹扩展速率	$da/dN$	mm/周
弹性模量	$E$	GPa
热电动势	$E(e)$	V
动弹性模量	$E_D$	GPa
力	$F$	N
频率	$f$	Hz
切变模量	$G$	GPa
电导率	$g$	% IACS (国际铜标准)
磁场强度	$H$	A/m
高度	$h$	mm, cm, m
布氏硬度	HB	kgf/mm <sup>2</sup>
矫顽力	$H_c$	A/m
下临界磁场	$H_{c1}$	A/m
上临界磁场	$H_{c2}$	A/m
磁通密度矫顽力	$H_{cB}$	A/m
磁化强度矫顽力	$H_{cJ}$	A/m
洛氏硬度	HRB、HRC、HRF	
肖氏硬度	$H_s$	
弹性后效	$H_t$	%
工作磁场	$H_w$	A/m
维氏硬度	HV	kgf/mm <sup>2</sup>
电流	$I$	A
临界电流	$I_c$	A
临界电流密度	$J_c$	A/cm <sup>2</sup>
转动惯量	$J_L$	kg/m <sup>2</sup>
应变灵敏系数、重叠系数	$K$	
径向压溃强度	$K$	MPa
比弯曲	$K$	10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup>

续表

名 称	符 号	单 位
断裂韧性 (强度因子)	$K_{Ic}$	$MN/m^{3/2}$
凸起系数	$K_u$	
长度	$L$	mm, cm, m
质量	$m$	g, kg
带材宽厚比	$m$	
马氏体相变终止温度	$M_f$	$^{\circ}C$
静刹车力矩	$M_J$	$N \cdot m$
平均刹车力矩	$M_{PJ}$	$N \cdot m$
马氏体相变开始温度	$M_s$	$^{\circ}C$
饱和磁化强度	$M_s$	$A/m$
刹车力矩	$M_s$	$N \cdot m$
腐蚀速度		mm/年, $mg/m^2$ , h
疲劳寿命	$N$	周
谐振传输衰减		dB
试样数	$n$	个
转速	$n$	r/min
弹性模量比	$n(E_1/E_2)$	
压力	$P$	Pa, MPa, GPa
铁损	$P(P_c)$	W/kg
励磁功率	$P_e$	W/kg
平均比压	$P_{PJ}$	MPa
比磁滞损耗	$P_u$	$J/m^3, Hz$
纵振状态机械品质因素	$Q$	
单位刹车功率	$q_s$	$W/m^2$
扭振状态机械品质因素	$Q_t$	
曲率半径	$R(r)$	mm, cm, m
电阻	$R$	$\mu\Omega, \Omega$
粗糙度	$R_a$	$\mu m$
时间	$t$	s, min, h
厚度	$\delta$	mm, cm, m
居里温度	$T_c$	K, $^{\circ}C$
可逆温度系数	$T_{KR}$	$^{\circ}C^{-1}$
晶化温度	$T_x$	$^{\circ}C$
单位面积能载	$U_F$	$J/m^2$
单位重量能载	$U_q$	$J/kg$
电压	$U$	V
纵振波速	$V_L$	m/s
平均线速度	$V_{PJ}$	m/s
扭振波速	$V_t$	m/s
功	$W$	J, W
累积总磨损量	$W$	mm
晶粒度	$Z$	mm



续表

名 称	符 号	单 位
线膨胀系数	$\alpha$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
余气系数	$\alpha$	
艾氏冲击韧性	$\alpha_{KI}$	J
冲击韧性 (缺口)	$\alpha_{KU}$	$\text{kJ}/\text{m}^2$
磁导率温度系数	$\alpha_{\mu}$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
电阻温度系数	$\alpha_R$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
二次电阻温度系数	$\beta$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
磁导率温度系数	$\beta$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
弹性模量温度系数	$\beta_E$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
频率温度系数	$\beta_f$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
扭振频率温度系数	$\beta_{f_t}$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
切变模量温度系数	$\beta_G$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
厚度	$\delta$	mm, cm, m
延伸率 (伸长率)	$\delta (\delta_{10}), \delta_s$	%
磁滞损耗系数	$\delta_c$	m/A
后效损耗系数	$\delta_n$	
涡流损耗系数	$\delta_w$	$\text{Hz}^{-1}$
加工率	$\varepsilon$	%
热辐射系数	$\varepsilon$	
残余变形	$\varepsilon_p$	%
总应变量	$\varepsilon_t$	%
温度	$\theta$	$^{\circ}\text{C}$
回复角	$\theta$	rad, ( $^{\circ}$ )
热导率	$\lambda$	$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
饱和磁致伸缩系数	$\lambda_s$	
摩擦系数	$\mu$	
泊松比	$\mu$	
磁导率	$\mu$	H/m
弹性磁导率	$\mu', \mu_1$	H/m
幅值磁导率	$\mu$	H/m
峰值磁导率	$\mu_{\Delta}$	H/m
相对起始磁导率	$\mu_{ar}$	H/m
初始磁导率	$\mu_i$	H/m
静摩擦系数	$\mu_s$	
电感磁导率	$\mu_L$	H/m
最大磁导率	$\mu_{max}, \mu_m$	H/m
最小磁导率	$\mu_{min}$	H/m
脉冲磁导率	$\mu_p$	H/m
平均摩擦系数	$\mu_{pj}$	
密度	$\rho$	$\text{g}/\text{cm}^3$
电阻率	$\rho$	$\mu\Omega\cdot\text{m}, \Omega\cdot\text{m}$
正应力	$\sigma$	MPa