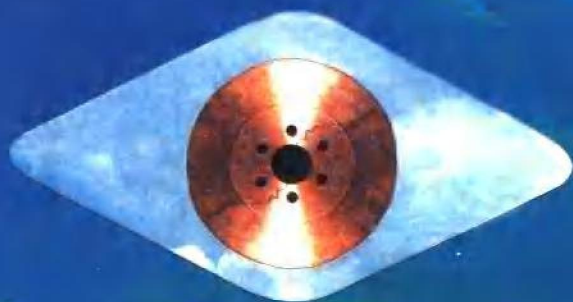


机械工业部科技与质量监督司
中国机械工程学会理化检验分会 编

机械 工程 材料 测试 手册

化学卷



总主编 桂立丰
卷主编 吴 诚

HANDBOOK
OF MATERIALS
TESTING
FOR MECHANICAL
ENGINEERING

HANDBOOK OF MATERIALS TESTING
FOR MECHANICAL ENGINEERING

TH140.7-62
C427

化 学 卷

机械工程材料测试手册

机械工业部科技与质量监督司 编
中国机械工程学会理化检验分会
总主编 桂立丰 卷主编 吴 诚

辽宁科学技术出版社

· 沈阳 ·

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料测试手册:化学卷/机械工业部科技与质量监督司,中国机械工程学会理化检验分会编,一沈阳:辽宁科学技术出版社,1996.9

ISBN 7-5381-2334-2

I. 机… II. ①机… ②中… III. 机械工程-工程材料-测试技术-手册 IV. TH140.7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 11938 号

辽宁科学技术出版社出版

(沈阳市和平区北一马路 108 号 邮政编码 110001)

江苏省锡山市长城印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本:787×1092 1/16 印张:99 3/4 字数:3,300,000 插页:4
1996 年 9 月第 1 版 1996 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑:刘 红 宋纯智
封面设计:曹太文

版式设计:李 夏
责任校对:东 戈

印数:1—7000

定价:180.00 元

发展机械工程材料测试
技术，促进科学技术转化
为生产力。

卢光亚

一九九〇年八月

（全国政协副主席、中国科协名誉主席、中国工程院院长）

提高我國理化檢驗水平
為科研生產和經濟建
設服務

何光遠

一九五四年
九月廿二日

(中華人民共和國機械工業部部長)

发展材料科学
面向廿一世纪

贺机械工业出版社乙亥年冬
习为定

(中华人民共和国新闻出版署署长)

理化检验要
为发展材料
科学和提高
产品质量
服务

陆燕荪

一九九四·九

(中国机械工程学会理事长)

**《机械工程材料测试手册》
编辑委员会**

名誉主编 陆燕荪(机械工业部)
主 编 桂立丰(机械工业部上海材料研究所)
副主编 朱森弟(机械工业部)
依英奇(机械工业部)
方向威(机械工业部上海材料研究所)
吴关昌(机械工业部科技信息研究院)
唐汝钧(机械工业部上海材料研究所)

编 委 (按姓氏笔划为序,带*者为常务编委)

方向威	方禹之	王文忠	冉启芳	朱森弟
刘正义	许守廉	吴 诚*	吴 毅*	吴民达*
吴关昌	张少卿	张绪江*	陈运远	李 真
李炯辉*	沈石年	孟锡明	依英奇*	罗唯力*
胡熹明*	胡传映	胡赓祥*	赵 源	赵少汴
桂立丰*	唐汝钧*	党鸿辛	曹用涛*	曹基文

**《机械工程材料测试手册》
化学卷编辑委员会**

主 编 吴 诚(机械工业部上海材料研究所)

副 主 编 (按姓氏笔划为序)

方禹之(华东师范大学)

邓家祺(复旦大学)

严凤霞(华东师范大学)

审 稿 本卷编辑委员会

编 委 (按姓氏笔划为序)

王海洲 方禹之 邓家祺 邓蕙姑 史再新

吴 诚 吴 毅 严凤霞 陆定安 张国赏

赵永凤 赵祥大 徐盘明 唐振新 黄宣怡

雷友国

责任编辑 王惠珍

校 对 沈 虹 倪雪飞 鄢国强 王惠珍 吴 毅

吴 诚 唐振新 史再新 王三因 吴祯云

序

机械工业是国民经济的支柱产业之一,担负着为国民经济建设提供装备的重要任务。机械产品的质量直接影响国民经济的发展和人民生活水平的提高。材料、设计、制造技术等是确保机械产品质量的关键要素;测试技术则是监测和保证机械产品内在质量的主要手段,也是开发研究新材料、新工艺、新产品的关键技术,它是机械产品质量保证体系的一个重要组成部分。

多年来,我司一直将理化检验作为机械工业的基础工作之一,通过中国机械工程学会理化检验分会及理化检验协作网,在行业中组织人员培训、资格鉴定、技术交流、编写培训教材、制订行业技术发展规划等活动。

随着近代科学技术的突飞猛进以及各种新型技术的发展和运用,现有材料测试技术领域的参考书,远远满足不了实际工作的需要。理化检验行业急需一套较为系统、全面、实用的材料测试手册以指导生产和科研。为此,我司委托中国机械工程学会理化检验分会组织编写《机械工程材料测试手册》,并于1991年6月成立了《机械工程材料测试手册》编辑委员会,下设四个分编委会具体进行工作。

这套手册以实用为编写宗旨,既归纳总结了国内成熟的经验和测试方法,同时又推荐介绍国外先进技术。全书分化学卷、物理金相卷、力学卷、摩擦学及腐蚀卷共四卷,可供机械工业中从事设计、制造、测试技术工作的教学、科研、生产应用人员参考。

手册在各位参加编写的专家、学者的不懈努力下,终于如期得以完稿。在此我们对这套手册的出版表示热烈祝贺,并向对编写工作给予大力支持的机械工业部上海材料研究所等各有关单位及有关人员表示衷心感谢。

机械工业部科技与质量监督司

1996年5月

前 言

材料,作为与能源和信息一起构成世界经济发展三大支柱之一的技术,已日益受到人们的重视。机械工业(和其它工业)所应用的各种材料,按用途划分主要可分为结构材料、功能材料以及工艺和辅助材料三大类;按化学组成划分可分为金属材料、有机高分子材料以及无机非金属材料三大类。不论如何划分,要对这些材料进行合理和有效的使用,充分发挥其潜力,必须了解和掌握它们的某种或某些性能(也包括成分、组织结构)。为了达到这个目标,则必须求助于材料测试工作。

材料测试,就其根本意义来说,属于信息技术的具体应用。也就是采用一定的方法,将与材料某种性能有关的内涵信息,进行提取、分离、输出、传递、转换、接收、检测、采集和处理,最终进行显示或记录,从而反应出所探求的性能特征。当然,也可将经过处理后的信息,径即反馈到生产现场或实验室中,对生产或实验进行控制,或直接在流程中应用。

近年来,由于近代物理学、化学、光学、声学、微电子学、材料科学、计算机技术、自动控制技术等学科的迅速发展,提供了很多敏感元件、转换元件、检测器件、显示与记录装置等器材和技术,使材料测试技术出现了崭新的面貌,不仅使很多原来的测试仪器和方法得到很大的改进和更新,并且还建立了大量新的方法以及相应地创制了一系列新的设备,解决了以往不能解决的问题。整个测试技术正朝着快速、简便、精确、自动化、多功能等方向迅猛发展。因此,今日所谓的材料测试实际上是一种多门类、跨学科的综合性技术。

材料测试的重要意义,可进一步由下列各种场合窥见一斑:

1. 在设计新设备或构件时,必须选用合适的材料以满足设计要求,这就需要提供材料的有关性能数据,特别是提供接近设备或构件在实际服役条件下的性能,以作为新设计的依据。

2. 在合成和制备新材料或制订新工艺(包括提纯、精炼、改性、冷热加工等)时,对材料性能进行比较是筛选和确定最佳方案的重要依据之一。

3. 在工业生产中,对投产的原材料的质量必须进行检查,以了解其是否符合规格,用以保证产品的质量。

4. 在生产的加工过程中,有必要对各道工序前后的材料、半成品和成品的性能进行监控,以明确每一工序的实施过程是否稳定和正常。

5. 在对某些材料进行大量试验研究的基础上,以及根据这些材料制成的设备或构件在具体使用中出现的問題,抽象出材料的性能指标,从而对材料性能和加工工艺制订出标准文件和技术规范,用以控制材料和部件的生产。

6. 对设备和构件进行服役条件下的安全和可靠性评估,以确保其在服役中能有效地工作。

7. 对设备和构件发生故障和失效时,要分析设备和构件及所用材料在使用条件下的性能变化,并探讨故障和失效的发生原因,从而寻求解决和改进的途径。

8. 在材料的宏观性能与微观结构特征之间往往存在着密切联系。例如,从很多宏观测定可探知一些微观的晶体结构特征;反之,从微观的特征又可说明和推断出一些宏观现象和性能,从而有可能用以指导生产应用。因此,性能测定常为材料在宏观与微观范畴之间,以及理论和实践之间建立起纽带或桥梁,这对于紧密地联系材料科学各部分、推动材料科学成为一个综合的整体具有重要的作用。

由以上情况可知,不论从基础理论研究来看,或从生产实践来看,材料性能测试的重要性均显而易见。实际上,根据材料测试结果解决重大科技问题的情况,在历史上和当今均是屡见不鲜的。此外,材料测试还起了推动和促进某些学科和专业发展的作用。例如对一些构件,包括导弹固体燃料发动机壳体、大型舰船、高压容器等脆断事故的测试分析,导致了断裂力学的创立和发展;对引起电站设备断裂事故的构件中氢的有效分析促进了钢的精炼技术的发展;综合运用光学显微术、扫描电子显微术和透射电子显微术以及其它新的测试技术于失效分析中,使显微断口学得以发展。这些均是极典型的例子。

机械工业部及所属科技与质量监督司(原科技司)十分重视材料测试(常称理化检验)工作在生产和科技中的作用,近年来采取不少有力措施来推动这一工作。为了适应广大材料测试工作者和其他有关人员的参考需要,在科技司的主持下,1991年在北京成立了《机械工程材料测试手册》编辑委员会,决定编写出版化学卷、物理金相卷、力学卷、摩擦学及腐蚀卷共四卷,指定由中国机械工程学会理化检验分会负责组织编写。

为适应广大读者的需要,本手册在编写时强调应掌握下列四个特性:实用性、综合性、先进性、可靠性。对每种测试方法的叙述内容尽可能包括以下各方面:(1)概

述;(2)主要原理;(3)仪器结构概要;(4)操作要点;(5)精度、准确度、误差及影响因素;(6)必要的数据及图表;(7)特点及限制;(8)与其它类似方法的比较;(9)应用范围及实例;(10)发展趋势;(11)安全问题;(12)文献资料。但由于不同测试方法分别有其特色,无法全部一致,所以在叙述时各项的安排顺序以及繁简程度也均不相同。例如对于比较古老的方法在原理上就较简略。而对于新型的方法例如化学卷中仪器分析篇的质谱法、核磁共振法等,物理金相卷中表面分析篇的俄歇能谱法和低能电子衍射法等,则原理叙述所占的篇幅就较多;有些方法不存在安全问题,则这一项目也予略去;等等。

书中的名词术语尽量采用国家和各部委有关部门所规定的,或各学科专业上所公认和通用的。计量单位则采用国家法定计量单位,但有极少数者例外,例如晶体的点阵常数和晶面间距有一部分采用“埃”(Å)为单位,这是由于它仍为国际粉末衍射标准联合委员会(JCPDS)的粉末衍射卡片以及国际上很多晶体学数据所使用之故。

为了编写本手册,聘请了国内各有关学科知名的专家、教授、高级工程师等 200 余人撰稿。他们不辞辛劳,多方收集资料,反复进行研讨修改,力求内容臻于完善。其他担任组织、编辑、校对等同志也认真细致,努力奋战。以上同志们大多数是在业余时间中完成这些工作的,精神值得钦佩。依靠他们的努力,才能使本书各卷陆续完稿问世。谨向他们表示深切的谢意。

本手册按照原意定名为《机械工程材料测试手册》。事实上,机械工业中所用的材料,绝大多数也在其它科技和工业领域中应用,而且很多测试方法也有共同之处。因此,对于从事机械工业以外其它行业的人员,本书也具有一定的参考意义。

由于我们经验不足,且本书的篇幅又较庞大,因此必有很多不当之处,尚请广大读者不吝指正。

《机械工程材料测试手册》编辑委员会

主编 桂立丰

1996 年 5 月

卷 序 一

分析化学是保证和提高材料质量的重要手段,也是开发新材料的基础技术。尤其是在市场经济竞争非常激烈的今天,为求取胜,必须使产品质量有良好的保证,因此必须有相应的和更高的分析化学技术。机械工业部为使本行业的机械产品质量更普遍地得以提高,重视加强理化检验工作,特委托中国机械工程学会理化检验分会编写《机械工程材料测试手册》,并以此手册为指导,以提高本行业的理化测试技术。这是一件很有意义的工作。

分析化学的准确性和重现性是十分重要的。若没有很好地掌握分析化学技术,就不可能得到正确的分析数据,后果也是不堪设想的,轻则材料报废,重则会发生重大伤亡事故,造成巨大的经济损失。微量和痕量合金元素对金属的性能影响是很显著的,如非铁金属及合金钢中,一般的化学成分及热加工工艺均属正常,但当含有某种微量元素时,往往会使强度降低或脆性增大。由于是某些有害的微量元素损害了金属的性能,这些元素数量虽少,但当偏聚在局部地区时,如晶界或缺陷处,就使性能变差。经分析后,在工艺上采取有效措施,可使材料的质量得以保证。因此分析人员责任重大,必须努力提高测试技术。为使分析人员正确掌握分析技术和准确地分析结果,该手册对各种测试方法列出了影响其准确性的各项因素以及操作上的注意事项,并列出有关文献或标准以供查阅。

《机械工程材料测试手册》化学卷是由 40 多位从事多年分析工作的教授、高级工程师参加撰写,他们把自己积累的经验和方法汇编在书中供读者参阅。谨在该手册化学卷出版之际,作此序以示祝贺。

中国科学院院士 吉林大学名誉校长 吉林大学教授

唐敖庆

1996 年 1 月

卷 序 二

材料测试技术在包括机械工业在内的所有工业生产中的重要性早被人们所认识。早在 50 年代初,理化检验就已被誉为工业生产的耳目。在即将进入 21 世纪的今天,对于现代化工业生产中生产工艺的监控以及产品质量的检验,材料测试均是十分重要的手段。它是工业企业保持活力和进入市场竞争的基础和保证。此外,在新产品、新工艺的研究开发,对引进技术的消化提高,外贸的商检工作等领域,其重要性也十分明显。而且,随着现代科学技术的发展,材料测试技术已不仅限于对生产起着耳目作用,而且还与许多相关学科交织起来,与工农业生产、国防及科研发展相互促进、相互提高,从而材料测试技术本身也向更高更现代化的水平发展。机械工业部领导历来重视材料测试这一基础技术的作用,近年又直接领导并委托中国机械工程学会理化检验分会承担编写《机械工程材料测试手册》这样一部有较大覆盖面和较有系统性的工具书,以满足有关专业科技人员参考的需要。今悉该书经历了 3 年多时间的艰辛工作,各分卷均已取得较大进展。其中的化学卷已经完稿并即将付梓。此实为工程技术界值得高兴之事。相信此书之问世,对机械工业以及其它有关行业的生产和科研工作将起到积极的指导作用。现特志数语以表祝贺之意,并希望在首版出书之后能广泛吸收读者意见,在原有基础上精益求精,再出新版。

中国科学院院士 西北大学教授

高 鸣

1996 年 1 月

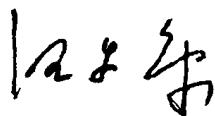
卷 序 三

分析化学是人们获得物质分析组成和结构信息的科学。分析测试是科技与生产的眼睛,是衡量一个国家经济与科技发展水平的重要标志。美国每年用于产品质量控制分析的费用超过 500 亿美元,每天要进行 2.5 亿次以上的分析测试,影响着美国全国三分之二产品的质量。为适应我国经济建设发展的需要,特别是提高产品质量水平与国际接轨的需要,《机械工程材料测试手册》化学卷应运而生。

纵观该书,它包括机械工程材料的各种测试方法:常规化学分析方法、电化学分析方法、光学和近代分析方法等。对于分析化学中常用的数据、实践操作技术方法和数理基础以至样品处理和分离、富集等都专篇专章描述。最后还分别介绍了钢铁、非铁金属、无机非金属材料和高分子材料等的分析方法。

这是一本内容新颖丰富又实用可靠的机械工业材料化学测试手册,必将成为分析化学测试人员和分析工作者欢迎和需要的手册。

中国科学院院士 中国科学院长春应用化学研究所所长



1996 年 1 月

卷 前 言

科学技术的进步,促使分析化学的不断发展。而发展着的分析化学又以其新技术服务于科学研究和工农业生产。许多重要的科学研究项目和工农业生产中的技术改造都离不开分析化学这一基础学科。就机械工程材料的分析而言,其涉及的面也很广。涉及的材料或样品的类别有钢铁、非铁金属和合金、无机非金属材料、高分子材料、电镀液、表面处理溶液以及某些有关的环境保护用样品。为保证材料的质量就需要进行主量和痕量组分的分析。为配合材料表面保护技术及表面处理工艺的研究和应用,就需要运用表面、薄层和微区分析的技术。为深入进行新材料研究和探讨有关机理问题,状态和结构分析也是必不可少的。总之,机械工程材料的分析测试工作,具有内容涉及面广、分析对象覆盖面较宽、分析要求较高等特点。因此就需要具备多种分析方法及技术,方能适应其生产和科研所提出的要求。在金属及无机非金属材料的分析中应用较为普遍的方法有原子光谱分析法、分子光谱分析法、电化学分析法和常规的化学分析法。而高分子材料的分析,则需要有诸如常规的有机化合物的元素分析、红外光谱、核磁共振、质谱、荧光光谱、拉曼光谱等多种方法的配合。进入 90 年代以来,分析化学的各种分析方法正处于新方法不断涌现、老方法不断更新的新阶段。这一发展趋势对解决机械工程材料分析中的许多难题,将是十分有利的。

在光谱分析方面,由于光电倍增管的出现,等离子体、傅里叶变换和激光技术的引入,原子物理的发展等,对原子发射光谱、原子吸收和原子荧光光谱、紫外和可见光谱及 X 射线荧光光谱等分析方法的提高和创新提供了必要的条件。电感耦合等离子体-原子发射光谱、电感耦合等离子体-质谱、X 射线荧光光谱等方法已成为多元素同时测定的主要手段。原子光谱法的一种新思路是将需要能量高低不同的原子化阶段和激发阶段分成两步,组成级联光源,使方法的检出限改善,基体干扰减少,并获得较简单的背景。已有报道的电感耦合等离子体-辉光放电、激光蒸发-微波等离子体等都显示了较明显的优点。样品引入系统的新进展(如氢化物、卤化物、石墨炉、探针、螯合物、高效液相色谱及流动注射技术等)也改善了方法的测试性能。使用质子加速器的质子诱导 X 射线发射法及同步加速器 X 射线荧光光谱法,粒子束可聚焦在 $1\mu\text{m}$ 直径的斑点,可用于多元素的微区分析。采用光二极管激光器代替空心阴极灯有可能