

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4卷 钛合金 铜合金



中国标准出版社



责任编辑：刘国普
封面设计：张晓平
徐东彦

版式设计：张利华
责任校对：慕晓鸣
责任印制：邓成友

ISBN 7-5066-2440-0



9 787506 624404 >

ISBN 7-5066-2440-0/TB · 704

定价：85.00 元

工程材料实用手册

第4卷

钛合金 铜合金

第2版

《工程材料实用手册》编辑委员会 编

中国标准出版社

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,包括钛合金和铜合金两篇。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4卷, 钛合金、铜合金/《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

ISBN 7-5066-2440-0

I. 工… II. 工… III. ① 工程材料-技术手册
② 钛合金-技术手册 ③ 铜合金-技术手册
IV. TB3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 067937 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:68523946 68517548

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 32 $\frac{3}{4}$ 字数 983 千字

2002年1月第2版 2002年1月第2次印刷

印数 1-2 500 定价 85.00 元

网址 www.bzcbbs.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



有少量原材料
料才能造出
精產品

張愛華

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				
副主任委员	吴世平	华 俊	徐炳仓	李成功	
	曾凡昌	吴学仁	周利珊	李金桂	
	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	朱之桀			

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》。

现在奉献给读者的第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11卷25篇,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、离散系数、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。

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 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	1.5 热处理制度
1.2 相近牌号	1.6 品种规格与供应状态
1.3 材料的技术标准	1.7 熔炼与铸造工艺
1.4 化学成分	1.8 应用概况与特殊要求
2 物理及化学性能	
2.1 热性能	2.4 磁性能
2.2 密度	2.5 化学性能
2.3 电性能	
3 力学性能	
3.1 技术标准规定的性能	3.4 疲劳性能
3.2 室温及各种温度下的力学性能	3.5 弹性性能
3.3 持久和蠕变性能	3.6 断裂性能
4 组织结构	
4.1 相变温度	4.3 合金组织结构
4.2 时间-温度-组织转变曲线	
5 工艺性能与要求	
5.1 成形性能	5.4 表面处理工艺
5.2 焊接性能	5.5 切削加工与磨削性能
5.3 零件热处理工艺	
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	1.5 供应状态
1.2 基本组成	1.6 应用概况
1.3 材料标准	1.7 研制及生产单位
1.4 使用工艺说明书	1.8 鉴定级别及日期
2 性能	
2.1 物理及化学性能	2.4 工艺性能
2.2 力学性能	2.5 使用性能
2.3 耐环境性能	
3 使用工艺	
4 其他	
4.1 包装	4.2 运输

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《航空工业科技词典》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”、“含量”、“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、标准差及离散系数表示;

(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、 -3σ ,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顺序编写的。曲线图上,不出现实验点者只表明趋势。

钛合金、铜合金常用量的名称、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	—	应力腐蚀断裂韧度	K_{ISCC}	MPa $\sqrt{m}$
艾氏冲击韧性	a_{KI}	J	理论应力集中系数	K_t	—
U 型缺口试样冲击韧性	a_{KU}	kJ/m^2	纵向	L	—
V 型缺口试样冲击韧性	a_{KV}	kJ/m^2	长度	$l, (L)$	mm
B 基值(置信度 95%, 存活率 90%)	B	—	退火	M	—
宽度	B	mm	质量, 重量	m	kg, g, mg, t
疲劳强度指数	b	—	应变速率敏感指数	m	—
弦向	C	—	样本最大值	max	—
比热容	c	J/(kg · °C)	样本最小值	min	—
疲劳延性指数	c	—	疲劳寿命	N	周
材料常数	C, n	—	中值疲劳寿命	N_{50}	周
中心裂纹拉伸试样	CCT	—	2 个 95% 疲劳寿命	$N_{95/95}$	周
紧凑拉伸试样	CT	—	失效反向数	$2N_f$	周
变异系数	C_v	—	样本大小	n	—
弯芯直径	D	mm	循环应变硬化指数	n'	—
焊嘴直径	D_z	mm	单点正拉强度	P_b	N/点
冷锻比	D_t/D_0	—	电极压力	P_j	N
细节疲劳额定强度	DFR	MPa	设计载荷	P_{sj}	kN, N
直径	d	mm	单点剪切强度	P_τ	N/点
钨极直径	d_w	mm	气体流量	Q	L/min
疲劳裂纹扩展速率	da/dN	mm/周	背面气体流量	Q_b	L/min
弹性模量(静态)	E	GPa	半径	R	mm
压缩弹性模量	E_c	GPa	曲率半径	R	mm
弹性模量(动态)	E_D	GPa	应力比	R	—
热电势	e	mV	径向	R	—
边距与孔径之比	e/D	—	热加工	R	—
频率	f	Hz	表面粗糙度	Ra	μm
切变模量	G	GPa	S 基值(技术标准规定值)	S	—
电导率	g	%IACS	面积	S	cm^2, mm^2
磁场强度	H	A/m	短横向	ST	—
布氏硬度	HBS	—	固溶处理	ST	—
热等静压处理	HIP	—	固溶时效	STA	—
洛氏硬度	HRB, HRC, HRF, HRM, HR · 30T	—	样本标准差	s	—
肖氏硬度	HS	—	横向	T	—
维氏硬度(显微硬度)	HV	—	居里点	T_c	°C
高度	$h, (H)$	mm	时间	t	h, min, s
焊接电流	I	A	通电时间	t_b	s
加载系数	K	—	通电时间间隔	t_a	s
循环强度系数	K'	MPa	电弧电压	U	V
平面应力断裂韧度	K_{IC}	MPa $\sqrt{m}$	体积	V	cm^3, L
平面应变断裂韧度	K_{Ic}	MPa $\sqrt{m}$	焊接速度	v	m/min, m/h
			质量分数	w	%
			样本均值	$\bar{X}$	—

续表

名 称	符 号	单 位	名 称	符 号	单 位
冷作硬化	Y	—	斜率取 0.85 时割线屈服	$\sigma_{0.85}$	MPa
晶粒尺寸	Z	mm	极限		
弯曲角	α	(°)	应力幅	σ_a	MPa
线膨胀系数	α_l	$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	抗拉强度	σ_b	MPa
电阻温度系数	α_R	$^\circ\text{C}^{-1}$	抗压强度	σ_{bc}	MPa
平面角	α, β	(°)	缺口抗拉强度	σ_{bH}	MPa
应力强度因子范围	ΔK	$\text{MPa } \sqrt{\text{m}}$	缺口敏感系数	σ_{bH}/σ_b	—
应力强度因子门槛值	ΔK_{th}	$\text{MPa } \sqrt{\text{m}}$	承载强度	σ_{bru}	MPa
弹性应变范围	$\Delta \epsilon_e$	%	承载屈服强度	σ_{bry}	MPa
塑性应变范围	$\Delta \epsilon_p$	%	疲劳极限	σ_D	MPa
总应变范围	$\Delta \epsilon_t$	%	弹性极限	σ_e	MPa
应力范围	$\Delta \sigma$	MPa	疲劳强度系数	σ'_f	MPa
厚度,壁厚	δ	mm	线材打结强度	σ_j	MPa
断后伸长率	$\delta, \delta_5, \delta_{10}, \delta_{25} (L_0 = 25\text{mm}), \delta_{50} (L_0 = 50\text{mm})$	%	平均应力	σ_m	MPa
			最大应力	$\sigma_{max}, (\tau_{max})$	MPa
			最小应力	$\sigma_{min}, (\tau_{min})$	MPa
			比例极限	σ_P	MPa
			规定非比例伸长应力	$\sigma_{P0.001}, \sigma_{P0.002}, \sigma_{P0.005}, \sigma_{P0.01}, \sigma_{P0.1}, \sigma_{P0.2}$	MPa
应变率	ϵ	%, mm/mm	规定非比例压缩应力	$\sigma_{Pc0.1}, \sigma_{Pc0.2}$	MPa
塑性应变	ϵ_p	%, mm/mm	真实应力	σ_R	MPa
初始应变速率	$\dot{\epsilon}_0$	s^{-1}	屈服点	σ_s	MPa
疲劳延性系数	ϵ'_f	%	剩余应力	σ_r	MPa
强度系数	η	%	—3 σ 值(置信度 95%, 存活率 99.87%)	—3 σ	—
缺口试样偏斜抗拉强度	η	%	持久强度	$\sigma'_t(\sigma'_{100})$	MPa
下降率			缺口持久强度	$\sigma'_{tH}(\sigma'_{100H})$	MPa
焊透率	η_t	%	蠕变强度	$\sigma'_{p/t}(\sigma'_{0.2/100})$	MPa
热导率	λ	W/(m · °C)	应力松弛度	$(\sigma_0 - \sigma_t)/\sigma_0$	%
泊松比	μ	—	切应力	τ	MPa
摩擦系数	μ	—	剪切强度	τ	MPa
密度	ρ	g/cm ³	抗扭强度	τ_b	MPa
电阻率	ρ	$\mu\Omega \cdot \text{m}$	剪切疲劳极限	τ_D	MPa
摄氏温度	θ	°C	规定非比例扭转应力	$\tau_{P0.01}, \tau_{P0.3}$	MPa
正应力	σ	MPa	断面收缩率	ψ	%
应力松弛初始应力	σ_0	MPa	体积分数	ψ	%
斜率取 0.7 时割线屈服	$\sigma_{0.7}$	MPa	质量磁化率	X	m ³ /kg
极限					