

New Handbook of Metallic Materials

新编金属材料手册

主 编 沈宁福

副主编 张东捷 李仲达

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本手册收集了目前正在执行的最新的国家标准和行业标准中有关资料,全书共 22 章,各类金属材料知识密集,内容全新,资料翔实,实用性强。

本书可供机械、冶金、矿山、石油、化工、轻工、建筑、纺织等各部门从事工程设计、制造、维修的工程技术人员和企业管理人员以及政府经济计划、商品检验、技术监督、对外贸易、物资管理等部门的管理人员使用,也可供大专院校师生及购销人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

新编金属材料手册=New Handbook of Metallic Materials/沈宁福主编.
—北京:科学出版社,2003.1
ISBN 7-03-010002-6

I. 新… II. 沈… III. 金属材料-手册 IV. TG14-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 000514 号

责任编辑:顾英利/责任校对:钟 洋
责任印制:安春生/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 1 月第 一 版 开本:A4(890×1240)

2003 年 1 月第一次印刷 印张:47 1/4

印数:1—2 000 字数:2 086 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

编辑委员会

主 编 沈宁福

副 主 编 张东捷 李仲达

编写人员 王西科 关绍康 任晨星 朱世杰

杨占胜 王利国 侯铁翠 孙玉福

张清霄 刘新田 杨凯军 卢广玺

张卫红 付元忠 曹文博 刘晓芳

符水龙 雷钢军

前 言

金属材料目前仍然是国民经济各部门中使用量最大、最为重要的材料品种之一。常用的和已经进入工业化规模应用的各种金属材料,在世界各国及我国均按照国家标准或行业标准组织生产。随着科学技术及经济的发展,我国有关金属材料的标准亦在不断更新和完善。对于与金属材料有关的各行业人员,及时地了解和掌握现行标准规定的内容是十分重要的。然而由于涉及金属材料的标准文件很多,其量很大,一般读者不可能具备就近查阅全部标准文件的条件。本手册在广泛的金属材料品种范围内,精心选编了标准中有关各种材料的牌号、化学成分和主要性能指标的资料,并编入了有关金属材料的基本知识,使读者在总容量不太大的一本手册中,即可方便地查阅和掌握金属材料的最重要标准数据。在需要时,读者可根据手册中所提供的某一标准号,进一步查阅该标准的全文,以获得有关该材料的全部资料。

本手册的特点是内容新而全,包含了在近年来公布的标准资料,且涵盖的金属材料品种齐全。全书包括了金属材料的基本知识、生铁与铁合金、结构钢、工具钢、不锈钢与耐热钢、铸钢、铸铁、精密合金、铝及铝合金、镁及镁合金、铜及铜合金、锌及锌合金、钛及钛合金、镍与高温合金、金属复合材料、稀土金属及其合金、稀有金属及其合金、贵金属及其合金、金属与合金粉末、粉末冶金材料、半金属与半导体、其他金属及其合金等共二十二章,以及四个附录等内容。由于篇幅所限,本书未完整包括各种材料制品的尺寸规格方面的资料,但在相应的各章内提供了该种材料的产品标准目录,便于读者进行具体标准的检索。

本手册可供冶金、矿山、机械、石油、化工、轻工、建筑、纺织等各部门从事工程设计、技术开发、生产制造、设备维修的工程技术人员、企业管理人员和购销人员,以及政府经济计划、经贸管理、质量与技术监督、商品检验、物资管理等部门的公务人员使用,亦可供科研人员和大专院校师生参考。

在本书的编写和定稿过程中,得到了中国科学院院士、西北工业大学与上海交通大学周尧和教授,以及著名金属材料专家、西北工业大学康沫狂教授的热心支持和指导。

由于本书涉及的标准资料浩繁,工作量极大,尽管我们尽了自己的最大努力,但编写过程中的错漏之处仍是难免,望广大读者不吝赐教,提出批评指正,以便日后修订再版时予以改正。编者的联系方式(Email 地址)如下:spdic@21cn.com 或 nfshen@hotmail.com。

沈宁福
2002 年 6 月

目 录

检索本书具体内容,请分别查阅
各章首页的详细目录

	前言	
第 1 章	金属材料基本知识	1
第 2 章	生铁、废钢铁和铁合金	41
第 3 章	结构钢	63
第 4 章	工具钢	133
第 5 章	不锈钢与耐热钢	153
第 6 章	铸钢	175
第 7 章	铸铁	189
第 8 章	精密合金	203
第 9 章	铝及铝合金	261
第 10 章	镁及镁合金	317
第 11 章	铜及铜合金	329
第 12 章	锌及锌合金	415
第 13 章	钛及钛合金	427
第 14 章	镍、镍基合金和高温合金	453
第 15 章	金属复合材料	485
第 16 章	稀土金属及其合金	515
第 17 章	稀有金属及其合金	547
第 18 章	贵金属及其合金	593
第 19 章	金属与合金粉末	627
第 20 章	粉末冶金材料与制品	663
第 21 章	半金属与半导体材料	671
第 22 章	其他金属及合金	693
	附录	735
	参考文献	745

The Basic Knowledge of Metallic Materials

金属材料基本知识

1.1 金属元素的性质和晶体结构	2	表 1-10 低合金钢的主要分类	29
表 1-1 纯金属的物理性质与热化学性质	2	表 1-11 低合金钢按其主要质量等级和主要性能 或使用特性分类及举例	30
表 1-2 元素周期表	4	表 1-12 合金钢的主要分类	31
表 1-3 元素的晶体结构	5	表 1-13 合金钢按其主要质量等级和主要性能或 使用特性分类及举例	32
1.2 金属材料加工、组织和热处理工艺术语	8	表 1-14 钢的工业产品(GB/T 15574-1995)	32
1.2.1 金属材料加工常用术语	8	1.6.3 有色金属与合金分类	33
1.2.2 金属材料组织及热处理工艺术语	8	表 1-15 有色金属分类	33
一、金属组织术语	8	表 1-16 工业上常用有色金属合金分类	34
二、金属热处理工艺术语	9	1.7 有关标准的知识	35
三、化学热处理、表面沉积及热处理缺陷术语	11	1.7.1 我国标准的分级和分类	35
1.3 金属材料的力学性能和腐蚀性能术语	12	一、标准的分级	35
1.3.1 金属材料力学性能术语(GB/T 10623-1989)	12	二、标准的分类	36
1.3.2 金属材料腐蚀及防护术语 (GB/T 10123-1988)	15	1.7.2 我国标准代号	36
1.4 合金元素在钢中的作用	16	表 1-17 我国国家标准、行业标准、专业标准及部标 准代号	36
表 1-4 合金元素在钢中的作用	16	1.7.3 常用国际及外国标准代号	37
1.5 合金元素在轻合金中的作用	22	一、ISO(国际标准化组织)	37
表 1-5 合金元素与杂质在轻合金中的作用	22	二、IEC(国际电工委员会)	37
1.6 金属材料分类	24	三、美国标准	38
1.6.1 黑色金属与合金分类	25	四、ГОСТ(原苏联国家标准,现为俄罗斯标准)	38
表 1-6 黑色金属与合金分类	25	五、JIS(日本工业标准)	38
1.6.2 钢分类(GB/T 13304-1991)	25	六、EN(欧洲标准)	38
表 1-7 钢按化学成分分类	25	七、DIN(联邦德国标准)	38
表 1-8 非合金钢的主要分类	26	八、BS(英国标准)	38
表 1-9 非合金钢按其主要质量等级和主要性能或 使用特性分类及举例	27	九、NF(法国标准)	39

1.1 金属元素的性质和晶体结构

表 1-1 纯金属的物理性质与热化学性质

元素 符号	元素名称 中文	元素名称 英文	熔点 ℃	沸点 ℃	密度 (20℃) [‡] g·cm ⁻³	热导率 (0~100℃) W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	比热容 (0~100℃) J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	电阻率 (20℃) 10 ⁻⁸ Ωm	电阻温度系数 (0~100℃) 10 ⁻³ K ⁻¹	线胀系数 (0~100℃) 10 ⁻⁶ K ⁻¹	杨氏模量 (20℃)* GPa	质量磁 化率 10 ⁻⁸ m ³ ·kg ⁻¹	熔化潜热 (熔点) kJ·g·atom ⁻¹	熔化时体 积改变率 %	元素 符号
Al	铝	Aluminium	660.37	2520	2.70	238	917	2.67	4.5	23.5	70.6	+0.81	10.47	6.5	Al
Sb	锑	Antimony	630.74	1590	6.68	23.8	209	40.1	5.1	8~11	54.7	-1.09	19.89	0.8	Sb
As	砷	Arsenic	[817]	616	5.727	—	331	33.3	—	5.6	—	-0.39	—	10.0	As
Ba	钡	Barium	729	2130	3.5	—	285	60(0℃)	—	18	12.8	+1.12	7.66	—	Ba
Be	铍	Beryllium	1287	2470	1.848	194	2052	3.3	9.0	12	318.0	-1.25	12.22	—	Be
Bi	铋	Bismuth	271.442	1564	9.80	9	124.8	117	4.6	13.4	34.0	-1.69	10.89	-3.35	Bi
Cd	镉	Cadmium	321.108	767	8.64	103	233.2	7.3	4.3	31	62.6	-0.23	6.41	4.0	Cd
Cs	铯	Caesium	28.5	670	1.87	36.1(s)	234	20	4.8	97	1.7	-0.28	2.09	2.6	Cs
Ca	钙	Calcium	839	1484	1.54	125	624	3.7	4.57	22	19.6	+1.38	8.36	—	Ca
Ce	铈	Cerium	798	[3430]	6.75	11.9	188	85.4	8.7	8	33.5	+18.8	5.23	—	Ce
Cr	铬	Chromium	1860	2680	7.1	91.3	461	13.2	2.14	6.5	279.0	+3.85	20.9	—	Cr
Co	钴	Cobalt	1494	2930	8.9	96	427	6.34	6.6	12.5	211.0	铁磁性	15.5	3.5	Co
Cu	铜	Copper	1084.8	2560	8.96	397	386.0	1.694	4.3	17.0	129.8	-0.11	13.02	4.2	Cu
Dy	镝	Dysprosium	1500	[2630]	8.536	10.0	173	91	1.19	8.6	—	+795.0	—	—	Dy
Er	铒	Erbium	1530	[2600]	9.051	9.6	166	86	2.01	9.2	—	+330.0	—	—	Er
Gd	钆	Gadolinium	1350	[3000]	α7.895 β7.80	8.8	298	134	0.9/1.76	6.4	—	铁磁性	—	—	Gd
Ga	镓	Gallium	29.7	2205	5.91	41.0(s)	377	13.65	—	18.3	9.81	-0.30	5.594	-3.2	Ga
Ge	锗	Germanium	937	2830	5.32	56.4	310	~89×10 ³	—	5.75	79.9	-0.15	36.8	-5.1	Ge
Au	金	Gold	1064.43	2860	19.3 ²	315.5	130	2.20	4.0	14.1	78.5	-0.19	12.78	5.1	Au
Hf	铪	Hafnium	2227	4600	13.1	22.9	147	32.2	4.4	6.0	141.0	+0.53	24.07	—	Hf
Ho	钬	Holmium	1461	[2600]	8.803	—	164	94	1.71	9.5**	—	—	—	—	Ho
In	铟	Indium	156.4	2070	7.3	80.0	243	8.8	5.2	24.8	—	-0.14	3.27	2.0	In
Ir	铱	Iridium	2447	4390	22.4	146.9	130.6	5.1	4.5	6.8	528.0	+0.19	26.0	—	Ir
Fe	铁	Iron	1536	2860	7.87	78.2	456	10.1	6.5	12.1	211.4	铁磁性	15.2	3.5	Fe
La	镧	Lanthanum	920	[3420]	α6.174 β6.186 γ5.97	13.8	200	57	2.18	4.9	37.9	+1.30	8.37	—	La
Pb	铅	Lead	327.502	1750	11.68	34.9	129.8	20.6	4.2	29.0	16.1	-0.15	4.81	3.5	Pb
Li	锂	Lithium	181	1342	0.534	76.1	3517	9.29	4.35	56	4.91	+0.62	2.93	1.65	Li
Lu	镥	Lutetium	1652	[3327]	9.842	—	154	68	—	125**	—	—	—	—	Lu
Mg	镁	Magnesium	649	1090	1.74	155.5	1038	4.2	4.25	26.0	44.7	+0.69	8.79	4.12	Mg
Mn	锰	Manganese	1244	2060	7.4	7.8	486	160(α)	—	23	191.0	+14.7	14.7	1.7	Mn
Hg	汞	Mercury	-38.87	357	13.546	8.65	138	95.9	1.0	61	—	-0.21	2.324	3.7	Hg
Mo	钼	Molybdenum	2615	4610	10.2	137	251	5.7	4.35	5.1	324.8	+0.05	35.6	—	Mo
Nd	钕	Neodymium	1024	[3060]	α7.004 β6.80	13.0	209	64	1.64	6.7	—	+45.0	7.14	—	Nd
Ni	镍	Nickel	1455	2915	8.9	88.5	452	6.9	6.8	13.3	199.5	铁磁性	17.16	4.5	Ni
Nb	铌	Niobium	2467	4740	8.6	54.1	268	16.0	2.6	7.2	104.9	+1.88	29.3	—	Nb

元素 符号	元素名称 中文	元素名称 英文	熔点 ℃	沸点 ℃	密度 (20℃) $\downarrow$ gcm^{-3}	热导率 (0~100℃) $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	比热容 (0~100℃) $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	电阻率 (20℃) $10^{-8}\Omega\text{m}$	电阻温度系数 (0~100℃) 10^{-3}K^{-1}	线胀系数 (0~100℃) 10^{-6}K^{-1}	杨氏模量 (20℃)* GPa	质量磁 化率 $10^{-8}\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	熔化潜热 (熔点) $\text{kJ}\cdot\text{g}\cdot\text{atom}^{-1}$	熔化时体 积改变率 %	元素 符号
Os	锇	Osmium	3030	5000	22.5	86.9	130	8.8	4.1	4.57	559.0	+0.06	—	—	Os
Pd	钯	Palladium	1554	2960	12.0	75.2	247	10.8	4.2	11.0	121.0	+6.75	16.7	—	Pd
Pt	铂	Platinum	1769.9	3830	21.45	73.4	134.4	10.58	3.92	9.0	170.0	+1.38	19.7	—	Pt
Pu	钚	Plutonium	640	3235	19.84	8.4	142	146.5	—	55	87.5	—	2.9	2.5	Pu
Po	钋	Polonium	246	965	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Po
K	钾	Potassium	63.2	759	0.86	104(s)	754	6.8	5.7	83	(-190℃) 3.53	+0.65	2.39	2.55	K
Pr	镨	Praseodymium	932	[3020]	α 6.782 β 6.64	11.7	192	68	1.71	4.8	—	+31.2	11.3	—	Pr
Ra	镭	Radium	700	1500	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Ra
Re	铼	Rhenium	3180	5690	21.0	47.6	138	18.7	4.5	6.6	466.0	+0.45	33.5	—	Re
Rh	铑	Rhodium	1966	3700	12.4	148	243	4.7	4.4	8.5	379.0	+1.39	22.6	—	Rh
Rb	铷	Rubidium	38.8	688	1.53	58.3(s)	356	12.1	4.8	9.0	2.35	+0.26	2.198	2.5	Rb
Ru	钌	Ruthenium	2310	4120	12.2	116.3	234	7.7	4.1	9.6	432.0	+0.63	—	—	Ru
Sm	钐	Samarium	1072	[1803]	7.536 7.40	—	181	92	1.48	—	—	+15.5	8.92	—	Sm
Sc	钪	Scandium	1538	[2870]	2.99	—	558	66	—	12	—	+9.10	—	—	Sc
Se	硒	Selenium	220.5	685	4.79	—	339	12	—	37	58.0	-0.40	6.28	15.8	Se
Si	硅	Silicon	1412	3270	2.34	138.5	729	$10^3\sim 10^6$	—	7.6	113.0	-0.16	50.66	-10.0	Si
Ag	银	Silver	961.93	2163	10.5	425	234	1.63	4.1	19.1	82.7	-0.25	11.09	3.8	Ag
Na	钠	Sodium	97.8	883	0.97	128	1227	4.7	5.5	71	6.8	+0.64	2.64	2.5	Na
Sr	锶	Strontium	770	1375	2.6	—	737	23(0℃)	—	100	15.7	-0.25	8.4	—	Sr
Ta	钽	Tantalum	2980	5370	16.6	57.55	142	13.5	3.5	6.5	185.7	+1.16	24.7	—	Ta
Tb	铽	Terbium	1356	[2500]	8.272	—	172	116	—	7.0	—	+1150.0	—	—	Tb
Te	碲	Tellurium	450	988	6.24	3.8	134	1.6×10^5 (0℃)	—	$\left\{\begin{array}{l}1.7\\//c\text{ axis}\\27.5\end{array}\right\}$ $\perp c\text{ axis}$	47.1	-0.39	17.6	4.9	Te
Tl	铊	Thallium	304	1473	11.85	45.5	130	16.6	5.2	30	7.9	-0.30	4.3	2.2	Tl
Th	钍	Thorium	1755	4290	11.5	49.2	100	14	4.0	11.2	78.3	+0.14	—	—	Th
Tm	铥	Thulium	1543	[1727]	9.322	—	160	90	1.95	11.6**	—	+189.0	—	—	Tm
Sn	锡	Tin	231.968	2625	7.3	73.2	226	12.6	4.6	23.5	49.9	-0.31	7.08	2.3	Sn
Ti	钛	Titanium	1667	3285	4.5	21.6	528	54	3.8	8.9	120.2	+1.56	17.5	—	Ti
W	钨	Tungsten	3387	5555	19.3	174	138	5.4	4.8	4.5	411.0	+0.35	35.2	—	W
U	铀	Uranium	1132	4400	19.05(α) 18.89(β)	28	117	27	3.4	—	175.8	+2.15	12.5	—	U
V	钒	Vanadium	1902	3410	6.1	31.6	498	19.6	3.9	8.3	127.6	+1.75	16.74	—	V
Yb	镱	Ytterbium	824	[1427]	6.977	—	145	28	1.30	25.0	—	+1.80	—	—	Yb
Y	钇	Yttrium	1520	3300	6.54 4.25	10.2	309	53	2.71	10.8**	66.3	+6.62	11.43	—	Y
Zn	锌	Zinc	419.58	911	7.14	119.5	394	5.96	4.2	31	104.5	-0.19	7.28	4.7	Zn
Zr	锆	Zirconium	1852	4400	6.49	22.6	289	44	4.4	5.9	98.0	-0.56	19.3	—	Zr

* * 在 400℃;(s)固体; $\downarrow$ 高温同素异构物不在 20℃;* 多晶体的杨氏模量;()括号内为稀土或稀有金属元素。

续表

元 素		相	晶体结构	结构符号	结构典型	晶格常数($\times 10^{-10}\text{m}$)		
名 称	符 号					<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i> 或轴角
氦	He	β	面心立方	A1	Cu	3.1883	7.266	5.0422
铪	Hf	γ	体心立方	A2	W			
		α	密排六方	A3	Mg			
		β	体心立方	A2	W			
汞	Hg		三方	A10	Hg	3.005		70°31′42″
钬	Ho	α	密排六方	A3	Mg	3.58		5.62
		β	体心立方	A2	W			
碘	I		底心斜方			4.787		9.793
铟	In		体心正方	A6	In	4.594		4.951
铱	Ir		面心立方	A1	Cu	3.839		
钾	K		体心立方	A2	W	5.334		
氪	Kr		面心立方	A1	Cu	5.69		
镧	La	α	密排六方		$\alpha\text{-La}$	3.77		12.16
		β	面心立方	A1	Cu			
		γ	体心立方	A2	W			
		α	密排六方	A3	Mg			
锂	Li	β	体心立方	A2	W	3.5089		
铈	Lr(Lw)		未知			—	—	—
铈	Lu		密排六方	A3	Mg	3.50		5.50
钆	Md		未知			—	—	—
镁	Mg		密排六方	A3	Mg	3.2088		5.20
锰	Mn	α	复杂体心立方	A12	$\alpha\text{-Mn}$			
		β	复杂立方	A13	$\beta\text{-Mn}$			
		γ	面心立方	A1	Cu			
		δ	体心立方	A2	W	8.912		
钼	Mo		体心立方	A2	W	3.1468		
氮	N	α	立方					
		β	六方			4.04		6.60
钠	Na	α	密排六方	A3	Mg			
		β	体心立方	A2	W	4.289		
铌	Nb(见 Cb)							
钹	Nd	α	密排六方		$\alpha\text{-La}$	3.66		11.80
		β	体心立方	A2	W			
氟	Ne		面心立方	A1	Cu	4.53		
镍	Ni		面心立方	A1	Cu	3.5238		
锆	No		未知					
镱	Np	α	斜方					
		β	正方					
		γ	体心立方(?)	A2	W			
		α	底心斜方			6.84		
氧	O	β	六方					
		γ	立方					
			密排六方	A3	Mg	2.7341		4.3197
			复杂立方			7.18		
磷	P	α (白磷)	复杂立方					
		β (白磷)	复杂结构(非立方)					
		红 磷	未知					
		黑 磷	底心斜方					
镓	Pa		体心四方					
铅	Pb		面心立方	A1	Cu	4.9489		
钷	Pd		面心立方	A1	Cu	3.8902		
铋	Pm		两种六方结构					
钋	Po	α	简单立方					
		β	三方					
镨	Pr	α	密排六方		$\alpha\text{-La}$	3.67		11.84
		β	体心立方	A2	W			
铂	Pt		面心立方	A1	Cu	3.9310		
铀	Pu	α	单斜			6.182	4.826	10.956

续表

元 素		相	晶体结构	结构符号	结构典型	晶格常数($\times 10^{-10}\text{m}$)		
名 称	符 号					<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i> 或轴角
铀	Pu	β	体心单斜					
		γ	面心斜方					
		δ	面心立方	A1	Cu			
		δ'	体心正方	A6	In			
		ϵ	体心立方	A2	W			
镭	Ra		体心立方	A2	W			
铷	Rb		体心立方	A2	W	5.63		
铯	Re		密排六方	A3	Mg	2.760		4.458
铈	Rh		面心立方	A1	Cu	3.804		
氢	Ru		未知			—	—	—
钌	Ru		密排六方	A3	Mg	2.7041		4.2814
硫	S	α	复杂面心斜方			10.50	12.95	24.60
		β	复杂单斜					
		γ	三方					
锑	Sb		三方	A7	α -As	4.506		$57^{\circ}6'30''$
铊	Sc	α	密排六方	A3	Mg	3.31		5.27
		β	体心立方	A2	W			
硒	Se	α	单斜					
		β	单斜					
		γ	六方	A8	γ -Se	4.346		4.954
硅	Si		面心立方	A4	C(金刚石)	5.428		
钐	Sm	α	复杂三方			8.99		$23^{\circ}13'$
		β	体心立方	A2	W			
锡	Sn	α (灰锡)	面心立方	A4	C(金刚石)			
		β (白锡)	体心正方	A5	β -Sn	5.8314		3.1815
铈	Sr	α	面心立方	A1	Cu	6.087		
		β	体心立方	A2	W			
钽	Ta		体心立方	A2	W	3.303		
铽	Tb	α	密排六方	A3	Mg	3.60		5.69
		β	体心立方	A2	W			
铈	Tc		密排六方	A3	Mg	—		—
碲	Te		六方	A8	γ -Se	4.457		5.929
钍	Th	α	面心立方	A1	Cu	5.09		
		β	体心立方	A2	W			
钛	Ti	α	密排六方	A3	Mg	2.950		4.683
		β	体心立方	A2	W			
铊	Tl	α	密排六方	A3	Mg	3.457		5.525
		β	体心立方	A2	W			
铥	Tm		密排六方	A3	Mg	3.53		5.55
铀	U	α	底心斜方	A20	α -U	2.8545	5.868	4.9566
		β	复杂正方	似 D8 _b	似 CrFe			
		γ	体心立方	A2	W			
钒	V		体心立方	A2	W	3.039		
钨	W		体心立方	A2	W	3.158		
氙	Xe		面心立方	A1	Cu	6.25		
铪	Y	α	密排六方	A3	Mg	3.65		5.73
		β	体心立方(?)	A2	W			
镱	Yb	α	面心立方	A1	Cu	5.49		
		β	体心立方	A2	W			
锌	Zn		密排六方	A3	Mg	2.665		4.947
锆	Zr	α	密排六方	A3	Mg	3.2312		5.1477
		β	体心立方	A2	W			
镱	Rf		未知			1969 年发现		
铪	Ha		未知			1970 年发现		

1.2 金属材料加工、组织和热处理工艺术语

1.2.1 金属材料加工常用术语

金属(合金)锭 ingot 将液态金属或合金浇入模子(常为金属模),经冷却、凝固所获得的块状半成品。

铸造 foundry, casting 将液态金属或合金浇入砂模或金属模等,经冷却、凝固获得成型制品的工艺。

压力铸造(压铸) high pressure die casting 将液态金属或合金在高压下射入金属模,经冷却、凝固获得成型制品的工艺。

铸件 casting 采用铸造工艺所获得的成型制品。

焊接 welding 以熔融金属将不同部件连接为一体的工艺,多数情况下使用一定的焊料,热源可为电弧、电子束、激光束或高温气体等。

焊接件 weldment 以焊接工艺相连接的部件。

变形加工 deformation processing 在外加力作用下,使金属或合金按预定的方式发生变形,形成具有一定几何形状和尺寸的制品的工艺,变形加工可在加热状态或室温进行。

轧制 rolling 使金属或合金锭坯通过两个旋转的轧辊间的空隙,在轧压作用下使锭坯横截面积减小、长度增加的一种变形加工工艺。

挤压 extruding 常用的是正向挤压法,使金属或合金锭坯在主柱塞力的作用下,通过挤压筒端部的模孔挤出变形,形成一定的几何形状和尺寸的制品。

锻造 forging 使金属或合金锭坯在上下模之间,由于静压

力或动压力的作用发生变形,根据模具几何形状的复杂程度可分为自由锻和模锻。

拉制 drawing 在拉制力的作用下,将金属或合金杆料从模孔拉出而发生延伸变形的工艺。

粉末冶金 powder metallurgy 将金属或合金粉末经压实、烧结或热挤工艺制成成型制品的工艺。

型材 shape 经轧制或挤压所获得的断面几何形状较为复杂的制品。

铸造性能(可铸性) castability 金属或合金经铸造形成无缺陷成型铸件的工艺性能。

焊接性能(可焊性) weldability 金属或合金经焊接形成无缺陷的焊接件的工艺性能。

可锻性 forgeability 金属或合金经锻造形成无缺陷锻件的工艺性能。

可轧制性 rollability 金属或合金经轧制形成无缺陷制品的工艺性能。

切削加工性能(可切削性) machinability 金属或合金接受高效切削加工的工艺性能。

铸造合金 cast alloy 具有较良好的铸造性能,用于浇注成型铸件的合金。

变形合金 wrought alloy 具有较好的变形加工性能,用于经变形加工制成产品的合金。

1.2.2 金属材料组织及热处理工艺术语

一、金属组织术语

相 phase 指金属组织中化学成分、晶体结构和物理性能相同的组分,其中包括固溶体、金属化合物及纯物质。

组织 structure 泛指用金相观察方法看到的由形态、尺寸不同和分布形式不同的一种或多种相构成的总体,以及各种材料缺陷和损伤。

宏观组织;低倍组织 macrostructure 金属试样的磨面经适当处理后用肉眼或借助放大镜观察到的组织。

显微组织 microstructure 将用适当方法(如侵蚀)处理后的金属试样的磨面或其复型或用适当方法制成的薄膜置于光学显微镜或电子显微镜下观察到的组织。

晶粒 grain 多晶体材料内以晶界分开、晶体学位向基本相同的小晶体。

晶界 grain boundary 多晶体材料中相邻晶粒的界面。相邻晶粒晶体学位向差小于 10° 的晶界称为小角晶界;相邻晶粒晶体学位向差较大的晶界称为大角晶界。

相界面 interphase boundary 相邻两种相的分界面。两相的点阵在跨越界面处完全匹配者称为共格界面,部分匹配者称为半共格界面,基本不匹配者称为非共格界面。

亚晶粒 subgrain 晶粒内相互间晶体学位向差很小($<2^\circ\sim3^\circ$)的小晶块。亚晶粒之间的界面称为亚晶界。

晶粒度 grain size 意指多晶体内晶粒的大小。可用晶粒号、晶粒平均直径、单位面积或单位体积内的晶粒数目定

量表征。

树枝组织 dendritic structure 金属铸件中呈树枝状的晶体(晶粒)。

共晶组织 eutectic structure 金属凝固时,由液相同时析出,紧密相邻的两种或多种固体构成的铸态组织。

共析组织 eutectoid structure 固态金属自高温冷却时,从同一母相中同时析出,紧密相邻的两种或多种不同的相构成的组织。

针状组织 acicular structure 含有一种(或多种)针状相的组织。

片层状组织 lamellar structure 两种或多种薄层状相交替重叠形成的共晶组织、共析组织及其他组织。

α 铁 在 921°C 以下稳定存在,晶体结构为体心立方的纯铁。

γ -iron 在 $921\sim1390^\circ\text{C}$ 稳定存在,晶体结构为面心立方的纯铁。

铁素体 ferrite α 铁中溶入一种或多种溶质元素构成的固溶体。

奥氏体 austenite γ 铁中溶入碳和(或)其他元素构成的固溶体。它是以英国冶金学家 R. Austen 的名字命名的。

渗碳体 cementite 晶体结构属于正交系,化学式为 Fe_3C 的金属化合物。是钢和铸铁中常见的固相。

碳化物 carbide 钢铁中碳与一种或数种金属元素构成的

金属化合物的总称。两种金属元素与碳构成的化合物称为三元碳化物或复合碳化物,如 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ 、 $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ 等。三种或更多种金属元素与碳构成的化合物 $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{W}, \text{V})_3\text{C}$ 、 $\text{Fe}_3(\text{W}, \text{Mo})_3\text{C}$ 等只能被称为复合碳化物。

珠光体 pearlite, lamellar pearlite 铁素体薄层(片)与碳化物(包括渗碳体)薄层(片)交替重叠组成的共析组织。

珠光体领域 pearlite colony 诸铁素体、碳化物薄片位向大致相同的一个珠光体团所占的空间。

索氏体 sorbite, fine pearlite 在光学金相显微镜下放大600倍以上才能分辨片层的细珠光体。它是以英国冶金学家 H. C. Sorby 的名字命名的。

托氏体 troostite, nodular fine pearlite 在光学金相显微镜下已无法分辨片层的极细珠光体。它是以法国金相学家 L. Troost 的名字命名的。

马氏体 martensite 钢铁或非铁金属中通过无扩散共格切变型转变(马氏体转变)形成的产物统称马氏体。钢铁中马氏体转变的母相是奥氏体,由此形成的马氏体化学成分与奥氏体相同,晶体结构为体心正方,可被看做是过饱和 α 固溶体。主要形态是板条状和片状。它是以德国冶金学家 A. Martens 的名字命名的。

莱氏体 ledeburite 铸铁或高碳高合金钢中由奥氏体(或其转变的产物)与碳化物(包括渗碳体)组成的共晶组织。它是以德国冶金学家 A. Ledebur 的名字命名的。

石墨 graphite 碳的一种同素异构体,晶体结构属于六方系,是铸铁中常出现的固相。其空间形态有片状、球状、团絮状、蠕虫状等。

脱溶物 precipitate 过饱和固溶体中形成的溶质原子偏聚区(如铝铜合金中的 GP 区)或化学成分及晶体结构与之不同的析出相(例如铝铜合金人工时效时形成的 CuAl_2)。

弥散相 dispersed phase 从过饱和固溶体中析出或在化学热处理渗层中形成以及在其他生产条件下形成的细小、弥散分布的固相。

贝氏体 bainite 钢铁奥氏体化后,过冷到珠光体转变温度区与 M_s 之间的中温区等温,或连续冷却通过这个中温区时形成的组织。这种组织由过饱和 α 固溶体和碳化物组成。它是以美国冶金学家 E. C. Bain 的名字命名的。

上贝氏体 upper bainite 在较高的温度范围内形成的贝氏体。其典型形态是以大致平行、碳轻微过饱和的铁素体板

条为主体,短棒状或短片状碳化物分布于板条之间。在含硅、铝的合金钢中碳化物全部或部分被残留奥氏体所取代。

下贝氏体 lower bainite 在较低温度范围内形成的贝氏体。其主体是双凸透镜片状碳过饱和铁素体,片中分布着与片的纵向轴呈 $55^\circ\sim 65^\circ$ 角平行排列的碳化物。

残留奥氏体;残存奥氏体 retained austenite 工件淬火冷却至室温后残存的奥氏体。

组织组分 structural constituent 金属显微组织中具有同样特征的部分。例如退火态亚共析钢中的铁素体、珠光体。

魏氏组织 widmanstatten structure 组织组分之一呈片状或针状沿母相特定晶面析出的显微组织。是以从铁-镍陨石中发现这种组织的奥地利矿物学家 A. J. Widmanstatten 的名字命名的。

带状组织 banded structure 金属材料中两种组织组分呈条带状沿热变形方向大致平行交替排列的组织。例如钢材中的铁素体带-珠光体带,珠光体带-渗碳体带等。

粒状珠光体 globular pearlite 碳化物呈颗粒状弥散分布于铁素体基体中的珠光体。

亚组织;亚结构 substructure 只有借助电子显微镜才能观察到的组织结构,例如位错、层错、微细孪晶、亚晶粒等。

位错 dislocation 晶体中常见的一维缺陷(线缺陷)。在透射电子显微镜下金属薄膜试样的衍衬象中表现为弯曲的线条。

层错 stacking fault 面心立方、密排六方、体心立方等常见金属晶体中密排晶面堆垛层次局部发生错误而形成的二维晶体学缺陷(面缺陷)。在透射电子显微镜下的金属薄膜试样衍衬象中表现为若干平直干涉条纹组成的带。

位错塞积 dislocation pile up 滑动中的位错列在领先位错受阻时形成塞积的现象,在透射电子显微镜下金属薄膜试样衍衬象中表现为接近平行排列的短弧线。

空位 vacancy 晶体结构中原子空缺的位置。属于零维晶体学缺陷。

织构 texture 金属中诸晶粒晶体学位向接近一致的组织。

母相 parent phase 由之转变为新相的原始相。

二次马氏体 secondary martensite 工件回火冷却过程中残留奥氏体发生转变形成的马氏体。

马氏体临界冷却速度 critical cooling rate 工件淬火时可

二、金属热处理工艺术语

热处理 heat treatment 采用适当的方式对金属材料或工件(以下简称工件)进行加热、保温和冷却以获得预期的组织结构与性能的工艺。

整体热处理 bulk heat treatment 对工件整体进行穿透加热的热处理。

化学热处理 thermo-chemical treatment 将工件置于适当的活性介质中加热、保温,使一种或几种元素渗入它的表层,以改变其化学成分、组织和性能的热处理。

表面热处理 surface heat treatment 为改变工件表面的组织和性能,仅对其表面进行热处理的工艺。

局部热处理 local heat treatment, partial heat treatment 仅对工件的某一部位或几个部位进行热处理的工艺。

真空热处理 vacuum heat treatment, low pressure heat treatment 在低于 $1\times 10^5\text{ Pa}$ (通常是 $10^{-1}\sim 10^{-3}\text{ Pa}$)的环境中加热的热处理工艺。

磁场热处理 heat treatment in magnetic field 为改善某些铁磁性材料的磁性能而在磁场中进行的热处理。

可控气氛热处理 heat treatment in controlled atmosphere 为达到无氧化,无脱碳或按要求增碳,在成分可控的炉气中进行的热处理。

稳定化处理 stabilizing treatment, stabilizing 为使工件在长期服役的条件下形状和尺寸变化能够保持在规定范围内的热处理。

形变热处理 thermomechanical treatment 将塑性变形和热处理结合,以提高工件力学性能的复合工艺。

奥氏体化 austenitizing 工件加热至 A_{c3} 或 A_{c1} 以上,以全部或部分获得奥氏体组织的操作称为奥氏体化。工件进行奥氏体化的保温温度与时间分别称为奥氏体化温度和奥氏体化时间。

抑制非马氏体转变的冷却速度低限。

炉冷 furnace cooling 工件在热处理炉中加热保温后,切断炉子能源,使工件随炉冷却的方式。

等温转变 isothermal transformation 工件奥氏体化后,冷却到临界点(A_{r1} 或 A_{r3})以下等温保持时过冷奥氏体发生的转变。

连续冷却转变 continuous cooling transformation 工件奥氏体化后以不同冷却速度连续冷却时过冷奥氏体发生的转变。

退火 annealing 工件加热到适当温度,保持一定时间,然后缓慢冷却的热处理工艺。

等温退火 isothermal annealing 工件加热到高于 A_{c3} (或 A_{c1})的温度,保持适当时间后,较快地冷却到珠光体转变温度区间的适当温度并等温保持,使奥氏体转变为珠光体类组织后在空气中冷却的退火。

再结晶退火 recrystallization annealing 经冷塑性变形加工的工件加热到再结晶温度以上,通过再结晶使冷变形过程中产生的晶体学缺陷基本消失,重新形成均匀的等轴晶粒,以消除形变强化效应和残余应力的退火。

中间退火 process annealing, intermediate annealing, inter-stage annealing 为消除工件形变强化效应,改善塑性,便于实施后继工序而进行的工序间退火。

均匀化退火 homogenizing, diffusion annealing 以减少工件化学成分和组织的不均匀程度为主要目的,将其加热到高温并长时间保温,然后缓慢冷却的退火。

稳定化退火 stabilizing annealing 为使工件中微细的显微组成物沉淀或球化的退火。例如某些奥氏体不锈钢在 850°C 附近进行稳定化退火,沉淀出 TiC 、 NbC 、 TaC ,防止耐晶间腐蚀性能降低。

去应力退火 stress relieving, stress relief annealing 为去除工件塑性变形加工、切削加工或焊接造成的内应力及铸件内存的残余应力而进行的退火。

完全退火 full annealing 将工件完全奥氏体化后缓慢冷却,获得接近平衡组织的退火。

不完全退火 partial annealing, incomplete annealing 将工件部分奥氏体化后缓慢冷却的退火。

石墨化退火 graphitizing treatment 为使铸铁内莱氏体中的渗碳体或(和)游离渗碳体分解而进行的退火。

正火 normalizing 工件加热奥氏体化后在空气中冷却的热处理工艺。

淬火 quench hardening, transformation hardening 工件加热奥氏体化后以适当方式冷却获得马氏体或(和)贝氏体组织的热处理工艺。最常见的有水冷淬火、油冷淬火、空冷淬火等。

表面淬火 surface hardening 仅对工件表层进行的淬火。其中包括感应淬火、接触电阻加热淬火、火焰淬火、激光淬火、电子束淬火等。

热浴淬火 hot bath hardening 工件在熔盐、熔碱、熔融金属或高温油等热浴中进行的淬火冷却。如盐浴淬火、铅浴淬火、碱浴淬火等。

贝氏体等温淬火;等温淬火 austempering 工件加热奥氏体化后快冷到贝氏体转变温度区间等温保持,使奥氏体转变为贝氏体的淬火。

感应淬火 induction hardening 利用感应电流通过工件所产生的热量,使工件表层、局部或整体加热并快速冷却的淬火。

形变淬火 ausforming 工件热加工成形后由高温淬冷的淬火。常用的是锻造余热淬火。

冷处理 subzero treatment, cold treatment 工件淬火冷却到室温后,继续在一般致冷设备或低温介质中冷却的工艺。

深冷处理 cryogenic treatment 工件淬火后继续在液氮或液氮蒸气中冷却的工艺。

淬硬性 hardening capacity 以钢在理想条件下淬火所能达到的最高硬度来表征的材料特征。

淬透性 hardenability 以在规定条件下钢试样淬硬深度和硬度分布表征的材料特性。

临界直径 critical diameter 钢制圆柱试样在某种介质中淬冷后,中心得到全部马氏体或50%马氏体组织的最大直径,以 d_c 表示。

索氏体化处理;派登脱处理 patenting 高强度钢丝或钢带制造中的一种特殊热处理方法。其工艺过程是将中碳钢或高碳钢线材或带材加热奥氏体化后在 A_{c1} 以下适当温度($\sim 500^{\circ}\text{C}$)的热浴中等温或在强制流动的气流中冷却以获得索氏体或以索氏体为主的组织,这种组织适于冷拔,冷拔后可获得优异的强韧性配合。可分为铅浴索氏化处理、盐浴索氏化处理、风冷索氏体化和流态床索氏体化处理等多种。

表面熔凝处理 surface melting treatment 用激光、电子束等快速加热,使工件表层熔化后通过自冷迅速凝固的工艺。

回火 tempering 工件淬硬后加热到 A_{c1} 以下的某一温度,保温一定时间,然后冷却到室温的热处理工艺。

真空回火 vacuum tempering 工件在真空炉中先抽到一定真空度,然后充惰性气体的回火。

低温回火 low temperature tempering, first stage tempering 工件在 250°C 以下进行的回火。

中温回火 medium temperature tempering 工件在 $250\sim 500^{\circ}\text{C}$ 之间进行的回火。

高温回火 high temperature tempering 工件在 500°C 以上进行的回火。

二次硬化 secondary hardening 一些高合金钢在一次或多次回火后硬度上升的现象。这种硬化现象是由于碳化物弥散析出和(或)残留奥氏体转变为马氏体或贝氏体所致。

调质 quenching and high temperature tempering 工件淬火并高温回火的复合热处理工艺。

固溶处理 solution treatment 工件加热至适当温度并保温,使过剩相充分溶解,然后快速冷却以获得过饱和固溶体的热处理工艺。

水韧处理 water toughening 为改善某些奥氏体钢的组织以提高材料韧度,将工件加热到高温使过剩相溶解,然后水冷的热处理。例如高锰钢(Mn13)加热到 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 保温后水冷,以消除沿晶界或滑移带析出的碳化物,从而得到高韧度和高耐磨性。

沉淀硬化 precipitation hardening 在过饱和固溶体中形成溶质原子偏聚区和(或)析出弥散分布的强化相而使金属硬化的热处理。

时效处理;时效 ageing treatment 工件经固溶处理或淬火后在室温或高于室温的适当温度保温,以达到沉淀硬化的目的。在室温下进行的称自然时效,在高于室温下进行的称人工时效。

回归 reversing 某些经固溶处理的铝合金自然时效硬化后,在低于固溶处理的温度(120~180℃)短时间加热后力学性能恢复到固溶热处理状态的现象。

三、化学热处理、表面沉积及热处理缺陷术语

渗碳 carburizing, carburization 为提高工件表层的含碳量并在其中形成一定的碳含量梯度,将工件在渗碳介质中加热、保温,使碳原子渗入的化学热处理工艺。

离子渗碳 plasma carburizing, ion carburizing, glow discharge carburizing 在低于 1×10^5 Pa(通常是 $10 \sim 10^{-1}$ Pa)渗碳气氛中,利用工件(阴件)和阳极之间产生的辉光放电进行的渗碳。

碳化物形成元素 carbide forming element, carbide former 钢铁中与碳的化学亲和力比铁高的合金元素。

渗氮;氮化 nitriding, nitrogen case hardening 在一定温度下于一定介质中使氮原子渗入工件表层的化学热处理工艺。

氮化物形成元 nitride forming element, nitride former 钢中与氮的化学亲和力比铁高的合金元素。

渗硼 boriding, boronizing 将硼渗入工件表层的化学热处理工艺,其中包括用粉末或颗粒状的渗硼介质进行的固体渗硼,用熔融渗硼介质进行的液体渗硼,在电解的熔融渗硼介质中进行的电解渗硼,用气体渗硼介质进行的气体渗硼。

渗硅 siliconizing 将硅渗入工件表层的化学热处理工艺。其中包括用粉末渗硅介质进行的固体渗硅,用气体渗硅介质进行的气体渗硅。

渗硫 sulphurizing 将硫渗入工件表层的化学热处理工艺。

渗金属 diffusion metallizing, metal cementation 工件在含有被渗金属元素的渗剂中加热到适发温度并保温,使这些元素渗入表层的化学热处理工艺。其中包括渗铝、渗铬、渗锌、渗钛、渗钒、渗钨、渗钼、渗锑、渗铍和渗镍等。

离子渗金属 ion infiltration of metal 工件在含有被渗金属的等离子场中加热到较高温度,金属原子以较高速率在表面沉积并向内部扩散的工艺。

多元共渗 multicomponent thermochemical treatment 将两种或多种元素同时渗入工件表层的化学热处理工艺。

碳氮共渗 carbonitriding 在奥氏体状态下同时将碳、氮渗入工件表层,并以渗碳为主的化学热处理工艺。

氮碳共渗;软氮化 nitrocarburizing 工件表层同时渗入氮和碳,并以渗氮为主的化学热处理工艺。在气体介质中进行的称气体氮碳共渗,在盐浴中进行的称液体氮碳共渗。

发蓝处理;发黑 bluing 工件在空气-水蒸气或化学药物的溶液中在室温或加热到适当温度,在工件表面形成一层蓝色或黑色氧化膜,以改善其耐蚀性和外观的表面处理工艺。

离子注入 ion implantation 将预先选择的元素原子电离,经电场加速,获得高能量注入工件的表面改性工艺。

化学气相沉积 chemical vapor deposition(CVD) 通过化学气相反应在工件表面形成薄膜的工艺。

等离子体增强化学气相沉积 plasma enhanced chemical vapor deposition(PECVD), plasma assisted chemical vapor deposition(PAVCD) 利用各种等离子体的能量促使反应气体离解、活化以增强化学反应的化学气相沉积。其中包括:射频放电等离子体化学气相沉积、微波等离子体化学

形变时效 refining 铝合金、铜合金冷塑性加工与时效相结合的复合处理。

气相沉积、ERC(电子回旋共振)微波等离子体化学气相沉积、直流电弧等离子体喷射化学气相沉积等。

物理气相沉积 physical vapor deposition(PVD) 在真空加热条件下利用蒸发、辉光放电、弧光放电、溅射等物理方法提供原子、离子,使之在工件表面沉积形成薄膜的工艺。其中包括蒸镀、溅射沉积、磁控溅射以及各种离子束沉积方法等。

离子镀 ion plating 在真空条件下,利用气体放电使气体或被蒸发物质部分电离,并在气体离子或被蒸发物质离子的轰击下,将蒸发物质或其反应物沉积在基片上的方法。其中包括磁控溅射离子镀、反应离子镀、空心阴极放电离子镀(空心阴极蒸镀法)、多弧离子镀(阴极电弧离子镀)等。

脱碳 decarburization 工件加热时介质与工件中的碳发生反应,使表层含碳量降低的现象。

淬火冷却开裂 quench cracking 淬火冷却时工件中产生的内应力超过材料断裂强度,在工件上形成裂纹的现象。

淬火冷却畸变 quenching distortion 工件原始尺寸或形状于淬火冷却时发生的人们所不希望的变化。

淬火冷却应力 quenching stresses 工件淬火冷却时,因不同部位出现瞬间温差及组织转变不同步而产生的内应力。

热应力 thermal stresses 工件加热和(或)冷却时,由于不同部位出现温差而导致热胀和(或)冷缩不均所产生的应力。

相变应力 transformation stresses 热处理过程中因工件不同部位组织转变不同步而产生的内应力。

残留应力 residual stresses, internal stresses 工件在各部位已无温差且不受外力作用的条件下存留下来的内应力。

软点 soft spots 工件淬火硬化后,表面硬度偏低的局部小区域。

过烧 burning 工件加热温度过高,致使晶界氧化和部分熔化的现象。

过热 overheating 工件加热温度偏高而使晶粒过度长大,以致力学性能显著降低的现象。

白点 flak, white spot 工件中的氢呈气态析出引起的一种缺陷。在纵向断口上表现为接近圆形或椭圆形的银白色斑点;在侵蚀后的宏观磨片上表现为发裂。

黑色组织 black structure 含铬、锰、硅等合金元素的渗碳工件渗碳淬火后可能出现的缺陷组织,在光学金相显微镜下呈断续的黑色网,是内氧化的结果。

网状碳化物组织 carbide network 渗碳介质活性过强,渗碳阶段温度偏高,扩散阶段温度偏低或渗碳时间偏长,致使工件表层中碳化物沿奥氏体晶界呈网状析出而形成的缺陷组织。

σ 相脆性 σ -embrittlement 高铬合金钢因析出 σ 相而引起的脆化现象。

回火脆性 temper brittleness 工件淬火后在某些温度区间回火产生的脆性。

不可逆回火脆性;第一类回火脆性 350℃ embrittlement 工件淬火后在~350℃回火时产生的回火脆性。

可逆回火脆性; 第二类回火脆性 **reversible temper brittleness** 含有铬、锰、铬-镍等元素的合金钢工件淬火后,在脆化温度区(400~550℃)回火,或在更高温度回火后缓慢冷却所产生的脆性。这种脆性可通过高于脆化温度的再次回火并快速冷却予以消除。消除后,若再次在脆化温度区回火或在更高的温度回火后缓慢冷却,则重新脆化。

却所产生的脆性。这种脆性可通过高于脆化温度的再次回火并快速冷却予以消除。消除后,若再次在脆化温度区回火或在更高的温度回火后缓慢冷却,则重新脆化。

1.3 金属材料的力学性能和腐蚀性能术语

1.3.1 金属材料力学性能术语(GB/T 10623-1989)

金属力学性能 **mechanical properties of metals** 金属在力作用下所显示与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能。

金属力学试验 **mechanical testing of metals** 测定金属力学性能判据所进行的试验,一般有拉伸试验、压缩试验、弯曲试验、扭转试验、剪切试验、冲击试验、硬度试验、蠕变试验、应力松弛试验、疲劳试验、断裂韧性试验、磨损试验、工艺试验、复合应力试验等。

弹性 **elasticity** 物体在外力作用下改变其形状和尺寸,当外力卸除后物体又回复到其原始形状和尺寸,这种特性称为弹性。

弹性模量 **modulus of elasticity** 一般说来,在弹性范围内物体的应力和应变呈正比,其比例常数即为弹性模量。

滞弹性 **anelasticity** 在弹性范围内,固体的应力和应变不是单值对应关系,往往有一段时间的滞后现象,这种特性称为滞弹性。

塑性 **plasticity** 断裂前材料发生不可逆永久变形的能力,常用的塑性判据是伸长率和断面收缩率。

超塑性 **superplasticity** 一些金属在特定组织状态下(主要是超细晶粒),特定温度范围内和一定变形速度下表现出极高的塑性,其伸长率可达百分之几百甚至百分之几千,这种现象称为超塑性。

韧性 **toughness** 金属在断裂前吸收变形能量的能力。金属的韧性通常随加载速度提高、温度降低、应力集中程度加剧而减小。

强度 **strength** 金属抵抗永久变形和断裂的能力。常用的强度判据例如屈服点、抗拉强度。

变形 **deformation** 金属受力时其原子的相对位置发生改变,其宏观表现为形状、尺寸的变化。变形一般分为弹性变形和塑性变形。

断裂 **fracture** 金属受力后当局部的变形量超过一定限度时,原子间的结合力受到破坏,从而萌生微裂纹,微裂纹发生扩展而使金属断开,称为断裂。其断裂表面及其外观形貌称为断口,它记录着有关断裂过程的许多重要信息。

脆性断裂 **brittle fracture** 几乎不伴随塑性变形而形成脆性断口(断裂面通常与拉应力垂直,宏观上由具有光泽的亮面组成)的断裂。脆性断裂一般包括沿晶脆性断裂、解理断裂、准解理断裂、疲劳断裂、腐蚀疲劳断裂、应力腐蚀断裂、氢脆断裂等。

延性断裂 **ductile fracture** 伴随明显塑性变形而形成延性断口(断裂面与拉应力垂直或倾斜,其上具有细小的凹凸,呈纤维状)的断裂。延性断裂一般包括纯剪切变形断裂、韧窝断裂、蠕变断裂等。

解理断裂 **cleavage fracture** 沿着原子结合力量最弱的解理面发生开裂的断裂,称为解理断裂。这种断裂具有明显的结晶学性质。

韧窝断裂 **dimple fracture** 通过微孔的成核、长大和相互连接过程而形成的断裂,称为韧窝断裂。韧窝断裂是属于一种高能吸收过程的延性断裂,其断口宏观形貌呈纤维状,微观形貌呈蜂窝状,断裂面由一些细小的窝坑构成。

疲劳断裂 **fatigue fracture** 金属在循环载荷作用下产生疲劳裂纹萌生和扩展而导致的断裂,称为疲劳断裂。其断口在宏观上由疲劳源、扩展区和最后破断区三个区域构成,在微观上可出现疲劳条痕。

应力 **stress** 物体受外力作用后所导致物体内部之间的相互作用力称为内力,单位面积上的内力即为应力。

应变 **strain** 由外力所引起的物体原始尺寸或形状的相对变化,通常以百分数(%)表示。

料坯 **stock** 用来制备试样的样坯所选取的金属产品部分。

样坯 **specimen stock** 用来制备试样的料坯部分。

试样 **specimen** 样坯经机加工或不经机加工而供试验用的特定尺寸的样品。

标距 **gauge length** 试样上测量应变或长度变化部分的标志距离。

加载(卸载)速率 **load rate(unload rate)** 单位时间载荷单调增加(减小)的量。

应力-应变曲线 **stress-strain curve** 应力与应变的关系曲线。

拉伸试验 **tensile testing** 用静拉伸力对试样轴向拉伸,测量力和相应的伸长,一般拉至断裂,测定其力学性能的试验。

压缩试验 **compressive testing** 用静压缩力对试样轴向压缩,在试样不发生屈曲下测量力和相应的变形(缩短),测定其力学性能的试验。

伸长 **elongation** 试样在试验中其原始标距的增加。

伸长率 **percentage elongation** 标距的伸长与原始标距的百分比。

总伸长率 **percentage total elongation** 标距的总伸长(弹性伸长加塑性伸长)与原始标距的百分比。

缩颈 **necking** 拉伸试验时试样横截面所发生的局部收缩。

断面收缩率 **percentage reduction of area** 试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。

实际压缩力 **real compressive force** 压缩试验过程中作用在试样上沿轴线方向的力,但对于夹在约束装置中进行试验的板状试样,是其标距点处扣除摩擦力后的力。

规定总伸长应力 **proof stress of total elongation** 试样标距部分的总伸长(弹性伸长加塑性伸长)达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号应附以脚注说明,例如, $\sigma_{0.5}$ 表示规定总伸长率达 0.5% 时的应力。

规定残余伸长应力 **permanent set stress** 试样卸除拉伸力后,其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号应附以脚注说明,例如, $\sigma_{0.2}$

表示规定残余伸长率达 0.2% 时的应力。

规定非比例压缩应力 **proof stress of non-proportional compressive strain** 试样标距的非比例压缩变形达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号应附以脚注说明,例如, $\sigma_{pe0.01}$, $\sigma_{pe0.2}$ 等分别表示规定非比例压缩变达到 0.01%, 0.2% 时的应力。

屈服点 **yield point** 试样在试验过程中力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(变形)时的应力。

上屈服点 **upper yield point** 试样发生屈服而力首次下降前的最大应力。

下屈服点 **lower yield point** 当不计初始瞬时效应时屈服阶段中的最小应力。

抗拉强度 **tensile strength** 试样拉断前承受的最大标称应力。

抗压强度 **compressive strength** 试样压至破坏前承受的最大标称压应力。只有材料发生破裂情况才能测出抗压强度。

细长比 **slenderness ratio** 均匀圆柱体的自由长度(无支撑长度)与其横截面最小回转半径之比。

泊松比 **Poisson's ratio** 轴向应力与轴向应变呈线性比例关系范围内横向应变与轴向应变之比的绝对值。超出线弹性范围的泊松比无恒定值。

拉伸杨氏模量 **Young's modulus in tension** 轴向拉伸应力与轴向拉伸应变呈线性比例关系范围内的轴向拉伸应力与轴向拉伸应变之比。

压缩杨氏模量 **Young's modulus in compression** 轴向压缩应力与轴向压缩应变呈线性比例关系范围内的轴向压缩应力与轴向压缩应变之比。有些金属材料的压缩杨氏模量与拉伸杨氏模量有所不同。

扭转试验 **torsion test** 对试样两端施加静扭矩,测量扭矩和相应的扭角,一般扭至断裂,测定其力学性能的试验。

屈服点(扭转) **yield point(in torsion)** 扭转试验中,扭角增加而扭矩不增加(保持恒定)时,按弹性扭转公式计算的切应力。

抗扭强度 **torsional strength** 试样在扭断前承受的最大扭矩,按弹性扭转公式计算的试样表面最大切应力。

剪切试验 **shear test** 用静拉伸或压缩力,通过相应的剪切工具,使垂直于试样纵轴的一个横截面受剪,或相距有限的两个横截面对称受剪,测定其力学性能的试验。

抗剪强度 **shear strength** 试样剪切断裂前所承受的最大切应力。

弯曲试验 **bend test** 对试样施加静弯矩或弯曲力,测量弯矩或弯曲力和相应的挠度,一般弯曲至断裂,测定其力学性能的试验

抗弯强度 **bending strength** 试样在弯曲断裂前所承受的最大正应力。

硬度 **hardness** 材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。是衡量金属软硬的判据。

压痕硬度 **indentation hardness** 在规定的静态试验力下将压头压入材料表面,用压痕深度或压痕表面面积评定的硬度。

布氏硬度试验 **Brinell hardness test** 用一定直径的球体(钢球或硬质合金球)以相应的试验力压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,用测量的表面压痕直径计算硬度的一种压痕硬度试验。

布氏硬度值 **Brinell hardness number** 用球面压痕单位面积上所承受的平均压力表示的硬度值。布氏硬度值按下式计算:

$$HBS(HBW)=0.102 \frac{2F}{\pi \cdot D(D-\sqrt{D^2-d^2})}$$

式中: HBS(HBW)——用钢球(或硬质合金球)试验时的布氏硬度值; F ——试验力, N; D ——球体直径, mm; d ——压痕平均直径, mm。

洛氏硬度试验 **Rockwell hardness test** 在初始试验力及总试验力先后作用下,将压头(金刚石圆锥或钢球)压入试样表面,经规定保持时间后卸除主试验力,用测量的残余压痕深度增量计算硬度的一种压痕硬度试验。

残余压痕深度增量 **permanent increase of depth of indentation** 洛氏硬度试验中,在卸除主试验力并保持初始试验力的条件下测量的深度方向塑性变形量,用 e 表示。对于洛氏硬度试验, e 的单位为 0.002 mm。对于表面洛氏硬度试验, e 的单位为 0.001 mm。

洛氏硬度值 **Rockwell hardness number** 用洛氏硬度相应标尺刻度满量程值与残余压痕深度增量之差计算的硬度值。对于用金刚石圆锥头进行的试验,洛氏硬度值为 $100-e$; 对于用钢球压头进行的试验,洛氏硬度值为 $130-e$ 。

洛氏硬度标尺 **Rockwell hardness scale** 由不同类型压头、试验力及硬度公式组合所表征的洛氏硬度。例如: A 标尺洛氏硬度(HRA),用圆锥角为 120° 的金刚石压头在初始试验力为 98.07 N、总试验力为 588.4 N 条件下试验,用 $100-e$ 计算出的洛氏硬度。B 标尺洛氏硬度(HRB):用直径 1.588 mm 的钢球在初始试验力为 98.07 N、总试验力为 980.7 N 条件下试验,用 $130-e$ 计算的洛氏硬度。C 标尺洛氏硬度(HRC):用圆锥角为 120° 的金刚石压头在初始试验力为 98.07 N、总试验力为 1471.0 N 条件下试验,用 $100-e$ 计算出洛氏硬度。

表面洛氏硬度试验 **Rockwell superficial hardness test** 初始试验力为 29 N、总试验力为 147.294 或 441 N 的洛氏硬度试验。

表面洛氏硬度值 **Rockwell superficial hardness number** 用表面洛氏硬度标尺刻度满量程值与残余压痕深度增量之差计算的硬度值,即 $100-e$ 。

维氏硬度试验 **Vickers hardness test** 将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力(49.03 ~ 980.7 N)压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,用测量的压痕对角线长度计算硬度的一种压痕硬度试验。

小负荷维氏硬度试验 **low load Vickers hardness test** 试验力范围在 1.961 ~ <49.04 N 的维氏硬度试验。

显微维氏硬度试验 **Vickers microhardness test** 试验力在 1.961 N 以下的维氏硬度试验。

维氏硬度值 **Vickers hardness number** 用正四棱锥形压痕单位面积上所承受的平均压力表示的硬度值。维氏硬度值按下式计算:

$$HV=0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中: F ——试验力, N; d ——压痕两对角线长度算术平均值, mm。

冲击吸收力 **impact absorbing energy** 规定形状和尺寸的试样在冲击试验力一次作用下折断时所吸收的功。

冲击韧度 **impact toughness** 冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功。

夏比(V型缺口)冲击试验 Charpy impact test(V-notch) 用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的 V 型缺口试样进行一次打击,测量试样折断时冲击吸收功的试验。

夏比(U型缺口)冲击试验 Charpy impact test(U-notch) 用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的 U 型缺口试样进行一次打击,测量试样折断时冲击吸收功的试验。

艾氏冲击试验 Izod impact test 用规定高度的摆锤对处于悬臂梁状态的缺口试样进行一次打击,测量试样折断时冲击吸收功的试验。

冲击拉伸试验 impact-tensile test 试样在拉伸状态下承受冲击试验力的一种动力学性能试验

脆性断口 brittle fracture surface 出现大量晶粒开裂或晶界破坏的有光泽断口。

脆性断面率 percentage of brittle fracture surface 脆性断口面积占试样断口总面积的百分率。

韧性断口 ductile fracture surface 出现纤维状剪切破坏的无光泽断口。

韧性断面率 percentage of ductile fracture surface 韧性断口面积占试样断口总面积的百分率。

冲击吸收功-温度曲线 impact absorbing energy-temperature curve 在一系列不同温度的冲击试验中,冲击吸收功与试验温度的关系曲线。对具有低温脆性的材料,曲线具有上平台区、过渡区和下平台区三个部分。

韧脆转变温度 ductile-brittle transition temperature 在一系列不同温度的冲击试验中,冲击吸收功急剧变化或断口韧性急剧转变的温度区域。

落锤试验 drop-weight test 将规定高度的重锤自由落体一次冲击处于简支梁状态的预制裂纹标准试样,测定无塑性转变温度的试验。

无塑性转变温度 nil-ductility transition temperature 按标准落锤试验方法试验时试样发生断裂的最高温度。

蠕变 creep 在规定温度及恒定力作用下,材料塑性变形随时间而增加的现象。

蠕变试验 creep test 在规定温度及恒定试验力作用下,测量试样蠕变变形量随时间变化的试验。

蠕变速率 creep rate 蠕变试验中单位时间的蠕变变形。即给定时间内蠕变曲线的斜率。

蠕变极限 creep limit 在规定温度下,引起试样在一定时间内蠕变总伸长率或恒定蠕变速率不超过规定值的最大应力。

持久强度试验 stress-rupture test 在规定温度及恒定试验力作用下,测定试样至断裂的持续时间及持久强度极限的试验。

持久强度极限 stress-rupture limit 在规定温度下,试样达到规定时间而不断裂的最大应力。

应力松弛 stress relaxation 在规定温度及初始变形或位移恒定的条件下,金属材料的应力随时间而减小的现象。

应力松弛试验 stress relaxation test 在规定温度下,保持试样初始变形或位移恒定,测定试样上应力随时间变化关系的试验。

平面应变断裂韧度 (K_{Ic}) plane-strain fracture toughness (K_{Ic}) 在裂纹尖端平面应变条件下的裂纹扩展阻力。

平面应力断裂韧度 (K_{Ic}) plane-stress fracture toughness (K_{Ic}) 在失稳条件下,从试样的 R 曲线和临界裂纹扩展力曲线之间相切所确定的 K_{Ic} 值。

疲劳 fatigue 材料在循环应力和应变作用下,在一处或几处产生局部永久性累积损伤,经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程。

高周疲劳 high-cycle fatigue 材料在低于其屈服强度的循环应力作用下,经 10^5 以上循环次数而产生的疲劳。

低周疲劳 low-cycle fatigue 材料在接近或超过其屈服强度的循环应力作用下,经 $10^2 \sim 10^5$ 次塑性应变循环次数而产生的疲劳。

热疲劳 thermal fatigue 温度循环变化产生的循环热应力所导致的疲劳。

热机械疲劳 thermal mechanical fatigue 温度循环与应变循环叠加的疲劳。

冲击疲劳 impact fatigue 重复冲击荷载所导致的疲劳。

接触疲劳 contact fatigue 材料在循环接触应力作用下,产生局部永久性累积损伤,经一定的循环次数后,接触表面发生麻点,浅层或深层剥落的过程。

腐蚀疲劳 corrosion fatigue 腐蚀环境和循环应力(应变)的复合作用所导致的疲劳。

循环 cycle 恒幅疲劳载荷中,载荷随时间作周期性变化的一个完整过程。谱载荷中,循环的定义随计数方法而异。

累积循环次数(N) cycles endured(N) 疲劳中的规定特征循环数,即试样在其承载历程中的任一时间内所累积的具有规定特性的循环数。

疲劳寿命 fatigue life 材料疲劳失效时所经受的规定应力或应变的循环次数。

N次循环的疲劳强度 fatigue strength at N cycles 从 S-N 曲线上所确定的恰好在 N 次循环时失效的估计应力值,此值的使用条件必须与用来确定它的 S-N 曲线的测定条件相同。

疲劳极限 fatigue limit 指定循环基数下的中值疲劳强度。循环基数一般取 10^7 或更高一些。

磨损 wear 物体表面相接触并做相对运动时,材料自该表面逐渐损失以致表面损伤的现象。

滚动磨损试验 rolling wear test 两圆环试样做滚动接触摩擦并承受规定压力,经规定转数或时间后测定试样耐磨性和摩擦系数的试验。

试块-试环滑动磨损试验 block-on-ring-wear test 试块与规定转速的试环接触,并施加一定压力,经规定转数或时间后,测定试样耐磨性的试验。

体积磨损 wear of volume 磨损试验后试样失去的体积。

质量磨损 wear of weight 磨损试验后试样失去的质量。

摩擦系数 friction coefficient 两物体之间摩擦力与正压力之比。

耐磨性 wearing-resistance property 用体积磨损或质量磨损表征的材料抵抗磨损的性能指标。

磨料磨损 abrasive wear 由于硬质颗粒或硬质突出物沿固体表面强制相对运动所引起的磨损。

黏着磨损 adhesive wear 由于在相接触的固体表面之间局部黏着而造成的磨损。

灾难磨损 catastrophic wear 由于磨损而迅速造成表面损伤以致大大缩短材料使用寿命的磨损。

1.3.2 金属材料腐蚀及防护术语(GB/T 10123 - 1988)

腐蚀 corrosion 金属与环境间的物理-化学相互作用,其结果是使金属的性能发生变化,并常可导致金属、环境或由它们作为组成部分的技术体系的功能受到损伤。

腐蚀速率 corrosion rate 单位时间内金属腐蚀效应的数值,可采用腐蚀深度的增加或单位面积上金属的失重或增重等来表示。

耐蚀性 corrosion resistance 在给定的腐蚀体系中金属所具有的抗腐蚀能力。

钝化 passivation 由于金属表面上腐蚀产物的生成而出现的腐蚀速度降低的现象。

耐候钢 weathering steel 具有保护性锈层的耐大气腐蚀的低合金结构钢。

防蚀 corrosion protection 人为地对腐蚀体系施加影响以减轻腐蚀损伤。

电化学腐蚀 electro-chemical corrosion 至少包含一种电极反应的腐蚀。

非电化学腐蚀 nonelectro-chemical corrosion 不包含电极反应的腐蚀。

气体腐蚀 gaseous corrosion 在金属表面上无任何水相条件下,金属仅与气体腐蚀剂反应所发生的腐蚀。

大气腐蚀 atmospheric corrosion 在环境温度下,以地球大气作为腐蚀环境的腐蚀。

微生物腐蚀 microbial corrosion 与腐蚀体系中存在的微生物作用有关的腐蚀。

海洋腐蚀 marine corrosion 在海洋环境中所发生的腐蚀。

土壤腐蚀 soil corrosion 在环境温度下,以土壤作为腐蚀环境的腐蚀。

均匀腐蚀 uniform corrosion 在与腐蚀环境接触的整个金属表面上几乎以相同速度进行的腐蚀。

局部腐蚀 localized corrosion 在与环境接触的金属表面上局限于某些区域发生的腐蚀,常以点坑、裂纹、沟槽等形式出现。

点蚀 pitting corrosion 产生点状的腐蚀,且从金属表面向内部扩展,形成孔穴。

晶间腐蚀 intergranular corrosion 沿着或紧挨着金属的晶粒边界发生的腐蚀。

磨损腐蚀 erosion corrosion 由磨损和腐蚀联合作用而产生的材料破坏过程。

腐蚀疲劳 corrosion fatigue 由金属的交变应变和腐蚀联合作用产生的材料破坏过程。

腐蚀疲劳极限 corrosion fatigue limit 在给定的腐蚀环境

中,金属经特定周期数或长时间不发生腐蚀疲劳破坏的最大交变应力值。

应力腐蚀 stress corrosion 由残余或外加应力导致的应变和腐蚀联合作用所产生的材料破坏过程。

应力腐蚀界限应力 stress corrosion threshold stress 在给定的试验条件下,导致应力腐蚀裂纹发生和扩展的临界应力值。

氢脆 hydrogen embrittlement 由于吸氢,使金属韧性或延性降低的过程。

氢致破裂 hydrogen induced cracking 在应力下金属由于吸氢所导致的破坏过程。

氢蚀 hydrogen attack 高温下(约 200℃以上)氢和钢中的渗碳体(Fe₃C)发生还原作用生成甲烷而导致沿晶界腐蚀的现象。

阳极保护 anodic protection 通过提高可钝化金属腐蚀电位到相应于钝态之电位值所实现的电化学保护。

阴极保护 cathodic protection 通过降低腐蚀电位而达到的电化学保护。

牺牲阳极保护 sacrificial anode protection 从连接辅助阳极与被保护金属构成的腐蚀电池中获得保护电流所实现的电化学保护。

牺牲阳极 sacrificial anode 靠着自身腐蚀速度的增加而提供电偶阴极保护的辅助电流。

电泳沉积 electrophoretic deposition 在胶体溶液中对电极施加电压时,胶体粒子移向电极表面放电而形成沉积层的过层。

电镀 electroplating 将被镀导电件作为阴极,在外加电压下使金属离子在其表面还原形成金属沉积层的过程。

化学镀 chemical plating 将被镀件放在金属盐溶液中,不通电而直接通过还原作用使金属离子在表面还原形成金属沉积层的过程。

热镀锌 galvanizing 将金属浸泡在熔融锌中,使其表面形成保护性锌层的过程。

热镀铝 hot-dipping aluminizing 将金属浸泡在熔融铝中,使其表面形成保护性铝层的过程。

金属喷镀 metal spray 用压缩空气或惰性气体将熔融的耐蚀金属喷射到金属表面形成保护镀层的过程。

静电喷涂层 electrostatic coating 涂料呈雾状分散在高电压的静电场中,使涂料微粒带电,借静电作用将其吸向制品表面而形成涂层。

1.4 合金元素在钢中的作用

表 1-4 合金元素在钢中的作用

对钢的显微组织及热处理的作用	对钢的力学性能的作用	对钢的物理、化学及工艺性能的作用	在钢中的应用
硅 Si			
(1) 作为钢中的合金元素,其含量一般不低于 0.4%。以固溶体形态存在于铁素体或奥氏体中,缩小奥氏体相区 (2) 提高退火、正火和淬火温度,在亚共析钢中提高淬透性 (3) 硅不形成碳化物,有强烈的促进碳的石墨化的作用,在硅含量较高的中碳和高碳钢中,如不含有强碳化物形成元素,易在一定温度条件下发生石墨化 (4) 在渗碳钢中,硅减小渗碳层厚度和碳的浓度 (5) 硅对钢水有良好脱氧作用	(1) 提高铁素体和奥氏体的硬度和强度,其作用较 Mn、Ni、Cr、W、Mo、V 等更强;显著提高钢的弹性极限、屈服强度和屈强比(δ_s/δ_b),并提高疲劳强度和疲劳比(δ_{-1}/δ_b) (2) 硅含量超过 3% 时显著降低钢的塑性和韧性;硅提高塑/脆转变温度 (3) 硅易使钢中形成带状组织,使横向性能低于纵向性能 (4) 改善钢的耐磨性能	(1) 降低钢的密度、热导率、电导率和电阻温度系数 (2) 硅钢片的涡流损耗量显著低于纯铁,矫顽力、磁阻和磁滞损耗较低,磁导率和磁感强度较高。但在强磁场中,硅降低磁感强度 (3) 提高高温时钢的抗氧化性能,但硅含量高时,表面脱碳加剧 (4) 硅含量超过 2.5% 的钢,其变形加工较为困难 (5) 硅降低钢的可焊性	(1) 在普通低合金钢中提高强度,改善局部腐蚀抗力,在调质钢中提高淬透性和抗回火性,是多元合金结构钢中的主要合金组元之一 (2) 硅含量为 0.5%~2.8% 的 SiMn 或 SiMnB 钢(碳含量 0.5%~0.7%)广泛用于高载荷弹簧材料,同时加入 W、V、Mo、Nb、Cr 等强碳化物形成元素 (3) 硅钢片为含硅 1.0%~4.5% 的低碳和超低碳钢,用于电机和变压器 (4) 在不锈钢和耐蚀钢中,与 Mo、W、Cr、Al、Ti、N 等配合,提高抗蚀和抗高温氧化能力 (5) 硅含量较高的石墨钢用于冷作模具材料
锰 Mn			
(1) 锰是良好的脱氧剂和脱硫剂,工业用钢中一般均含有一定量的锰 (2) 锰固溶于铁素体和奥氏体中,扩大奥氏体区,使临界温度 A_4 点升高, A_3 点降低, ($\alpha + \gamma$) 区下移,当锰含量超过 12% 时,上临界点降至室温以下,使钢在室温时形成单一奥氏体组织。在降低共析温度同时,使共析体中的碳含量减少 (3) 锰强烈降低钢的 A_{c1} 和马氏体转变温度(其作用仅次于碳)和钢中相变的速度,提高钢的淬透性,增加残余奥氏体含量 (4) 使钢的调质组织均匀、细化,避免了渗碳层中碳化物的聚集成块,但增大了钢的过热敏感性和回火脆性倾向 (5) 锰是弱碳化物形成元素	(1) 锰强化铁素体或奥氏体的作用不及碳、磷、硅,在增加强度的同时,对延展性无影响 (2) 由于细化了珠光体,显著提高低碳和中碳珠光体钢的强度,使延展性有所降低 (3) 通过提高淬透性而提高了调质处理索氏体钢的力学性能 (4) 在严格控制热处理工艺、避免过热时的晶粒长大以及回火脆性的前提下,锰不会降低钢的韧性	(1) 随锰含量的增加,钢的热导率急剧下降,线胀系数上升,使快速加热或冷却时形成较大内应力,工件开裂倾向增大 (2) 使钢的电导率急剧降低,电阻率相应增大,电阻温度系数下降 (3) 使矫顽力增大,饱和磁感、剩余磁感和磁导率均下降,因而锰对永磁合金有利,对软磁合金有害 (4) 锰含量很高时,钢的抗氧化性能下降 (5) 使钢中的硫形成较高熔点的 MnS,避免了晶界上的 FeS 薄膜,消除钢的热脆性,改善热加工性能 (6) 高锰奥氏体钢的变形阻力较大,且钢锭中柱状结晶明显,锻轧时较易开裂 (7) 由于提高了淬透性和降低了马氏体转变温度,对焊接性能有不利影响。在适当范围内应降低碳含量	(1) 易切削钢中常有适量的锰和磷, MnS 夹杂使切屑易于碎断 (2) 普通低合金钢中利用锰来强化铁素体和珠光体,提高钢的强度,锰含量一般为 1%~2% (3) 渗碳和调质合金结构钢的许多系列中含有不超过 2% 的锰 (4) 弹簧钢、轴承钢和工具钢中利用锰强烈提高淬透性的作用。可采用油淬和空冷的淬火工艺,减少开裂、扭曲和变形 (5) 耐磨钢、无磁钢、不锈钢、耐热钢,包括高碳高锰耐磨铸钢(C: 1.0%~1.4%, Mn: 10%~14%),中碳高锰无磁钢(C:0.3%~0.6%, Mn:18%~19%),低碳高锰不锈钢(有 Cr,无 Ni 或少 Ni),高锰耐热钢(以 Mn 代 Ni 的耐热不起皮钢,或含有 Al、Mo、V 等)

续表			
对钢的显微组织及热处理的作用	对钢的力学性能的作用	对钢的物理、化学及工艺性能的作用	在钢中的应用
镍 Ni			
(1) 镍和铁能无限固溶, 镍扩大铁的奥氏体区, 即升高 A_4 点, 降低 A_3 点, 是形成和稳定奥氏体的主要合金元素 (2) 镍和碳不形成碳化物 (3) 降低临界转变温度, 降低钢中各元素的扩散速率, 提高淬透性 (4) 降低共析珠光体的碳含量, 其作用仅次于氮而强于锰。在降低马氏体转变温度方面的作用为锰的一半	(1) 强化铁素体并细化和增多珠光体, 提高钢的强度, 不显著影响钢的塑性 (2) 含镍钢的碳含量可适当降低, 因而可使韧性和塑性有所改善 (3) 提高钢的疲劳抗力, 减小钢对缺口的敏感性 (4) 由于对提高钢的淬透性和回火稳定性的作用并不十分强, 镍对调质钢的意义不大 (5) 降低钢的低温脆化转变温度, 含 Ni 3.5% 的钢可在 -100°C 时使用, 含 Ni 9% 的钢可在 -196°C 时使用	(1) 强烈降低钢的热导率和电导率 (2) Ni<30% 的奥氏体钢呈现顺磁性, 即无磁钢。Ni>30% 的 Fe-Ni 合金是重要的精密软磁材料 (3) 含镍超过 15%~20% 的钢对硫酸和盐酸有很高的抗蚀性能, 但不能抗硝酸的腐蚀。总的来说, 含镍钢对酸、碱、盐以及大气都有一定的抗蚀能力。含镍的低合金钢还有较高的腐蚀疲劳抗力。含镍钢在含硫和一氧化碳的气氛中加热时易发生热脆和侵蚀性气孔 (4) 含镍较高的钢在焊接时应采用奥氏体焊条, 以防止裂缝 (5) 含镍钢中易出现带状组织和白点缺陷, 应在生产工艺中加以防止	(1) 单纯的镍钢只在要求有特别高的冲击韧性或很低的工作温度时才使用 (2) 机械制造中使用的镍铬或镍铬钼钢, 在热处理后能获得强度和韧性配合良好的综合力学性能。含镍钢特别适用于需要表面渗碳的部件 (3) 在高合金奥氏体不锈钢耐热钢中镍是奥氏体化元素, 能提供良好的综合性能, 主要为 NiCr 系钢。CrMnN、CrAlSi、FeAlMn 钢, 在一些用途上可取代 CrNi 系钢 (4) 由于镍的稀缺, 又是重要的战略物资。非在用其他合金元素不可能达到性能要求时, 应尽量少用和不用镍作为钢的合金元素
钴 Co			
(1) 钴和镍、锰一样, 和铁形成连续固溶体 (2) 钴和铝同是降低钢的淬透性的元素, 升高马氏体转变点 M_s 。 (3) 钴不是形成碳化物的元素 (4) 钴在回火或使用过程中阻碍、延缓其他元素特殊碳化物的析出和聚集	(1) 强化钢的基体, 在退火或正火状态的碳素钢中提高硬度和强度, 但会引起塑性和冲击韧性的下降 (2) 显著提高特殊用途钢和合金的热强性和高温硬度 (3) 提高马氏体时效钢的综合力学性能, 使其具有超强韧性	(1) 提高耐热钢和耐热合金的抗氧化性能 (2) 钴加入铁中能增加磁饱和	(1) 不在碳素钢和低合金钢中使用 (2) 主要用于高速钢、马氏体时效钢、耐热钢以及精密合金等 (3) 钴资源缺乏、价格昂贵, 钴的使用应尽量节约和合理
铬 Cr			
(1) 铬与铁形成连续固溶体, 缩小奥氏体相区域。铬与碳形成多种碳化物, 与碳的亲合力大于铁和锰而低于钨、钼等。铬与铁可形成金属间化合物 σ 相(FeCr) (2) 铬使珠光体中碳的浓度及奥氏体中碳的极限溶解度减少 (3) 减缓奥氏体的分解速度, 显著提高钢的淬透性, 但亦增加钢的回火脆性倾向	(1) 提高钢的强度和硬度, 同时加入其他合金元素时, 效果较显著 (2) 显著提高钢的脆性转变温度 (3) 在含铬量高的 Fe-Cr 合金中, 若有 σ 相析出, 冲击韧性急剧下降	(1) 提高钢的耐磨性, 经研磨, 易获得较高的表面光洁度 (2) 降低钢的电导率, 降低电阻温度系数 (3) 提高钢的矫顽力和剩余磁感, 广泛用于制造永磁钢 (4) 铬促使钢的表面形成钝化膜, 当有一定含量的铬时, 显著提高钢的耐腐蚀性能(特别是硝酸)。若有铬的碳化物析出时, 使钢的耐腐蚀性能下降 (5) 提高钢的抗氧化性能 (6) 铬钢中易形成树枝状偏析, 降低钢的塑性 (7) 由于铬使钢的热导率下降, 热加工时要缓慢升温, 锻、轧后要缓冷	(1) 合金结构钢中主要利用铬提高淬透性, 并可在渗碳表面形成含铬碳化物以提高耐磨性 (2) 弹簧钢中利用铬和其他合金元素一起提供的综合性能 (3) 轴承钢中主要利用铬的特殊碳化物对耐磨性的贡献及研磨后表面光洁度高的优点 (4) 工具钢和高速钢中主要利用铬提高耐磨性的作用, 并具有一定的回火稳定性和韧性 (5) 不锈钢、耐热钢中铬常与锰、氮、镍等联合使用, 当需形成奥氏体钢时, 稳定铁素体的铬与稳定奥氏体的锰、镍之间须有一定比例, 如 Cr18Ni9 等 (6) 我国铬资源较少, 应尽量节省铬的使用
钼 Mo			
(1) 钼在钢中可固溶于铁素体、奥氏体和碳化物中, 它是缩小奥氏体相区的元素 (2) 当钼含量较低时, 与铁、碳形成复合的渗碳体; 含量较高时可形成钼的特殊碳化物 (3) 钼提高钢的淬透性, 其作用较铬强, 而稍逊于锰 (4) 钼提高钢的回火稳定性。作为单一合金元素存在时, 增加钢的回火脆性; 与铬、锰等并存时, 钼又降低或抑止因其他元素所导致的回火脆性	(1) 钼对铁素体有固溶强化作用, 同时也提高碳化物的稳定性, 从而提高钢的强度 (2) 钼对改善钢的延展性和韧性以及耐磨性起到有利作用 (3) 由于钼使形变强化后的软化和恢复温度以及再结晶温度提高, 并强烈提高铁素体的蠕变抗力, 有效抑制渗碳体在 $450\sim 600^{\circ}\text{C}$ 下的聚集, 促进特殊碳化物的析出, 因而成为提高钢的热强性的最有效的合金元素	(1) 在含碳 1.5% 的磁钢中, 2%~3% 的钼提高剩余磁感和矫顽力 (2) 在还原性酸及强氧化性盐溶液中都能使钢表面钝化, 因此钼可以普遍提高钢的抗蚀性能, 防止钢在氯化物溶液中的点蚀 (3) 钼含量较高(>3%) 时使钢的抗氧化性恶化 (4) 含钼不超过 8% 的钢仍可以锻、轧, 但含量较高时, 钢对热加工的变形抗力增高	(1) 在调质和渗碳结构钢、弹簧钢、轴承钢、工具钢、不锈钢、耐热钢、磁钢中都得到了广泛应用 (2) 铬钼钢在许多情况下可代替镍钢来制造重要的部件 (3) 我国富产钼, 但在世界范围内的储量并不丰富。含钼钢在我国应适当发展, 但钼是重要战略物资, 应注意合理和节约使用

续表			
对钢的显微组织及热处理的作用	对钢的力学性能的作用	对钢的物理、化学及工艺性能的作用	在钢中的应用
铜 Cu			
(1) 铜是扩大奥氏体相区的元素,但在铁中的固溶度不大,铜与碳不形成碳化物 (2) 铜对临界温度和淬透性的影响以及其固溶强化作用与镍相似,可用来代替一部分镍	(1) 提高钢的强度特别是屈服比(σ_s/σ_b) (2) 随着铜含量的提高,钢的室温冲击韧性略有提高 (3) 铜也提高钢的疲劳强度	(1) 少量的铜加入钢中可以提高低合金结构钢和钢轨钢的抗大气腐蚀性能,与磷配合使用时效果更为显著。铜对钢抗土壤及海水腐蚀性能的改善作用不显著。铜也能略为提高钢的高温抗氧化性 (2) 在不锈钢酸钢中加入 2%~3% 铜可改善钢对硫酸和盐酸的抗蚀性和对应力腐蚀的稳定性 (3) 改善钢液的流动性,对铸造性能有利 (4) 含铜较高的钢,在热加工时容易开裂,需加以防止	(1) 钢中加入铜应用于:普通低合金钢,调质与渗碳结构钢,钢轨钢,不锈钢酸钢和铸钢 (2) 我国有丰富的含铜铁矿,其中的铜不易分选,钢中的铜也不能在冶炼过程中分离,发展含铜钢有重大经济意义 (3) 由于铜不能在炼钢过程中分离,用含铜废钢重复冶炼,将使钢中铜含量累积升高,故不宜在炼制中有意加入
铝 Al			
(1) 铝与氧和氮有很强的亲和力,是炼钢时的脱氧定氮剂 (2) 铝强烈缩小钢中的奥氏体相区 (3) 铝和碳的亲合力小,在钢中一般不出现铝的碳化物。铝强烈促进碳的石墨化,加入 Cr、Ti、V、Nb 等强碳化物形成元素可抑制 Al 的石墨化作用 (4) 铝细化钢的本质晶粒,提高钢晶粒粗化的温度,但当钢中的固溶金属铝含量超过一定值时,奥氏体晶粒反而容易长大粗化 (5) 铝提高钢的马氏体点 M_s ,减少淬火后的残余奥氏体含量,在这方面的作用与钴以外的其他合金元素相反	(1) 铝减轻钢对缺口的敏感性,减少或消除钢的时效现象,特别是降低钢的脆性转变温度,改善了钢在低温下的韧性 (2) 铝有较大的固溶强化作用,高铝钢具有比强度较高的优点,铁素体型的铁铝系合金其高温强度和持久强度超过了 Cr13 钢,但其室温塑性和韧性低,冷变形加工困难 (3) 以碳、锰奥氏体化的奥氏体型铁铝锰系钢其综合性能较佳	(1) 铝加入含 20%~30%Cr 的 Fe-Cr 合金中,其电阻温度系数很小,因而可用作电热合金材料 (2) 铝与硅在减少变压器钢的铁芯损耗方面有相近的作用。不同的铝量对矫顽力及磁滞损耗有特殊而复杂的影响 (3) 铝含量达一定值时,使钢的表面产生钝化现象,使钢在氧化性酸中具有抗蚀性,并提高了对硫化氢的抗蚀性能。铝对钢在氯气及氯化物气氛中的抗蚀性不利 (4) 含铝的钢渗氮后表面形成氮化铝层,可提高硬度和疲劳强度,改善耐磨性能 (5) 铝作为合金元素加入钢中,可显著提高钢的抗氧化性。在钢的表面镀铝或渗铝可提高其抗氧化性和抗蚀性 (6) 铝对热加工性能、焊接性能和切削性能有不利影响	(1) 铝在一般的钢中主要起脱氧和控制晶粒度的作用 (2) 铝作为主要合金元素之一,可广泛应用于一系列特殊合金钢中,包括:渗氮钢,不锈钢酸钢,耐热不起皮钢,电热合金,硬磁与软磁合金无磁钢,高锰低温钢等
钒 V			
(1) 钒和铁形成连续的固溶体,强烈地缩小奥氏体相区 (2) 钒和碳、氮、氧都有极强的亲和力,在钢中主要以碳化物或氮化物、氧化物的形态存在 (3) 通过控制奥氏体化温度来改变钒在奥氏体中的含量和未溶碳化物的数量以及钢的实际晶粒度,可以调节钢的淬透性 (4) 由于钒形成稳定难熔的碳化物,使钢在较高温度时仍保持细晶组织,大大减低钢的过热敏感性	(1) 少量的钒使钢晶粒细化,韧性增大,对低温钢尤为有利 (2) 钒量较高导致聚集的碳化物出现时,会降低强度;碳化物在晶内析出会降低室温韧性 (3) 经适当的热处理使碳化物弥散析出时,钒可提高钢的高温持久强度和蠕变抗力 (4) 钒的碳化物是金属碳化物中最硬和最耐磨的。弥散分布的钒碳化物提高工具钢的硬度和耐磨性	(1) 在高铁镍合金中加入钒,经适当热处理后可提高磁导率。在永磁钢中加钒,能提高磁矫顽力 (2) 加入足够量的钒(碳的 5.7 倍以上)。将碳固定于钒碳化物中时,可大大增加钢在高温高压下对氢的稳定性,其强烈作用与 Nb、Ti、Zr 相似。不锈钢酸钢中,钒可改善抗晶间腐蚀的性能,但作用不及 Ti、Nb 显著 (3) 出现钒的氧化物时,对钢的高温抗氧化性不利 (4) 含钒钢在加工温度较低时显著增加变形抗力 (5) 钒改善钢的焊接性能	(1) 在普通低合金钢、合金结构钢、弹簧钢、轴承钢、合金工具钢、高速工具钢、耐热钢、抗氢钢、低温用钢等系列中得到广泛应用 (2) 钒是我国富有的元素之一,其价格虽较 Si、Mn、Ti、Mo 略贵,但在钢中的用量一般不大于 0.5% (除高速工具钢外),故应大力推广使用。目前钒已成为发展新钢种的常用元素之一

续表			
对钢的显微组织及热处理的作用	对钢的力学性能的作用	对钢的物理、化学及工艺性能的作用	在钢中的应用
钛 Ti			
(1) 钛和氮、氧、碳都有极强的亲和力,是一种良好的脱氧去气剂和固定氮和碳的有效元素 (2) 钛和碳的化合物(TiC)结合力极强,稳定性高,只有加热到1000℃以上才会缓慢溶入铁的固溶体中。TiC微粒有阻止钢晶粒长大粗化的作用,使粗化温度提高至1000℃以上 (3) 钛是强铁素体形成元素之一,使奥氏体相区缩小,强烈提高 A ₁ 、A ₃ 温度。固溶态的钛提高钢的淬透性,而以 TiC 微粒存在时则降低钢的淬透性 (4) 当钛含量达一定值时,由于 TiFe ₂ 的弥散析出,可产生沉淀硬化作用	(1) 当钛以固溶态存在于铁素体之中时,其强化作用高于 Al、Mn、Ni、Mo 等,次于 Be、P、Cu、Si (2) 钛对钢力学性能的影响取决于它的存在形态和 Ti/C 含量比以及热处理制度。微量的钛(0.03%~0.1%)使屈服点有所提高,但当 Ti/C 比超过 4 时,其强度和韧性急剧下降。过高的加热温度(>1100℃)进行正火或淬火,虽可使强度提高 50%,但剧烈降低塑性及韧性 (3) 钛对钢的韧性,特别是低温冲击韧性少有改善作用 (4) 钛能改善碳素钢和合金钢的热强性,提高它们的持久强度和蠕变抗力	(1) 提高钢在高温、高压氢气中的稳定性 (2) 钛提高不锈钢的抗蚀性,特别是对晶间腐蚀的抗力,原因是防止了铬碳化物在晶界析出而导致的贫铬 (3) 低碳钢中,当 Ti/C 比达到 4.5 以上时,由于氧、氮、碳全部被固定,具有很好的应力腐蚀和碱脆抗力 (4) 在含铬 4%~6% 的钢中加入钛,能提高在高温时的抗氧化性 (5) 钢中加入钛可促进氮化层的形成和较迅速获得所需的表面硬度,成为“快速氮化钢” (6) 改善低碳锰钢和高合金不锈钢的焊接工艺性能	(1) 钛含量超过 0.025%时,可作为合金元素考虑 (2) 钛作为合金元素在普通低合金钢、合金结构钢、合金工具钢、高速工具钢、不锈钢、耐热不起皮钢、永磁钢、永磁合金以及铸钢中均已得到应用 (3) 钛越来越多地被应用于各种先进材料,成为重要的战略物资,例如航空航天器,动力机械等
锆 Zr			
(1) 锆是高熔点(1852℃)的稀有金属,是碳化物形成元素,在炼钢过程中是强力的脱氧和脱氮元素,并有脱氢及脱硫作用 (2) 锆能细化钢的奥氏体晶粒 (3) 固溶于奥氏体中的锆提高钢的淬透性;但若较多地以 ZrC 形态存在,则降低淬透性	(1) 锆降低钢的应变时效倾向和回火脆性 (2) 在改善低合金钢的低温韧性方面的作用,锆强于钒 (3) 锆还能减轻钢的蓝脆倾向	(1) 低碳镍铬不锈钢中加入少量锆可防止晶间腐蚀 (2) 锆与硫形成硫化物,可有效防止钢的热脆;含铜钢中加入锆,可显著减轻龟裂倾向 (3) 锆显著提高高碳工具钢和高速钢的切削寿命 (4) 锆能改善钢的焊接性能	(1) 锆产量稀少,价格昂贵,在钢中的溶解度很小,在普通钢中很少使用,而主要用于特殊用途的钢和合金中,如超高强度钢,耐热钢,易切削不锈钢以及镍基高温合金等 (2) 锆在核反应堆材料及特殊耐蚀设备方面有重要应用,以锆为基可形成大块非晶材料
铌 Nb、钽 Ta			
(1) 铌、钽均为难熔的稀有金属元素(Nb: 2467℃; Ta: 2980℃),在元素周期表中与钒同族,它们在钢中的作用与 V、Ti、Zr 类似,和碳、氮、氧都有很强的亲和力,形成极为稳定的化合物 (2) 铌、钽在钢中的主要作用是细化晶粒,提高晶粒粗化温度 (3) 铌、钽以固溶态存在时,提高钢的淬透性和淬火后的回火稳定性;以碳化物存在时则降低淬透性	(1) 钢中加入 0.005%~0.05% 铌能提高其屈服强度和冲击韧性,降低其脆性转变温度 (2) 在含铬低于 16% 的低碳马氏体耐热不锈钢中加入铌,可降低其空冷硬化性,避免回火脆性,提高蠕变强度,降低蠕变速率	(1) 改善奥氏体型不锈钢抗晶间腐蚀的性能;在高铬铁素体钢中,改善高温不起皮性和抗浓硝酸侵蚀的性能 (2) 在奥氏体型无磁钢中,加入铌和采用沉淀强化热处理,可有效提高其屈服强度而不损害其磁学性能 (3) 在低碳普通低合金钢和高铬马氏体钢中加入铌可改善焊接性能;在 Cr18Ni8 型钢中加入铌后,其冷作硬化率较大,冷变形比较困难,焊接性也较差	(1) 炼钢用的铁合金中铌、钽共存,其中 Ta/Nb 质量比为 1/12 至 1/2,习惯上称为铌铁。以单位质量计的在钢中的作用,钽约为铌的一半,故铌铁中的铌当量一般以(Nb+0.5Ta)%计 (2) 加入少量铌应用于:建筑用低碳普通合金钢,渗碳及调质合金钢,高铬耐热不锈钢,奥氏体型不锈钢耐热钢,无磁钢等 (3) 铌、钽资源在我国较为丰富,但在世界范围内储量很少,且有其他重要用途。应根据经济合理的原则,发展它们在钢中的应用
钨 W			
(1) 钨是熔点最高(3387℃)的难熔金属,在元素周期表中与 Cr、Mo 同族。在钢中的行为亦与 Mo 类似,即缩小奥氏体相区,并是强碳化物形成元素,部分地固溶于铁中 (2) 钨对钢的淬透性的作用不如 Mo 和 Cr。当以钨的特殊碳化物存在时,则降低钢的淬透性和淬硬性 (3) 钨的特殊碳化物阻止钢晶粒的长大,降低钢的过热敏感性 (4) 钨显著提高钢的回火稳定性	(1) 由于钨提高了回火稳定性,其碳化物十分坚硬,因而提高了钢的耐磨性,还使钢具有一定的红硬性 (2) 提高钢在高温时的蠕变抗力,其作用不如钼强	(1) 钨显著提高钢的密度,强烈降低钢的热导率 (2) 显著提高钢的矫顽力和剩余磁感 (3) 钨对钢的抗蚀性和高温抗氧化性无有利作用,含钨钢在高温时的不起皮性显著下降。但钨能提高钢的抗氢作用的稳定性 (4) 含钨的高速钢塑性低,变形抗力高,热加工性能较差 (5) 高合金钨钢在铸态中存在易熔相的偏析,锻造温度不能高,并应防止高碳钨钢中由于碳的石墨化造成墨色断口缺陷	(1) 主要用于工具钢,如高速钢和热锻模具钢等 (2) 在有特殊需要时,应用于渗碳和调质结构钢、耐热钢、不锈钢、磁钢等。常与 Si、Mn、Al、Mo、V、Cr、Ni 等同时加入

续表			
对钢的显微组织及热处理的作用	对钢的力学性能的作用	对钢的物理、化学及工艺性能的作用	在钢中的应用
铍 Be			
(1) 铍是稀有轻金属元素,和氧及硫都有极强的亲和力,在炼钢中是理想的脱氧去硫剂 (2) 铍在钢中缩小奥氏体相区,以固溶态存在的铍增加钢的淬透性 (3) 铍与铁能形成金属间化合物 Be ₂ Fe,与碳形成特殊碳化物 Be ₂ C,成分配制和处理恰当时,能产生极强的沉淀强化作用	(1) 对铁素体有很强的固溶强化作用 (2) 铍可改善钢的高温强度及抗蠕变性能	(1) 在因瓦合金和恒弹性合金中加入 0.5%~1.0% 的铍并调整其他成分可改善性能 (2) 铍的某些化合物对人体有害,在冶炼时应采取足够防护措施	(1) 由于铍属稀有元素,价格昂贵,在一般合金钢中较少使用 (2) 主要用于原子能工业及军工中的某些特殊用途钢和合金
稀土元素 RE			
一般所说的稀土元素包括元素周期表中原子序数为 57~71 的镧系 15 个元素(镧、铈、镨、钕……)以及同处ⅢB 族的钇和铥,共 17 个元素。这些元素大都在矿石中共生,且化学性质相似,故归为一类,称稀土元素(RE) (1) 稀土元素化学性质活泼,在钢中与硫、氧、氢等化合,是很好的脱硫和去气剂,并能消除铈、铈、铈等的有害作用,改变钢中夹杂物的形态和分布,起到净化作用,改善钢的质量 (2) 稀土元素在铁中的溶解度很低,不超过 0.5% (3) 除镧和铁不形成中间化合物外,所有其他已研究过的稀土元素都和铁形成中间化合物	(1) 提高钢的塑性和冲击韧性,特别是低温韧性 (2) 提高耐热钢、电热合金和高温合金的抗蠕变性能 (3) 稀土元素在某些钢中有细化晶粒,均匀组织的作用,从而有利于综合力学性能的改善	(1) 提高钢的抗氧化性 (2) 提高 18-8 型不锈钢的抗蚀性能(包括在浓硝酸中的抗蚀性能) (3) 稀土元素能提高钢液的流动性,改善浇铸的成品率,减少铸钢的热裂倾向 (4) 显著改善高铬不锈钢的热加工性能 (5) 改善钢的焊接性能	(1) 在普通低合金钢、合金结构钢、轴承钢、工具钢、不锈钢和耐蚀钢、电热合金以及铸钢中得到应用 (2) 为了稳定地获得稀土元素,改善钢的组织 and 性能的效果,应注意准确控制稀土在钢中的含量 (3) 我国富产稀土元素,有关稀土在钢中的作用机理和开发应用还应大力加强
铅 Pb、铋 Bi			
(1) 铅与铋实际上不溶于钢中,它们的沸点都很低,冶炼过程中大部分化为蒸气逸出钢液,因而在钢中的残留量很低,一般在 0.001% 左右。为了特殊用途需要增加 Pb、Bi 含量时,须在浇铸过程中加入 (2) 由于含量很低,对组织和热处理的影响不显著	(1) 对钢的强度无明显影响,使钢的塑性略有下降,使冲击韧性有较大降低 (2) 在高强度钢中,铅对疲劳极限有下降的作用	(1) 铅显著改善钢的切削加工性能,使切削碎断,增加切削时工具与工件之间的润滑,降低切削温度和动力消耗,延长工具寿命,提高切削速度 (2) 其改善切削加工性能的作用,在硫、磷含量较高的钢中尤为显著	(1) 含有 0.2% 左右铅的钢有超级易切钢之称 (2) 含铅钢中需防止铅的偏析,并对铅蒸气进行防护
硼 B			
(1) 硼和碳、硅、磷同属于半金属元素。硼与氮、氧之间有很强的亲和力。硼和碳形成碳化物 B ₄ C。硼和铁形成两种即使在高温时亦很稳定的中间化合物 Fe ₂ B 和 FeB (2) 硼在钢中与残留的氮、氧化合形成稳定的夹杂物后会失去其本身的有益作用,只有以固溶形式存在于钢中的硼才能起到特殊的有益作用。这部分“有益硼”大都析集或吸附在晶界上 (3) 由于钢中硼含量一般在 0.001%~0.005% 的范围内,对钢的显微组织没有明显的影响。钢中“有效硼”的作用主要是增加钢的淬透性 (4) 微量硼有使奥氏体晶粒长大的倾向。硼还有增加回火脆性的倾向	(1) 微量硼可提高钢在淬火和低温回火后的强度,并使塑性略有提高 (2) 经 300~400℃ 回火的含硼钢,其冲击韧性较不含硼的钢有所改善,且能降低钢的脆性转变温度 (3) 奥氏体铬镍钢中加入硼,经固溶和时效处理后,由于沉淀硬化的作用,其强度有适当提高,但韧性有所下降 (4) 硼对改善奥氏体钢的蠕变抗力有利。在珠光体耐热钢中硼可提高其高温强度	(1) 硼含量超过 0.007% 将导致钢的热脆现象,影响热加工性能,故钢中硼的总含量应控制在 0.005% 以下 (2) 在含硼结构钢中,用微量硼代替较多量的其他合金元素后,其总合金元素含量降低,在高温时对变形的抗力减小,有利于模锻加工和延长锻模寿命。此外,含硼钢的氧化皮较松,易于脱落清理 (3) 含硼钢经正火或退火后,其硬度比淬透性相同的其他合金钢要低,对于切削加工有利	(1) 硼在钢中的主要用途是增加钢的淬透性,从而节约其他合金元素,如 Ni、Cr、Mo 等。0.001%~0.005% 的硼约可代替 1.6% 的镍,或 0.3% 的铬,或 0.2% 的钼。以硼部分代替钼最为恰当 (2) 含硼钢在合金结构钢、普通低合金钢、弹簧钢、耐热钢、高速工具钢以及铸钢中均可得到应用 (3) 利用硼吸收中子的能力,反应堆中采用含硼高达 0.1%~4.5% 的高硼低碳钢,但其变形加工十分困难

续表			
对钢的显微组织及热处理的作用	对钢的力学性能的作用	对钢的物理、化学及工艺性能的作用	在钢中的应用
氮 N			
早期氮被认为是钢中的杂质,后来才认识到,在一定条件下,氮可以发挥合金元素的作用 (1) 氮和碳一样可固溶于铁,形成间隙式的固溶体 (2) 氮扩大钢的奥氏体相区,是一种很强的形成和稳定奥氏体的元素,其效力约 20 倍于镍,在一定限度内可代替一部镍用于钢中 (3) 渗入钢表面的氮与铬、铝、钒、钛等元素可化合成极稳定的氮化物,成为表面硬化和强化元素 (4) 氮使高铬和高铬镍钢的组织致密坚实 (5) 钢中残留氮量过高会导致宏观组织疏松或气孔	(1) 氮有固溶强化作用 (2) 含氮铁素体钢中,在快冷后的回火或在室温长时间停留时,由于析出超显微氮化物,可发生沉淀硬化过程,氮也使低碳钢发生应变时效现象。在强度和硬度提高的同时,钢的韧性下降,缺口敏感性增加。氮导致钢的脆性的特性近似磷,其作用远大于磷。氮也是导致钢产生蓝脆的主要原因 (3) 提高高铬和高铬镍钢的强度,而塑性并不降低,冲击韧性还有显著提高 (4) 氮还能提高钢的蠕变和高温持久强度	(1) 氮对不锈钢的抗蚀性能无显著影响 (2) 对钢的高温抗氧化性也无显著影响,氮含量过高(如>0.16%)可使抗氧化性恶化 (3) 含氮钢冷作变形硬化率较高,采用冷变形工艺时,应予以注意 (4) 氮可降低高铬铁素体钢的晶粒长大倾向,从而改善其焊接性能	(1) 氮作为合金元素,在钢中的含量一般小于 0.3%,特殊情况下可高达 0.6% (2) 主要应用于渗氮调质结构钢、普通低合金钢、不锈钢酸钢及耐热不起皮钢。氮在钢中作为合金元素的应用还在扩大
氧 O			
氧是炼钢过程中不可或缺的元素,经过脱氧以后还有一部分氧残留钢中,对钢的性能起到不利作用,是有害元素 (1) 钢中残留的氧以氧化物及极少量的固溶态的形态存在 (2) 由于残留氧量很低,对钢的组织 and 热处理无显著影响	(1) 氧对钢的力学性能的影响主要与氧化夹杂物的组成、性质和分布、数量有关 (2) 总的来说,所有夹杂物都在不同程度上降低钢的力学性能,特别是塑性、韧性和疲劳强度	(1) 氧化铝等夹杂提高钢的硬度和耐磨性,但恶化切削加工性能 (2) 较高的含氧量使焊缝发生热裂,恶化焊接性能	氧在冶炼、铸锭和轧制过程中都有一定的作用,但钢中的残留氧对性能不利,应作为有害元素来对待
氢 H			
氢在冶炼及加工过程中会进入钢中,残留于钢中的氢多起有害作用 (1) 氢以原子或离子形态固溶于钢中,形成间隙式固溶体,有一些合金化作用 (2) 残留于钢中的氢造成许多严重缺陷,如白点、点状偏析,其危害远远超过其合金化作用 (3) 由于固溶于铁中的氢含量很少,对钢的相变和热处理无显著影响,只是有一些稳定奥氏体和增加淬透性的作用。此外,氢也有防止钢中的碳发生石墨化和渗碳时出现反常组织的作用	(1) 氢脆是氢使钢的塑性下降的基本原因,钢的强度越高,其氢脆敏感性越大。氢脆可以用时效处理来消除 (2) 氢有增加钢的硬度的倾向,但不明显	(1) 氢在钢中除了会产生氢脆以外,还会形成一系列的严重缺陷,包括白点、点状偏析、静载疲劳断裂、“鱼眼”、表面凸泡等 (2) 氢化物含量高的酸性药皮焊条导致焊缝热影响区开裂	氢在钢中是有害元素,应尽量采取工艺措施降低钢中的氢含量,防止由氢造成的各种缺陷和性能下降
硫、硒、碲 S、Se、Te			
(1) 硫在大多数情况下是钢中的有害元素,在优质钢中其含量不应超过 0.04%。碲和硒在周期表中与硫同族,其性质亦相近 (2) 硫、碲、硒可与铁形成低熔点的 FeS、FeSe ₂ 以及 FeTe、FeTe ₂ 、FeSe、FeSe ₂ 等化合物,它们在铁中的溶解度都很低 (3) 对钢的相变和组织的影响主要由不同类型和分布状态的硫化物造成,表现为硫的偏析及硫化物夹杂以及由于硫化物的形成导致的 Mn、Ti、Zr 等有效含量及钢的淬透性的下降	(1) 降低钢的延展性及韧性,冲击韧性的下降最为显著 (2) 硒化物颗粒较硫化物为细小和分散,对力学性能的影响较硫轻	(1) 使软钢的磁学性能恶化 (2) 损害钢的抗蚀性能 (3) FeS 等低熔点化合物增大钢在锻、轧时的过热和过烧倾向、产生表面网状裂缝和开裂 (4) 造成焊缝热裂、气孔及疏松 (5) 在切削加工时,使切削容易断开,改善工件光洁度,节省动力,且有润滑作用,延长刀具寿命,提高切削效率	(1) 只有在易切削钢中才利用硫、硒、碲来改善钢的切削性能。硒较为昂贵,只在高级不锈钢中使用(硒对抗蚀性影响较小) (2) 在其他钢种中都应尽量降低硫的含量
磷、砷、锑 P、As、Sb			
(1) 磷、砷、锑在周期表中同族,在钢中作用类似,均使奥氏体相区缩小 (2) 在铁中有一定溶解度,与铁形成低熔点化合物 (3) 都有严重的偏析倾向 (4) 提高钢的回火脆性敏感程度	(1) 提高钢的强度 (2) 降低塑性和韧性,碳量越高,引起的脆性也越大	(1) 改善钢的耐磨性 (2) 改善钢的抗蚀性 (3) 改善钢的切削加工性能 (4) 对焊接性能不利,增加焊裂的敏感性	(1) 应用于钢轨钢及易切削钢,也用于炮弹钢 (2) 在多数其他情况下应尽量减少钢中磷等的含量

1.5 合金元素在轻合金中的作用

表 1-5 合金元素与杂质在轻合金中的作用

元素	在铝合金中	在镁合金中	在钛合金中
Al	基本组元	含量在~10%以下能提高强度并产生沉淀硬化。铝含量在4%以下的镁合金其在盐水中的抗蚀性能较低。铝在镁合金铸件中增大疏松倾向	铝在钛合金中是稳定 α 相的主要合金元素。固溶态的铝提高钛合金的拉伸强度、蠕变强度和弹性模量。铝含量在~6%以上会形成 Ti ₃ Al,从而引起脆化
Ag	0.25%~0.60% 的 Ag 与 2.5%~5.0% 的 Cu 应用于某些 Al-Li 合金。Ag 含量为 0.1%~0.6%时提高 Al-Zn-Mg 合金的强度并改善应力腐蚀抗力	在 Mg-Zr-RE 合金中加入至 3% 的 Ag, 可提供沉淀硬化效应和十分高的强度	
As	极毒,在食品包装材料中需控制在极低水平		
Be	减轻铝熔体的氧化。微量 Be 能降低 Al-Mg 变形合金的氧化和表面蚀斑。在焊条金属及需焊接的变形铝合金中 Be 含量一般在~8×10 ⁻⁶ 以下	微量 Be(5~15×10 ⁻⁶)可降低镁合金的表面氧化倾向,同时改善铸造性能并细化晶粒组织	
Bi	改善切削加工性能。利用 Bi 在凝固时的膨胀抵消 Pb 的收缩。在 Al-Mg 合金中加入 20~30×10 ⁻⁶ 的 Bi 可降低由 Na 造成的热裂有害影响		
B	晶粒细化剂,含量为 0.005%~0.1%, 与 Ti 一起加入,效果更佳,B/Ti 比为 1/5。B 促使 V、Ti、Cr、Mo 沉淀析出,改善铝合金的电导率		用作硼化表面硬化处理
Cd	0.005%~0.5%的镉可加速时效硬化。提高强度,改善抗蚀性能(除纯铝以外)。含量大于0.1%时会引起热脆性。含量低时可改善切削加工性能。熔炼时镉的烟气有毒		
Ca	晶粒细化剂。促使铝中硅的析出而提高铝的电导率。降低 Al-Mg-Si 合金的时效硬化能力。提高 Al-Si 合金的强度,但降低其韧性。~10×10 ⁻⁶ 的钙可使铝熔体的吸氢加剧	晶粒细化剂	
C	掺入量一般很低,和 Al 及其他元素形成碳化物。Al ₄ C ₃ 在水或水蒸气中会分解,从而引起铝合金的点蚀		稳定 α 相,扩大 α 相和 β 相之间的转变温度范围,对某些合金使热处理温度范围扩大。由于碳在钛合金中有脆化作用,一般将其含量控制到最低。可应用于表面硬化
Cr	加入~0.3% 铬作为晶粒细化剂,并改善高强度铝合金的抗蚀性能。显著降低电导率。广泛应用于 Al-Mg、Al-Mg-Si 及 Al-Mg-Zn 合金。有助于控制晶粒长大,但可能干扰沉淀硬化。对表面阳极化处理着黄色不利		
Co	很少使用。在含 Fe 的 Al-Si 合金中有变质作用		
Cu	含量为 2%~10%。利用析出 CuAl ₂ 相在可热处理的变形和铸造铝合金中进行时效沉淀硬化。含量在 4%~6% 时有最大的强化效果。大部分商品铝合金中与铜一起还加入其他元素以改善性能。提高室温及高温强度。含量在~0.2% 以上时会降低抗蚀性能。二元 Al-Cu 合金的凝固温度范围宽,因而铸造性能差。2×××及 7××× 系列变形铝合金中的基本合金组元	由于会损害镁合金的抗蚀性能而将其含量控制到很低	一般含量 2%~6%,稳定 β 相,强化 α 和 β 相。产生沉淀硬化效应

续表

元素	在铝合金中	在镁合金中	在钛合金中
Ga	通常作为杂质元素,含量应不大于0.001%~0.02%。在牺牲阳极中0.01%~0.1%Ga可防止钝化	显著改善抗蚀性能	稳定α相的元素
Ge	通常作为杂质对待,含量为0.001%~0.02%。含量更高时会影响腐蚀行为。在牺牲阳极中为防止钝化,其含量可为0.01%~0.1%	显著改善抗蚀性能	稳定α相
H	熔炼和铸造过程中大气中的水蒸气会被铝还原而生成H ₂ ,引起铝合金中的疏松	在Mg-Zn-RE合金中可利用氢化物的硬化作用	钛在>130℃时强烈吸收氢,氢在钛中扩散很快,引起脆化。将氢含量控制到超低水准可改善断裂韧性
Fe	在常规铝合金中作为杂质对待,但可起辅助的时效沉淀硬化作用。有轻微的提高强度和蠕变抗力的作用。在变形铝合金中细化晶粒。提高Al-Cu-Ni合金的高温强度。含量大于0.6%时,降低铸件的抗蚀性能。降低韧性。在压铸合金中,0.4%~0.8%的铁可减轻合金对模具的粘连。采用快速凝固技术可制得含铁6%~12%的高温热强铝合金,如Al-Fe-V-Si等	降低抗蚀性能。可加入Mn消除其有害影响。通常铁的含量应尽量低	稳定β相。降低蠕变抗力
Li	降低铝合金的密度,提高弹性模量。含Li在2.5%时,可进行常规热处理。Li含量高至4.0%时采用快速凝固技术(RSP)。在铝箔中小于5×10 ⁻⁶ 的Li可能引起潮湿气氛中的腐蚀	含量低时可改善抗蚀性能。为降低合金密度Li含量可达9%	
Mg	与Si、Cu或Zn一起使用,可产生时效沉淀硬化。与Mn一起可提供很好的冷作硬化效果。含量至3.5%可提高铝的强度。改善抗蚀性能,但增加吸氢倾向。含量至8%时合金有很好的抗蚀性能。二元Al-Mg合金有很宽的凝固温度范围,因而铸造性能差。形成5×××变形铝合金,与Si一起形成6×××变形铝合金	基本组元	
Mn	晶粒细化剂。少许提高强度(Mn含量至1.25%),显著增加冷作硬化。稍微降低抗蚀性能。在铸造铝合金中能中和铁的某些不利影响。形成3×××系列变形铝合金	用来控制铁含量的影响时,Mn/Fe质量比应在30以上。改善抗蚀性能。对提高拉伸强度作用不大。会降低疲劳强度	当前商品钛合金中不含Mn,有工作表明2%~4%Mn能改善性能
Mo			Mo量在2%~20%时是重要的β相稳定元素。提高硬化倾向和短时、高温强度。同时含有0.2%~0.4%Mo和0.6%~0.9%Ni可改善纯钛的腐蚀抗力,代替更昂贵的含钯钛合金
Na	~0.01%Na用于变质处理,细化近共晶成分Al-Si合金的组织,从而提高强度和韧性		
Ni	有助于沉淀硬化,析出NiAl ₃ 。在Al-Cu、Al-Si合金中改善高温性能	剧烈降低镁合金的抗蚀性能,为此需将Ni含量控制在很低水平(0.001%~0.002%)	0.6%~0.9%Ni与0.2%~0.4%Mo一起改善商品纯合金的抗蚀性能
Nb	~0.2%Nb可细化晶粒,提高强度		稳定β相的元素,改善高温抗氧化性能
N			>800℃时,钛合金强烈吸氮,引起脆化。间隙固溶元素,提高强度,降低韧性。为改善断裂韧性应将N、O、H含量控制最低。可用作渗氮硬化处理

续表

元素	在铝合金中	在镁合金中	在钛合金中
O			商品纯度合金中氧含量对强度最具决定作用。钛合金在 $>700^{\circ}\text{C}$ 时强烈吸收O,引起脆化。氧可间隙地溶于钛中,提高强度,降低韧性。通常控制在实际的最低值。稳定 α 相。某些牌号合金中故意加入氧与铁作为强化措施
Pd			加入 $\sim 0.2\%$ Pd 能显著改善合金在弱还原性或还原/氧化波动气氛中的抗蚀性能
Pb	$\sim 0.5\%$ 铅可改善切削加工性能,但降低韧性。通常与相近含量的 Bi 一起使用。凝固时有偏析倾向		
RE (Ce、La Pr、Nd)	改善高温性能,疲劳强度及蠕变抗力。铸造合金中改善流动性,减少对模具的粘连	重要的晶粒细化剂。提高强度,保持韧性,改善蠕变抗力和疲劳强度。改善铸造性能,减少缩松。在 Mg-Zn-Zr 合金中减少开裂倾向	
Sb	在 Al-Mg 合金中代替铋,减少热裂倾向		
Si	改善合金液的流动性和铸造性能。通过析出 Mg_2Si 可实现沉淀硬化。在 Al-Cu 合金中会引起脆化。在阳极化处理时,表面变灰色	在合金液中有高的溶解度,其含量在熔炼及后继工艺过程中基本稳定	$0.05\%\sim 0.10\%$ Si 改善蠕变抗力
Sr	在 Al-Si 铸造合金中用作变质剂,细化组织,提高强度和韧性		
Th		含量至 3% 可提高高温蠕变抗力和疲劳强度。改善铸造性能,减少疏松。与 Zn、Zr 一起改善焊接性能。通常不采用	
Sn	晶粒细化剂, $\sim 0.05\%$ 的 Sn 可改善 Al-Cu 合金的人工时效响应。某些轴承合金建立于 Al-Sn 与 Cu、Ni、Si 的基础上		含量 $2\%\sim 6\%$ 。比铝较弱的 α 相稳定元素。与铝一起加入可提高强度,避免脆化。在 β 相中也有很大溶解度
Ti	$\leq 0.2\%$ 作为晶粒细化剂,常与 B 一起使用。		基本组元
V	在时效硬化铸造铝合金中钒细化晶粒,改善热处理效果。钒会降低电导率,通过加硼可以控制		含量 $2\%\sim 20\%$,稳定 β 相
Y		含量可至 5.5% ,改善抗蚀性能	在高性能合金中需将含量控制在 0.005% 以下
Zn	提高强度,但抗蚀性能有所下降。常与 Mg、Cu 一起使用以提高强化效果。形成 $7\times\times\times$ 系列变形铝合金。	含量可至 6% ,提高强度,与 Al 和 Mn 一起提供沉淀硬化效应。与 Zr 一起可获得很细的晶粒组织和热态下的强度。改善变形合金的冷加工性能。若不同时加 RE 或 Tb,则加 Zn 会降低焊接性能	
Zr	含量可至 0.5% 。抑制再结晶、控制晶粒长大。减小铸态晶粒尺寸,在超塑性合金中保持细晶组织。Zr 会干扰 Ti/B 的细化作用	含量可至 0.8% 。细化晶粒,提高强度,改善高温强度。与 Al、Mn 一起提供沉淀硬化。改善变形合金的热加工性能	Zr 与 Ti 形成连续固溶体,提高室温至中温时的强度。较弱的 β 相稳定元素。含量超过 $5\%\sim 6\%$ 时 Zr 会降低韧性和蠕变抗力

1.6 金属材料分类

金属材料按其组成材料的元素是单个还是多个可分为纯金属和合金：

- 纯金属——由一个金属元素组成。工业上使用的纯金属常含有少量的在冶炼过程中掺入的杂质元素,对纯金属的纯度在相关标准及产品等级中有规定。
- 合金——由两种或两种以上金属元素,或以金属元素和半金属元素(C、Si、P、B等)所组成。由于纯金属不能满足对许多产品使用性能的要求,因此合金的使用范围要更为广泛。

金属材料按其主要组成金属元素的种类在习惯上又可分为黑色金属与合金以及有色金属与合金两大类：

- 黑色金属与合金——指铁、锰、铬和以铁、锰、铬为主的合金。

• 有色金属与合金——又可称为非铁金属和以非铁金属为主的合金,指除铁、锰、铬以外的其他金属或其主要组成元素不是铁、锰、铬的合金。

1.6.1 黑色金属与合金分类

黑色金属与合金按其生产过程、化学成分特点以及性能与用途又可分为若干类,见表 1－6。

表 1－6 黑色金属与合金分类

类 型	生产过程	化学成分特点	品种与用途
纯 铁	特殊冶金技术	纯度高的铁,其他元素含量降至最低值	(1) 制造特殊性能要求的器件;(2) 用以配制合金
铁合金	电冶金等技术	以铁为主或铁与其他金属与半金属元素的合金	如硅铁、锰铁、铬铁、钒铁、钼铁、钛铁等。(1) 用作合金元素添加剂;(2) 炼钢时的脱氧剂、脱硫剂等
生 铁	在高炉中铁矿石经还原制得铁水,浇铸成锭	含碳量一般在 2% 以上的铁-碳合金,含有 Si、Mn、S、P 等,S、P 作为杂质对待	(1) 炼钢生铁用作炼钢的炉料;(2) 铸造生铁用作熔炼浇注铸铁件所需铁水的炉料
铸 铁	熔铁炉可采用冲天炉、感应电炉等,以铸造生铁和回炉铁、废钢为主要炉料,铁水浇铸成型铸件	含碳量一般在 2% 以上的铁-碳合金,含有 Si、Mn、S、P 或其他合金元素,S、P 作为杂质对待	按其含碳的存在形态可分为:(1) 灰铸铁,其中碳大部以片状石墨形态存在;(2) 白口铸铁,其中碳完全以渗碳体或碳化物形态存在;(3) 球墨铸铁,其中碳大部以球状石墨形态存在;(4) 可锻铸铁,由白口铸铁经石墨化退火制得,其中碳大部以团絮状石墨存在;(5) 蠕墨铸铁,其中碳大部以蠕虫状石墨存在
钢	转炉炼钢,电炉炼钢、平炉炼钢等,以炼钢生铁和废钢为主要炉料,钢水用于铸锭、连铸或浇注成型铸件	含碳量一般小于 2% 的铁-碳合金,含有 Si、Mn、S、P 及其他合金元素,S、P 作为杂质对待	生产量最大,用途最为广泛的金属材料,按其含碳量可分为低碳钢、中碳钢及高碳钢;按钢中合金元素的含量可分为非合金钢、低合金钢及合金钢;按钢的性能特点与用途可分为:结构钢、工具钢、高速工具钢、弹簧钢、易切削钢、电工硅钢、轴承钢、不锈钢、耐热钢等。钢的分类详见 1.6.2
铁基精密合金	真空电炉熔炼	具有特殊物理性能的合金,以铁等为主要成分,含有多量合金元素	按其性能特点与用途可分为:软磁合金、永磁合金、弹性合金、膨胀合金、热双金属、电阻合金等
铁基高温合金	电炉熔炼	以铁为主要成分,含有多量的镍等合金元素	用于在高温下工作的热动力部件

1.6.2 钢分类(GB/T 13304－1991)

表 1－7 钢按化学成分分类

合金元素	合金元素规定含量界限值/%			合金元素	合金元素规定含量界限值/%		
	非合金钢	低合金钢	合金钢		非合金钢	低合金钢	合金钢
Al	<0.10	—	≥0.10	Se	<0.10	—	≥0.10
B	<0.0005		≥0.0005	Si	<0.50	0.50~<0.90	≥0.90
Bi	<0.10		≥0.10	Te	<0.10	—	≥0.10
Cr	<0.30	0.30~<0.50	≥0.50	Ti	<0.05	0.05~<0.13	≥0.13
Co	<0.10	—	≥0.10	W	<0.10	—	≥0.10
Cu	<0.10	0.10~<0.50	≥0.50	V	<0.04	0.04~<0.12	≥0.12
Mn	<1.00	1.00~<1.40	≥1.40	Zr	<0.05	0.05~<0.12	≥0.12
Mo	<0.05	0.05~<0.10	≥0.10	La 系(每一种元素)	<0.02	0.02~<0.05	≥0.05
Ni	<0.30	0.30~<0.50	≥0.50				
Nb	<0.02	0.02~<0.06	≥0.06	其他规定元素(S、P、C、N 除外)	<0.05	—	≥0.05
Pb	<0.40	—	≥0.40				

- 注:① 钢:以铁为主要元素、含碳量一般在 2% 以下,并含有其他元素的材料(在铬钢中含碳量可能大于 2%,但 2% 通常是钢和铸铁的分界线)。
- ② 当标准、技术条件或订货单对钢的熔炼分析化学成分规定最低值或范围时,应以最低值作为规定含量进行分类。
- ③ 当标准、技术条件或订货单对钢的熔炼分析化学成分规定最高值时,应以最高值的 0.7 倍作为规定含量进行分类。
- ④ 在没有标准、技术条件或订货单规定钢的化学成分时,应按生产厂报出的熔炼分析值作为规定含量进行分类;在特殊情况下,只有钢的成品分析值时,可按成品分析值作为规定含量进行分类,但当处在两类临界情况下,要考虑化学成分允许偏差的影响,对钢的原来预定的类别应准确地予以证明。
- ⑤ 标准、技术条件或订货单中规定的或在钢中实际存在的不作为合金化元素有意加入钢中的残余元素含量,不应作为规定含量对钢进行分类。
- ⑥ La 系元素含量,也可为混合稀土含量总量。
- ⑦ 当 Cr、Cu、Mo、Ni 四种元素,有其中两种、三种或四种元素同时规定在钢中时,对于低合金钢,应同时考虑,这些元素中每种元素的规定含量,所有这些元素的规定含量总和,应不大于规定的两种、三种或四种元素中每种元素最高界限值总和的 70%。如果这些元素的规定总和大于规定的元素中每种元素最高界限值总和的 70%,即使这些元素每种元素的规定含量低于规定的最高界限值,也应划入合金钢。本条规定也适用于 Nb、Ti、V、Zr 四种元素。