

工程材料实用手册

内 容 提 要

本卷为工程材料实用手册之一，共分变形高温合金、铸造高温合金两篇。除介绍各个钢种的成分、常用力学性能数值外，还给出实际断裂强度、高温力学性能数据及特殊试验的数据；同时还给出了一些数据的 *A*、*B* 基值。为各个行业的工程设计人员，在选材方面和“损伤容限设计”时，提供了材料的全面技术资料。

本书可供产品设计、科研、生产和维修以及材料供应部门的人员使用；对机械、仪表制造、石油、化工、轻工、建材等各部门的有关人员也有重要的参考价值。

工 程 材 料 实 用 手 册

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

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 56³/₄ 字数 1294 000

1989年 3月第一版 1989年 3月第一次印刷

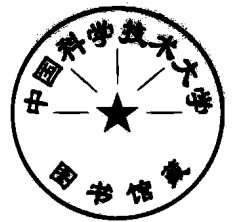
*

ISBN7-5066-0121-4/TB.040

印数 1—8 000 18.30 元

*

标目 178—456



攀登材料
科学高峰

方良



有九分是量原材料
料才能造出
精產品

張笑華

编 辑 委 员 会

主任委员

颜鸣皋

副主任委员

刘多朴

戚 彪

师昌绪

高 良

范 棠

王峙南

委 员

王祖法

王道平

王惠泉

(按姓氏笔画排列)

王新民

叶济生

朱之棻

刘家林

李文龙

李成功

李志广

陈宗瑾

沈嗣唐

林 风

赵世荃

罗昌远

周瑞发

侯印初

张朝纲

夏恭忱

黄志豪

郭絮吟

编 辑

王世伦

王峙南

朱之棻

(按姓氏笔画排列)

杨大灼

范 棠

张瑞清

葛志明

常务编辑

张朝纲

姜作义

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 $n \geq 30$ 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。

变形高温合金、铸造高温合金篇常用量的符号及单位表

名 称	符 号	单 位
A 基值 (概率99%)	<i>A</i>	—
无缺口试样冲击韧性	<i>a_k</i>	kJ/m^2
U形缺口试样冲击韧性	<i>a_{kU}</i>	kJ/m^2
V形缺口试样冲击韧性	<i>a_{kV}</i>	kJ/m^2
B 基值 (概率90%)	<i>B</i>	—
比热容	<i>C</i>	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K}), \text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$
离散系数	<i>C_v</i>	—
疲劳裂纹扩展速率	<i>da/dN</i>	$\text{mm}/\text{周}$
弹性模量 (静态)	<i>E</i>	GPa
弹性模量 (动态)	<i>E_D</i>	GPa
力	<i>F</i>	N
频率	<i>f, F_r</i>	Hz
切变模量	<i>G</i>	GPa
布氏硬度	<i>HB</i>	kgf/mm^2
洛氏硬度	<i>HRA, HRB, HRC</i>	—
维氏硬度	<i>HV</i>	kgf/mm^2
平面应力断裂韧度	<i>K_{Ic}</i>	$\text{MN}/\text{m}^{3/2}$
平面应变断裂韧度	<i>K_{IC}</i>	$\text{MN}/\text{m}^{3/2}$
应力强度因子	<i>K_{I, ΔK}</i>	$\text{MN}/\text{m}^{3/2}$
理论应力集中系数	<i>K_t</i>	—
力矩	<i>M</i>	$\text{N}\cdot\text{m}$
高周疲劳寿命	<i>N</i>	周
低周疲劳寿命	<i>N_f</i>	周
平均电子空位数	<i>N_v</i>	—
数理统计样本容量	<i>n</i>	—
压力	<i>P</i>	Pa, MPa
热扩散率	<i>Q</i>	m^2/s
应力比	<i>R</i>	—
S 基值 (技术标准规定值)	<i>S</i>	—
样本标准差	<i>s</i>	—
热力学温度	<i>T</i>	K
转矩, 力偶矩	<i>T, T_r</i>	$\text{N}\cdot\text{m}$
时间	<i>t</i>	$\text{s}, \text{min}, \text{h}$
样本均值	\bar{X}	—
线膨胀系数	<i>α</i>	$\text{K}^{-1}, ^\circ\text{C}^{-1}$
平面角	<i>α, β, γ, θ</i>	($^\circ$)
延伸率 (伸长率)	<i>δ (δ_s, δ₁₀)</i>	%
压力加工变形量, 变形程度	<i>ε</i>	%
线应变	<i>ε</i>	%
最大变形量	<i>ε_{max}</i>	%
稳态蠕变速率	<i>ε̇_s</i>	$1/\text{h}, \%/ \text{h}$
总蠕变变形	<i>ε_t</i>	%
残余蠕变变形	<i>ε_p</i>	%
弹性蠕变变形	<i>ε_e</i>	%
蠕变速率	<i>ε̇</i>	$\%/ \text{h}$
低周疲劳总应变范围	<i>Δε_t</i>	%
低周疲劳塑性应变范围	<i>Δε_p</i>	%
低周疲劳弹性应变范围	<i>Δε_e</i>	%
摄氏温度	<i>θ</i>	$^\circ\text{C}$
泊松比	<i>μ</i>	—
正应力	<i>σ</i>	MPa
应力幅	<i>σ_a</i>	MPa

续表

名 称	符 号	单 位
应力变程	$2\sigma_a$	MPa
拉伸强度	σ_b	MPa
压缩强度	σ_{-b}	MPa
弹性极限	σ_e	MPa
平均正应力	σ_m	MPa
比例极限	σ_p	MPa
物理屈服强度	σ_s	MPa
弯曲强度	σ_w	MPa
最大正应力	σ_{max}	MPa
最小正应力	σ_{min}	MPa
条件比例极限	$\sigma_{0.01}$	MPa
条件屈服极限	$\sigma_{0.1}, \sigma_{0.2}$	MPa
压缩屈服强度	$\sigma_{-0.2}$	MPa
持久强度极限	$\sigma_t^{\theta} (\sigma_{100}^{700}, \sigma_{200}^{900}, \dots)$	MPa ($\sigma_t^{\theta-h^{\circ}}$)
缺口持久强度极限	$\sigma_H^{\theta} (\sigma_{100H}^{700}, \sigma_{200H}^{900}, \dots)$	MPa
蠕变强度极限	$\sigma_{t/t}^{\theta} (\sigma_{0.2/100}^{800}, \sigma_{1/100}^{900}, \dots)$	MPa ($\sigma_s^{\theta-t^{\circ}}-\%/h$)
疲劳强度极限	σ_{-1}	MPa
缺口疲劳强度极限	σ_{-1H}	MPa
缺口拉伸强度	σ_{bH}	MPa
剪切强度, 切应力	τ	MPa
扭转强度	τ_b	MPa
断面收缩率	ψ	%
热流量	ϕ	W
热导率	λ	W/(m·k), W/(m·°C)
密度	ρ	kg/m ³ , g/cm ³
氧化增重, 腐蚀减重	—	g/m ² , mg/cm ²
氧化速率, 腐蚀速率	—	g/m ² ·h
晶粒度	—	级
晶格常数, 析出相尺寸	—	nm
晶粒平均尺寸	—	μm
晶粒平均面积	—	μm ²
重量百分数	—	%
原子百分数	—	(at)%

目 录

绪论..... (1)

变形高温合金

GH1015 (GH15)	(11)
GH1016 (GH16)	(37)
GH1035 (GH35)	(58)
GH1040 (GH40)	(64)
GH1131 (GH131)	(72)
GH1140 (GH140)	(82)
GH2018 (GH18)	(120)
GH2036 (GH36)	(129)
GH2130 (GH130)	(148)
GH2132 (GH132)	(157)
GH2135 (GH135)	(178)
GH2302 (GH302)	(197)
GH3030 (GH30)	(214)
GH3039 (GH39)	(224)
GH3044 (GH44)	(235)
GH3128 (GH128)	(247)
GH4033 (GH33)	(259)
GH4037 (GH37)	(277)
GH4043 (GH43)	(292)
GH4049 (GH49)	(299)
GH4133 (GH33A)	(308)
GH4169 (GH169)	(332)
GH19	(342)
GH22	(350)
GH93	(363)

GH 99	(369)
GH 118	(387)
GH 141	(398)
GH 143	(413)
GH 146	(421)
GH 150	(429)
GH 151	(444)
GH 163	(454)
GH 170	(463)
GH 188	(470)
GH 220	(479)
GH 625	(489)
GH 698	(501)
GH 710	(516)
GH 738	(529)
GH 761	(541)
GH 901	(560)

铸造高温合金

K 211 (K11)	(581)
K 214 (K14)	(585)
K 401 (K 1)	(593)
K 403 (K 3)	(598)
K 405 (K 5)	(609)
K 406 (K 6)	(619)
K 409 (K 9)	(629)
K 412 (K12)	(642)
K417 (K 17)	(647)
K417G(K 17G)	(659)
K418 (K 18)	(671)
K419 (K 19)	(683)
K438 (K 38)	(694)
K640 (K 40)	(706)