

中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会

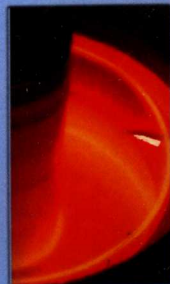



中国材料工程大典编委会

第3卷 钢铁材料工程 (下)

干勇 田志凌
董瀚 冯涤 王新林

主编



 化学工业出版社

CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

第3卷 钢铁材料工程(下)

干 勇 田志凌 主编
董 瀚 冯 涤 王新林

(京)新登字 039 号

内 容 简 介

中国材料工程大典是中国机械工程学会和中国材料研究学会共同组织全国 39 位院士、百余位各学科带头人、千余位材料工程专家共同执笔编写,全面反映当今国内外材料工程领域发展的最新资料和最新成果,集实用性、先进性和权威性于一体的大型综合性工具书。中国材料工程大典包括材料工程基础、钢铁材料工程、有色金属材料工程、高分子材料工程、无机非金属材料工程、复合材料工程、信息功能材料工程、粉末冶金材料工程、材料热处理工程、材料表面工程、材料铸造成形工程、材料塑性成形工程、材料焊接工程、材料特种加工成形工程、材料表征与检测技术等内容,涵盖了材料工程的各个领域,将最新的实用数据(特别是与国际接轨的标准数据)、图表与先进实用的科研成果系统地集合起来,并附应用实例,充分展示了材料工程各领域的现状和未来。中国材料工程大典不仅可以满足现代企业正确选材,合理用材,应用先进的材料成形加工技术,提高产品质量和性能,降低产品成本,增强产品市场竞争力的需要,而且对推动中国材料科学与材料成形加工技术的不断创新,促进制造业的发展,提高我国制造业的竞争能力,具有重要的现实意义。

本书为第 3 卷,钢铁材料工程(下)。主要内容包括合金结构钢、合金弹簧钢、滚动轴承钢、合金工具钢、高速工具钢、不锈钢、耐热钢、耐磨钢、易切削钢、超高强度钢、高强度不锈钢、低温钢、无磁钢、钎钢等。

本书主要供具有大专以上文化水平,从事材料工程研究的工程技术人员在综合研究和处理钢铁材料工程的各类技术问题时使用,起备查、提示和启发的作用,也可供研究人员、理工院校的有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国材料工程大典.第3卷,钢铁材料工程.下/干勇等主编.—北京:化学工业出版社,2005.8
ISBN 7-5025-7305-4

I. 中… II. 干… III. ①材料科学 ②黑色金属—金属材料 IV. ①TB3 ②TG141

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094449 号

中国材料工程大典

第 3 卷

钢铁材料工程(下)

中国机械工程学会

中国材料研究学会

中国材料工程大典编委会

干勇等 主编

责任编辑:周国庆 陈志良 李骏带

责任校对:李 林

封面设计:雷嘉琦

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码:100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京蓝海印刷有限公司印装

开本 880mm×1230mm 1/16 印张 75 字数 3605 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7305-4

定价:210.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

鸣 谢

在编写过程中，得到以下部门和单位的支持和协作，使《中国材料工程大典》得以顺利编撰完成。在此，中国材料工程大典编委会代表全体作者表示衷心感谢！

支持部门：中华人民共和国科学技术部
国防科学技术工业委员会
国家自然科学基金委员会
中国科学技术协会
中国科学院
中国工程院

协 作 单 位

钢铁研究总院	北京科技大学
北京有色金属研究总院	北京航空航天大学
北京航空材料研究院	中国航天集团第 703 研究所
中国建筑材料科学研究院	中国特种设备检测研究中心
中国科学院金属研究所	哈尔滨工业大学
中国科学院上海硅酸盐研究所	贵州安大航空锻造公司
上海宝钢集团公司	东北大学
中国石油化工集团公司	西安重型机械研究所
中国铝业公司	中国科学院半导体研究所
清华大学	四川大学
中南大学	北京航空制造工程研究所
太原钢铁集团公司	中国科学院物理研究所
西北有色金属研究院	西北工业大学
宁夏东方有色金属集团公司	北京矿冶研究总院
华中科技大学	沈阳铸造研究所
中国第二重型机械集团公司	江苏法尔胜公司

篇 目

第1卷 材料工程基础

主编：师昌绪院士 钟群鹏院士 李成功教授

第1篇	材料科学与工程概论	主编：师昌绪院士	李成功教授	刘治国教授
第2篇	材料成形基础理论	主编：董湘怀教授		
第3篇	材料成形数值模拟	主编：柳玉起教授		
第4篇	材料成形优化设计方法	主编：赵国群教授		
第5篇	材料失效分析	主编：钟群鹏院士	李鹤林院士	张 峥教授
第6篇	材料强度设计	主编：谢里阳教授	王永岩教授	

第2、3卷 钢铁材料工程（上、下）

主编：干 勇院士 田志凌教授 董 瀚教授 冯 涤教授 王新林教授

第1篇	概论	主编：干 勇院士		
第2篇	钢铁牌号表示方法	主编：林慧国教授		
第3篇	铁	主编：祖荣祥教授		
第4篇	铸铁与铸钢	主编：陈 琦教授	彭兆弟教授	
第5篇	非合金钢	主编：杨忠民教授		
第6篇	低合金钢	主编：董 瀚教授	雍歧龙教授	刘清友教授 杨才福教授
第7篇	超细晶钢	主编：刘正才教授		
第8篇	镍基和铁镍基耐蚀合金	主编：康喜范教授		
第9篇	电热合金	主编：唐昌世教授		
第10篇	高温合金	主编：冯 涤教授		
第11篇	金属功能材料	主编：王新林教授	陈国钧教授	
第12篇	钢铁焊接材料	主编：田志凌教授		
第13篇	合金钢	主编：董 瀚教授		

第4、5卷 有色金属材料工程（上、下）

主编：黄伯云院士 李成功教授 石力开教授 邱冠周教授 左铁镛院士

第1篇	概论	主编：黄伯云院士	邱冠周教授	
第2篇	铝及铝合金	主编：田荣璋教授	肖亚庆教授	
第3篇	镁及镁合金	主编：黎文献教授		
第4篇	铜及铜合金	主编：汪明朴教授	尹志民教授	
第5篇	镍、钴及其合金	主编：唐仁政教授		
第6篇	锌、铅、锡及其合金	主编：田荣璋教授		
第7篇	钛及钛合金	主编：李成功教授	马济民教授	邓 炬教授
第8篇	钨、钼及其合金	主编：王德志教授	潘叶金教授	
第9篇	硬质合金	主编：吴恩熙教授		
第10篇	钽、铌及其合金材料	主编：何季麟院士		
第11篇	铍、锆、铪及其合金材料	主编：刘建章教授	聂大钧教授	
第12篇	贵金属及其合金材料	主编：孙加林教授	张康侯教授	宁远涛教授 张永俐教授
第13篇	有色金属层状复合材料	主编：张新明教授	谢建新教授	
第14篇	有色金属新材料	主编：石力开教授	左铁镛院士	

第6、7卷 高分子材料工程（上、下）

主编：杨鸣波教授 唐志玉教授

第1篇	概论	主编：杨鸣波教授	唐志玉教授	
第2篇	塑料工程	主编：吴智华教授		
第3篇	有机纤维	主编：叶光斗教授	徐建军教授	
第4篇	橡胶工程	主编：谢邦互教授		

第5篇	高分子胶粘剂	主编: 朱如瑾教授
第6篇	功能高分子	主编: 罗祥林教授
第7篇	皮革材料	主编: 张 扬教授

第8、9卷 无机非金属材料工程 (上、下)

主编: 江东亮院士 李龙土院士 欧阳世翕教授 施剑林教授

第1篇	概论	主编: 江东亮院士	
第2篇	结构陶瓷	主编: 江东亮院士	黄校先教授 潘振甦教授
第3篇	功能陶瓷	主编: 李龙土院士	徐廷献教授
第4篇	传统陶瓷	主编: 同继锋教授	
第5篇	玻璃	主编: 马眷荣教授	
第6篇	晶体材料	主编: 罗豪甦教授	仲维卓教授
第7篇	无机涂层材料	主编: 丁传贤院士	赵金榜教授
第8篇	耐火材料	主编: 李 楠教授	张用宾教授 李虹霞教授
第9篇	碳、石墨材料	主编: 李龙土院士	沈万慈教授
第10篇	水泥与混凝土	主编: 隋同波教授	
第11篇	其他新型无机材料	主编: 施剑林教授	

第10卷 复合材料工程

主编: 益小苏教授 杜善义院士 张立同院士

第1篇	复合材料导论	主编: 益小苏教授	
第2篇	复合材料用增强体材料	主编: 冯春祥教授	楚增勇教授
第3篇	聚合物基体材料	主编: 陈祥宝教授	
第4篇	纺织复合材料	主编: 丁 辛教授	
第5篇	复合材料界面	主编: 黄玉东教授	
第6篇	工业聚合物基复合材料与玻璃钢	主编: 刘其贤教授	刘占阳教授 高红梅教授
第7篇	先进树脂基复合材料	主编: 杨乃滨教授	
第8篇	热塑性聚合物基复合材料	主编: 张 忠教授	傅绍云教授
第9篇	金属基复合材料	主编: 耿 林教授	吴 昆教授
第10篇	陶瓷(玻璃)基复合材料	主编: 张立同院士	黄 勇教授
第11篇	碳基复合材料	主编: 张立同院士	李贺军教授
第12篇	水泥基复合材料	主编: 吴科如教授	
第13篇	复合材料力学问题与设计	主编: 杜善义院士	梁 军教授
第14篇	复合材料结构设计与分析	主编: 沈 真教授	
第15篇	复合材料性能实验、表征与质量控制	主编: 张佐光教授	张子龙教授
第16篇	功能复合材料与新型复合材料	主编: 刘献明教授	傅绍云教授 张 忠教授

第11、12、13卷 信息功能材料工程 (上、中、下)

主编: 王占国院士 陈立泉院士 屠海令教授

第1篇	概论	主编: 王占国院士	
第2篇	半导体硅材料	主编: 杨德仁教授	
第3篇	集成电路制造技术	主编: 吴德馨院士	刘 明研究员
第4篇	硅基异质结构材料和器件	主编: 余金中研究员	
第5篇	化合物半导体材料	主编: 屠海令教授	赵有文研究员
第6篇	宽带隙半导体及其应用	主编: 郑有焘院士	
第7篇	半导体低维结构和量子器件	主编: 陈涌海研究员	叶小玲教授 王占国院士
第8篇	存储材料	主编: 顾冬红研究员	吴谊群研究员
第9篇	显示材料	主编: 邱 勇教授	应根裕教授
第10篇	通信光纤材料及其工艺	主编: 赵梓森院士	
第11篇	全固态激光器及相关材料	主编: 许祖彦院士	沈德忠院士
第12篇	稀土磁性材料与自旋电子材料	主编: 刘治国教授	
第13篇	超导材料	主编: 陈立泉院士	靳常青教授
第14篇	传感器材料	主编: 陈治明教授	雷天民教授
第15篇	红外材料	主编: 储君浩教授	

第16篇	先进储能材料	主编: 陈立泉院士	
第17篇	一维纳米材料和纳米结构	主编: 张立德教授	解思深院士
第18篇	发光材料	主编: 石春山研究员	
第19篇	微加工技术	主编: 冯 稷教授	
第20篇	光子晶体	主编: 张道中教授	

第14卷 粉末冶金材料工程

主编: 韩凤麟教授 马福康教授 曹勇家教授

第1篇	概论	主编: 韩凤麟教授	
第2篇	金属粉末生产与特性	主编: 韩凤麟教授	夏志华教授
第3篇	金属粉末性能测试与相应标准	主编: 张晋远教授	
第4篇	成形与固结	主编: 果世驹教授	
第5篇	后续加工与质量控制	主编: 贾成厂教授	
第6篇	粉末冶金材料	主编: 曹勇家教授	马福康教授 易建宏教授
第7篇	粉末冶金材料应用与新发展	主编: 王尔德教授	韩凤麟教授

第15卷 材料热处理工程

主编: 樊东黎教授 潘健生院士 徐跃明研究员 佟晓辉研究员

第1篇	概论	主编: 樊东黎教授	
第2篇	材料热处理技术基础	主编: 樊东黎教授	
第3篇	材料热处理工艺	主编: 徐跃明研究员	
第4篇	热处理设备	主编: 佟晓辉研究员	
第5篇	材料热处理	主编: 徐跃明研究员	
第6篇	热处理 CAD/CAM/CAE	主编: 潘健生院士	
第7篇	热处理清洁生产和安全	主编: 樊东黎教授	
第8篇	热处理质量控制与无损检测	主编: 佟晓辉研究员	

第16、17卷 材料表面工程 (上、下)

主编: 徐滨士院士 刘世参教授

第1篇	概论	主编: 徐滨士院士	刘世参教授
第2篇	材料服役中表面的失效行为及防治	主编: 涂善东教授	
第3篇	表面覆层形成与结合机理	主编: 徐滨士院士	朱绍华教授
第4篇	涂装	主编: 吴 行教授	
第5篇	热喷涂	主编: 徐滨士院士	李长久教授
第6篇	堆焊	主编: 董祖珏教授	
第7篇	电镀与电刷镀	主编: 马世宁教授	
第8篇	化学镀与转化膜技术	主编: 姜晓霞研究员	董首山研究员
第9篇	化学热处理	主编: 董汉山教授	
第10篇	热浸镀	主编: 刘邦津教授	
第11篇	气相沉积技术及功能薄膜材料制备	主编: 吕反修教授	
第12篇	高能束表面处理技术	主编: 左铁钊教授	
第13篇	纳米表面工程	主编: 徐滨士院士	
第14篇	封存与包装	主编: 梁志杰高工	
第15篇	表面工程技术设计	主编: 徐滨士院士	朱绍华教授
第16篇	表面工程质量控制与检测	主编: 史耀武教授	

第18、19卷 材料铸造成形工程 (上、下)

主编: 柳百成院士 黄天佑教授

第1篇	概论	主编: 柳百成院士	
第2篇	铸造合金及其熔炼	主编: 邢建东教授	
第3篇	铸造成形工艺技术基础	主编: 郭景杰教授	
第4篇	砂型铸造	主编: 黄天佑教授	
第5篇	特种铸造	主编: 姜不居教授	

第6篇	铸造成形 CAD/CAE	主编：熊守美教授
第7篇	铸造生产质量检测及控制	主编：黄天佑教授

第20、21卷 材料塑性成形工程（上、下）

主编：胡正寰院士 夏巨谌教授

第1篇	概论	主编：夏巨谌教授	张金教授
第2篇	锻造成形	主编：夏巨谌教授	郭会光教授
第3篇	板料冲压成形	主编：杨合教授	华林教授 刘郁丽教授
第4篇	板型管轧制成形	主编：张杰教授	杨海波教授 施东成教授
			陈南宁教授
第5篇	零件轧制成形	主编：胡正寰院士	华林教授
第6篇	特种锻造	主编：王高潮教授	
第7篇	板管特种成形	主编：李明哲教授	蔡中义教授
第8篇	型材挤压成形	主编：夏巨谌教授	闫洪教授
第9篇	塑性成形 CAD/CAM	主编：李志刚教授	
第10篇	塑性成形质量控制与检测	主编：吕炎教授	

第22、23卷 材料焊接工程（上、下）

主编：史耀武教授

第1篇	概论	主编：史耀武教授	
第2篇	材料焊接加工技术基础	主编：史耀武教授	
第3篇	焊接方法与设备	主编：史耀武教授	殷树言教授
第4篇	材料焊接	主编：史耀武教授	任家烈教授
第5篇	焊接生产过程自动化	主编：蒋力培教授	
第6篇	焊接结构设计	主编：陈祝年教授	
第7篇	焊接结构制造	主编：史耀武教授	
第8篇	焊接生产质量管理与无损检测	主编：解应龙教授	
第9篇	焊接结构服役与再制造	主编：史耀武教授	

第24、25卷 材料特种加工成形工程（上、下）

主编：王至尧研究员

第1篇	概论	主编：齐从谦教授	
第2篇	材料电火花成形加工技术	主编：刘晋春教授	白基成教授 郭永丰教授
第3篇	材料数控电火花线切割技术	主编：李明辉教授	
第4篇	材料电化学加工技术	主编：徐家文教授	
第5篇	材料高能束流加工技术	主编：王亚军教授	
第6篇	快速原型与快速制造	主编：颜永年教授	
第7篇	电加工机床质量控制与检测	主编：连克仁教授	

第26卷 材料表征与检测技术

主编：徐祖耀院士 黄本立院士 鄢国强教授

第1篇	概论	主编：徐祖耀院士	黄本立院士	陈文哲教授
			鄢国强教授	朱万森教授
第2篇	化学成分分析方法	主编：黄本立院士	吴诚教授	方禹之教授
			邱德仁教授	吴性良教授
第3篇	常用材料化学成分分析	主编：鄢国强教授	马冲先教授	卓尚军研究员
第4篇	材料物理性能测试	主编：陈文哲教授	李强教授	
第5篇	材料力学性能测试	主编：陈文哲教授	陈运远教授	杨晓华教授
第6篇	材料化学性能测试	主编：杨武教授	李光福教授	
第7篇	金相分析	主编：唐汝钧教授	李晋教授	
第8篇	无损检测	主编：王务同教授	杨晓华教授	
第9篇	X射线衍射分析	主编：漆玄教授	蒋建中教授	
第10篇	电子显微分析	主编：陈世朴教授	孙坚教授	
第11篇	核技术分析及其他检测与表征技术	主编：陈世朴教授	梁齐教授	

序

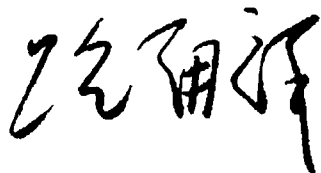
材料是当代社会经济发展的物质基础，也是制造业发展的基础和重要保障。进入21世纪以来，随着经济全球化的发展和中国的崛起，现代制造业的重心正不断向中国转移。据统计，今天中国制造业直接创造国民生产总值的1/3以上，约占全国工业生产的4/5，为国家财政提供1/3以上的收入，占出口总额的90%。但是与发达国家相比，我国制造业的水平不高、自主创新能力不足、高端市场竞争力还不强。我国虽然已是世界制造业大国，但还不是世界制造业强国。在有关因素中，材料工程基础薄弱是制约我国制造业发展的关键因素。广义的材料工程包括材料制备、测试和加工成形过程。为了提高我国制造业的水平和竞争力，突破材料工程这个薄弱环节，中国机械工程学会和中国材料研究学会牵头，会同中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会共同组织编撰《中国材料工程大典》（简称《材料大典》），其目的是力图为我国制造业提供一部集科学性、先进性和实用性于一体的综合性专业工具书。以满足广大科技工作者的迫切需求，为科技自主创新和我国制造业的崛起加强技术基础。

经过5年多的艰苦努力，《材料大典》终将出版了。这部共26卷约7000万字的巨著，是39位两院院士和1200余位参编专家教授们辛勤劳动的智慧结晶。有的作者为此牺牲了健康，如一位退休了的总工程师，为了把他多年的研究成果和实践经验写成书稿，由于长时间写作，导致眼睛视网膜脱落……。这种敬业精神与坚强毅力是值得我们学习铭记的。借此机会，我们要感谢中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会的支持。这些学会的众多专家教授积极参与了《材料大典》编写工作，与中国机械工程学会和中国材料研究学会的专家教授一起完成这项艰巨任务，从而使《材料大典》在完整性与先进性、科学性与实用性的结合上得到了加强；我们要感谢科学技术部、国防科学技术工业委员会、国家自然科学基金委员会、中国科学技术协会、中国科学院、中国工程院，以及各协作单位对编写工作的大力支持和积极帮助；我们也要感谢师昌绪院士等顾问的殷切指导，他们在编委会的两次工作会议上提出了许多重要的意见和建议，平时也给予了经常关心和指导，使我们少走了许多弯路；我们还要对关心和支持《材料大典》编写工作的科研院所、院校、企业以及有关人员表示感谢。没有大家的支持与协同，就不可能有《材料大典》的成功编写和顺利出版。

《材料大典》既总结了10多年来在材料工程方面的最新数据、图表及科研成果，还汇集了国内外在材料工程方面的成熟经验和先进理念，它体现了科学性、先进性和实用性的结合。可供具有大专以上文化水平的有关工程技术人员查阅使用，也可供理工院校的师生参考。

编撰《材料大典》涉及范围广，难度大，书中不可避免地会存在一些缺点和不足之处，恳请各位读者指正。

中国机械工程学会理事长
中国材料工程大典编委会主任



2005年9月23日

前 言

《有色金属材料工程》是《中国材料工程大典》中的卷目之一。

如何正确选材,合理用材,尽可能挖掘材料使用性能的潜力,提高材料利用率和循环使用率,以节约材料、节约能源,保证国民经济的可持续发展,这是广大科技人员急需解决的问题,也是编写《中国材料工程大典》中《有色金属材料工程》卷的目的。

在元素周期表中,除铁、铬、锰以外的金属元素统称为有色金属,国际统称非铁金属。各种有色金属元素都具有各自的独特性能。现代科技的发展,对材料提出了千差万别的各种特殊性能的要求,很大部分都是依靠发展有色金属材料来得到满足的。因此,有色金属材料的发展受到各国的高度重视。到2004年我国常用有色金属产量约1500多万吨,跃居世界第一位。今后,随着我国经济建设规模的不断扩大,对有色金属材料的需求,在产量、品质、品种等方面都将提出更高的要求。这对有色金属工业既是机遇,也是挑战。

根据大典编委会提出的大纲要求,经过有关专家多次讨论修改后,确定本卷共分14篇,约470万字,分上、下两册出版。为尽可能全面系统地反映有色金属材料的现状与发展,邀请了中南大学、北京科技大学、西北有色金属研究院、昆明贵金属研究所、北京有色金属研究总院、北京航空材料研究院、宁夏905厂、北京工业大学等单位的68位相关领域的专家参加编写和审稿。全书由黄伯云、李成功、石力开、邱冠周、左铁镛任主编,历时4年完稿。

各篇的主编如下:

第1篇 概论	黄伯云	邱冠周		
第2篇 铝及铝合金	田荣璋	肖亚庆		
第3篇 镁及镁合金	黎文献			
第4篇 铜及铜合金	汪明朴	尹志民		
第5篇 镍、钴及其合金	唐仁政			
第6篇 锌、铅、锡及其合金	田荣璋			
第7篇 钛及钛合金	李成功	马济民	邓 炬	
第8篇 钨、钼及其合金	王德志	潘叶金		
第9篇 硬质合金	吴恩熙			
第10篇 钽、铌及其合金材料	何季麟			
第11篇 铍、锆、钨及其合金材料	刘建章	聂大钧		
第12篇 贵金属及其合金材料	孙加林	张康侯	宁远涛	张永俐
第13篇 有色金属层状复合材料	张新明	谢建新		
第14篇 有色金属新材料	石力开	左铁镛		

本书是目前有关有色金属材料方面最全面、最系统的工具书。具有数据详细、齐全、新颖以及实用性和先进性相统一等特点。可供制造业和其他相关行业的工程技术人员,管理人员以及材料科学与工程专业的师生查阅。

由于内容多、时间紧和编著者水平所限,其中难免存在不少问题和不足,敬请广大读者批评指正。

黄伯云 李成功

石力开 邱冠周 左铁镛

2005年10月24日

目 录

第13篇 合金钢	1
第1章 概述	3
1 固溶于铁基体中的合金元素	3
2 合金元素与钢中晶体缺陷的相互作用	6
3 钢中的碳化物	8
4 钢中的氮化物	11
5 钢中的硼化物	12
6 钢中的金属间化合物	12
6.1 σ 相	13
6.2 AB_2 相(拉威斯相)	13
6.3 有序相(AB_2 相)	14
7 钢中的非金属相	15
8 合金元素对铁碳相图的影响	15
8.1 合金元素对钢临界点的影响	15
8.2 Fe-C-M三元系	16
9 合金元素对钢在加热时转变的影响	16
9.1 合金元素对奥氏体形成的影响	16
9.2 合金元素对奥氏体成分均匀化的影响	17
9.3 合金元素对奥氏体晶粒长大的影响	17
10 合金元素对过冷奥氏体转变的影响	18
10.1 合金元素对奥氏体转变的主要影响规律	18
10.2 合金元素对珠光体转变的影响	18
10.3 合金元素对贝氏体转变的影响	21
10.4 合金元素对马氏体转变的影响	21
11 合金元素对淬火钢回火时转变的影响	22
11.1 合金元素对马氏体分解的影响	22
11.2 合金元素对回火时残余奥氏体转变的影响	22
11.3 合金元素对碳化物析出的影响	22
11.4 合金元素对金属间化合物沉淀的影响	24
第2章 合金结构钢	25
1 合金结构钢的主要性能特征和合金元素的主要作用	26
1.1 合金结构钢的淬透性	26
1.2 合金元素对淬火钢回火转变的影响	30
1.3 合金元素和杂质元素对淬火回火后钢的力学性能的影响	31
2 调质钢	32
2.1 调质钢的合金化	33
2.2 调质钢的力学性能和合金元素的影响	33
2.3 调质钢的分类	35
2.4 常用调质钢	35
3 渗碳钢	95
3.1 对渗碳钢的性能要求	95
3.2 渗碳钢的合金化	95
3.3 常用渗碳钢	98
3.4 渗碳钢选材原则	144
3.5 失效分析	144
4 渗氮钢	144
4.1 渗氮钢的合金化	144
4.2 常用氮化钢	146
4.3 渗氮钢工艺实践	152
5 微合金非调质钢	153
5.1 非调质钢的分类	153
5.2 非调质钢的特点	154
5.3 非调质钢的合金化	155
5.4 常用非调质钢	158
第3章 合金弹簧钢	169
1 弹簧钢的种类	169
2 低合金弹簧钢的主要合金元素和合金系	170
2.1 低合金弹簧钢的主要合金元素及其作用	170
2.2 低合金弹簧钢的主要合金系	172
3 质量及性能要求	173
3.1 对弹簧钢的质量要求	173
3.2 弹簧钢性能要求	174
4 弹簧钢选择应用	174
4.1 钢材选用	174
4.2 钢号选用	181
5 弹簧钢热处理	183
5.1 制簧后低温回火	183
5.2 制簧后淬火和中温回火	183
5.3 其他形式热处理	183
5.4 注意事项	183
6 主要钢号介绍	184
6.1 65	184
6.2 70	185
6.3 85	185
6.4 65Mn	186
6.5 55Si2Mn	187
6.6 60Si2Mn, 60Si2MnA	188
6.7 55CrMnA, 60CrMnA	189
6.8 60Si2CrA, 60Si2CrVA	190
6.9 55CrSiA	190
6.10 50CrVA	190
6.11 60CrMnMoA	192
6.12 30W4Cr2VA	192
6.13 含硼钢	193
6.14 55SiMnMoV(非标准钢号)	194
6.15 55SiMnMoVNb(非标准钢号)	195
6.16 45CrMoV(非标准钢号)	196
6.17 3Cr13, 4Cr13	197
6.18 1Cr18Ni9(Ti)	198
6.19 弹簧钢各钢号的主要性能、特点及用途	199
7 最新发展	200
7.1 提高设计应力	200
7.2 化学成分及合金系列的变化	200
7.3 钢材品种	202
7.4 生产工艺	202
8 国内外弹簧钢钢号对照	203
9 国外常用簧弹钢钢号	210
第4章 滚动轴承钢	214
1 合金元素在轴承钢中的作用及冶金质量对轴承钢性能的影响	221
1.1 合金元素在轴承钢中的作用	222

1.2 微量元素对轴承钢的影响	223	2.3 退火组织	370
1.3 轴承钢的冶金质量及其对轴承 钢性能的影响	226	2.4 淬火组织	371
2 轴承钢的冶炼与压力加工	233	2.5 回火组织	372
2.1 轴承钢的冶炼与浇铸	233	3 通用高速钢	373
2.2 轴承钢的压力加工	240	3.1 W18Cr4V (T1)	373
3 轴承钢的热处理和表面热处理	245	3.2 W6Mo5Cr4V2 (M2)	375
3.1 轴承钢的热处理	245	3.3 W9Mo3Cr4V (W9)	376
3.2 轴承钢的表面热处理	257	3.4 W2Mo9Cr4V (M1)	378
4 常用轴承钢牌号、化学成分、性能 特点及用途	259	3.5 W2Mo9Cr4V2 (M7)	379
4.1 高碳铬轴承钢 (全淬透型轴承钢)	259	3.6 W14Cr4VMnRE (W14RE)	379
4.2 渗碳轴承钢 (表面硬化型轴承钢) 和高 温渗碳轴承钢	268	3.7 W7Mo4Cr4V (W7)	380
4.3 不锈钢轴承钢 9Cr18 和 9Cr18Mo	278	4 特种高速钢	382
4.4 高温轴承钢	280	4.1 含钴高速钢	382
4.5 无磁轴承钢 70Mn15Cr2Al3WMoV2	289	4.2 高钒高速钢	383
第 5 章 合金工具钢	296	4.3 含钴和高钒钢的应用	385
1 合金元素在模具钢中的作用	299	4.4 超硬高速钢	385
1.1 钢中的相	299	4.5 我国研制的特种高速钢	388
1.2 合金元素对钢的组织 and 性能的影响	302	4.6 M35、M42 和 M2Al	393
2 模具钢的生产	305	5 粉末高速钢	396
2.1 模具钢的电弧炉冶炼技术	305	5.1 粉末高速钢的特性	396
2.2 电渣重熔 (ESR) 工艺生产模具钢	307	5.2 法国 ERASTEEL 公司的粉末高速钢	396
2.3 粉末冶金模具钢	308	5.3 美国 CRUCIBLE (坩埚) 公司粉末高速钢	398
2.4 合金模具钢热加工	308	5.4 奥地利 Böhler (伯乐) 公司粉末高速钢	398
2.5 模具钢的退火	310	5.5 日本日立金属公司的粉末高速钢	399
2.6 提高工模具钢质量水平及消除钢材 缺陷的主要措施	310	5.6 日本神户钢铁公司的粉末高速钢	399
3 模具钢的热处理与表面处理	313	6 低合金高速钢	399
3.1 模具钢的热处理	313	6.1 W4Mo3Cr4VSi (W4)	400
3.2 模具钢的表面处理	314	6.2 W3Mo2Cr4VSi (W3)	401
4 常用合金模具钢的性能与应用	315	6.3 W2Mo5Cr4V (D950)	401
4.1 冷作模具钢	315	6.4 WMo4Cr4V2Si (Vasco Dyne)	402
4.2 热作模具钢	338	6.5 Mo4Cr4V (M50)	402
4.3 合金塑料模具钢	349	6.6 W9Cr4V2 (W9V2)	402
5 模具钢的选择与应用	352	7 高速钢的生产工艺和质量	404
5.1 模具钢的分类	352	7.1 高速钢的冶炼和浇注	404
5.2 模具钢选择的基本原则	352	7.2 热加工	405
5.3 模具钢的选用实例	356	7.3 精整与深加工	405
第 6 章 高速工具钢	360	8 高速钢的热处理	406
1 合金元素在钢中的作用	363	8.1 退火	406
1.1 C 的作用	363	8.2 淬火	406
1.2 W 的作用	365	8.3 回火	408
1.3 Mo 的作用	365	8.4 冷处理和深冷处理	409
1.4 V 的作用	365	8.5 表面强化处理	409
1.5 Cr 的作用	366	9 国外高速钢标准的钢号和化学成分	413
1.6 Nb、Ti、Zr 和 Hf 等元素的作用	366	10 热处理加热用盐浴的成分、配比、特点和用途	416
1.7 Co 的作用	366	第 7 章 不锈钢	419
1.8 Al 的作用	367	1 不锈钢中的合金元素及其作用	425
1.9 Si 的作用	367	1.1 不锈钢中的铬及其作用	425
1.10 P 的作用	367	1.2 不锈钢中的镍及其作用	432
1.11 S 的作用	367	1.3 不锈钢中的钼及其作用	440
1.12 Mn 的作用	367	1.4 不锈钢中的铜及其作用	445
1.13 稀土元素的作用	367	1.5 不锈钢中的锰及其作用	451
1.14 N 的作用	367	1.6 不锈钢中的氮及其作用	453
2 高速钢的组织及其转变	368	1.7 不锈钢中的碳及其作用	461
2.1 铸态组织	368	1.8 不锈钢中的钛和铌及其作用	466
2.2 碳化物	369	1.9 不锈钢中的硅及其作用	470
		1.10 不锈钢中的铝及其作用	471
		1.11 不锈钢中的钒及其作用	472
		1.12 不锈钢中的钨及其作用	473

1.13 不锈钢中的钴及其作用	474	3.8 20Cr3MoWV (ЭИ415)	946
1.14 不锈钢中的硼及其作用	474	3.9 3Cr13	951
1.15 不锈钢中的硫	474	3.10 2Cr12WMoVNbB (18X12ВМБЮ、ЭИ993)	956
1.16 不锈钢中的磷	474	3.11 Refractaloy—26 (R—26)	957
2 各类不锈钢的特点及典型牌号的性能	477	3.12 GH145 (Incinelx - 750)	959
2.1 奥氏体不锈钢	477	4 炉用耐热钢	962
2.2 铁素体不锈钢	577	4.1 1Cr5Mo (15X5M、T5)	962
2.3 马氏体不锈钢	598	4.2 1Cr6Si2Mo (T5b、P5b)	963
2.4 双相不锈钢 ($\alpha + \gamma$)	622	4.3 2Mn18Al5SiMoTi	967
2.5 沉淀硬化不锈钢	650	4.4 3Cr18Mn12Si2N	969
3 不锈钢的切削加工	652	4.5 2Cr20Mn9Ni2Si2N (101)	970
4 不锈钢的应用和选择	658	4.6 1Cr20Ni14Si2 (X20CrNiSi2012、20X20H14C2)	972
4.1 不锈钢的应用概况	658	4.7 1Cr25Ni20Si2	973
4.2 不锈钢的合理选择	676	4.8 3Cr24Ni7SiNRE	974
第8章 耐热钢	686	5 耐热铸钢	976
1 锅炉用耐热钢	705	5.1 ZG20CrMo (ZG22CrMo)	976
1.1 12CrMoG (12MX)	705	5.2 ZG1Cr11Ni2WMoV	977
1.2 15CrMog	710	5.3 ZG1Cr18Ni9Ti	978
1.3 12Cr1MoVg、12X1MΦ、12VMoCr10	723	5.4 ZC4Cr25Ni20Si2	979
1.4 12Cr2Mog (10CrMo910、STBA24、STPA24、T22、P22、15313)	738	5.5 ZC4Cr28Ni48W5Si2	980
1.5 12Cr2MoWVTiB (102)	748	6 气阀钢及合金	981
1.6 12Cr3MoVSiTib (Π11)	760	6.1 4Cr9Si2	981
1.7 12MoVWBSiXt (无铬8号)	766	6.2 4Cr10Si2Mo (ЭИ107)	983
1.8 10Cr5MoWVTiB (G106)	770	6.3 8Cr20Si2Ni (XB)	983
1.9 10Cr9Mo1VNb (T91、P91)、X20CrMoVNB91	772	6.4 5Cr21Mn9Ni4N (21-4N)	984
1.10 1Cr18Ni9 (12X18H9、302、SUS302)	782	6.5 4Cr14Ni14W2Mo (ЭИ69Я)	985
1.11 1Cr18Ni9Ti (12X18H10T、17246)	785	6.6 3Cr20Ni10Mn9WMoNbBN (LF)	988
1.12 0Cr18Ni11Ti (TP321H、12X18H12T、17248)	790	6.7 2Cr21Ni12N (21-12N)	989
1.13 1Cr19Ni9 (0Cr19Ni9、TP304H)	794	6.8 GH80A	989
1.14 1Cr19Ni11Nb (0Cr18Ni11Nb、TP347、SUS347TB、OX18H12B)	801	第9章 耐磨钢	993
1.15 0Cr17Ni12Mo2 (TP316H)	808	1 高锰钢	994
2 叶片涡轮耐热钢	812	1.1 高锰钢常用钢号的化学成分、性能特点及用途	994
2.1 1Cr11MoV (15X11MΦ)	812	1.2 高锰钢的成形与加工	997
2.2 1Cr12、1Cr13Mo、2Cr12MoVNBn、0Cr13	813	1.3 高锰钢的热处理与表面处理	997
2.3 1Cr12Mo	817	1.4 高锰钢钢号选择原则、注意事项及选用举例	998
2.4 1Cr12WMoV、15X12BHMΦ (ЭИ802)	822	2 非合金(碳素)钢的耐磨性能	1000
2.5 1Cr11Ni2W2MoV	828	2.1 非合金(碳素)钢的抗磨料磨损性能	1000
2.6 2Cr12NiMoWV (C-422)	833	2.2 非合金(碳素)钢的抗黏着磨损性能	1001
2.7 1Cr12Ni2WMoVNB (GX-8)	845	2.3 非合金(碳素)钢的抗冲蚀磨损性能	1002
2.8 GH2036 (GH36、ЭИ481)	853	2.4 石墨耐磨钢	1003
2.9 GH2696 (GH696、ЭИ696M)	862	2.5 非合金(碳素)耐磨钢的钢号、加工及用途	1003
2.10 1Cr13 (12X13、X10Cr13)	872	3 耐磨合金铸铁	1003
2.11 2Cr13	882	3.1 减摩铸铁	1003
2.12 0Cr14Ni40W4Mo2Ti3Al2BZr (GH2302)	893	3.2 低、中合金白口铸铁及镍硬铸铁	1004
2.13 GH2132 (A286)	894	3.3 高铬白口铸铁	1007
2.14 1Cr15Ni36W3Ti (XH35BT、ЭИ612)	908	3.4 耐磨球墨铸铁	1010
2.15 0Cr15Ni35W3Ti3AlB (XH35BTIO、ЭИ787)	909	3.5 铸铁磨球的国家标准	1011
2.16 0Cr17Ni4Cu4Nb (17-4PH)	911	4 耐磨合金钢	1011
3 紧固件、转子、弹簧用耐热钢	918	4.1 合金元素的作用	1011
3.1 35CrMo	918	4.2 钢的化学成分、性能特点及用途	1012
3.2 35CrMoV (35CrMoVA)	921	5 耐磨钢(铁)的表面强化	1015
3.3 30Cr1Mo1V	922	5.1 渗碳、碳氮共渗、渗氮	1015
3.4 20Cr1Mo1VNbTiB	926	5.2 渗硼	1016
3.5 30Cr2MoV (27Cr2MoV、P2)	929	5.3 渗硫	1016
3.6 25Cr2Mo1V	938	5.4 渗金属	1016
3.7 25Cr2NiMoV	940		

5.5 热喷涂(喷焊)和堆焊	1017	性能及用途	1071
5.6 气相沉积和离子注入	1017	4.1 1Cr17Ni2	1071
5.7 电刷镀	1018	4.2 1Cr12Ni3Mo2V	1074
5.8 双金属复合材料及铸渗	1018	4.3 1Cr10Co6MoVNb	1077
6 正确认识、合理选择钢铁耐磨材料	1019	4.4 00Cr13Ni5Mo	1079
第 10 章 易切削钢	1020	4.5 0Cr18.5Ni9.5Mn3.5P	1081
1 易切削元素	1021	4.6 0Cr17Ni7Al	1083
1.1 硫	1021	4.7 0Cr15Ni7Mo2Al	1087
1.2 铅	1022	4.8 0Cr16Ni6	1091
1.3 钙	1022	4.9 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al	1096
1.4 磷	1022	4.10 0Cr15Ni7Ti	1102
1.5 硒和碲	1022	4.11 3Cr12Mn18Mo3VB	1105
1.6 其他元素	1023	4.12 1Cr14.5Co13.5Mo5V	1107
2 易切削钢钢号、性能及用途	1023	4.13 1Cr16.5Ni4.5Mo3N	1111
2.1 易切削钢种类	1023	4.14 0Cr17Ni4Cu4Nb	1115
2.2 主要易切削钢钢号的性能及应用	1024	4.15 0Cr15Ni5Cu3Nb	1118
3 易切削钢的最近发展	1034	4.16 0Cr14Ni8Mo2Al	1119
3.1 低铅和无铅易切削钢	1034	4.17 0Cr13Ni8Mo2Al	1121
3.2 改变钢中夹杂物形态、尺寸,改善 被切削性能	1035	4.18 00Cr12Ni8Cu2AlNb	1122
3.3 新工艺、新钢号	1035	5 高强度不锈钢的选择原则、注意事项 及选材举例	1124
4 材料被切削性能的评定方法	1036	5.1 高强度不锈钢的选择原则	1124
5 易切削钢钢号	1037	5.2 高强度不锈钢选择的注意事项	1126
第 11 章 超高强度钢	1038	5.3 高强度不锈钢的具体用途	1127
1 低合金超高强度钢	1038	第 13 章 低温钢	1128
1.1 合金元素的作用	1038	1 合金化及合金元素的作用	1128
1.2 几种最常使用的低合金超高强度钢	1039	2 分类	1129
1.3 钢的制备工艺	1040	2.1 低碳铝镇静钢	1129
1.4 常用低合金超高强度钢的化学成 分及性能	1040	2.2 低温高强度钢	1129
2 二次硬化钢	1049	2.3 镍系低温钢	1130
2.1 合金元素的作用	1049	2.4 奥氏体不锈钢	1130
2.2 高 Co-Ni 二次硬化马氏体钢显微 组织的特点	1050	3 性能	1130
2.3 冶炼及工艺性能	1050	4 应用	1131
2.4 常用二次硬化钢的化学成分及性能	1050	5 展望	1131
3 马氏体时效钢	1052	第 14 章 无磁钢	1132
3.1 合金元素的作用	1053	1 影响无磁钢奥氏体稳定性的因素	1132
3.2 钢中的相	1053	1.1 合金元素的作用	1132
3.3 热处理	1053	1.2 热处理和塑性变形对奥氏体稳定 性的影响	1133
3.4 生产工艺及工艺性能	1054	1.3 低温对奥氏体稳定性的影响	1133
3.5 马氏体时效钢的应用	1054	2 无磁钢的分类、生产工艺、性能特点 和用途	1134
3.6 常用马氏体时效钢的化学成分及性能	1054	2.1 非不锈钢的无磁钢	1134
第 12 章 高强度不锈钢	1058	2.2 无磁不锈钢及无磁不锈钢耐蚀合金	1137
1 合金元素在不锈钢中的作用	1061	第 15 章 钎钢	1146
1.1 合金元素在冷作硬化不锈钢中的作用	1061	1 整体钎杆、锥形钎杆用钢	1146
1.2 合金元素在马氏体不锈钢中的作用	1061	1.1 55SiMnMo	1147
1.3 合金元素在沉淀硬化不锈钢中的作用	1062	1.2 95CrMo	1147
1.4 合金元素在时效不锈钢中的作用	1063	1.3 95Cr	1148
1.5 相变诱导塑性不锈钢	1064	1.4 55Si2Mn	1149
2 高强度不锈钢的成形和加工	1064	1.5 38CrNi3Mo	1150
2.1 高强度不锈钢的热加工	1064	1.6 38CrSiV	1152
2.2 高强度不锈钢的冷成形	1065	1.7 40SiMnCrNiMoA (Z708)	1153
2.3 高强度不锈钢的切削加工	1065	1.8 24SiMnNi2CrMoA ~ 27SiMnNi2CrMoA 钢 (FF710)	1154
2.4 高强度不锈钢的焊接	1066	1.9 国内外整体钎杆、锥形钎杆 常用钢种	1156
3 高强度不锈钢的热处理与表面处理	1067	2 螺纹钎杆(钻车钎杆)用钢	1157
3.1 高强度不锈钢的热处理	1067	2.1 35SiMnMoV	1157
3.2 高强度不锈钢的表面热处理	1071		
4 常用高强度不锈钢的化学成分、			

2.2	30CrNi3Mo (34CrNi3Mo)	1159	4	连接套用钢	1167
2.3	40SiMnCrMoVA	1160	4.1	20CrMnTi	1168
2.4	30SiMnCrNi2MoVNbA (NV-100)	1161	4.2	20MnVB	1169
2.5	30CrMnSiNi2MoA	1161	5	钎尾用钢	1171
2.6	国内外螺纹钎杆常用钢种	1162	5.1	18Cr2Ni4WA	1171
2.7	其他钢种	1162	5.2	30CrMnSiNi2A	1173
3	钎头用钢	1163	5.3	25SiMnMoVA	1175
3.1	40MnMoV	1164	6	其他钎具用钢	1177
3.2	35CrMoV	1164	6.1	镐钎用钢	1177
3.3	45CrNiMoVA	1165	6.2	全钢钎头	1177
3.4	Q45NiCr1Mo1VA	1166	参考文献	1178	
3.5	其他	1167			

中国材料设计大典
CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

第3卷 钢铁材料工程(下)

第
13
篇

合金钢

主 编 董 瀚

编 写 董 瀚 章守华 雍歧龙 惠卫军 祖荣祥
魏果能 马党参 陈再枝 罗 迪 康喜范
刘正东 程世长 朱维翰 苏 杰 王维明
丁雅莉 刘宪民 刘树勋 刘 蕤 杨志勇
梁剑雄 宋为顺 张永权 张英健 胡 铭

审 稿 中国材料工程大典编委会

中国机械工程学会
中国材料研究学会
中国材料工程大典编委会

