

合金高铬铸铁 及其应用

陈璟琚 余自甦 许光奎 等编著
卿上胜 黄兴建 贺同正

冶金工业出版社

合金高铬铸铁及其应用

陈璟琚 余自逸 许光奎 等编著
卿上胜 黄兴建 贺同正

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
1999

内 容 提 要

本书全面介绍高铬铸铁中铬的存在状态及分布规律,探讨碳及其他合金元素对高铬铸铁金相组织、力学性能、耐磨性、耐热性等铸造性能的影响,总结了在不同工况条件下,选择高铬铸铁最佳成分的方法。书中列举了在烧结机、高炉系统、轧辊、抛丸机等方面,应用高铬铸铁的成功经验。本书为作者多年的科研和生产成果的总结,是一本理论联系实际的有价值的科技专著,适合于冶金、机械、建材等行业的科技人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

合金高铬铸铁及其应用/陈璟琚等编著. - 北京:冶金工业出版社, 1999.10

ISBN 7-5024-2351-6

I. 合… II. 陈… III. ①铬合金-合金铸铁-理论②铬合金-合金铸铁-应用 IV. TF594

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 18858 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 谭学余 美术编辑 李 心 责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波
北京源海印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1999 年 10 月第 1 版, 1999 年 10 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 9.25 印张; 245 千字; 287 页; 1-2000 册

20.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64013877

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

参加本书编写的其他人员：

李玉和	钟兵
雷念慈	李松
张瑞光	尹思林
韩英	王工
龚兴伟	唐慰

目 录

1	概述	1
2	铬在高铬铸铁中的存在状态及分布	11
2.1	高铬铸铁的状态图	11
2.2	铬在高铬铸铁中的分布及合金元素的影响	14
3	高铬铸铁的金相组织	25
3.1	高铬铸铁的金相组织	25
3.2	铬对金相组织的影响	27
3.3	碳对金相组织的影响	39
3.4	合金元素对金相组织的影响	46
3.5	高铬铸铁中的夹杂物	57
4	合金元素和碳对高铬铸铁力学性能的影响	60
4.1	合金元素对高铬铸铁硬度的影响	60
4.2	碳及合金元素对高铬铸铁抗弯强度的影响	72
4.3	高铬铸铁的常温及高温抗拉强度	73
4.4	高铬铸铁的常温及高温冲击韧性	76
5	高铬铸铁的耐磨性	83
5.1	合金元素对高铬铸铁高温耐磨性的影响	83

5.2	冲击磨料磨损耐磨性	90
6	合金元素对高铬铸铁耐热性的影响	97
6.1	抗高温氧化性能	97
6.2	抗激冷激热性能	106
6.3	抗热疲劳断裂性的测定	109
6.4	高频疲劳性能的测定	111
6.5	热疲劳裂纹扩展速率的测定	112
7	热处理对高铬铸铁组织及性能的影响	115
7.1	高铬铸铁的调质处理	115
7.2	高铬铸铁抗回火软化性	118
7.3	不同热处理状态下高铬铸铁的硬度变化	123
8	高铬铸铁铸造工艺性能的测定	127
8.1	流动性	127
8.2	抗热裂倾向性	131
8.3	收缩	135
8.4	高铬铸铁的定向凝固	139
9	高铬铸铁在冶金备件上的应用举例	145
9.1	烧结机台车算条	153
9.2	烧结机机尾保护罩	166
9.3	烧结矿单辊破碎机齿冠	178
9.4	烧结机标准衬板	190
9.5	高炉炉顶耐磨铸铁备件	201
9.6	高炉原料系统耐磨衬板	215
9.7	冷轧辊抛丸处理机高铬铸铁叶片	230
9.8	铸铁轧辊	243
9.9	热轧用复合导卫板	263
9.10	轧钢连续加热炉的高铬铸铁备件	272
10	结语	277
	参考文献	284
	致谢	287

1 概 述

在工业生产中很多的重要备件处在恶劣条件下工作，当生产工艺定型后，备件的耐用性就成为发展生产、降低成本的限制性环节之一。据统计，在失效的机械零件中，约 75% 属于金属磨损。因此研究金属磨损，提高金属的抗磨能力，研制新型的耐磨金属是当今科技人员的重要任务。

随着生产的强化、材料学和工艺学的不断发展，目前世界各国已研制出各种类型的抗磨金属材料。这些材料都是在普通碳钢和白口铸铁的基础上发展起来的，充分利用合金元素在钢、铁中的作用，以求得到具有各种特性的材料来满足生产的需要。由于各种合金价格较贵，在使用时应充分考虑到一次性投入和它们对备件耐用性所起的作用的关系。对于一些关键易损备件，合理采用高合金或多元合金材质也是满足生产需要的重要途径之一。美国金属材料协会指出：90 年代至未来的 20 年内将是新材料开发最活跃时期，主要集中在高合金、高性能聚合物、复合材料和精密陶瓷材料四大方面，其中高温合金材料占 60% 以上。许多国家在调整产业结构时都在向新材料部门倾斜，而对传统的金属材料投资比例将逐年减少。在跨入新世纪之际，新材料的研究，各种材料的快速更新、取代，对未来经济的发展将是至关重要的。

高铬铸铁是继普通白口铸铁、镍硬铸铁发展起来的第三代白口铸铁。发达国家在 60 年代，我国在 80 年代初为满足生产的需要并在感应炉的应用逐渐普及的前提下，高铬铸铁才进入了较广泛的实用阶段。由于高铬铸铁金属组织的特点使得高铬铸铁比普通铸铁具有高得多的韧性、高温强度、耐热性和耐磨性等，已被誉为当代最优良的抗磨料磨损材料，并得到广泛应用。对于在常温 and 高温冲击磨损条件下应用，高铬铸铁更具有实用价值。

经典的高铬铸铁是 Cr15Mo3。随着生产发展,按 Cr 含量控制范围,通常采用 Cr15、Cr20、Cr25 三个系列。为满足不同工况要求,除调整含碳量外,还辅以其他合金元素,如镍、钨、钼等,形成多元合金高铬铸铁^[1,2]。

西欧、美国由于磨料磨损的金属材料消耗年均耗费达数十亿美元,因此不少国家大力研制高耐磨备件,特别是高铬铸铁备件,以大幅度减少这种消耗。美国用 Cr15Mo3 制造破碎机辊轮、矿山用冲击锤、离心机外壳和转子等,还用高铬铸铁生产带内外筋片的换热器、烧结炉料盘和炉条、燃烧器喷嘴、玻璃瓶模具及发动机的阀座。日本伊藤机工株式会社等开发 Cr25 系列生产高炉小钟、料斗和炉栅等,日本新日铁公司设备与机械部和八幡厂的技术研究实验室合作,于 1969 年开始研究用高铬铸铁作为高炉耐磨内衬材料。前苏联研制 12%~15%Cr、3%~5.5%Mn 的高 Cr-Mn 白口铸铁件,其壁厚可达 200mm 的球磨机衬板,淬火硬度可达 HRC60~62^[3~5]。

世界各国公认高锰钢 (Mn13) 是一种以高韧性冲击硬化著称的好材料,但在低冲击载荷条件下使用,却不能发挥潜在的冲击硬化能力,已逐步被高铬铸铁所取代,如破碎机用的锤头、反击条等。在欧美各国,高铬铸铁还用于热轧带钢精轧前段 (F1~F3) 工作辊,欧洲约 60% 热连轧机的工作辊采用高铬铸铁,德国采用含 Cr20% 白口铸铁制作冷轧工作辊,其硬度可达 HS90 以上。日本研究制造高铬铸铁轧辊以代替部分半钢轧辊^[3],英国米蓝德轧辊公司也积极在世界各地介绍和推销高铬铸铁轧辊^[6~8]。

我国武钢在试验基础上,又引进一批高铬铸铁轧辊,在热轧带钢轧机上试用,结果表明部分经正常使用的轧辊的耐磨性、抗热裂性及抗表面粗糙性都非常好,每支轧辊轧制量提高近一倍^[9]。我国邢台轧辊公司、鞍钢钢研所、山东冶金研究所、第一重型机械集团公司都相继进行了高铬铸铁轧辊的开发和应用工作。鉴于高铬铸铁轧辊在使用过程中发生裂纹、剥落和热轧粘

钢,影响了轧辊使用寿命和轧材质量,有待进一步的研究。

由国防工业出版社出版的《高铬铸铁轧辊的力学性能》一书对高铬铸铁的组织、物理、力学性能和裂纹扩展行为作了比较细致的介绍,并专门对高铬铸铁轧辊失效形式的原因进行了分析,为高铬铸铁轧辊的生产和使用提供了有价值的参数。

西安交通大学周庆德教授等在多年的教学和研究基础上于1986年由西安交通大学出版社出版了《铬系抗磨铸铁》论文集,对于高铬铸铁的磨损特性、高铬铸铁合金化进行了比较充分的阐述,并和有关厂矿开展了高铬铸铁的应用,如板锤、磨环、辊套等,取得了较好的使用效果。

由哈尔滨工业大学出版社1990年出版的《耐磨铸铁》一书介绍了铬铸铁,其中包括高铬铸铁。对于高铬铸铁成分的选择、熔炼、结晶及性能进行了介绍和分析。

西安公路工程学院郝石坚教授所著的《高铬耐磨铸铁》于1993年由煤炭工业出版社出版,书中对金属磨损、高铬铸铁组织形成、合金元素的影响、高铬铸铁耐用性等方面给予了系统的阐述。该书关于高铬铸铁应用的基点是破碎煤粉的球磨机上的磨球和衬板,因此对高铬铸铁耐磨性提出较高要求,并侧重于金属磨损、材料耐磨性等方面的论述。书中指出,高铬铸铁应用是有选择性的,这样才能发挥高铬铸铁的优越性,认为在大型球磨机中磨球,衬板和物料之间冲击比较严重,磨球的金属磨损是以碳化物脆性剥落造成的磨损为主体,而切削磨损产生的金属损耗处于次要地位时,磨球中的碳化物不宜过多,成分应选择 $2.6\% \sim 2.8\% \text{C}$ 、 $13\% \sim 17\% \text{Cr}$ 为宜。依据球磨机直径的大小,可通过适当的热处理获得不同的金属基体组织。

沈阳铸造研究所从80年代中期开始高铬铸铁的研究和开发应用,特别是对材料的耐磨性、耐蚀性方面进行较为深入的研究,并为攀钢高炉小钟提出采用高铬铸铁来制作的设想和研究。

攀钢公司从1988年以来致力于烧结机、高炉关键钢铁备件长寿化研究。这些冶金备件大都在高温、冲击磨损的恶劣条件下

工作。通过多年的试验研究,相当部分的备件应用了高铬铸铁材质。其中如 Cr16VTi 烧结机算条,从 1990 年至今已在 6 台烧结机上推广应用了数十万件。在试制两年多时间后,用 Cr17MoVTi 制成了高炉旋转溜槽衬板以及其他耐磨件,用 Cr25WMoVTi 试制的高炉原料系统衬板已在 1[#]、2[#]、3[#] 高炉推广了 3 年,以及烧结机标准衬板、烧结矿单辊破碎机齿冠、保护帽等。通过使用证明:和原材质相比,各种高铬铸铁备件的耐用性均成倍地提高,并逐步推广应用^[10]。

高铬铸铁的铸态基体相似于耐热钢,为奥氏体型。这种组织的铸铁在高温下使用,更能充分发挥材质本身的潜能。根据需要,通过热处理,高铬铸铁可获得马氏体基体或多相复合的基体组织。

各种不同成分范围的高铬铸铁都具有各自的性能和相应的使用范围,只有当材料性能满足特定的工艺要求时,才能发挥其潜力,取得最好的使用效果。

高铬铸铁在各种条件下的各种性能、变化趋势具有一定的规律,但由于影响因素较多,在试验中采取多种固定条件,变化一种因素来进行研究,但这种固定与变化的做法只能是相对的,因此会在局部范围内出现一些不太规律的变化。本书所实测的各种数据、所介绍的内容也受到这种控制上不够稳定的因素的影响。另外,高铬铸铁所包含的铬、碳范围较宽,可供选择的 Cr/C 区间较大,而不同选择所引起的敏感性又较强,因此必须充分考虑工况条件,以利于选择适当的研究范围和取得最佳的应用效果。由于高铬铸铁加工性能很差,也限制了试验研究的数量和范围。

在实际生产中,各种耐磨备件受到块状烧结矿、块矿、焦炭及其他磨料的磨损时,滑移、划伤、切削、研磨甚至凿削是相互叠加在一起的。使用工况条件不同,冲击力、温度、冷却条件等因素也对材料的磨损有较大影响,因此,材料的磨损过程是比较复杂的。复杂的工况条件对材料提出了多种要求,特别是冶金备件,经常是同时要求耐热、耐磨和耐冲击,因此应针对这些要求

开发相适应的高铬铸铁。为充分合理地利用铬、碳及其他合金元素的作用，开发、完善和规范高铬铸铁在冶金备件上的应用，必须对不同材料的高铬铸铁的组织、结构、各种力学性能以及热处理工艺进行系统的研究，以便获得在高温冲击磨损条件下应用高铬铸铁的基本概念、参数和多因素相互作用规律的结论；加深对合金元素应用的基础条件的理解，以使得高铬铸铁应用得以合理推广。备件在不同的工况条件下使用，选择的高铬铸铁材质也不同，要充分考虑寿命和成本的相互关系，以最合理的材质、最低限度的成本来取得最好的使用效果，以消除因使用高铬铸铁而提高了成本、提高了一次性投入的不利因素，这样才使高铬铸铁具有实际的推广应用价值。

本书着重于高铬铸铁在冶金备件上的应用，因此成分范围的设计等诸多方面的研究工作均以此为主要目标。其主要的特点是：碳含量控制在中下限，铬碳比较高，可减少碳化物数量，使奥氏体更为稳定。文中大部分数据均为试验研究实测数据，并以试样 G71（主要成分为 15%Cr, 2.016%C）的亚共晶高铬铸铁为中心，调整铬、碳及其他合金元素；研究和利用合金元素对高铬铸铁的作用；并将合理合金含量的高铬铸铁应用到实际的备件中。因此书中对高铬铸铁的阐述和应用均具有较大的实用性。

本书的高铬铸铁试验材质的熔炼共分三个阶段进行，以第一阶段熔炼的高铬铸铁为主要研究依据，熔炼所需的炉料及合金材料列于表 1-1，第一阶段熔炼的高铬铸铁的成分列于表 1-3，两表均分为不同含量的铬组、钒组、镍组、钼组、钨组、碳组共 25 种成分，铬量为 10%~25%，碳量为 1.3%~3.8%，单元合金量小于 5%。为完善研究，进行了第二阶段熔炼，以 Cr15 和 Cr25 为主并辅以多元合金，多元合金总量控制在 10% 以内，其成分列于表 1-4。第三阶段熔炼是围绕选择最佳碳含量而进行的，碳量控制在 1.4%~2.9% 范围内，成分列于表 1-5。各种铸造试样毛坯浇注的顺序、数量、规格及用途见表 1-2。

表 1-1 炉料及铁合金的实际成分

序号	炉料种类	化学成分/%					其他元素
		C	Si	Mn	P	S	
1	生铁	4.22	0.11	0.30	0.052	0.058	V: 0.31, Ti: 0.12
2	废钢	0.21	0.32	0.62	0.027	0.020	
3	低碳铬铁	0.41	1.80				Cr: 57.68
4	中碳铬铁	2.37	3.04				Cr: 64.39
5	高碳铬铁	6.59	1.96	0.34	0.040	0.040	Cr: 63.83
6	低碳锰铁	0.81	0.77	84.14			Mo: 59.79 V: 47.56 W: 80.0 Ni: 100 Al: 100 Re: 17.33, Mg: 5.58
7	硅铁		74.84				
8	钼铁	0.20	1.20		0.100		
9	钒铁	0.70	2.00				
10	钨铁	0.30	1.00	0.40			
11	镍板						
12	铝						
13	稀土合金		41.58				

表 1-2 浇注试样的顺序、数量、规格及用途

序号	试样毛坯	浇注顺序	数量	规格/mm	用 途
1	临界点、膨胀	炉内吸取	适量	$\phi 5 \times (100 \sim 150)$	测临界点、膨胀、C 曲线
2	流动性	1	2 件	$10 \times 12 \times 500$	测定流动性
3	热裂倾向性	2	2 件		测热裂发生温度、应力大小
4	线收缩	3	1 件	$10 \times 12 \times 100$	测自由线收缩数值
5	柱形冲击	4	6 件	$\phi 20 \times 120$	测圆柱形试样冲击值
6	冲击磨损	5	6 件	$\phi 16 \times 120$	测抗冲击磨料磨损能力
7	楔形试块	6	8 件	见图 1-1	加工拉伸、冲击、电镜、金相、裂纹扩展速率等试样
8	阶梯试块	7	2 件	见图 1-1	测冷却速度对硬度影响
9	抗弯性能	8	8 件	$\phi 30 \times 340$	测抗弯性能后, 加工高温耐热、高温磨损、电解等试样

材质熔炼时, 严格控制出炉温度在 $1500 \sim 1520^{\circ}\text{C}$ 范围内, 按固定顺序浇注各种试样毛坯和进行打箱, 以确保各种试样的初始条件基本相同。

表 1-3 第一阶段熔炼的高铬铸铁化学成分

炉 号	材质特征	化 学 成 分/%										
		C	Si	Mn	P	S	V	Ti	Cr	合金元素	Als	Cr/C
G71	Cr15	2.026	1.04	0.602	0.030	0.040	0.143	0.011	15.77		0.105	7.78
G72	Cr25	2.040	1.14	0.552	0.030	0.042	0.135	<0.010	25.71		0.097	12.60
G73	Cr10	1.971	1.12	0.705	0.023	0.041	0.173	0.022	10.26		0.025	5.21
G74	Cr20	1.927	1.13	0.686	0.023	0.041	0.143	0.017	20.54		0.155	10.70
G75	Cr15V0.5	2.032	1.08	0.650	0.023	0.042	0.483	0.020	15.12			7.44
G76	Cr15V1	1.970	1.13	0.672	0.023	0.039	0.960	0.025	15.84		0.115	8.04
G77	Cr15V1.5	2.051	1.16	0.780	0.025	0.037	1.520	0.019	15.79		0.150	7.70
G78	Cr15V2	2.026	1.31	0.835	0.028	0.047	1.990	0.022	15.82		0.159	7.81
G79	Cr15Ni1	1.974	1.01	0.650	0.042	0.027	0.145	0.012	15.45	Ni: 1.06	0.056	7.94
G710	Cr15Ni1.5	1.970	1.26	0.670	0.039	0.029	0.130	0.010	15.71	Ni: 1.51	0.053	7.97
G711	Cr15Ni2	1.951	1.03	0.649	0.027	0.046	0.126	<0.010	15.85	Ni: 2.02	0.059	8.12
G712	Cr15Ni2.5	1.954	1.08	0.644	0.026	0.046	0.120	<0.010	15.94	Ni: 2.43	0.062	8.16
G713	Cr15Mo1	1.972	1.01	0.676	0.028	0.045	0.122	<0.010	15.79	Mo: 0.92	0.051	8.01
G714	Cr15Mo2	2.042	1.01	0.654	0.028	0.046	0.122	<0.010	16.24	Mo: 1.83	0.041	7.95
G715	Cr15Mo3	2.018	0.95	0.639	0.028	0.050	0.121	<0.010	16.49	Mo: 2.93	0.057	8.17
G716	Cr15Mo4	1.951	1.03	0.689	0.028	0.053	0.122	<0.010	16.22	Mo: 4.01	0.045	8.31
G717	Cr15W1	1.950	1.08	0.696	0.024	0.046	0.121	<0.010	16.17	W: 1.03	0.027	8.29
G718	Cr15W2	1.903	1.11	0.647	0.024	0.043	0.109	<0.010	15.33	W: 2.12	0.024	8.06
G719	Cr15W3	2.054	1.11	0.655	0.025	0.042	0.121	<0.010	15.77	W: 3.08	0.057	7.68
G720	Cr15W4	2.034	1.08	0.684	0.024	0.038	0.121	<0.010	15.94	W: 4.42	0.034	7.84
G721	1.5Cr15	1.376	1.01	0.644	0.020	0.047	0.077	0.011	16.38		0.022	11.90
G722	2.5Cr15	2.366	1.12	0.694	0.027	0.054	0.156	<0.010	16.18		0.022	6.84
G723	3.0Cr15	2.798	1.03	0.710	0.033	0.054	0.160	<0.010	16.22		0.042	5.80
G724	3.5Cr15	3.285	1.01	0.669	0.031	0.054	0.227	0.007	16.35		0.039	4.98
G725	3.8Cr15	3.783	0.86	0.637	0.036	0.045	0.268	0.014	16.38		0.025	4.33

表 1-4 第二阶段冶炼的高铬铸铁化学成分

炉号	材质特征	化 学 成 分 / %										
		C	Si	Mn	P	S	V	Ti	Cr	合金元素	Als	Cr/C
G732	Cr15	1.876	1.02	0.690	0.022	0.048	0.129	<0.01	15.74		0.040	8.39
G734	Cr15W2Mo2	1.871	1.00	0.660	0.027	0.053	0.090	<0.01	15.51	W; 2.04, Mo; 1.49	0.085	8.29
G736	Cr15W2Mo2V	1.933	0.99	0.710	0.025	0.041	0.195	<0.01	16.17	W; 2.12, Mo; 1.51	0.190	8.37
G738	Cr15W2Mo2Ni2V	1.844	0.94	0.705	0.026	0.045	0.230	<0.01	15.94	W; 2.60, Mo; 1.63, Ni; 2.04	0.180	8.64
G740	Cr15W2Mo2Cu	1.834	0.93	0.680	0.027	0.059	0.076	<0.01	14.88	W; 2.42, Mo; 1.51, Cu; 1.2	0.110	8.11
G742	2.5Cr15W2Mo2Ni2V	2.322	0.97	0.740	0.026	0.057	0.177	<0.01	15.15	W; 2.40, Mo; 1.44, Ni; 2.04	0.191	6.52
G744	3.0Cr15W2Mo2Ni2V	2.725	0.92	0.747	0.033	0.062	0.155	<0.01	16.11	W; 2.39, Mo; 1.65, Ni; 2.05	0.171	5.91
G746	Cr25	1.924	0.89	0.738	0.023	0.045	0.125	<0.01	26.07		0.225	13.6
G750	Cr25W2Mo2	1.950	0.88	0.720	0.026	0.039	0.167	<0.01	26.68	W; 3.05, Mo; 1.80	0.130	13.7
G752	Cr25W2Mo2Ni2V	2.050	0.96	0.740	0.028	0.042	0.326	<0.01	26.97	W; 2.43, Mo; 1.63, Ni; 2.10	0.155	13.2
G754	2.5Cr25W2Mo2Ni2V	2.650	1.00	0.720	0.033	0.051	0.321	<0.01	26.31	W; 1.94, Mo; 1.70, Ni; 2.13	0.234	9.93

表 1-5 第三阶段冶炼的高铬铸铁化学成分

炉号	材质特征	化 学 成 分 / %											其他元素	Als	Cr/C
		C	Si	Mn	P	S	V	Ti	Cr						
G1	Cr16VTi	1.652	0.85	0.901	0.026	0.037	0.257	<0.012	16.28					0.036	9.85
G2		1.894	1.01	0.878	0.028	0.049	0.252	<0.011	15.91					0.034	8.4
G3		2.012	0.91	0.910	0.030	0.048	0.257	<0.011	16.14					0.036	8.02
G4		2.183	0.91	0.801	0.034	0.043	0.263	<0.012	16.31					0.033	7.47
G5		2.401	1.03	0.905	0.030	0.051	0.276	0.020	16.29					0.034	6.78
G6	Cr27W3Mo	2.188	1.11	0.917	0.032	0.041	0.278	<0.010	26.94			W:2.94, Mo:1.02			12.30
G7		2.391	1.07	0.931	0.033	0.049	0.284	<0.010	27.16			W:2.93, Mo:1.04			11.35
G8		2.522	1.02	0.911	0.034	0.053	0.278	<0.010	27.14			W:3.09, Mo:1.03			10.76
G9		2.736	1.04	0.850	0.030	0.056	0.271	<0.010	27.24			W:2.94, Mo:1.04			9.15
G10		2.950	1.09	0.890	0.034	0.058	0.254	0.024	27.01			W:2.94, Mo:1.00			9.15
G11	Cr27W3MoRe	2.495	1.03	0.875	0.032	0.066	0.150	0.010	27.34			W:2.76, Mo:0.97			10.95
G12		2.642	0.97	0.932	0.033	0.044	0.284	0.013	27.49			W:3.25, Mo:0.97			10.40
G13		2.593	0.95	0.803	0.031	0.053	0.274	0.015	27.17			W:2.96, Mo:1.03			10.50
G14		2.730	0.96	0.807	0.041	0.056	0.280	0.014	27.32			W:2.85, Mo:1.04			10.00
G16		2.558	0.99	0.824	0.034	0.054	0.242	0.012	26.32			W:2.88, Mo:0.91, Ni:1.80, Re:0.033	0.090		10.28
G17	球墨铸铁	3.425	2.95	0.766	0.023	0.029	0.253	0.028				Cu:0.053, Re:0.051, Mg:0.043			
G18		3.045	2.90	0.834	0.016	0.024	0.251	0.036				Cu:0.054, Re:0.018, Mg:0.039			
G19	半钢	1.784	0.51	0.966		0.033	0.130	<0.010				Cu:0.065		0.127	
G20	45# 铸钢	0.436	1.51	1.550		0.036	0.028	<0.010						0.127	

各种试样的毛坯在铸造时, 需充分考虑高铬铸铁较大的收缩值, 并正确设置冒口进行补偿, 以确保试样的内在质量。图 1-1 为性能试样加工尺寸。所有试样打箱后均需经过滚筒清砂, 棒状试样的冒口用砂轮切割机切除; 楔形 (V) 试样用钼丝线切割机下料至规定尺寸, 然后加工成拉伸、金相、电镜等试样。

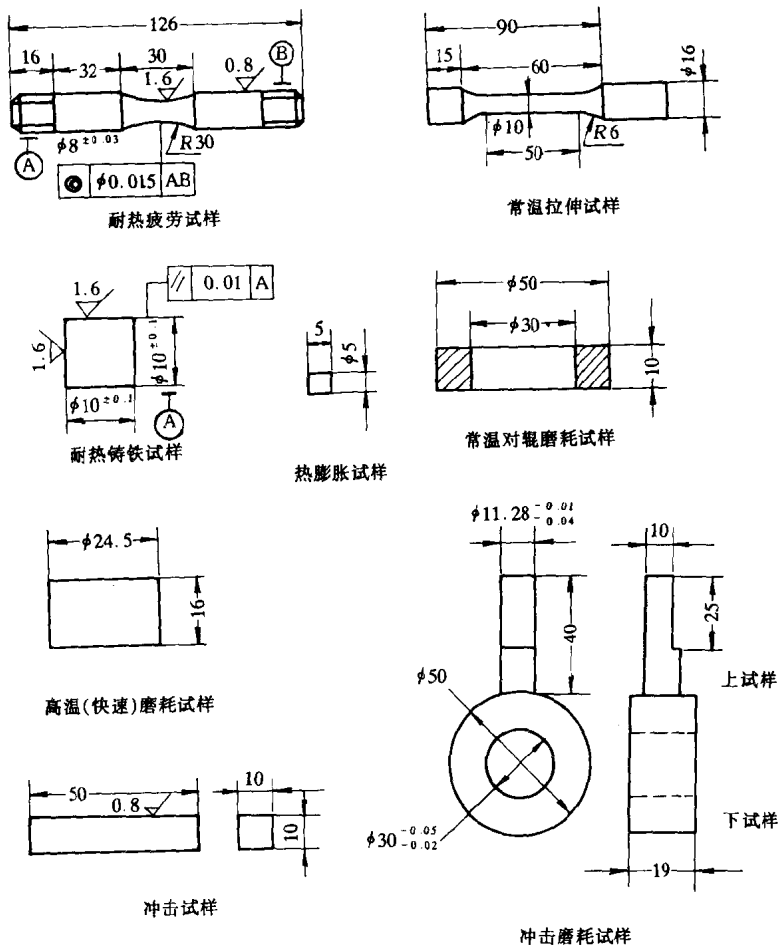


图 1-1 高铬铸铁各种性能试样加工后的尺寸

2 铬在高铬铸铁中的存在状态及分布

2.1 高铬铸铁的状态图

在铬系耐磨铸铁中通常把含铬小于 5% 的定为低铬铸铁，含铬 5%~11% 的定为中铬铸铁，铬量大于 12% 时以铁碳铬为基本成分的多元合金为高铬铸铁。本书是以耐磨、耐热的高铬铸铁在冶金备件上的应用为目标，因此研究的成分主要控制在 15%~25% Cr，1.3%~3.8% C 范围，在此基础上作适当调整，基本属于亚共晶区，即在 Fe-Cr-C 系三元合金液面投影图中的细麻点所指的部位，见图 2-1。由图可见，在凝固过程中，先形成奥氏体 (γ) 树枝状晶，继续冷却即由剩余的枝晶间液体同时析出奥氏体和碳化物所组成的共晶体^[11]。

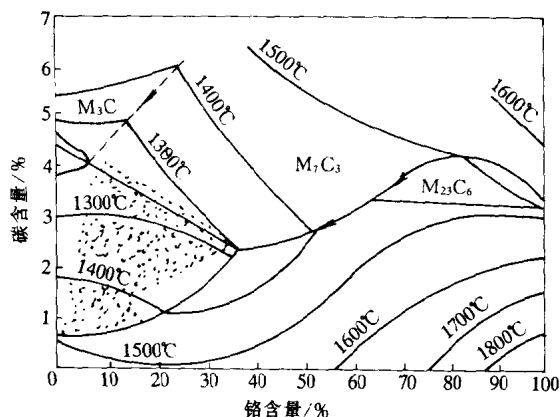


图 2-1 Fe-Cr-C 系液相面

初生奥氏体以树枝晶形态生长，树枝晶尺寸、分布与凝固速率相关，凝固块树枝晶数量增多，尺寸细小，分布较均匀。初生