

# 工程材料实用手册

(第2版)

《工程材料实用手册》编辑委员会 编

第2卷 变形高温合金 铸造高温合金



中国标准出版社



责任编辑：袁晓玲  
封面设计：张晓平  
徐东彦

版式设计：张利华  
责任校对：李 兵  
责任印制：邓成友

ISBN 7-5066-2438-9



9 787506 624381 >

ISBN 7-5066-2438-9/TB · 703

定价：125.00 元

# 工程材料实用手册

## 第2卷

### 变形高温合金 铸造高温合金

#### 第2版

《工程材料实用手册》编辑委员会 编

中国标准出版社

中国标准出版社

## 内 容 提 要

《工程材料实用手册》(第2版)是我国工程材料领域的一套大型工具书,共11卷,约1300万字。本书是其中一卷,包括变形高温合金和铸造高温合金两篇。本书具有牌号齐全、内容详细的特点,每个牌号都翔实地介绍了材料的化学、物理及力学性能,并给出了详细数据。本书是从事工程设计及材料研究的工程技术人员的重要技术资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料实用手册. 第2卷, 变形高温合金、铸造高温合金/《工程材料实用手册》编辑委员会编. —2版.  
北京: 中国标准出版社, 2001. 10

ISBN 7-5066-2438-9

I. 工… I. 工… II. ① 工程材料—技术手册  
② 变形合金: 耐热合金—技术手册③ 铸造合金: 耐热合金—技术手册 IV. TB3-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第027075号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

电 话:68522112

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

\*

开本 880×1230 1/16 印张 54 $\frac{1}{4}$  字数 1643 千字

2002年8月第2版 2002年8月第1次印刷

\*

印数 1—2500 定价 125.00 元

网址 [www.bzcs.com](http://www.bzcs.com)

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

攀登材料  
科学高峰

方良



有乃乃其量至原材  
料乃能造出  
精產品

張笑華

发展高科技  
研制新材料

宋健



二〇〇〇年六月

## 顾问委员会

主任委员 师昌绪  
委员 王淀佐 关 桥 刘大响 刘多朴  
(按姓氏笔画排序) 李恒德 周 廉 高镇同 张立同  
顾诵芬 傅恒志 曹春晓

## 总编辑委员会

主任委员 颜鸣皋  
常务副主任委员 刘伯操 李金桂  
副主任委员 吴世平 华 俊 徐炳仑 李成功  
曾凡昌 吴学仁 周利珊 黄炳印  
刘国普  
委员 马济民 史伟琪 刘 颖 刘静安  
(按姓氏笔画排序) 仲增墉 曲选辉 李志广 肖为国  
汪武祥 余应梅 邹小英 陈荣章  
陈润斋 郑瑞琪 赵 进 赵广文  
赵振业 张凤翻 张茂松 张绍维  
张洪雁 姚俊臣 骆兴正 费洪柱  
章怡宁 高 莹 寇开昌 曹寿德  
韩雅芳 谢永琴 戴圣龙 戴永耀  
常务编辑 赵 进 朱之棻



# 第2版序言

材料的发展与应用标志着人类社会不断进步的里程,材料也是现代文明建设的重要物质基础。我国把材料的研制、生产置于十分重要的位置,把新材料纳入我国“863”高技术计划之中,作为国民经济发展的重点,并已取得了一批重要成果,保证了我国工业与国防建设的需要。

《工程材料实用手册》问世以来,迄今已有10多年了。在这期间,我国工程材料的研究和生产发展迅速,不仅实现了国产化、系列化,而且又涌现了一大批高质量的新材料,其中不少达到了或接近了世界先进水平;随着新技术、新工艺、新产品和新设备的开发,工程材料新的牌号、新的品种、新的规格也日益增加,原《工程材料实用手册》的内容有的已经陈旧,不能满足产品设计、研究、生产和使用的要求;要做到正确选材,合理用材,充分发挥工程材料的潜力达到产品精密化、轻量化、成本低、质量优,迫切需要一部新的《工程材料实用手册》。为此,北京航空材料研究院组织有关方面有成就的专家和学者,在第1版《工程材料实用手册》的基础上进行补充、完善、提高,剔除了已淘汰的老材料,补充了新成果,编写出反映我国工程材料最新水平的第2版《工程材料实用手册》。

第2版《工程材料实用手册》共11卷25篇,前10卷内容取自《中国航空材料手册》(第2版),第11卷内容包括铸铁、铸钢、碳钢和低合金钢4篇。从而使《工程材料实用手册》面向更广大的读者,是从事机械产品设计、研制、生产及材料科学研究的工程技术人员的重要实用手册。

第2版《工程材料实用手册》是一部集先进性、综合性、可靠性和实用性于一体的大型工具书,共收入2300多个工程材料牌号,其中新增材料牌号590多个,较第1版《手册》增幅达25%。

《手册》所含内容是我国材料工业部门、中国科学院及有关高等院校的材料研究人员和专家、学者几十年来潜心研究的结晶,也是高技术研究的重要成果。

先进性是指本《手册》收录了我国几十年来研究成功的新型工程材料,如超高强度结构钢、新型不锈钢、钛合金、铝镁合金、变形高温合金、铸造高温合金(含定向凝固和单晶合金)、粉末合金、先进复合材料、高性能聚合物材料,以及某些带有发展方向性的、并有一定科研成果的新材料,如形状记忆合金、非晶态软磁合金、超导材料等功能材料。

综合性是指本《手册》既收入了高性能的金属材料、有机和无机非金属材料,又收入了需求普遍,消耗量大,用途广泛的铸铁、铸钢、碳钢和低合金钢;既有结构材料,又有功能材料;既有材料的物理、化学性能数据,又有材料和零部件的热、冷加工的工艺性能数据,可使读者对每项材料有一个比较全面、完整的了解。本《手册》还新增了镀覆层与防锈材料篇。

可靠性是指本《手册》给出的数据真实、可靠,是经过严格处理与核实的,其中多数取之于有关科研、生产、使用、维护单位并经过实践检验的数据。对重要的结构材料还给出了平均值、标准差、变异系数、子样数和设计许用值;对某些关键结构材料还给出了A基值、B基值。

实用性是指本《手册》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,对合理选用材料富有参考价值。此外,其实用性还体现在不仅可供机械产品设计人员使用,还可供有关科研、生产、使用和维修人员使用。对航空、航天、机车、汽车、兵器、船舶、燃气轮机、机械、仪表制造业,以及石油、化工、轻工、纺织、建材等部门的工程技术人员也有重要参考价值。对有关高等院校的广大师生也有参考作用。

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

由于编者水平所限,手册的疏漏和不足之处在所难免,恳切期望广大读者指正。

编 者

2001年6月

# 第 1 版 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。

30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 30 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。

# 编 写 说 明

《工程材料实用手册》(第2版)分11卷25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;精密合金与功能材料、粉末冶金材料;复合材料、胶粘剂;塑料、透明材料、绝缘材料;橡胶、密封剂;涂料、镀覆层与防锈材料;燃料与润滑材料、纺织材料。共2300多个牌号,1200多万字,含大量数据、图表、曲线。《手册》中的数据经过严格处理,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。

## 1 取材原则

纳入《手册》材料的条件是:

- (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;
- (6) 使用中已暴露出严重问题,停止使用或已有明文规定停用或限用的材料不编入《手册》。

## 2 使用建议

为了合理选用材料,《手册》中给出了每个材料牌号的使用建议,其中“推荐”指综合性能好、有推广使用价值的先进材料;“选用”指在工业产品中已经使用,能满足设计要求的定型材料;“限用”指由于资源、性能等原因只限于某些原有产品,不能用于新设计的工业产品的材料。《手册》同时还给出了使用条件或范围的规定。

## 3 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;塑料、橡胶、绝缘材料、涂料、镀覆层与防锈材料及纺织材料,也有以一类材料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。

为便于各牌号的材料的技术要求及有关数据进行交流、应用和计算机管理,各牌号的内容采用统一的标题序号编排格式。

金属材料包括结构钢、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、精密合金与功能材料、粉末冶金材料。

《手册》中金属材料各牌号的编排格式如下:

- 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
  - 2.2 密度
  - 2.3 电性能
  - 2.4 磁性能
  - 2.5 化学性能
- 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
  - 3.3 持久和蠕变性能
  - 3.4 疲劳性能
  - 3.5 弹性性能
  - 3.6 断裂性能
- 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
- 6 功能考核试验
- 7 使用建议

#### 参考文献

非金属材料包括复合材料、胶粘剂、塑料、透明材料、绝缘材料、橡胶、密封剂、涂料、镀覆层与防锈材料、燃料与润滑材料、纺织材料。

《手册》中非金属材料各牌号的编排格式如下:

- 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

## 5 使用建议

### 参考文献

## 4 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《中国航空百科词典》有关术语。

## 5 量的单位与符号

《手册》中各种量的单位与符号按照 GB 3100~3102—1993 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。

《手册》中“化学成分”、“配比”所用的“%”,凡未注明的均为质量分数。

## 6 单位换算与数值修约

《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 的范围内。

各种测量值或计算值的修约是按照 GB/T 8170—1987《数值修约规则》进行的。

金属材料力学性能试验数据的修约分别参照航空行业标准 HB 5143、HB 5195、HB 5212、HB 5214、HB 5215 的有关规定。

## 7 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-5F(金属材料)和 MIL-HDBK-17B(非金属材料)进行的。

《手册》中的数据以下列方式表示:

(1) 当试样数  $n$  为:  $3 \leq n \leq 10$  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  $n \geq 30$  时,以均值、标准差及变异系数表示;

(4) 某些重要结构金属材料(高温合金、钛合金、结构钢等)的室温抗拉强度和规定非比例伸长应力,除了标准值(S值)、典型值外,还给出了 A、B 基值、 $-3\sigma$ ,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。

(5) 某些重要结构非金属材料(复合材料、结构胶粘剂等)的室温抗拉强度和剪切强度,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:  $n \geq 30$ ,并且代表几个批次(或厂家)及 5 个以上炉次。

## 8 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的顺序编写的。曲线图上,不出现实验点者只表明趋势。

变形高温合金、铸造高温合金常用量的名称、符号及单位表

名 称	符 号	单 位	名 称	符 号	单 位
A 基值(置信度 95%、存活率 99%)	A	—	疲劳缺口系数	$K_f$	—
B 基值(置信度 95%、存活率 90%)	B	—	缺口敏感系数	$K_r$	—
缺口试样冲击韧性	$A_{KU}, A_{KV}$	J, kJ	长度	$L$	mm, m
无缺口试样冲击韧性	$a_K$	J/cm <sup>2</sup> , kJ/m <sup>2</sup>	力矩	$M$	N·m
U 形缺口试样冲击韧性	$a_{KU}$	J/cm <sup>2</sup> , kJ/m <sup>2</sup>	扭矩	$M_k$	N·m
V 形缺口试样冲击韧性	$a_{KV}$	J/cm <sup>2</sup> , kJ/m <sup>2</sup>	高周疲劳寿命	$N$	周, cycle
疲劳强度指数	$b$	—	疲劳寿命	$N$	周, cycle
比热容	$c$	J/(kg·K), kJ/(kg·℃)	低周疲劳寿命	$N_f$	周, cycle
疲劳延性指数	$c$	—	平均电子空位数	$\bar{N}$	—
变异系数	$C_V$	—	失效反向数	$2N_f$	—
直径	$d$	mm	中值疲劳寿命	$N_{50}$	周, cycle
疲劳裂纹扩展速率	$da/dN$	mm/cycle, mm/周	样本大小	$n$	—
应力腐蚀裂纹扩展速率	$da/dt$	m/s, mm/s	转速	$n$	r/min
弹性模量(静态)	$E$	GPa	循环应变硬化指数	$n'$	—
弹性模量(压缩)	$E_C$	GPa	压力	$P$	Pa, MPa
弹性模量(动态)	$E_D$	GPa	存活率	$P$	—
力	$F, F_r$	N	热扩散率	$Q$	m <sup>2</sup> /s
频率	$f$	Hz	应力比	$R$	—
切变模量	$G$	GPa	应变比	$R_c$	—
布氏硬度	HBS, HBW	—	半径	$r$	mm
洛氏硬度	HRA, HRB, HRC	—	S 基值(技术标准规定值)	$S$	—
维氏硬度	HV	—	样本标准差	$s$	—
平面应力断裂韧度	$K_{IC}$	MN/m <sup>3/2</sup> , MPa√m	热力学温度	$T$	K
平面应变断裂韧度	$K_{Ic}$	MN/m <sup>3/2</sup> , MPa√m	扭矩、力偶矩	$T$	N·m
循环强度系数	$K'$	MPa	时间	$t$	s, min, h
应力强度因子	$K_1, K$	MN/m <sup>3/2</sup> , MPa√m	体积	$V$	mL, L
应力强度因子幅度	$\Delta K$	MN/m <sup>3/2</sup> , MPa√m	质量分数	$w$	%
应力腐蚀断裂韧度	$K_{ISCC}$	MPa√m, MN/m <sup>3/2</sup>	样本均值	$\bar{X}$	—
应力强度因子门槛值	$\Delta K_{th}$	MN/m <sup>3/2</sup> , MPa√m	线膨胀系数	$\alpha, \alpha_1$	K <sup>-1</sup> , °C <sup>-1</sup>
持久缺口敏感系数	$K_t, K_s$	—	平面角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta$	(°)
理论应力集中系数	$K_t$	—	厚度	$\delta$	mm
			断后伸长率	$\delta$	%
			伸长率	$\delta(\delta_5, \delta_{10})$	%
			压力加工变形量、变形程度	$\epsilon$	%
			线应变	$\epsilon$	%, mm/mm
			蠕变速率	$\dot{\epsilon}$	%/h
			最大变形量	$\epsilon_{max}$	%
			最小变形量	$\epsilon_{min}$	%
			稳态蠕变速率	$\dot{\epsilon}_s$	1/h, %/h
			总应变	$\epsilon_t$	%, mm/mm
			总塑性应变	$\epsilon_{tP}$	%, mm/mm
			弹性应变	$\epsilon_e$	%, mm/mm



续表

名称	符号	单位	名称	符号	单位
残余应变	$\epsilon_p$	% , mm/mm	缺口持久强度	$\sigma_{iH}^{\theta}$ ( $\sigma_{100H}^{700}$ 、 $\sigma_{200H}^{900}$ 、 .....)	MPa
疲劳延性系数	$\epsilon_f$	—	蠕变强度	$\sigma_{\epsilon_f/t}^{\theta}$ 、 $\sigma_{\epsilon_p/t}^{\theta}$ ( $\sigma_{0.2/100}^{700}$ 、 $\sigma_{1/100}^{900}$ 、.....)	MPa
总应变范围	$\Delta\epsilon_t$	%	疲劳强度 ( $N=10^6$ 、 $10^7$ 、 $10^8$ 、.....)	$\sigma_{max}$ 、 $\sigma_{-1}$	MPa
塑性应变范围	$\Delta\epsilon_p$	%	疲劳极限	$\sigma_D$	MPa
弹性应变范围	$\Delta\epsilon_e$	%	置信度	$\gamma$	%
摄氏温度	$\theta$	°C	应力范围	$\Delta\sigma$	MPa
泊松比	$\mu$	—	-3 $\sigma$ 值 (置信度 95%、 存活率 99.87%)	-3 $\sigma$	—
正应力	$\sigma$	MPa	切应力、抗剪强度	$\tau$	MPa
应力幅	$\sigma_a$	MPa	抗扭强度	$\tau_b$	MPa
抗拉强度	$\sigma_b$	MPa	规定非比例扭转应力	$\tau_{P0.3}$ 、 $\tau_{P0.01}$	MPa
缺口抗拉强度	$\sigma_{bH}$	MPa	扭转疲劳强度	$\tau_{max}$	MPa
抗压强度	$\sigma_{bc}$	MPa	扭转疲劳极限	$\tau_D$	MPa
承载强度	$\sigma_{bru}$	MPa	断面收缩率	$\psi$	%
承载屈服强度	$\sigma_{bry}$	MPa	热导率	$\lambda$	W/(m·K), W/(m·°C)
弹性极限	$\sigma_e$	MPa	密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup> , g/cm <sup>3</sup>
疲劳强度系数	$\sigma_f$	MPa	电阻率	$\rho$	$\Omega \cdot m$ , $\mu\Omega \cdot m$
平均应力	$\sigma_m$	MPa	氧化增重、腐蚀减重	—	g/m <sup>2</sup> , mg/cm <sup>2</sup>
比例极限	$\sigma_P$	MPa	氧化速率、腐蚀速率	—	g/(m <sup>2</sup> ·h)
屈服点	$\sigma_s$	MPa	晶粒度	—	级
压缩屈服点	$\sigma_{sc}$	MPa	晶格常数、析出相尺寸	—	nm
抗弯强度	$\sigma_w$	MPa	平均晶粒尺寸	—	$\mu m$
最大应力	$\sigma_{max}$	MPa	平均晶粒面积	—	$\mu m^2$
最小应力	$\sigma_{min}$	MPa	原子分数	—	(at)%
规定非比例伸长应力	$\sigma_{P0.01}$ 、 $\sigma_{P0.1}$ 、 $\sigma_{P0.2}$ 、 $\sigma_{P0.1}$ 、 $\sigma_{P0.2}$ 、 $\sigma_{P0.001}$ 、 $\sigma_{P0.002}$ 、 $\sigma_{P0.005}$	MPa			
规定非比例压缩应力	$\sigma_{Pc0.2}$	MPa			
持久强度	$\sigma_r^{\theta}$ ( $\sigma_{100}^{700}$ 、 $\sigma_{200}^{900}$ 、.....)	MPa ( $\sigma_r^{\theta/h}$ )			