

76.22/2083
HGH

14.20
5588

耐热铸铁译文集



华中工学院

湖北省科学技术委员会

1983.10

责任编辑：陈平昌

封面设计：黄心武

耐热铸铁译文集

(内部发行)

出版 华中工学院
湖北十堰市科学技术委员会

印刷 湖南涟源县印刷厂

一九八三年十月出版

印数 1—2500

前言

耐热铸铁由于其良好的工程使用性能（铸造性能和加工性能）及成本低廉等优点，在现代科学技术迅速发展的近代它在各个工业领域中已显示出了重要的作用。

为了获得尽可能多的经济效益及提高竞争力，在国外主要工业发展国家中，耐热铸铁近代以极其迅速的速度向前发展，不仅产品种类和产量与日俱增，应用领域遍及机械、冶金、化工、交通、发电、航天、核动力等部门，而且对耐热铸铁在高温时的失效形式、失效过程和机理，如氧化过程及氧化皮的结构与化学组成、热应力及热疲劳机构等的研究日臻深入。理论上的成就促进了耐热铸铁生产工艺的稳定、产品质量的提高及耐热新材质的开发。现在许多昂贵的镍铬耐热耐蚀合金钢零部件已被耐热耐蚀铸铁所取代，这引起了人们的极大兴趣，引诱着较多的研究者和用户研究使用耐热铸铁。

国内耐热铸铁特别从七十年代开始有较大的发展，积累了较丰富的经验，如西拉尔耐热铸铁（4~6%Si）已有国家标准，但目前耐热铸铁仍是一个很薄弱的领域，具体表现在：尚无专业化生产厂，生产工艺及产品质量不稳定，产品种类及产量少而不全，应用领域不广，空白之处不少，如耐热耐蚀奥氏体铸铁国内尚没研究使用，这与目前国外无论是镍资源丰富还是贫缺的国家，奥氏体镍（铬）铸铁近十年来均以极快的速度向前发展的形势是不相适应的，此外对抗热机理研究甚少。为了适应早日实现“四化”的要求，尽量缩短与世界先进水平的差距，由华中工学院铸造教研室和湖北省十堰市科学技术委员会组织及翻译出版《耐热铸铁译文集》，此译文集的重点偏重于耐热特种铸铁，其主要内容包括七十年代和八十年代国外研究耐热铸铁的最新手段和仪器设备、新型耐热铸铁及产品的研制与使用、稳定生产工艺及提高产品质量的措施和方法，以及耐热铸铁高温失效过程及机理等。

译文中许多图片（主要为显微组织照片）因翻拍不清晰而删去，但文中有关文字未做修改，特此说明。

因时间仓促，水平有限，资料也不太全，此译文集无论在选材、译文及审编等诸方面难免有不妥或谬误之处，敬请读者批评指正。

编者

一九八三年十月

目 录

耐热特种铸铁 第一部份 硅铸铁—铬铸铁	F. HENKE 著
.....陈平昌 译 罗吉荣 校	(1)
耐热特种铸铁 第二部份 铝铸铁和奥氏体铸铁	F. HENKE 著
.....陈平昌 译 罗吉荣 校	(10)
在高温下使用的铁素体球体	Jay, Janowak 等 著
.....黄志光 译 张承甫 校	(20)
耐热铸铁	Simone Bechet 著
.....戚昌文 译 熊国庆 校	(27)
耐热的奥氏体球墨铸铁	G. J. Cox 著
.....戴 衡 译 张承甫 校	(42)
含硅4%钼1~3%的耐热铸铁	K. Rohrig 著
.....陈平昌 译 罗吉荣 校	(57)
耐热材料的选择	堀内康雄 著
.....戴绪绮 译 林汉同 张俊德 校	(65)
低价格合金铸铁的耐热特性	彦坂武夫等 著
.....戴绪绮 译 林汉同 张俊德 校	(74)
铝合金灰铸铁——室温与高温性能	E. U. Petitbon 等 著
.....吴广忠 译 张承甫 校	(82)
高级铜、铝、硅合金耐热片墨和球墨铸铁	N. JANAKIEV 著
.....陈平昌 译 罗吉荣 校	(93)
特种铝合金片墨和蠕墨铸铁	N. JANAKIEV 著
.....陈平昌 译 罗吉荣 校	(96)
用铜和铝合金化提高内燃机用铸铁的抗氧化和抗生长性能	N. JANAKIEV 著
.....陈平昌 译 罗吉荣 校	(102)
加铜提高铝——硅合金工程铸铁的机械性能和工艺性能	K. Zeppelzauer 等 著
.....陈平昌 译 罗吉荣 校	(109)
高温耐热铸铁的试验和生产	Donald 等 著
.....刘克明 译 张承甫 校	(118)

- 耐热球墨铸铁 John Schuyten 著 金合海 译 苏国勋 译 张承甫 校 (123)
- 一种耐高温的奥氏体球墨铸铁 N. L. Church 等 著 李学坤 译 刘瑞祥 校 (132)
- 铝合金铸铁的性能 R. P. WALSON 著 陈平昌 译 罗吉荣 校 (140)
- 高温对奥氏体球铁的组织 and 性能的影响 G. J. Cox 等 著 韦世鹤 译 张承甫 校 (146)
- 在高达725℃时几种奥氏体球墨铸铁的蠕变——断裂特性和抗热能力 G. J. Cox 著 肖理明 译 刘瑞祥 张承甫 校 (169)
- 用于柴油机零部件的合金灰铸铁的高温性能 R. B. Gundlach 著 雷一妍 译 张承甫 校 (184)
- 镁处理含铝铸铁耐热性的研究 仓井和彦 等 著 戴绪绮 译 林汉同 张俊德 校 (199)
- 蠕虫状石墨铸铁的热性质 石原安兴 著 张军 译 林汉同 张俊德 校 (208)
- △用碱土金属与稀土金属元素变质处理的灰铸铁的
抗生长性与耐热性 H. H. TAHHEB 等 著 刘瑞祥 译 (217)
- 钼对灰铁高温性能的影响 G. K. Turnbull 等 著 胡德生 吴国泰 译 张承甫 校 (219)
- 低合金球墨铸铁的高温特性 千田昭夫 等 著 张军 译 林汉同 张俊德 校 (229)
- 在649~980℃范围内含铝灰铸铁和球铁的显微组织和强度 J. A. Yaker 等 著 肖理明 译 刘瑞祥 张承甫 校 (234)
- 铸件的高温性能 戴衡 译 张承甫 校 (253)
- 铸铁在奥氏体域温度的力学性质 梅田高照 等 著 张军 译 林汉同 校 (257)
- 合金元素对铸铁高温性能的影响及耐热合金铸铁的熔铸工艺特点 罗吉荣 摘译 陈平昌 校 (265)
- 灰口铸铁和白口铸铁的氧化行为 Harish D. 等 著 罗友农 译 张承甫 校 (286)

低合金球墨铸铁的高温氧化 小松康彦 等著 张 军 译 林汉同 校 (304)

球墨铸铁在 900℃ 时的氧化 C. PELHAN 著 陈平昌 译 罗吉荣 校 (312)

高合金铸铁氧化皮的结构 C. PELHAN 等著 陈平昌 译 罗吉荣 校 (320)

灰铁和球铁的热疲劳 K. Röhrig 著 黄志光 译 张承甫 校 (327)

用于柴油机零部件的合金灰铸铁的热疲劳抗力 R. B. Gundlach 著 雷一妍 译 张承甫 校 (342)

关于反复加热所产生的球铁的生长和微观组织的变化 柏马 询等 著 戴绪绮 译 林汉同 校 (356)

铁素体球铁和蠕虫状石墨铸铁热疲劳裂纹的扩展过程 柳迟平 等著 张 军 译 林汉同 校 (364)

铸铁的抗热冲击性能 第一部份 F. HENKE 著 陈平昌 译 罗吉荣 校 (370)

铸铁的抗热冲击性能 第二部份 F. HENKE 著 陈平昌 译 罗吉荣 校 (387)

铸铁的抗热冲击性能 第三部份 F. HENKE 著 陈平昌 译 罗吉荣 校 (398)

尼列西斯特球墨铸铁 (高镍耐热球墨铸铁) 的可焊性 S. N. ANANT 等 著 沈其文 译 林兆凤 校 (408)

铸铁冶金学的技术进展——有关耐热铸铁部份 J. JANOVAK 等 著 黄志光 译 张承甫 校 (424)

..... 黄志光 译 张承甫 校 (424)

..... 黄志光 译 张承甫 校 (424)

..... 黄志光 译 张承甫 校 (424)

..... 黄志光 译 张承甫 校 (424)

..... 黄志光 译 张承甫 校 (424)

第一部份

硅铸铁——铬铸铁

C. HENKE

一、概 述

特种铸铁可分为以下几类:

- (1) 含硅 4—6% 的片墨或球墨硅合金铸铁 (需要时含有少量 Al、Cr);
- (2) 含铬 10—35% 及有一些还含镍、钼的无游离石墨的铬合金铸铁;
- (3) 含铝 4—7% 或 20% 以上的片墨铸铁或球墨铸铁和无游离石墨的铝合金铸铁;
- (4) 用镍、铜、铬、硅合金化的奥氏体铸铁, 在德国工业标准 1694 中分片墨和球墨奥氏体铸铁。

化学成份及机械性能概述于表1和表2, 图1相互比较了上述铸铁的抗氧化性能, 图2为各种铸铁的持久强度。

二、硅 铸 铁

如图 3 所示, 铸铁的抗氧化及抗生长性能随硅含量的提高而增加, 硅含量高体积稳定性好, 基于此因原, 出现了 5~7%Si 的耐热铸铁, 因开始试验时含有一定的铝, 所以这种铸铁被称作西拉尔 (Silal), 也有时加入其他元素 (主要是铬)。

如表 1 所示片墨硅铸铁室温机械性能波动很厉害, 硅铸铁在室温时相当稳定, 但硅含量高时铁素体变脆, 韧性随温度升高而增加, 并大大超过普通片墨铸铁 (见图 5), 持久性能如图 1 及表 2 所示。

由于硅含量高，硅铸铁为铁素体基体，硅提高 $\alpha-\gamma$ 相变温度，每1% Si可提高50—60℃，含硅6%时， $\alpha-\gamma$ 相变温度在950—980℃，而普通铸铁为760℃^[5]，因此在通常允许的工作温度下不会产生相变。相变时产生体积膨胀导致铸件变形，此外还产生应力导致形成裂纹加速内部氧化，相变温度处于使用温度范围的铸铁，其体积稳定性比相变温度高的铸铁

表一 片状石墨或碳化物组织的耐热特种铸铁化学成份和性能

化 学 成 份 (%)	铸 铁 种 类				
	硅 合 金 铸 铁	铬 合 金 铸 铁	镍 合 金 铸 铁	镍 铬 硅 合 金 铸 铁	铝 合 金 铸 铁
C.....	1.6—2.5	1.8—3.0	1.8—3.0	1.8—2.6	1.3—1.7
Si.....	4.0—6.0	0.5—2.5	5.0—6.0	5.0—6.0	1.3—6.0
Mn.....	0.4—0.8	0.3—1.5	0.4—1.0	0.4—1.0	0.4—1.0
Ni.....	—	0—5	13.0—32.0	13.0—32.0	—
Cr.....	—	15.0—35.0	1.8—5.5	1.8—5.5	—
Cu.....	—	—	0—10.0	0—10.0	—
Mo.....	—	—	0—1.0	0—1.0	—
Al.....	—	—	—	—	18.0—25.0

物理性能

密度(公斤/分米 ³)	6.81—7.08	7.33—7.50	7.33—7.50	7.36—7.48	5.56—6.44
膨胀系数(10 ⁻⁶ /℃, 21℃)	10.8	9.36—9.90	8.1—19.25	12.6—16.2	15.3
比电阻(欧姆·毫米 ² /米)	(2.0)	—	1.4—1.7	1.5—1.7	2.4
最高使用温度(℃)	900	1090	820	950	1090

机械性能

抗拉强度(公斤/毫米 ²)	18—32	21—63	18—32	14—32	24—63
抗压强度(公斤/毫米 ²)	63—105	70	70—112	50—70	—
抗弯强度(公斤/毫米 ²)	18.6—44.7	37.2—65.2	33.5—55.8	33.5—46.6	—
挠 度 (毫米)*	4.6—8.9	1.5—3.8	5.0—25.4	7.6—35.5	—
冲击韧性(米公斤)**	2.1—3.2	2.8—4.8	8.3—20.7	11.1—20.7	—
布氏硬度(公斤/毫米 ²)	170—250	250—500	130—250	110—210	180—350

* 试棒 $\phi 30.2\text{mm}$, 支撑间距 457mm, ** 试棒 $\phi 30.2\text{mm}$, 支撑间距 108mm, 无切口。

差得多。

片墨应尽可能小, 氧沿片墨渗入铸铁内部产生内部氧化, 这不仅引起生长, 而且产生应力, 使铸件表面起保护作用的氧化皮受到破坏, 因此硅铸铁应尽可能为 D 型石墨, 粗大的初生石墨是极其有害的, 其晶度不要比 1 大很多, D 型石墨提高高温强度, 增强防止继续氧化的表面氧化层的粘附作用。

用普通的镁中间合金处理铁水即可得到球墨铸铁, 其机械性能, 特别是抗氧化及体积稳定性比相应的片墨铸铁高, 图 6 比较了不同硅含量时球墨和片墨硅铸铁的常温机械性能。用镍合金处理的铸铁, 其高温性能如表 7, 图 8 例举了温度和化学成份对氧化性能的影响。如图 9 所示, 低于 800℃ 时, 球铁和片墨铸铁的氧化性能几乎相同, 900℃ 时前者比后者好, 特别是生长性能差别很大。图 10 a 和 b 对比表明, 球铁抗生长性好, 基于氧沿片墨和细

表二 各种耐热铸铁的高温性能

温 度 (°C)	20	200	300	400	500	600	700
铸 铁 种 类	高 温 抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)						
非 合 金	33	31.5	33	33	20	7.8	—
铸 铁	19	17	19	17	11	4.7	—
西 拉 尔	25	—	—	—	23	22	7.8
球 墨 铸 铁	54	49	50	42	36	16	6.3
Ni—Resist I型 (片状石墨)	—	—	—	24	16	—	9.5
Ni—Resist 4型 (球状石墨)	—	—	—	39	35	—	20
尼克罗西拉尔 镍铬硅铸铁	27	—	—	—	20	19	27

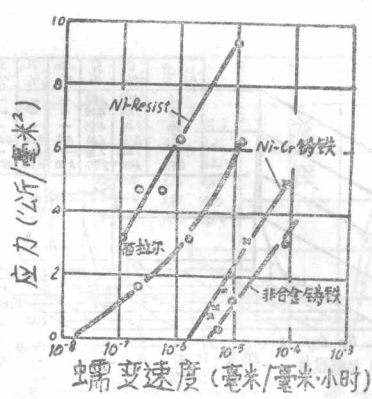


图 1 四种铸铁在 580°C 时蠕变速度 (毫米/毫米小时)

种 类	1000 小时 蠕变 速度 (%)	温 度 (°C)					
		340	400	450	500	540	650
		在一定蠕变速度下的应 力(公斤/毫米 ²)					
非 合 金 铸 铁	0.01	11.0	—	2.5	—	—	—
	0.1	16.8	—	5.7	—	—	—
	1.0	—	—	10.2	—	—	—
西 拉 尔	0.01	15.7	—	4.7	—	1.6	—
	0.1	—	—	—	—	2.7	—
	1.0	—	—	—	—	6.1	—
球 墨 铸 铁	0.01	—	—	—	—	—	—
	0.1	—	—	—	—	—	—
	1.0	—	29.9	18.5	10.4	—	—
NiResist	0.01	—	—	6.1	—	2.5	—
	0.1	—	—	9.7	—	6.3	—
	1.0	—	—	—	—	9.6	—
NiResistD ₂ (球 墨)	0.01	—	—	—	—	6.3	2.4
	0.1	—	—	—	—	15.7	5.5
	1.0	—	—	—	—	—	—
尼 克 罗 西 拉 尔 镍 铬 硅 铸 铁	10.0	—	—	—	—	—	—
	0.1	—	—	3.5	—	1.1	—
	1.0	—	—	6.4	—	2.2	—

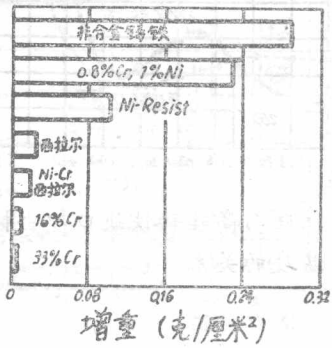


图 2 900°C 空气中退火时各种铸铁的氧化增重

小裂纹深入内部引起生长，因此球铁抗氧化性好，因球墨不能作为氧的通道，并且抗热冲击性能较高亦能防止循环退火时产生裂纹。

硅铸铁中加入少量的铬对抗氧化性及体积稳定性无明显影响，但加约4% Al影响很大，如图11，但机械性能降低，如同其他铝铸铁一样硬度高铸造工艺性不好。

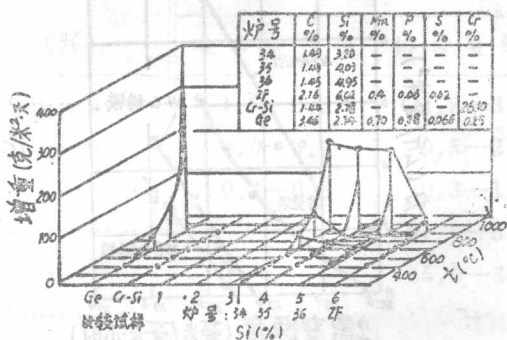


图3 不同硅含量片墨铸铁的抗氧化性能

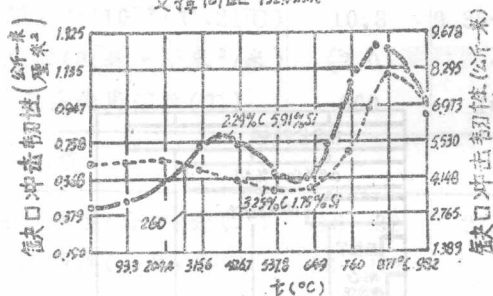
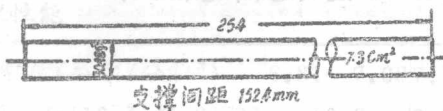


图4 受到温变应力时长度生长与硅量的关系

图6 低硅与高硅铸铁缺口冲击韧性及温度的关系

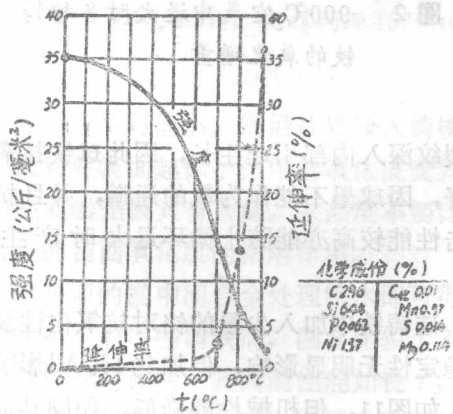


图7 含6.44%si球铁高温强度

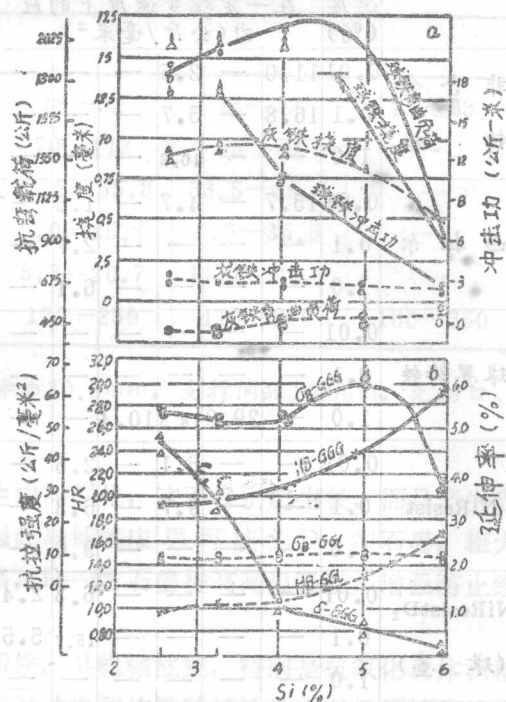


图6 片墨和球墨铸铁室温机械性能 (C.E. 4.29—4.54%, 0.79% Mn, 0.15—0.19% P, 片墨铁0.03% S)

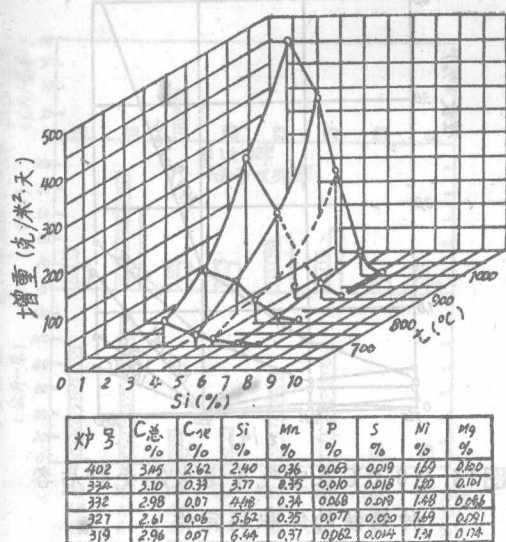


图8 硅对硅铸铁抗氧化性的影响

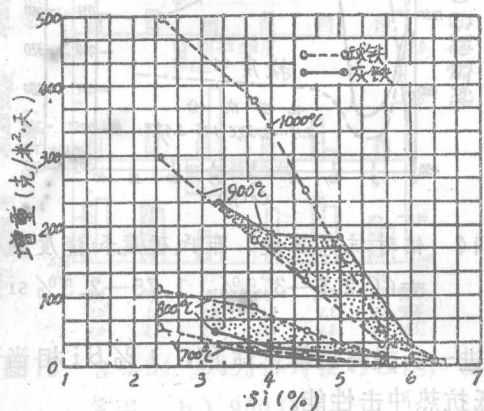


图9 不同温度退火96小时后的氧化增重

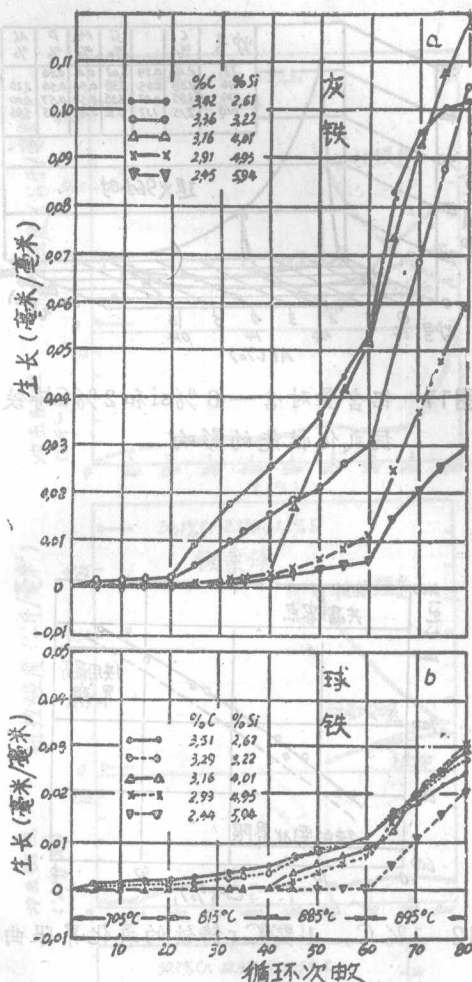


图10 a) 片墨铸铁的生长, b) 球铁的生长 (加热保温30分, 炉冷至150—200°C)

三、铬 铸 铁

加铬显著地提高铸铁的高温性能, 在低合金铸铁中就有这种作用, 铬含量超过10%时特别突出, 如图12所示, 加入的铬量与工作温度相适应时, 仍能保证铸铁在很高的温度下完全不氧化, 虽此图是由钢得出的, 但也适合于铸铁, 提高C、Si含量亦能提高铸铁的抗氧化性能和抗生长性能, 因不会产生内部氧化 (如图13)。铬提高相变温度, 只要适当选择铬含量就可使使用温度处于相变温度以下, 从而大大减小应力和变形, 抗氧化及体积稳定性高是由

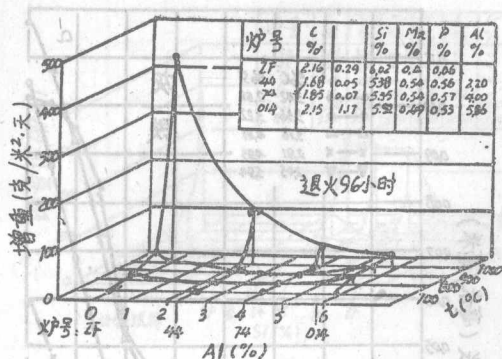


图11 铝含量对含—6%Si和2%C铸铁抗氧化性能的影响



图13 1050°C在空气中退火24小时后各种铸铁的体积稳定性

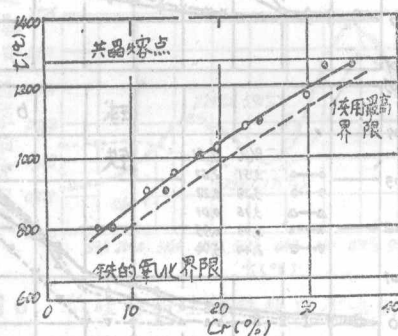


图12 1% C, 1% Cr铸铁的氧化界限曲线

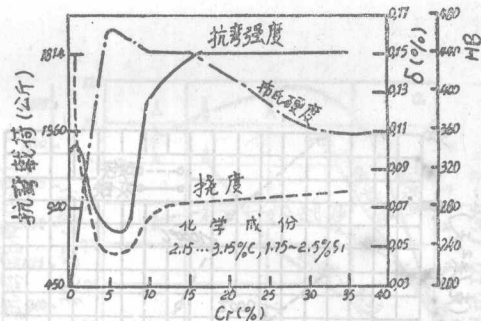
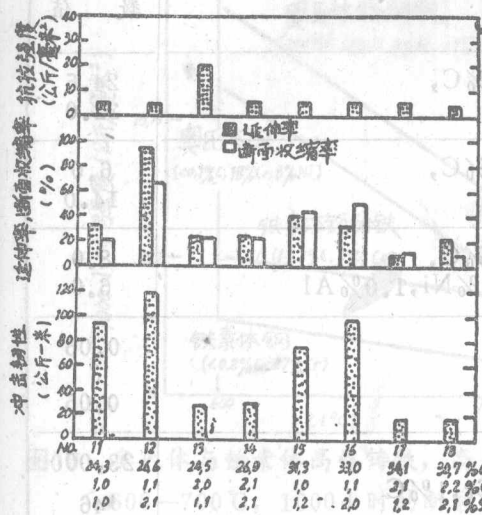


图14 铬对抗弯强度、布氏硬度和挠度的影响(C 2.5—3.5%, 1.75—2.5% Si)

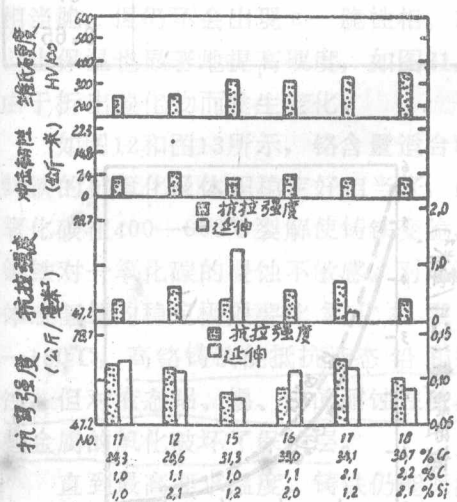
于在表面形成了一层致密的氧化层, 提高硅含量可进一步提高抗氧化性能, 1% Si 相当于 2% Cr 的作用。众所周知硅提高相变温度, 但降低抗热冲击性能。

高的铬量压抑石墨的析出, 铬含量低时 Fe—Cr—碳化合物代替石墨, 含铬高时为碳化铬。铬缩小 γ 区提高相变温度, 根据硅含量铬含量 25—30% 铸铁为稳定的铁素体, 而铬含量低时为珠光体, 加 10—15% Ni 为稳定奥化体组织。

虽然高铬铸铁为碳化物基体, 但可加工, 近共晶高铬铸铁的硬度、抗弯强度和挠度与铬含量的关系如图 14 所示, 铬含量低时硬度高, 组织为渗碳体, 随着铬含量的增加铸铁的硬度降低, 因碳化铬比渗碳体软, 此外因脆性下降抗弯强度和挠度提高, 各种不同的珠光体和铁素体高铬铸铁的室温和高温机械性能如图 15 所示, 图 16 为铁素体铸铁、珠光体铸铁和奥化体铸铁的高温性能, 弹性模量 (E)、导热系数和热膨胀, 系数补充于表 3, 铁素体高铬铸铁经氮、钛处理可细化晶粒, 显著提高抗拉强度。



a)



b)

图15 含铬24—34%铬铸铁的性能, a) 室温, b) 900°C

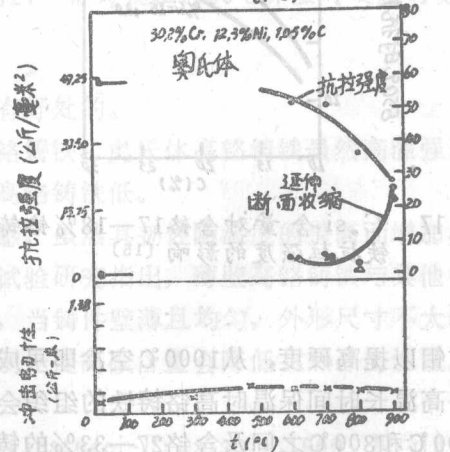
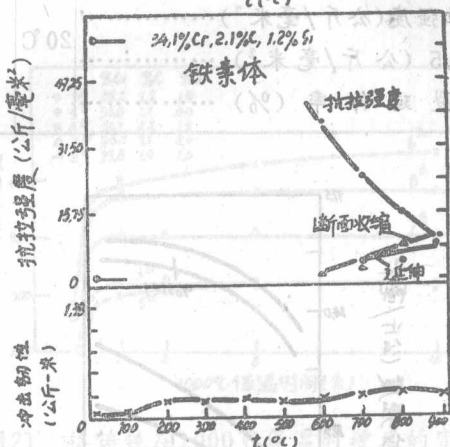
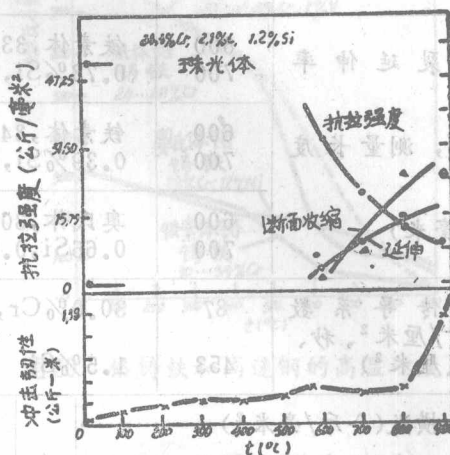


图16 三种铬铸铁的抗拉强度, 延伸率, 断面收缩率与温度的关系 [14]

高铬铸铁在高温时也有相当好的强度, 如图16、如图17所示, 增加碳硅含量进一步提高高温强度。图18为珠光体和铁素体疲劳强度与温度的关系。图19对比了铁素体、珠光体高铬铸铁和同类型的钢1000小时的持久强度, 铸铁持久强度比较高, 图20为高铬铸铁和高速钢的高温硬度, 马氏体高铬铸铁还

表三

几种铬铸铁在不同温度的物理性能

性能	温度 (°C)		数值
断裂延伸率	600	铁素体, 33.7%Cr, 0.98%C, 0.73%Si, 0.29%Mn	24.5
	700		22.0
(%, 测量长度 50毫米)	600	铁素体, 34.8%Cr, 1.88%C, 0.39%Si, 0.39%Mn	6.0
	700		14.0
	600	奥氏体, 30.2%Cr, 0.99%C, 0.66Si, 0.29%Mn, 15.2%Ni, 1.0%Al	8.0
	700		6.0
热传导系数 (卡/厘米 ² ·秒、 °C·厘米 ²)	87	30.0%Cr, 1.7%C 1.5%Si	0.05
	453		0.05
E—模数(公斤/毫米 ²)		铁素体29%Cr, 1%C 20°C	23,000
抗拉强度(公斤/毫米 ²)			46
σ _{0.5} (公斤/毫米 ²)			37
断裂延伸率(%)			0.65

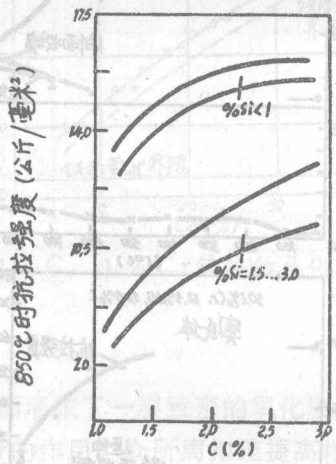


图17 C、Si含量对含铬17—18%铬铸铁抗拉强度的影响 [15]

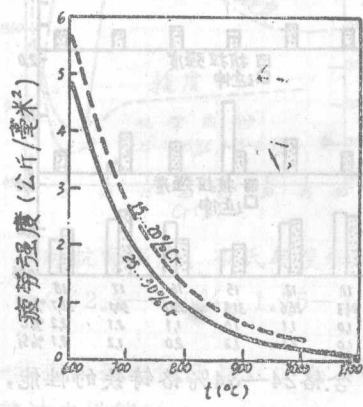


图18 两种铸铁疲劳强度与温度的关系

含有钼以提高硬度，从1000℃空冷即可成为马氏体。

高温长时间保温时高铬铸铁的组织会发生变化，影响硬度及韧性。含铬15—18%的铸铁在600℃和800℃之间及含铬27—33%的铸铁在450℃和550℃之间长时间保温时，析出特殊的细小碳化物而硬化。铁素体高铬铸铁在700℃和800℃间保温时出现ε—脆性相，铬含量尽可能低而刚好处于稳定铁素体区域时可遏止ε—相析出，此外硅和锰含量应低于0.5%，磷低于0.05%，加1%的铝也是有利的。尽管奥氏体高铬铸铁在600℃以上由于析出碳化物相而

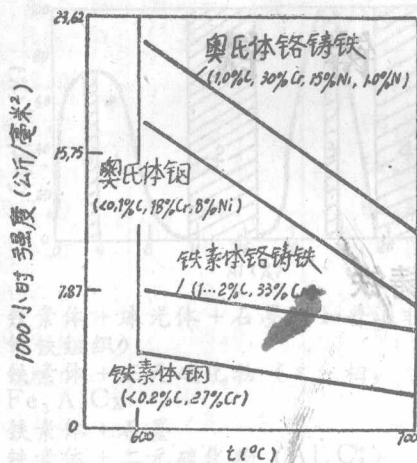


图19 奥氏体与铁素体高铬铸铁，高合金钢
600—700℃，1000小时的断裂强度

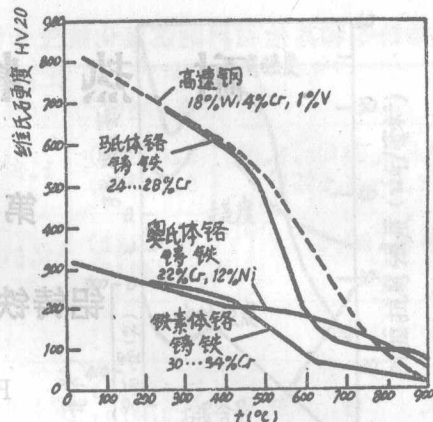


图20 铬铸铁和高速钢的高温硬度

相当脆，但仍不会出现 ϵ —脆性相。1000℃以上保温也显著地提高硬度，如图21，这样由于析出碳化物而发生老化。

如图12和图13所示，铬含量适合时高铬铸铁的抗氧化及体积稳定好相当好，此外一氧化碳在400—600℃裂解使铸铁变脆，高铬铸铁对一氧化碳的浸蚀不敏感。对还原性气体或氢气的稳定极限要比氧化极限低100—180℃，高铬铸铁能抵抗液态铅和铜的浸蚀，但对液态铝、锡、锑的耐蚀性差，因这些金属的氧化破坏了保护层。

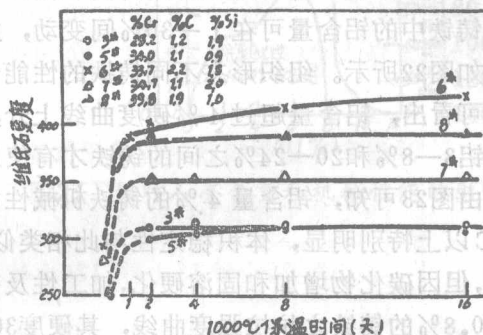


图21 铬铸铁在1000℃保温时硬度的变化

直到最高要求温度，铸铁仍能保持高的强度是有好处的。最常用的高铬铸铁为含铬25—35%的铁素体高铬铸铁，奥氏体高铬铸铁虽然高温强度高但应用不广，因镍含量高价格昂贵以及韧性比其他高铬铸铁低。

所有高铬铸铁都很脆，因此对冲击和碰撞很敏感，虽然其韧性随温度的提高而增加，但抗热冲击性能相当差，但文献^[10]对各种耐热铸铁试验研究指出，薄壁高铬铸铁与其他铸铁的抗热冲击性几乎相等，实际生产也证实了此结论，当铸件壁薄且均匀，外形尺寸不大时，要高铬铸铁有很好的抗热冲击性能，提高硅含量，特别是提高碳含量会降低抗热冲击性能。

译自《Giesserei-Praxis》1969 N°13
陈平昌 译 罗吉荣 校

耐热特种铸铁

第二部份

铝铸铁和奥氏体铸铁

F. HENKE

四、铝 铸 金 铁

铸铁中加入一定量的铝能提高抗氧化及抗生长性能。

铸铁中的铝含量可在1—30%间变动，此区域内分石墨化成份范围和非石墨化成份范围，如图22所示。组织形态不同铸铁的性能也不一样，图23为含铝量低于12%铸铁的机械性能，可看出，铝含量超过4%硬度曲线上升，结果加工性变坏，且脆性增加，因此实际上只有含铝3—8%和20—24%之间的铸铁才有使用价值，含铝量在此二者间的铸铁既硬又脆。

由图23可知，铝含量4%的铸铁机械性能最好，但由于石墨含量高抗氧化性能相当差，800℃以上特别明显，体积稳定性与此相类似，如图25，铝含量提高到7%抗氧化及体积稳定性改善，但因碳化物增加和固溶硬化，加工性及韧性变坏，但加入3%铬有好转，图26为含铝7%和含铬0.8%的铸铁之抗拉强度曲线，其硬度360公斤/毫米²处于可加工范围内，表4为各种铸铁在燃烧气体中的抗氧化和体积稳定性，含铝铸铁稳定性好，特别在含硫气氛中尤为突出。

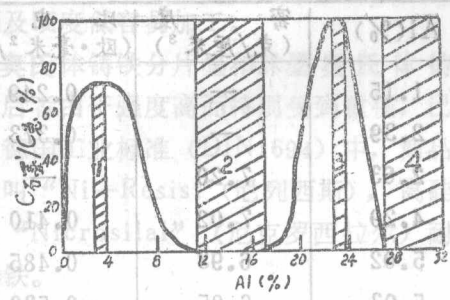
上述铸铁铬含量大约可提高到3.6%，不会使加工性能显著恶化。意大利使用如下铸铁作为各种耐热零件^[23, 24]：4% Al, 2% Cr和7% Al, 3% Si, 3% Cr, 3% C, 0.8% Mn，这个经验数据必须严格控制，因偏离此成份时铸铁将变得又硬又脆。

高铝铸铁加铈或镁成为球墨铸铁，除大大提高机械性能特别是韧性以外，还提高抗氧化性能，这从铝含量相当低（2.5%）开始就体现了这一点，如表5。

铸铁密度随铝含量的增加而减小，同时电阻增大（表6），此合金用作电阻片。

高铝铸铁的主要问题是铸造性能差，易产生内部疏松和二氧化铝夹杂，因此熔化和浇注时要特别谨慎小心，经验性很强，以至于绝大多数只能由专业铸造厂生产。

东方集团国研制了含铝量更高的铸铁，含19—24%铝的铸铁又变成灰铸铁且加工性能好，叫做“Tschugal”（见图22），此外还有含铝28—30%的高铝铸铁，但是碳化物组织。铸铁“Tschugal”成份为1.3—2.5% C, 0.8—2.0% Si, 0.8% Mn, 19—24% Al，其抗拉强度很低，只有10—16公斤/毫米²，HB = 250—300公斤/毫米²，由于出现坚硬的固溶体和金属间化合物相，因此很脆，且随硅含量的提高硬度和脆性也提高。加0.2—0.4% Ce成为球墨铸铁，在硬度几乎差不多的情况下抗拉强度提高到45—50公斤/毫米²，且提高了韧



- 1 = 铁素体 + 珠光体 + 石墨 (如普通非合金铸铁组织)
- 2 = 铁素体 + 三元碳化物 (ϵ -相, Fe_3AlC_x)
- 3 = 铁素体 + 石墨
- 4 = 铁素体 + 二元碳化物 (Al_4C_3)

图22 其他元素特别是硅含量低的铝铸铁组织图, 石墨碳与总碳量之比与铝量的关系

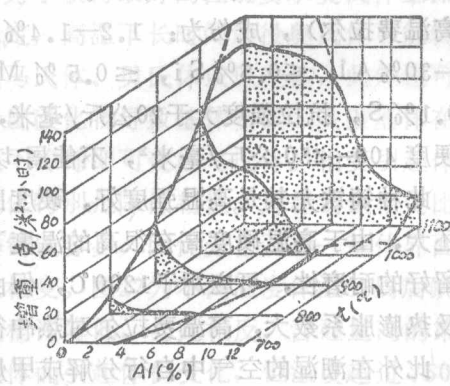


图24 铸铁在空气中的抗氧化性能与温度和铝量的关系

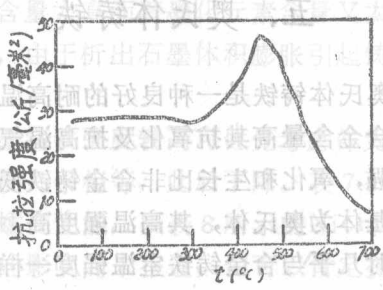


图26 铝铸铁的高温强度 (2.70% C, 7% Al, 0.8Cr)

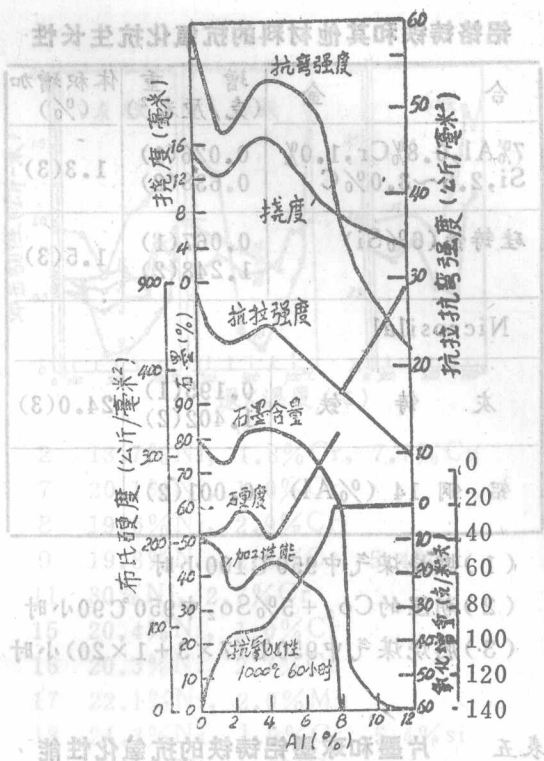


图23 铝对石墨含量和机械性能的影响

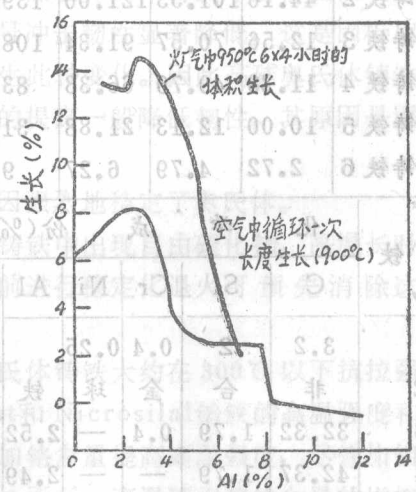


图25 铸铁体积增加与铝含量的关系