

《机械工程材料性能数据手册》编委会

机械工程材料 性能数据 手册

机械工业出版社

机械工程材料性能 数据手册

《机械工程材料性能数据手册》编委会



机械工业出版社

(京)新登字054号

本手册提供了工业中用量较大、覆盖面较广的 288 种机械工程材料的性能数据,包括化学成分、物理性能、常规力学性能、疲劳、断裂、高温长时性能、抗氧化、摩擦磨损、应力腐蚀性能等,这些基础技术数据绝大部分是“六五”、“七五”、“八五”期间,经几十家单位通力合作实测而得的,是首次出版的。具有较强的实用性和先进性、较高的可靠性和可比性,是计算机辅助设计等现代设计方法的重要基础。此外,还简要介绍了材料性能试验的基本知识、试验方法和数据处理方法,以及技术人员常用的技术资料。该手册文字简洁,多采用表、曲线图等,便于读者参考和使用。

本手册可供机械、冶金、交通、动力、电站、矿山、石化等行业从事产品设计和材料研究的工程技术人员和理化检验人员使用。也可供大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料性能数据手册/《机械工程材料性能数据手册》编委会编.-北京:机械工业出版社,1994.12
ISBN 7-111-04313-8

I. 机… II. 机… III. 机械工程-材料性能-数据-手册
IV. TH14-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第04880号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑:李会武 版式设计:张世琴 责任校对:孙志筠
封面设计:姚毅 责任印制:路淋
房山区印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1995年4月第1版·1995年4月第1次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·57.25印张·2插页·1792千字
0001-4000册
定价:65.00元

《机械工程材料性能数据手册》编委会

名誉主任 朱森第
主任 方向威
副主任 吴民达 吴关昌 陆明炯
编委 (按姓氏笔划)
王忠保 方向威 何伟康 宋振玲 吴民达 吴关昌 吴柏青
陈运远* 姚维廉 陆明炯 **鲁惠民***

* 为常务编委

序

一本准确的、反映当代最新科研成果的、便于查阅的手册,对于科研和设计人员来说,无疑是得力的助手。当今,计算机辅助设计技术的应用已相当普遍,并已取得令人瞩目的成效。科研设计人员藉助 CAD 技术,可以较快地查询所需要的数据。但是,CAD 技术的应用成功,是以丰富的、准确的数据库为基础的。材料性能数据库是重要的数据库之一。在目前的情况下,手册还不可能为计算机所替代,手册仍有其自身的独特的价值。

材料技术的发展日新月异,新材料的不断问世,带动了包括机械工业在内的其他工业的产品品种、结构、功能的更新和提高。很难设想机械产品设计和科研人员没有一本反映最新材料性能的数据手册,而可以设计出反映时代特色的机械产品来。近十年来,机械工业的有关部门和单位注重常用材料性能数据的积累,取得了一定的成果。将这些数据汇编成册,满足各方面人员的需要,不失为一项重要的基础工作。

材料性能数据的测试、收集、整理、出版,需要日积月累,需要持之以恒,需要大力协同,需要埋头苦干。谨向从事机械工业常用材料性能数据工作的科技人员致以敬意。并对编辑出版本手册的工作人员表示由衷的感谢。

朱森第

编者说明

材料性能数据是现代工业产品设计、生产制造中正确选材和合理用材的基础,对各行各业产品的发展,质量的提高和产品更新都有举足轻重的影响。长期以来由于国内材料的性能数据大多残缺不全,特别是产品急需的材料专项使用性能更为稀缺。因此,对一些常用材料系统地测试、收集和积累其性能数据并及时地整理出版,是提高产品设计水平,促进工业发展的重要基础工作。

本手册的材料性能数据是以“六五”、“七五”和“八五”国家重大科技项目“机械工程材料性能数据库”工作为基础的,由上海材料研究所等近30个单位协作,对近300种具有代表性的常用材料,根据不同用途和需要,按照标准试验方法测得的。分别进行了化学成分、物理常数、常规力学性能、疲劳性能(包括高周、低周、接触疲劳等)、断裂力学性能、高温持久强度、蠕变极限、松弛、抗氧化性能、耐腐蚀、耐磨损性能等测试,较全面地提供了材料比较完整的性能数据,具有较高的可靠性、可比性、通用性和实用性。

本书第1章“材料性能及测试方法概述”,介绍了手册中主要性能的基本知识,包括性能数据指标的定义、物理意义、试验方法、基本测试计算公式、经验规律、数据统计处理方法等。第2章到第11章,按材料牌号分类选入了有关材料性能数据。材料的测试技术要求是根据国家标准、部标准或工厂技术条件等,材料的数据是结合使用要求在某一特定状态下测试所得。为了便于读者能够在本手册中较系统地查阅到所需的性能数据,本手册还部分地选入了国内刊物中常用材料的性能数据。

本手册内容力求齐全、可靠、实用,为广大设计、科研人员及大专院校有关专业的师生提供一本必备的工具书。由于编者水平所限,编写时间仓促,手册中缺点和错误在所难免,希广大读者给予批评指正。

本书所选入的材料性能数据,是由上海材料研究所、郑州机械研究所、东北工学院、洛阳拖拉机研究所、福州大学、第一汽车制造厂、第二汽车制造厂、北京钢铁研究总院、洛阳轴承研究所、南京汽车厂、首钢特殊钢公司、上海汽轮机厂、上海锅炉厂、北京航空材料研究所、上海发电设备成套设计研究所、哈尔滨汽轮机厂、东方汽轮机厂、东方锅炉厂、上海工业锅炉厂、上海机械制造工艺研究所、合肥通用机械研究所、北京有色金属研究总院、长春汽车研究所、中国农业机械研究院、天津工程机械研究所、武汉钢铁公司钢铁研究所、上海四方锅炉厂及上钢五厂等单位合作完成的。在此谨向参加这些工作的同志们致以衷心感谢。

本书由鲁惠民、陈运远负责整理及编写,参加整理及部分编写工作的有朱林娟、姚维廉、宋振玲、杨武、何伟康。全书由吴民达主审。

《机械工程材料性能数据手册》编委会

前 言

材料是人类进化的重要里程碑。新材料不仅本身是高技术又是其它高技术进步的关键。70年代以来材料已成为现代国家经济建设和社会发展的三个战略重点(能源、材料、环境)之一。材料是机械工业的重要物质基础,机械产品开发中的尖端技术,常为材料性能所限制;而高性能、新材料的问世将导致机械产品的技术革命。随着材料科学的发展,人们已可设想依据对性能的要求,设计材料的微观结构;或者是尝试研制新的材料微观结构,并预测它的性能。

为了不断提高机械产品的质量和可靠性,为了新一代高、精、尖机械产品的开发,也为了引进技术的国产化,机械部门曾在材料生产部门提供的基本性能数据的基础上,结合机械产品使用的工况要求,测定了大量使用性能数据。例如为火电设备容量和参数的不断提高,而进行了高温性能数据的测定,其中大量数据属于长期蠕变、持久性能;为了轴承、齿轮、轴类、连杆等传动件,也为了压力容器、叶片、弹簧等基础部件,测定了旋转疲劳、拉压疲劳、低周疲劳、接触疲劳性能,包括大量 $P-S-N$ 曲线,并且还测定了许多断裂力学性能诸如裂纹张开位移(COD)、 J_n 阻力曲线、平面应变断裂韧度(K_{Ic}), 疲劳裂纹扩展速率(da/dN)及门槛值(ΔK_{Ih})以及应力腐蚀开裂速度(da/dt)及其界限应力强度因子(K_{Isc})等。

“六五”期间机械工业部重大科技项目“机械工业常用钢铁材料性能数据积累”、“七五”国家科技攻关项目专题“材料性能数据库”,在机械工业部有关部门的领导和支持下,上海材料研究所牵头组织了全国近30个大中专院校、研究院所及有关工厂,通过共同努力完成了浩瀚的性能测试工作。目前这些成果已为7个机械工业产品系列的疲劳设计、可靠性设计和优化设计以及计算机辅助设计提供了材料性能数据基础。

除了提供“机械工业常用材料性能数据库”的软盘服务外,为了充分发挥这些经过通力协作,孜孜以求地测定的数据在我国机械制造工业中的作用,根据国情,我们将这些数据,并有选择地扩大搜集了国内刊物上已经发表的如结构钢、耐热钢及高温合金等常用材料性能数据,在机械工业出版社的发起和督促下,将其整理编辑成册,以之奉献给我国广大的材料工作者。

目 录

序	
编者说明	
前 言	
第 1 章 材料性能及测试方法概述	1
1.1 物理性能及测试	1
1.2 常规力学性能及测试	5
1.3 疲劳性能及测试	17
1.4 断裂力学性能及测试	27
1.5 高温长时性能及测试	33
1.6 腐蚀性能及测试	36
第 2 章 碳素钢和低合金钢	43
2.1 Q 235 A 级	43
2.2 Q 235 A 级(F)	51
2.3 Q 195	55
2.4 Q 235 B 级	56
2.5 10 钢	60
2.6 15 钢	61
2.7 20 钢	62
2.8 20 g 钢	68
2.9 20 G 钢	71
2.10 25 钢	76
2.11 30 钢	77
2.12 35 钢	79
2.13 40 钢	82
2.14 45 钢	83
2.15 50 钢	91
2.16 55 钢	93
2.17 60 钢	97
2.18 10Ti 钢	98
2.19 16 Mn 钢	99
2.20 16 MnL 钢	104
2.21 16 MnR 钢	105
2.22 16 Mng 钢	110
2.23 15 MnV 钢	114
2.24 10 MoWVNb 钢	117
2.25 12 Mn 钢	120
2.26 15 MnTi 钢	124
2.27 12 MnMoV 钢	128
2.28 14 MnMoV 钢	129
2.29 15 MnPNbRE 钢	134
2.30 30 Mn2 钢	136
2.31 30 Mn2MoB 钢	137
2.32 20 MnMo 钢	138
2.33 25 Mn2V 钢	139
2.34 35 SiMn 钢	139
第 3 章 合金结构钢	142
3.1 12 CrNi 3 钢	142
3.2 12 Cr 2 Ni 4 钢	144
3.3 16 MnCr 5 钢	148
3.4 19 CN 5 钢	151
3.5 20 Cr 钢	154
3.6 20 CrMoH 钢	157
3.7 20 Cr 2 Ni 4 A 钢	160
3.8 20 CrMnTi 钢	163
3.9 20 MnVB 钢	166
3.10 20 CrMnMo 钢	167
3.11 20 CrMnSi 钢	169
3.12 20 Ni 2 Mo 钢	172
3.13 20 SiMnVB 钢	174
3.14 20 MnMoB 钢	176
3.15 20 MnCr 5 钢	178
3.16 25 Cr 2 MoV 钢	180
3.17 25 MnTiBRE 钢	182
3.18 25 MnCr 5 钢	184
3.19 28 MnCr 5 钢	186
3.20 30 CrMnTi 钢	188
3.21 35 Mn 2 钢	190
3.22 35 CrMo 钢	191
3.23 35 VB 钢	196
3.24 30 CrMnSi 钢	197
3.25 40 Cr 钢	199
3.26 40 MnB 钢	205
3.27 40 MnVB 钢	210
3.28 40 CrNiMo 钢	213
3.29 18 Cr 2 Ni 4 W 钢	218
3.30 40 CrMnMo 钢	225

3.31	4140 钢	230	5.2	9 Cr 18 Mo 钢	350
3.32	42 CrMo 钢	232	5.3	GCr 15 钢	351
3.33	45 Mn 2 钢	236	5.4	GCr 15 A 钢	353
3.34	55 Tid 钢	238	5.5	GCr 15 SiMn 钢	356
3.35	12 CrMo 钢	239	5.6	GCr 15 SiMnA 钢	358
3.36	12 MoVWBSiRE 钢	241	5.7	G 20 CrNiMo 钢	361
3.37	LF 10 MnSiTi 钢	244	5.8	G 20 CrNi 2 Mo 钢	362
3.38	17 CrMoIV 钢	246	5.9	G 20 Cr 2 Ni 4 A 钢	364
3.39	18 CrMnMoB 钢	247	5.10	Cr 4 Mo 4 V 钢	366
3.40	24 CrMoV 钢	251	第 6 章 弹簧钢		368
3.41	27 Cr 2 MoV 钢	252	6.1	50 CrV 钢	368
3.42	33 Cr 3 MoWV 钢	256	6.2	55 Si 2 Mn 钢	371
3.43	34 CrMoI 钢	260	6.3	55 SiMnVB 钢	374
3.44	35 CrMoV 钢	264	6.4	60 Si 2 Mn 钢	379
3.45	38 CrMoAl 钢	265	6.5	65 Mn 钢	383
3.46	14 MnMoVBRE 钢	270	6.6	70 钢	386
3.47	40 CrMnSiMoV 钢	272	6.7	65 钢	388
3.48	45 CrNiMoV 钢	280	6.8	85 钢	389
3.49	20 CrNi 3 A 钢	282	6.9	60 Si 2 CrA 钢	390
3.50	30 CrNi 4 MoA 钢	285	6.10	4 Cr 13 钢	391
3.51	30 CrMnSiNi 2 A 钢	289	6.11	45 Cr 1 MoV 钢	393
3.52	38 Cr 2 Mo 2 VA 钢	301	6.12	1 Cr 15 Ni 36 W 3 Ti 钢	395
3.53	40 CrNi 2 Si 2 MoVA 钢	308	6.13	30 W 4 Cr 2 VA 钢	398
3.54	ZG 22 CrMnMo 钢	311	第 7 章 耐蚀钢、耐热钢及高温合金		400
3.55	ZG 25 CrMnSiMo 钢	315	7.1	1 Cr 13 钢	400
3.56	ZG 28 CrMnSiNi 2 钢	318	7.2	2 Cr 13 钢	403
3.57	14 CrMnSiNi 2 MoA 钢	321	7.3	3 Cr 13 钢	411
3.58	15 CrMnMoVA 钢	324	7.4	0 Cr 18 Ni 9 钢	415
3.59	14CrMnMoVB 钢	328	7.5	1 Cr 18 Ni 9 钢	418
3.60	40 Mn 18 Cr 3 钢	331	7.6	1 Cr 18 Ni 9 Ti 钢	420
3.61	50 Mn 18 Cr 4 钢	331	7.7	1 Cr 12 Mo 钢	424
3.62	50 Mn 18 Cr 4 N 钢	333	7.8	1 Cr 17 Ni 2 钢	430
3.63	50 Mn 18 Cr 4 WN 钢	334	7.9	00 Cr 17 Ni 14 Mo 2 钢	433
第 4 章 冷变形用钢和易切削钢		336	7.10	1 Cr 12 Ni3 MoV 钢	436
4.1	08 钢	336	7.11	0 Cr 17 Ni 4 Cu 4 Nb 钢	437
4.2	08 F 钢	337	7.12	2 Cr 12 Ni 1 W 1 Mo 1 V 钢	440
4.3	08 Al 钢	338	7.13	2 Cr 12 NiMoWV 钢	441
4.4	09 SiVL 钢	341	7.14	ZG 1 Cr 13	447
4.5	YF 45 MnV 钢	342	7.15	ZG 0 Cr 13 Ni 6 Mo	452
4.6	53 CaS 钢	344	7.16	10 CrMo 910 钢	456
4.7	易切削结构钢标准牌号性能数据	345	7.17	10 Cr 2 Mo 1 钢	458
第 5 章 轴承钢		348	7.18	12 Cr 1 MoV 钢	461
5.1	9 Cr 18 钢	348			

7.19	13 Mn Ni Mo Nb 钢	469	7.62	50 Mn 18 Cr 5 Mo 3 VN 钢	620
7.20	BHW 35 钢	474	7.63	1 Cr 17 Ni 13 W 3 Ti 钢	622
7.21	15 Cr Mo 钢	479	7.64	1 Cr 11 Mo V 钢	623
7.22	18 Mn Mo Nb 钢	484	7.65	2 Cr 12 Ni 2 W 1 Mo 1 V 钢	627
7.23	19 Mn 5 钢	488	7.66	0 Cr 17 Ni 7 Al 钢	630
7.24	12 Cr 2 Mo W Ti B 钢	492	7.67	0 Cr 19 Ni 9 钢	633
7.25	20 Cr 1 Mo 1 V Ti B 钢	498	7.68	0 Cr 18 Ni 11 Ti 钢	636
7.26	20 Cr 1 Mo 1 V Nb Ti B 钢	500	7.69	0 Cr 18 Ni 11 Nb 钢	638
7.27	25 Cr 2 Ni Mo V 钢	503	7.70	0 Cr 17 Ni 12 Mo 2 钢	640
7.28	25 Cr 2 Ni 3 Mo V 钢	506	7.71	1 Mn 18 Cr 10 Mo VB 钢	642
7.29	28 Cr Ni Mo V 钢	509	7.72	1 Cr 14 Ni 18 W 2 Nb B Ce 钢	644
7.30	30 Cr 1 Mo 1 V 钢	515	7.73	1 Cr 19 Ni 11 Nb 钢	645
7.31	4 Cr 14 Ni 14 W 2 Mo 钢	519	7.74	1 Cr 5 Mo 钢	652
7.32	5 Cr 21 Mn 9 Ni 2 N 钢	521	7.75	1 Cr 6 Si 2 Mo 钢	653
7.33	5 Cr 21 Mn 9 Ni 4 N 钢	523	7.76	4 Cr 9 Si 2 钢	655
7.34	5 Cr 21 Mn 9 Ni 12 N 钢	526	7.77	3 Cr 18 Mn 12 Si 2 N 钢	657
7.35	1 Cr 19 Ni 9 钢	528	7.78	2 Cr 20 Mn 9 Ni 2 Si 2 N 钢	658
7.36	12 Cr 3 Mo V Si Ti B 钢	533	7.79	2 Mn 18 Al 5 Si Mo Ti 钢	661
7.37	ZG 15 Cr 2 Mo 钢	538	7.80	0 Cr 14 Ni 40 W 4 Mo 2 Ti 3 Al 2 B Zr 合金	664
7.38	ZG 15 Cr 1 Mo 1 V 钢	540	7.81	0 Cr 15 Ni 35 W 3 Ti 3 Al B 合金	666
7.39	Ni-Cr-Co-Fe 合金	541	7.82	K 409 合金	668
7.40	1 Cr 12 W Mo V 钢	545	7.83	K 438 合金	673
7.41	X 20 Cr Mo V 121 V 钢	548	7.84	GH 145 合金	678
7.42	ZG 30 Cr 18 Mn 12 Si 2 N 钢	550	第 8 章	工、模具钢	683
7.43	ZG 30 Cr 24 Ni 7 Si NRE 钢	555	8.1	T 8 钢	683
7.44	ZG 30 Cr 30 Ni 11 N 钢	558	8.2	Cr 12 钢	685
7.45	ZG 30 Cr 22 Mn 4 Ni 4 Si 2 N 钢	560	8.3	Cr WMn 钢	687
7.46	ZG 45 Cr 20 Mn 5 Ni 5 W Mo N 钢	563	8.4	Cr 12 Mo V 钢	690
7.47	ZG 40 Cr 25 Ni 20 钢	566	8.5	3 Cr 2 W 8 V 钢	693
7.48	ZG 30 Ni 35 Cr 15 钢	570	8.6	4 Cr 5 Mo V 1 Si 钢	69
7.49	ZG 35 Cr 18 Ni 25 Si 2 钢	573	8.7	4 Cr 5 W 2 Si V 钢	699
7.50	10 Cr 9 Mo 1 V Nb 钢	576	8.8	4 Cr 5 Mo Si V 钢	703
7.51	9 Cr 2 Mo 钢	577	8.9	4 Cr 3 Mo 2 Mn Si V Nb B 钢	707
7.52	SA 299 钢	580	8.10	4 Cr 5 Mo 2 Mn V Si 钢	713
7.53	10 Cr 5 Mo W Ti B 钢	585	8.11	4 Cr 3 Mo 2 Mn VB 钢	716
7.54	34 Cr Ni 3 Mo 钢	587	8.12	5 Cr Ni Mo 热作模具钢	721
7.55	20 Cr 3 W Mo V 钢	591	8.13	5 Cr 4 W 5 Mo 2 V 钢	726
7.56	ZG 20 Cr Mo V 钢	595	8.14	7 Cr Si Mn Mo V 钢	729
7.57	ZG 15 Cr 1 Mo 钢	597	8.15	7 Cr 7 Mo 3 V 2 Si 钢	731
7.58	30 Cr 2 Mo V 钢	599	8.16	25 Cr 3 Mo 3 V Nb 钢	733
7.59	30 Cr 2 Ni 4 Mo V 钢	606	8.17	35 Cr 3 Mo 3 W 2 V 钢	736
7.60	25 Cr 2 Mo 1 V 钢	610	8.18	65 Cr 4 W 8 V Ti 钢	741
7.61	1 Mn 17 Cr 7 Mo V Nb B Zr 钢	618			

8.19 65Cr5Mo3W2VSiTi 钢	744	10.15 LC4	808
第9章 铸铁、铸钢	748	10.16 LY12	808
9.1 HT100 铸铁	748	10.17 QSi3-1	815
9.2 HT150 铸铁	748	10.18 ZCuAl10Fe3	817
9.3 HT200 铸铁	749	10.19 ZCuAl10Fe3Mn2	818
9.4 HT250 铸铁	751	10.20 H62	819
9.5 HT300 铸铁	752	第11章 工程塑料	820
9.6 QT450-10球铁	753	11.1 聚酰胺6、聚酰胺66	820
9.7 QT400-18球铁	755	11.2 聚酰胺1010	821
9.8 QT400-15球铁	759	11.3 增强聚酰胺1010	822
9.9 QT500-7球铁	759	11.4 单体浇铸尼龙	822
9.10 QT600-3球铁	762	11.5 聚甲醛	823
9.11 QT700-2球铁	769	11.6 聚碳酸酯	824
9.12 QT800-2球铁	771	11.7 增强聚碳酸酯	826
9.13 ZG230-450铸钢	774	11.8 ABS	826
9.14 ZG270-500铸钢	776	11.9 高密度聚乙烯	827
9.15 ZG310-570铸钢	778	11.10 聚丙烯	828
9.16 ZG340-640铸钢	782	11.11 聚四氟乙烯	830
9.17 ZG40Cr铸钢	784	11.12 15G5C填充聚四氟乙烯	830
9.18 ZG20SiMn铸钢	786	11.13 60Cu填充聚四氟乙烯	831
第10章 有色金属	790	11.14 4F1-4填充聚四氟乙烯	832
10.1 ZCuPb30	790	11.15 增强聚对苯二甲酸丁二醇酯	833
10.2 ZAlSi12	791	11.16 聚砜	834
10.3 ZAlSi9Mg	792	11.17 聚酰亚胺	835
10.4 ZChSnSb8-4	794	11.18 P23水润滑塑料	836
10.5 ZChSnSb11-6	796	11.19 聚邻苯二甲酸二丙烯酸酯塑料	837
10.6 ZChPbSb16-16-2	797	11.20 酚醛胶木管	837
10.7 ZCuSn5Pb5Zn5	799	附录	840
10.8 AL-1	799	附录A 常用数值表	840
10.9 T2	800	附录B 计量单位换算表	857
10.10 T3	802	附录C 钢铁技术条件	866
10.11 Sn-3	803	附录D 有色金属牌号新旧对照表	895
10.12 Pb-6	804	附录E 国内外钢号对照表	897
10.13 LD5	805	参考文献	906
10.14 LD10	806		

第1章 材料性能及测试方法概述

材料是当今人类文明的物质基础，在经济生活中占有特殊的地位。在现代工业中，材料性能数据是产品设计、生产制造、质量检验和使用维修的重要依据。为使读者能方便地查阅和合理地选用本手册的数据，本章对材料的各种主要性能指标的试验方法及数据处理方法作一简单介绍。

1.1 物理性能及测试

1.1.1 密度

材料每单位体积的质量，称为密度。即物质的质量与其体积之比。根据阿基米德原理，由水的密度可求得材料的密度：

$$\rho = \frac{m}{m_1 - m_2} \rho_{\text{水}} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——试样的密度(kg/m^3)；

m ——试样在空气中的称重(g)；

m_1 ——试样和吊丝在空气中的称重(g)；

m_2 ——试样和吊丝在水中的称重(g)；

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度(kg/m^3)。

1.1.2 熔点

金属材料在开始熔化时的温度称为熔点。熔点的测定是在试样上垂直于试样轴线方向打一小孔，小孔的深度与孔径之比大于5，认为小孔符合绝对黑体条件。试样通电加热，用显微光学高温计测量孔底温度，记下孔底熔化时光学高温计示出的温度 T' ，再测得此时高温计与试样间观察窗石英玻璃的减弱系数 A ，由下式计算出试样熔化时的温度，即熔点 $T(^{\circ}\text{C})$ 。

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} = A \quad (1-2)$$

1.1.3 临界点

试样在加热冷却时发生相变，相变伴有体积变化，利用高精度膨胀仪作出温度——膨胀量之间的变化曲线，用切线法确定临界点的数值。

取膨胀曲线上偏离正常纯热膨胀(或纯冷收缩)的开始位置作为 A_c (或 A_r)的温度，如图1.1-1中的 a 、 c 点。取再次恢复纯热膨胀(或纯冷收缩)的开始位置作为 A_c (或 A_r)的温度，如图中的 b 、 d 点。

通常其分离位置由作切线得到，故称切线法。

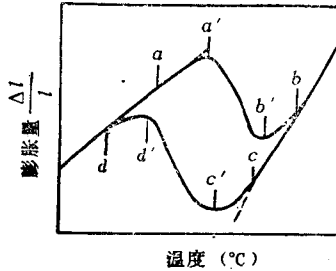


图 1.1-1 确定临界点的方法示意图

若取加热或冷却曲线上的4个极值位置，如图1.1-1中的 a' 、 b' 、 c' 、 d' 分别为 A_{c1} 、 A_{c2} 、 A_{r1} 、 A_{r2} 的温度，这种方法称为极值法。该法确定点的人为因素较小，相变点位置明显，便于不同实验条件下相变点的比较。

1.1.4 等温转变曲线

钢的等温转变曲线即为过冷奥氏体等温转变的综合动力学曲线。由于曲线的形状通常呈“C”形状，所以又称C曲线。它反映了过冷奥氏体在不同过冷度下等温转变的过程：转变开始和终了时间、转变产物和转变量与温度和时间关系。其基本类型可分为两种：第一种是在 $A_1 \sim M_s$ 之间有一个过冷奥氏体转变最快的温度区；第二种是在 $A_1 \sim M_s$ 之间有两个过冷奥氏体转变最快的温度区，如图1.1-2所示。对亚共析钢或过共析钢，在过冷奥氏体共析转变之前，先要析出铁素体或渗碳体，所以在等温转变曲线上部还有一条先共析转变曲线。

根据过冷奥氏体等温转变所得到的组织产物大致可分为3个区域：

- 1) 高温转变——珠光体型相变。
- 2) 中温转变——贝氏体型相变。
- 3) 低温转变——马氏体型相变。

目前测定钢的过冷奥氏体等温转变曲线多用磁性法和膨胀法。它们都是利用过冷奥氏体转变产物的组织形态和物理性质发生变化来进行测定的。

1.1.5 热导率

若物体中两点有温度差，则有热能从一点向另

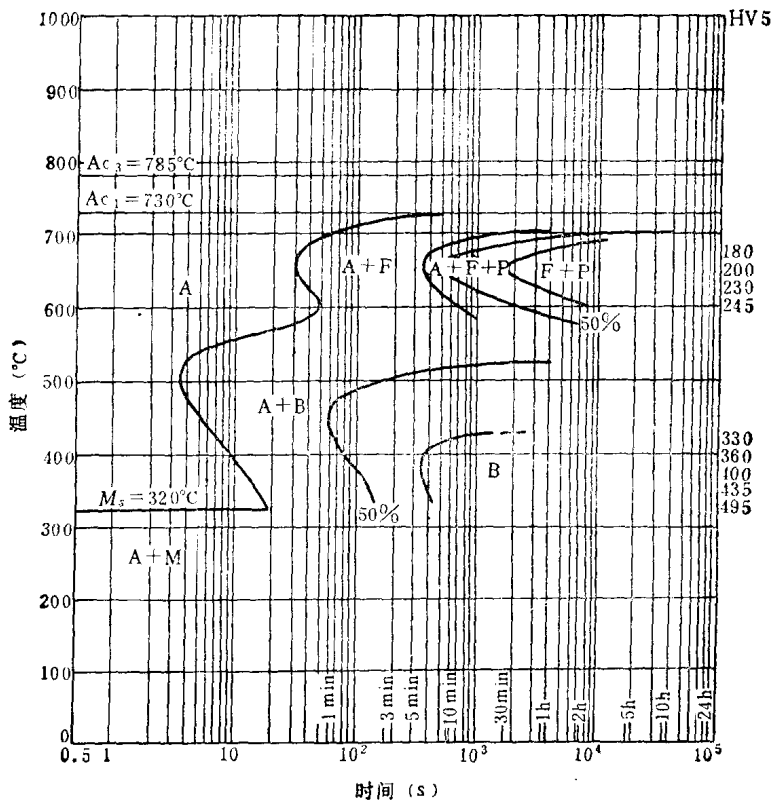


图 1.1-2 等温转变曲线

一点传递，热导率就是表示这一传递的能力。取一个横截面均匀的细长试样，在其相距为 ΔL 的两个平行横截面间保持温度差 $\Delta T = T_2 - T_1$ ，其中 T_1 和 T_2 分别为两平行横截面的温度，热能将从高温 T_2 处向温度 T_1 处传递。则在时间 t 内流过的热量 Q 的数值为：

$$Q = \lambda S \left(\frac{\Delta T}{\Delta L} \right) t \quad (1-3)$$

式中 S ——试样的横截面积(m^2)；

λ ——试验材料的热导率 $[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 。

测定金属材料热导率的方法可分为动态法和静态法两大类：

1) 动态法是将试样某一部分的温度作周期的或突然的改变，而在另一部分测定温度的变化。这种方法是在直接测得试样的热扩散率、比热容和密度的基础上，然后利用下式计算：

$$\lambda = \alpha \rho c \quad (1-4)$$

式中 α ——热导率的热扩散率(m^2/s)；

ρ ——试样的密度；

c ——试样的比热容。

2) 静态法的基本要求是热稳定，即试样上的温度场恒定(Q/t 为一恒量)。因此，在测量时必须确立稳定状态，控制热流按规定的路径流动，防止各种方式的热散失。

a) 用比较法测定热导率 制备同样规格的试样和已知热导率的标准试样，然后把它们串联起来进行试验，使同样的热量 Q 流过，当达到热稳定状态时，由式(1-3)得：

$$Q/t = \lambda_0 S_0 \Delta T_0 / \Delta L_0 = \lambda_1 S_1 \Delta T_1 / \Delta L_1 \quad (1-5)$$

式中 λ_0 、 S_0 ——分别为标准试样的热导率和横截面积；

λ_1 、 S_1 ——分别为被测试样的热导率和横截面积；

ΔT_0 ——沿标准试样轴向距离 ΔL_0 的两点间温度差；

ΔT_1 ——沿被测试样轴向距离 ΔL_1 的两点间温度差。

由上式即可计算出被测试样的热导率 λ_1 。

b) 直接通电纵向热流法 这种方法是以试样本身通过的电流产生的热量为基础的。设直流电流

通过试样,产生的焦尔热沿着试样两端传导,当试样侧面与环境存在热交换时,由达到稳定状态后的热平衡方程得热导率的计算公式:

$$\lambda = \frac{L}{0.239S} \frac{IV}{2(\Delta T - \varepsilon N)} \quad (1-6)$$

式中 S ——试样横截面积(cm^2);
 L ——试样测试段中点和端点间的距离(cm);
 I ——通过试样的电流(A);
 V ——试样测试段中点和端点间的电压(V);
 ΔT ——试样测试段中点和端点间的温度差;
 ε ——反映侧向热交换大小的系数;
 N ——标志试样和侧面环境温度的函数($^{\circ}\text{C}$)。

1.1.6 比热容

物体温度升高时所吸收的热量与其质量和升高的温度($T_2 - T_1$)成正比,即单位质量物体每升高一度所需的热量称为比热容。

$$Q = cm(T_2 - T_1) \quad (1-7)$$

式中 Q ——吸收的热量(J);
 c ——材料的比热容[J/(kg·K)];
 m ——物体质量(kg);
 T_1 、 T_2 ——升温前、后的温度($^{\circ}\text{C}$)。

在测定材料比热容时,先用激光热导仪测定材料的热扩散率:

$$\alpha = 0.139 \frac{L^2}{t_{1/2}} \quad (1-8)$$

式中 α ——热扩散率(m^2/s);
 L ——试样厚度(m);
 $t_{1/2}$ ——试样后表面达到最大温升的一半所需的时间。

热扩散率表示物体在加热或冷却过程中各部分温度趋向一致的能力,它表达了不稳定导热过程的速度变动特征。测定热扩散率 α 后再根据已知的热导率 λ 由下式计算:

$$c = \frac{\lambda}{\alpha\rho} \quad (1-9)$$

式中 ρ ——材料的密度。

1.1.7 膨胀系数

热胀冷缩是物体重要的物理性能。不管物体是热胀还是冷缩,长度(或体积)都将发生变化。当温度由 T_1 变到 T_2 ,长度相应地由 L_1 变到 L_2 时,材料在该温区的平均线膨胀系数为:

$$\alpha_l = \frac{L_2 - L_1}{L_1(T_2 - T_1)} = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \quad (1-10)$$

式中 α_l ——平均线膨胀系数(1/K);

ΔL ——线长度增量(mm);

ΔT ——温度增量(K)。

在不同的温度区段,线膨胀率是不同的,上式表示单位长度单位温度的平均增长量来代表该温区的线膨胀系数。因此线膨胀系数是所在温区的平均伸长率指标。

线膨胀系数采用光学方法测定。使试样膨胀量通过光学系统放大到感光纸上,然后精确测量出相纸上对应于各温度的光点距离,由下式计算出平均线膨胀系数:

$$\alpha_l = \frac{\Delta L}{K L_1 \Delta T} \quad (1-11)$$

式中 K ——仪器放大系统之放大倍数。

1.1.8 振动衰减系数

一个处于自由振动状态的物体,即使置于真空之中,也会因其振动能逐渐转换为热能而衰耗下去,这种由于内部的原因所造成的振动能耗损的现象称为内耗。

金属材料通过内摩擦(内耗)吸收振动能量,并把它转变为热能的能力叫减振性。减振性的高低以振动振幅的对数衰减率 δ 来表示,即:

$$\delta = \left[\ln \left(\frac{A_1}{A_n} \right) \right] / (n-1) \quad (1-12)$$

式中 δ ——减振系数;

A_1 ——起始振幅(mm);

A_n ——经 n 次振动后的振幅(mm);

n ——振动次数。

衰减系数与温度和应力有关,所以减振性好的材料可以降低构件的振动应力。

1.1.9 弹性模量

材料在弹性变形范围内正应力与正应变成正比,比例常数称为弹性模量,即

$$\sigma = \varepsilon E \quad (1-13)$$

式中 E ——弹性模量(MPa);

σ ——正应力(MPa);

ε ——正应变。

测量材料弹性模量的方法很多,目前一般采用悬丝耦合弯曲共振法来测定。其计算方法为:一根截面均匀的试样,在两端自由的条件下作弯曲自由振动时,弹性模量与试样的固有频率、试样尺寸、质量有如下关系:

圆棒:

$$E = 1.606 \times 10^{-9} K \frac{mL^3}{d^4} f^2 \quad (1-14)$$

矩棒:

$$E = 0.946 \times 10^{-9} K \frac{mL^3}{bh^3} f^2 \quad (1-15)$$

式中 E ——弹性模量(MPa);

m ——试样质量(g);

L ——试样长度(mm);

d ——试样直径(mm);

b ——试样宽度(mm);

h ——试样厚度(mm);

f ——试样基频固有频率(Hz);

K ——修正系数,见表1.1-1、表1.1-2。

表 1.1-1 圆棒试样修正系数值

d/L	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
K	1.001	1.002	1.005	1.008	1.014	1.019

表 1.1-2 矩棒试样修正系数值

h/L	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
K	1.001	1.003	1.006	1.012	1.018	1.026

表1.1-1和表1.1-2所给出的修正系数仅适用于泊松比在0.25~0.35范围内的材料。

1.1.10 切变模量

材料在弹性变形范围内,切应力 τ 和切应变 γ 成正比关系,比例系数即称为切变模量 G ,可用公式表示:

$$\tau = G\gamma \quad (1-16)$$

式中 τ ——切应力(MPa);

G ——切变模量(MPa);

γ ——切应变。

切变模量也采用共振法测定。其计算公式为:截面均匀的棒状试样在两端自由的条件下,作自由扭转振动时,其切变模量 G 与固有基频、试样尺寸、质量有如下关系:

圆棒:

$$G = 5.109 \times 10^{-9} \frac{mL}{d^2} f^2 \quad (1-17)$$

矩棒:

$$G = 4 \times 10^{-9} R \frac{mL}{bh} f^2 \quad (1-18)$$

式中 G ——切变模量(MPa);

m ——试样质量(g);

L ——试样长度(mm);

d ——试样直径(mm);

b ——试样宽度(mm);

h ——试样厚度(mm);

f ——试样扭转固有基频(Hz);

R ——矩棒形状因子,取决于试样宽厚比(b/h)和宽长比(b/L),可由«GB2105—91金属材料切变模量及泊松比测量方法»中附表查取。

1.1.11 泊松比

对于各向同性的材料,在弹性变形范围内,试样在轴向拉伸时,所产生的横向应变与轴向应变之比的绝对值定义为 μ 。 μ 称为泊松比:

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right| \quad (1-19)$$

式中 ε_1 ——轴向应变;

ε_2 ——横向应变。

泊松比可根据弹性模量 E 、切变模量 G 的测定值计算得到:

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1 \quad (1-20)$$

1.1.12 厚向塑性应变比

塑性应变比 γ 值是评价金属薄板深压延性能的重要材料参数。它反映金属薄板在其平面内,承受拉力或压力时,抵抗变薄或变厚的能力。是金属薄板塑性各向异性的一种量度。

在单向拉伸试验条件下,薄板三向的变形程度不同。这种变形的各向异性能力可以提高冷轧钢板的成形性能。薄板试样受单向拉伸发生塑性变形,当长度方向的真实应变达到某规定值 ε_l 时,宽度方向的真实应变 ε_b 与厚度方向的真实应变 ε_a 之比定义为塑性应变比,用 γ 表示。

$$\gamma = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} \quad (1-21)$$

$$\varepsilon_b = \ln \left(\frac{b_1}{b_0} \right)$$

$$\varepsilon_a = \ln \left(\frac{a_1}{a_0} \right)$$

式中 b_0 ——试样原始宽度(mm);

a_0 ——试样原始厚度(mm);

b_1 ——拉伸变形后试样宽度(mm);

a_1 ——拉伸变形后试样厚度(mm)。

根据体积不变条件, γ 值也可用下式计算:

$$\gamma = \ln(b_0/b_1) / \ln\left(\frac{b_1 L_1}{b_0 L_0}\right) \quad (1-22)$$

式中 L_0 ——试样原始标距(mm);

L_1 ——拉伸变形后试样标距(mm)。

1.1.13 薄板塑性应变硬化指数

在单轴拉伸条件下, 试样各部位的塑性应变不是同时均匀地发生, 最早变形的部位会因应变硬化而增加变形抗力, 不致过早出现缩颈现象, 造成破裂。因此加工硬化倾向较强的材料在拉伸或冲压时裂损现象少。材料在塑性变形阶段, 应变抗力随变形量的增加而增加称应变硬化或加工硬化现象, 应变硬化性能以应变硬化指数表示, 应变硬化指数由真实应力—真实应变曲线的幂指数式确定:

$$\sigma = K \epsilon^n \quad (1-23)$$

式中 σ ——真实应力(MPa);

ϵ ——真实应变;

K ——强度系数(MPa);

n ——应变硬化指数。

根据上式的对数形式确定应变硬化指数 n

$$\log \sigma = \log K + n \log \epsilon \quad (1-24)$$

对上式进行线性回归即可计算出其斜率 n 及其标准偏差。

1.1.14 磁导率

所有物质均可按照一定磁场强度所导致的磁化强度或磁感应强度的大小, 分为铁磁性物质和弱磁性物质。而弱磁性物质又可分为抗磁性物质和顺磁性物质。

磁感应强度 B 值随磁场强度 H 值的升高而增大, 二者的比值叫做磁导率 μ 。它表征了材料在一定的磁场强度中产生一定的磁感应强度的能力

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (1-25)$$

式中 B ——磁感应强度(Wb/m²);

H ——磁场强度(A/m)。

磁感应强度 B 采用冲击电流法测定, 按下列公式计算:

$$B = \frac{C_s \alpha_B}{2N_2 S} \quad (1-26)$$

式中 C_s ——冲击检流计冲击常数(Wb/mm);

α_B ——在磁化电流 I_H 下的冲击检流计偏转(mm);

N_2 ——次级绕组匝数;

S ——试样横截面积(m²)。

磁场强度 H 根据磁化电流的控制值由下式计算:

$$H = \frac{I_H N_1}{L} \quad (1-27)$$

式中 I_H ——磁化电流(A);

L ——试样有效磁路长度(m);

N_1 ——初级绕组匝数。

磁导率是软磁性材料中的一个重要参数。对于铁磁性材料, 磁导率不是一个恒量。因此存在起始磁导率和最大磁导率。起始磁导率对软场下工作的软磁材料, 如铁镍合金等具有重要的意义。而硅钢片、工业纯铁等大功率材料则要求最大磁导率高。

1.1.15 电阻率及电导率

按照欧姆定律, 通过试样的电流正比于试样两端的电压, 比例系数即为电阻:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1-28)$$

式中 V ——试样两端的电压(V);

I ——通过试样的电流(A)。

试样的电阻与试样的长度成正比, 与横截面积成反比:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-29)$$

式中 ρ ——电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$);

L ——试样的长度(cm);

S ——试样的横截面积(cm²)。

电导率 γ 定义为电阻率 ρ 的倒数, 即:

$$\gamma = \frac{LI}{SV} \quad (1-30)$$

1.2 常规力学性能及测试

1.2.1 拉伸试验

拉伸试验是材料力学性能测试中最常用的试验方法。这种试验方法的特点是温度, 应力状态和加载速率是确定的, 并且常用标准光滑圆柱形试样进行试验。通过拉伸试验可以测定材料最基本的强度指标和塑性指标。这些性能指标既是机件或构件设计计算的依据, 又是评定和选用材料及加工工艺的重要依据。

1.2.1.1 拉伸曲线和应力—应变曲线

将试样装在拉力试验机上进行拉伸试验时, 由于试样两端受到轴向静拉力 F 的作用, 试样将产生

变形，若将试样从试验开始直至断裂前所受的拉力 F ，与其所对应的伸长 ΔL 绘制成曲线，可得到拉伸曲线 ($F-\Delta L$ 曲线)，见图 1.2-1。拉伸曲线反映了材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形、直至断裂的全部力学特性。

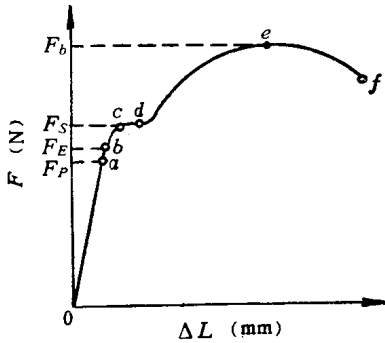


图 1.2-1 45钢的外力—拉伸曲线

由于拉伸曲线与试样的几何尺寸有关，所以只反映了试样在拉伸时的力学性质。若将拉伸曲线中的试验力 F 除以试样原始横截面面积 S_0 ，伸长量 ΔL 除以试样原标距 L_0 ，则得应力—应变曲线 ($\sigma-\epsilon$ 曲线)。如图 1.2-2。它与拉伸曲线具有同样的形式。

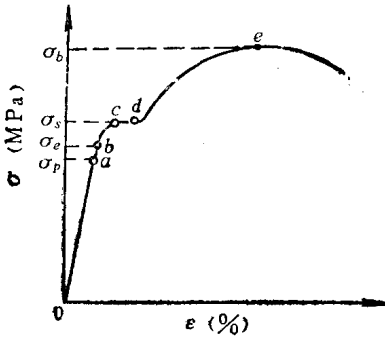


图 1.2-2 45钢的应力—应变曲线

应力—应变曲线的形状反映了材料抵抗外力的不同能力，同时也与试验条件如加载速度、温度、介质等有关。在规定的试验条件下，利用应力—应变曲线可以比较各种材料的力学特性。图 1.2-2 曲线具有一定长度的屈服平台。图 1.2-3 中曲线 a 的平台部分成锯齿状，说明有上下屈服点存在；曲线 b 仅有一直线段，而无屈服平台，即无明显的物理屈服点；曲线 c 无直线段，且试样破断呈脆性；曲线 d 无直线段，但有相当的塑性变形；曲线 e 只有直

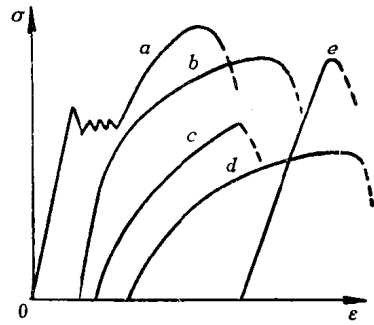


图 1.2-3 不同材料的应力—应变曲线

线段，断裂呈脆性。金属材料应力—应变曲线不仅因材料的种类而异，同种材料在不同的热处理工艺条件下也具有不同的形状。

1.2.1.2 材料在拉伸时的力学性能

应力—应变曲线与试样的几何尺寸无关，并且两个坐标值分别代表应力 σ 和应变 ϵ 的力学参量。因此在拉伸过程中，当 σ 和 ϵ 达到某一特性点数值时，便得到该材料的力学性能指标。见表 1.2-1。

1.2.1.3 拉伸性能指标的测定

金属材料各项拉伸性能指标的测定，实际上就是测定试样在拉伸过程中当变形达到各物理特性点或规定值时的力值或伸长量，通过试验结果处理，可计算出各项力学性能指标。

(1) 规定非比例伸长应力

可用图解法和引伸计法来测定 (见图 1.2-4)。

1) 图解法 在拉伸过程中自动记录绘制具有

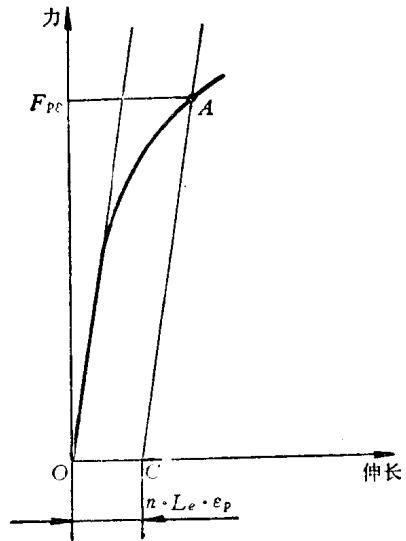


图 1.2-4 图解法测定 σ_{pe}