

钒钛铸铁生产与研究

内部资料

渡口市计委钒钛铸铁推广小组
攀枝花钢铁研究院

1976.1

毛 主 席 语 录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总是不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

一个正确的认识，往往要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

目 录

- (一) 钒钛铸铁的生产与研究.....攀枝花钢铁研究院 (1)
- (二) 钒钛生铁在我厂铸造生产上应用的初步总结
.....渡口煤炭指挥部机电修配厂 (64)
- (三) 攀钢钒钛生铁在我厂铸造生产上的应用.....十九冶机修厂 (74)
- (四) 用钒钛生铁生产球墨铸铁小结.....渡口农机厂 (79)
- (五) 钒钛生铁试制“195”型柴油机铸件初步总结
.....渡口市公路养护总段机运队 (93)
- (六) 用攀钢洗炉铁生产珠光体球墨铸铁.....交通部渡口造船厂 (99)
- (七) 钒钛铸铁X线相分析.....攀枝花钢铁研究院 (112)
- (八) 钒钛铸铁中铁素体内钒夹杂物的电子衍射.....攀枝花钢铁研究院 (121)
- (九) 钒钛生铁与钒钛铸铁中钒化物相分析试验.....攀枝花钢铁研究院 (124)
- (十) 钒钛稀土球墨铸铁的化学分析.....攀枝花钢铁研究院 (134)
- (十一) 钒钛铸铁及顶吹氧气转炉钢中氧的化学光度法测定
.....攀枝花钢铁研究院 (145)

钒钛铸铁的生产与研究

攀枝花钢铁研究院

钒钛生铁作为一种铸造材质，在攀枝花地区已获得应用和推广。这种新的铸造材质在国内外均已引起重视，并开展了这方面的试验。例如，在国内近几年先后有北京第一机床厂，无锡机床厂，成都机床厂等单位在铣床和磨床上试用钒钛耐磨铸铁，其耐磨性能比普通铸铁提高1—2倍，经过有关单位的对比试验，钒钛耐磨铸铁的耐磨性能已达到国际先进水平。

据一些资料的介绍〔1〕，国外对钒钛铸铁也进行了一些研究。先后曾有英国等十三个国家利用钒钛生铁制作轮船的汽缸和汽缸套，其寿命比普通珠光体铸铁提高一倍以上。在挪威、瑞典和丹麦比较广泛地将钒钛生铁用于所有类型较小的轮船发动机上，挪威声称“每只船上实际上都安装了钒钛马达”，据统计钒钛生铁的汽缸可以降低磨损60—70%。英国在钢锭模中曾配加15%钒钛生铁(V, 0.5~0.7%; Ti, 0.3~0.5%)，与不含钒钛的钢锭模比较(Si, 2.2%; Mn, 0.7%)，其寿命提高约25—75%。并指出含钒量过高，钢锭模在使用过程中会产生纵裂。苏联为提高钢锭模质量曾多次向铸铁中加入钒合金〔2〕。

攀钢钒钛生铁自投产以来，攀枝花地区各铸造厂和科研单位一道，立足于本地资源，对钒钛生铁进行了试验研究和生产试验。经过几年来的努力，已初步摸索出一套较为合适的钒钛生铁熔炼和加工工艺；同时对钒钛生铁应用于各种类型的铸造材质领域：灰铸铁、球墨铸铁、耐磨铸铁、可锻铸铁等进行了摸索和试验；对于各类钒钛铸铁的各种基本特性，力学性能、耐磨性能、耐热性能、抗腐蚀性能等进行了较为广泛的普查；对于钒钛二元素存在的状态，分布的情况，本身的特性及其对铸铁作用的机理进行了一系列的测试、检验、分析和探讨；对重点试验产品进行了各种检验和使用标定。为在攀枝花地区建立钒钛铸铁系列打下了基础，把钒钛铸铁在铸造方面的应用逐步推向一个新的阶段。

下面将按照各有关专题分别进行阐述。

一 钒钛生铁的概述

攀钢生产的钒钛生铁为一种低磷的多种合金元素的生铁。经过全分析共有十三种元素，除碳、硅、锰、磷、硫、钒、钛及铁外，还含有铬、镍、钴、铜及钨等微量合金元素。

素（其总量在0.2%左右），见表一。依据地质资料，钒钛磁铁矿中尚有铌、钽、镓及铂族的稀有元素，关于它们的情况尚待进一步专题研究。

目前攀钢实际生产的共有三种钒钛铁：第一种为钒钛生铁，属于通常的炼钢生铁；第二种为调整炉况而生产的低钒高钛或低钛低钒的铸造生铁，成分没有一定规格，又称洗炉铁；第三种是经过雾化提钒后的生铁（半钢）。它们的成份列于表二、表三中。其中以钒钛生铁为主，洗炉铁为副，半钢是经提钒后直接兑入混铁炉中，故产品较少。

表一 攀钢钒钛生铁的全分析

编号	取样情况	化 学 成 分 %												
		C	Si	Mn	P	S	V	Ti	Cr	Co	Ni	Cu	W	Nb
1	高炉取样	4.16	0.30	0.23	0.035	0.047	0.41	0.38	0.045	0.038	0.022	0.042	0.01	0.002
2	”	4.12	0.32	0.14	0.036	0.057	0.39	0.30	0.042	”	0.026	0.048	”	”
3	”	4.12	0.20	0.22	0.032	0.047	0.41	0.25	”	”	”	”	”	”
4	吹钒后 取样	3.7	0.03	0.07	0.02	0.050	0.05	0.015	0.038	0.040	0.030	0.047	”	”
5	冲天炉 取样	4.02	1.56	0.92	0.091	0.091	0.286	0.098	0.034	0.030	0.041	0.032	”	”
6	高频炉 取样	3.60	2.92	0.73	0.040	0.040	0.40	0.103	”	0.036	0.04	”	”	”

表二 攀钢钒钛铁的品种及成分范围

生 铁	化 学 成 分 %							备 注
	C	Si	Mn	P	S	V	Ti	
钒钛生铁	3.9-4.2	0.19-0.44	0.19-0.285	0.019-0.029	0.002-0.088	0.335-0.456	0.142-0.30	100炉平均
洗 炉 铁	3.9-4.2	0.8-1.83	0.31-0.40	0.059-0.1	0.040-0.105	0.06-0.161	0.185-0.305	50炉平均
半钢（生铁）	3.5-3.7	0.01-0.036	0.05-0.09	0.018-0.023	0.041-0.080	0.027-0.06	0.011-0.018	100炉平均

表三 钒钛生铁和洗炉铁生产中的成分波动范围*

生 铁	统 计 年 份	化 学 成 分						备 注
		Si	Mn	P	S	V	Ti	
钒钛生铁	73	0.17- 0.367	0.170- 0.225	0.017- 0.031	0.012- 0.078	0.369- 0.423	0.12- 0.263	
钒钛生铁	74	0.17- 0.31	<0.4	0.031- 0.079	0.018- 0.098	0.15- 0.45	0.13- 0.27	
钒钛生铁	75 上半年	0.21- 0.34	0.24-0.4	0.018- 0.028	0.04- 0.104	0.36- 0.42	0.14- 0.28	
洗炉铁	73	1.29- 3.32	0.56- 1.47	0.06- 0.176	0.01- 0.08	0.053- 0.124	0.197- 0.572	
洗炉铁	74	0.8- 3.35	0.28- 1.05	0.012- 0.142	0.021- 0.118	0.07- 0.18	0.11- 0.41	其中有7 炉 Mn达1.8- 3.00
洗炉铁	75 上半年	1.18- 3.29	0.22- 1.58	0.054- 0.108	0.023- 0.178	0.09- 0.19	0.17- 0.37	

* 高炉正常生产的成分的上、下限范围

钒钛生铁为亚共晶生铁，铁锭断面为白亮色柱状晶，见图1，遇冷却水或搬运过程中经常自行断裂成碎块。洗炉铁为含钛和硅较高的铸造生铁，铁锭断面多呈银灰色，组织较为致密。

钒钛生铁在铸造生产上的应用实践已证实它是一种具有良好的综合性能的铸造金属材料，已普遍推广使用至攀枝花地区及四川省内各有关铸造厂。但由于钒钛铁矿在高炉中的冶炼特点——低硅操作，造成生铁中的硅低（0.2—0.3%），又加之低磷及碳化物形成元素较多，使生铁具有白口倾向性大以及加工和铸造性能均不同于普通生铁的新特征。

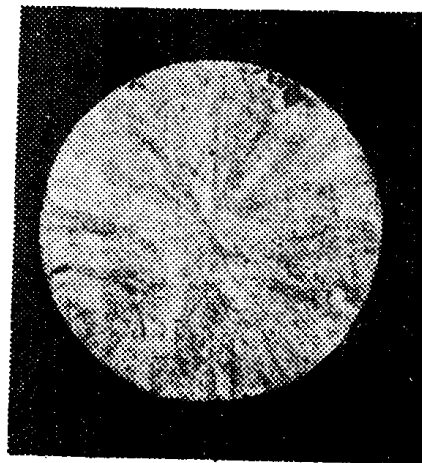


图1 钒钛生铁的宏观断面

二 钒钛灰铸铁的生产

灰铸铁在铸铁中占据了相当的比重。由于灰铸铁的生产工艺简单、控制方便、成本

低廉而又不需消耗特殊材料，因此被广泛应用在冶金、机械等工业上，特别是一些大量使用的“低质易耗”备品配件上。例如一个年产200万吨钢的钢厂，仅钢锭模（绝大多数用灰口铁）一项的消耗（按每吨钢消耗20—25公斤钢锭模计算）即需4—5万吨。

攀钢钒钛生铁首先是用于灰铸铁上。在试验和生产的过程中，依据钒钛生铁白口倾向性大这一主要特征，对成分的变化、特别是硅量的变化进行了较全面的调整和控制。同时也依据这种生铁工艺性能较差、收缩大、流动性低的情况对有关工艺参数进行多方面的试验和调整〔3〕。生产的实践已完全说明了应用钒钛生铁不仅可生产一般牌号的灰铸铁，并可生产高牌号的灰铸铁。

1. 一般牌号的钒钛灰铸铁

为获得各种牌号的钒钛灰铸铁，最主要的是控制相适应的成分，特别是起主要影响作用的碳和硅的含量，更恰当地说是它们在铸铁中的联合作用即碳当量($CE = C + 1/3Si$)。它决定了铸态灰铸铁的基体组织和机械性能。当碳当量确定后，主要调整的成分是硅，但为了获得牌号较高的HT25—47，必须在炉料中配入30%左右的废钢进行降碳。统计攀枝花地区各铸造厂的牌号铁与相应的碳当量的经验数据列于表四。

表四 各牌号钒钛铸铁与碳当量的经验关系

牌 号 铁	碳当量CE	Si	C	备 注
HT15-33	4.3~4.5	2.0~2.4	随Si上下调整	配入10%废钢
HT20-40	4.0~4.2	1.6~1.8	”	” 15~20% ”
HT25-47	3.8~4.0	1.5~1.6	3.2~3.4适宜	” 30% ”

在冲天炉中加入废钢时，必须提高炉温。因此必须注意增加层焦的数量，否则达不到降碳的目的。表五为各厂的各种牌号铁的配料、成分、性能和组织的情况。由表五中可见，炉料配比确定了成分，确定了碳当量，这样也就决定了基体组织和石墨的情况。钒钛灰铸铁的石墨主要为A型，随碳当量的增加而变得粗大，性能下降。其基体组织是随碳当量的降低而珠光体增多，性能提高。各种牌号的钒钛铸铁的金属基体依据大量金相检验统计结果来看是存在一定的比例关系的。当石墨以A型为主，大小为中等的情况下各牌号铁的组织比例列于表六。

表五 牌号钒钛铸铁的配料、成分、性能和组织

铸造厂	灰 铸 铁 牌 号	炉料配比				%		化 学 成 分								性 能		金 相 组 织			
		废 钢	钒铁 生铁	洗 炉 铁	硅 铁	锰 铁	%	C	Si	Mn	P	S	V	Ti	σ _b	σ _w	石 墨 形 态	石 墨 大 小	珠 光 体 %	铁 素 体 %	莱 氏 体 %
煤炭机 修厂	HT 15—33	15	85	3	3	1		3.84	2.27	0.64	0.029	0.057	0.312	0.097	15	40	A 部分D	4	70	30	/
	HT 20—40	20	80	/	2.5	1.0		3.56	1.92	0.67	0.035	0.062	0.232	0.104	20.9	41.3	A	5	80	20	/
	HT 25—47	30	70	/	2.5	1.5		3.38	1.66	0.72	0.034	0.037	0.220	0.050	25.7	50.4	A	6	>95	<5	微量
十九冶 机修厂	HT 20—40	20	80	/	2.5	1.5		3.42	1.87	0.86	0.040	0.077	0.233	0.036	24	44.4	A	5	80	20	/
	HT 25—47	30	70	/	2.5	1.4		3.25	1.96	0.86	0.038	0.084	0.170	0.040	25.2	46.3	A	5	95	<5	少量
	HT 30—54	30	70	/	2.2	1.5		2.89	1.65	0.85	0.051	0.096	0.141	0.035	34	54.8	A	6	100	/	/
攀矿选 矿厂	HT 15—33	10	70	20	1	0.5		3.55	1.91	0.65	0.022	0.015	0.330	0.190	17	40	A	4	70	30	/
	”	10	20	70	1	0.5		3.62	2.50	0.58	0.083	0.105	0.061	0.170	16	41	A	4	70	30	/
	”	/	/	100	0.7	0.5		4.26	2.80	0.53	0.075	0.020	0.08	0.330	15	37	A	4	70	30	/
农机厂	”							3.71	2.24	0.70	0.039	0.070	0.355	0.126	14	38	A	4	70	30	/
	HT 20—40							3.68	2.05	0.69	0.034	0.087	0.250	0.106	20	41.5	A.D	5	90	10	/
	HT 15—33	/	/	100	/	/		3.48	2.58	0.58	0.102	0.043	0.060	0.216	16	35~42	A	4	70	30	/
锅 厂	HT 20—40	20	80	/	2.0	1.3		2.66	2.06	1.10	0.023	0.053	0.210	0.040	21	64	A	5	80	20	/
	HT 25—47	20	80	/	1.5	1.3		2.94	1.60	1.10	0.011	0.047	0.200	0.040	25	65	A	6	95	<5	/

表六 牌号钒钛铸铁的金相组织及其图例

牌号铁	金组相织 %			结果 图例	图例组织%		图 例 成 分 %						
	珠光体	铁素体	莱氏体		珠光体	铁素体	C	Si	Mn	P	S	V	Ti
HT 15—33	70	30	/	图 2	70	30	3.68	2.07	0.66	0.03	0.07	0.26	0.12
HT 20—40	80~90	10~20	/	图 3	80	20	3.64	1.76	0.69	0.03	0.06	0.23	0.09
HT 25—47	>95	<5	个别出现	图 4	>95	<5	3.58	1.63	0.93	0.03	0.07	0.2	0.12



图2 HT15—33钒钛铸铁
3%硝酸酒精腐蚀
×100



图3 HT20—40钒钛铸铁
3%硝酸酒精腐蚀
×100

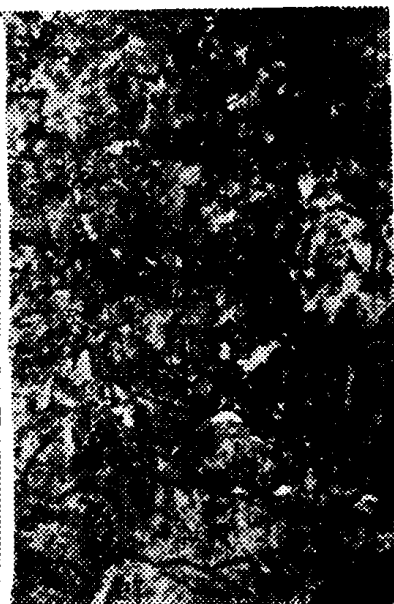


图4 HT25—47钒钛铸铁
3%硝酸酒精腐蚀
×100

牌号钒钛铸铁的锰量一般控制在0.5—0.8%左右，要求较高的HT25—47锰量控制在0.8—1.0%为好。

在实际生产中为了节省废钢，向冲天炉中加入5%钒钛磁铁矿代替20%废钢，也能收到一定的效果，获得HT20—40铸铁。这种方法有待进一步的生产实践。

2. 用洗炉铁生产牌号灰铸铁

洗炉铁是攀枝花地区铸造用铁的来源之一，如何加以利用是一个重要问题。由于洗炉铁不仅磷高而且成分波动较大，当在铸造生产上使用时，难以控制好规定成分的要求。值得注意的是利用洗炉铁中所残留的合金元素，低钒高钛的作用，可以不加合金元素和废钢即能得到HT15—33铸铁，见表七。使用洗炉铁时对于降低成本，便于熔化操作是较为有利的。

表七 用洗炉铁生产牌号铸铁的结果

铸 造 厂	铸 铁 牌 号	炉 料 %		炉 型	化 学 成 分 %						机 械 性 能		公 斤 / 毫 米 ²	备 注
		废 钢	洗 炉 铁		C	Si	Mn	P	S	V	Ti	σ_b	σ_w	
十九冶机修厂	HT 15—33		100	2吨热风冲天炉	3.34		0.296		0.122	0.067	0.129	16—17.6	31.2—38.8	
	HT 20—40		100	2吨热风冲天炉	3.34		0.839		0.089			19.5—20	42.6—49.5	
	HT 15—33	10	90	2吨热风冲天炉	3.48	2.49	0.41	0.875	0.134	0.078	0.131	17.5—18.2	37.2—40.5	
	HT 20—40	15	85	2吨热风冲天炉	3.1	1.98	0.81	0.077	0.083	0.044	0.105	22.9—23.6	45.8—48.8	
渡口钢厂	HT 15—33		100	热 风 摇 炉	3.80	2.58	0.582	0.103	0.042	0.06	0.216	15.0—16.7	37.5—42.35	
煤炭机修	HT 20—40	30	70	冷 风 冲 天 炉	3.49		0.45		0.075	0.047	0.122	19	40	
林业机修	HT 15—33		100	1吨冷风冲天炉	3.62	2.50	0.408	0.082	0.105	0.061	0.17	15	34	

必须指出：由于洗炉铁的磷高，使铸件特别是中部经常出现大量磷共晶（图5），降低了铸件的强度，出现了冷裂的可能，增加了铸件因裂纹的废品率。同时由于磷化物的存在，铸件的硬斑增多，造成硬度不均，影响加工精度。因此，用洗炉铁配制HT25—47则较为困难。

洗炉铁中钛含量较高，吸气性较大，铸件上易出现皮下气孔。为此，在洗炉铁中配加不同比例的钒钛生铁，既可降低铸铁中的相对含磷量，又提高含钒量，改善铸件质量。这种“联用”的生产性试验正在进行。

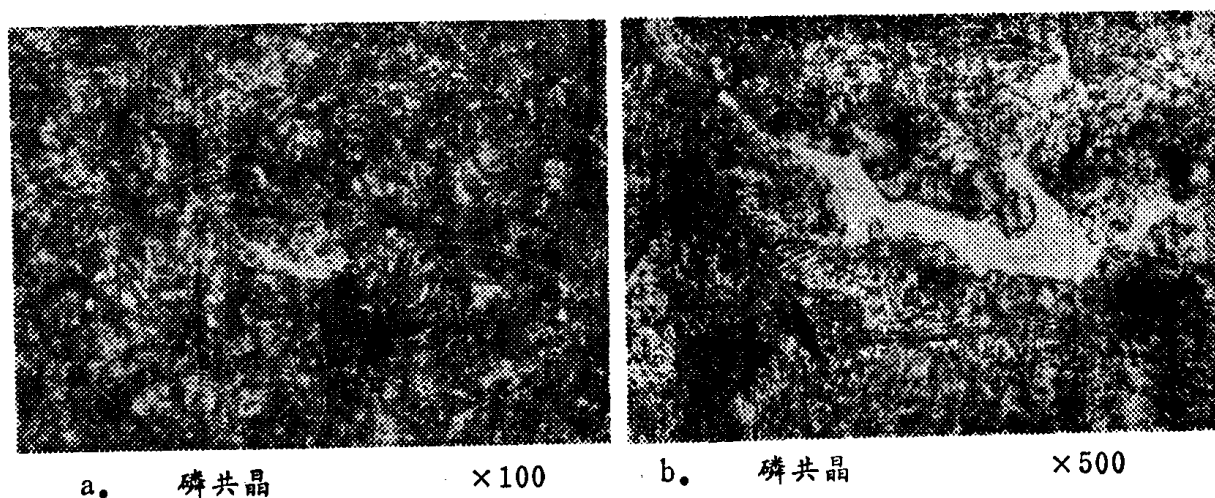


图5 用洗炉铁生产牌号铁中出现的磷共晶

3. 高牌号钒钛灰铸铁

强度超过25公斤/毫米²的铸铁乃属于优质铸铁。这种高牌号的铸铁通常是采用增加废钢加入量，加入Cr, Mo, Ni等合金元素或其它孕育处理等方法而获得的珠光体组织的铸铁。利用钒钛生铁生产高牌号优质铸铁业已证明为操作简便、价格低廉、行之有效的办法。表八为2吨热风冲天炉熔炼的高牌号铸铁的成分、机械性能及金相组织。

表八 高牌号钒钛铸铁的成分和机械性能及金相组织

炉号	C + $\frac{\text{Si}}{3}$	化 学 成 分 %							金 相 组 织 %				机械性能 公斤/毫米 ²		注
		C	Si	Mn	P	S	V	Ti	石黑 大小 (级)	珠 光体	铁 素体	莱 氏体	σ_b	σ_w	
1	3.99	3.50	1.47	0.58	0.03	0.08	0.1	0.07	5	90	/	10	25	48	图6
2	4.08	3.48	1.80	0.66	0.07	0.06	0.27	0.01	5	90	10	/	25	49	图7
3	3.93	3.38	1.66	0.72	0.03	0.07	0.22	0.05	5	>95	<5	微量	25.7	50.4	图8
4	3.71	3.1	1.84	0.87	0.044	0.061	0.148	0.058	5	100	微量	/	30.1	51.4	图9
5	3.37	2.89	1.65	0.85	0.055	0.098	0.141	0.036	5—6	100	微量	/	34.5	57.1	图10

从表中可以看出：随着碳当量的降低强度亦随着增加，直至达到 HT30—54 的强度要求。为此控制碳当量，尤其是硅的含量特别重要，在2吨热风冲天炉中配加30%—35%的废钢即能控制铁中的含碳量在2.8—3.1%的范围，硅控制在1.5—1.7%之间。碳量过低会恶化铸造性能，碳量过高会增加石墨的数量，降低铸件强度。硅量超出范围会引起铁素体出现，过低会出现莱氏体，使铸件加工遇到困难。图6、7、8、9、10，为不同碳硅含量对高牌号钒钛铸铁组织组成的影响。

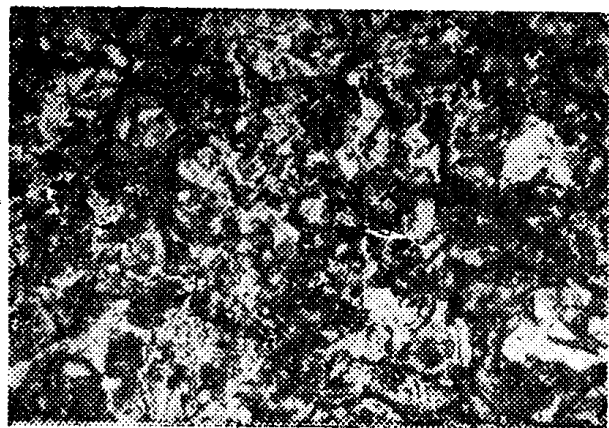


图6 3%硝酸酒精腐蚀 100×
90%珠光体+10%莱氏体+石墨
(碳当量为3.99%)



图7 3%硝酸酒精腐蚀 100×
90%珠光体+10%铁素体+石墨
(碳当量为4.08%)

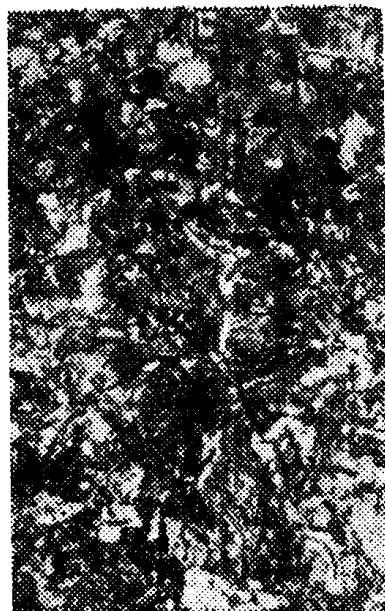


图8 3%硝酸酒精腐蚀 100×
95%珠光体+5%
铁素体
(碳当量为3.93%)



图9 3%硝酸酒精腐蚀 100×
100%珠光体+微量
铁素体
(碳当量为3.71%)

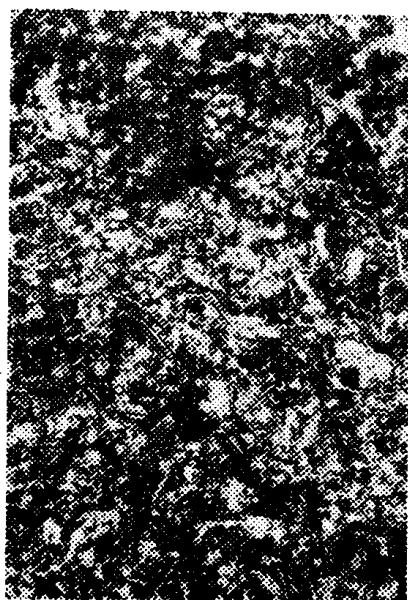


图10 3%硝酸酒精腐蚀
100× 100%珠光体
(碳当量为3.37%)

锰对珠光体铸铁的组织 and 性能起着有利的影响。一般珠光体铸铁中锰控制在0.8~1.0%较为适宜。由于锰是碳化物形成元素,超过1.0%会出现较大的白口倾向性。应用X线衍射仪测定钒钛铸铁中锰的状态〔4〕,除部分的锰形成硫化锰的夹杂物外,其余大部分是固溶于 Fe_3C 之中。可见锰对形成和稳定钒钛铸铁中的珠光体组织有很重要的影响。

4. 熔炼和铸造工艺因素的控制

材质选择的合理性必须要有在整个生产流程中控制相适应的工艺因素来保证。特别对于具有新的工艺特征的钒钛铸铁生产更具有重要意义。因此在实际生产中必须给予足够的重视,其中重要的三个控制环节是:

①炉料的准备:这是生产中首先遇到的最实际问题,其中包括:原材料分门别类的管理和堆放;合理的配料计算,根据生产的实践,在冷风冲天炉中生产牌号铁可参照表九的数据进行配料。同时经过化验的各种炉料必须按照配料单进行称量,严防“估堆或眼磅”,否则难以收到预期的结果。

表九 生产钒钛灰铸铁的炉料配比

铸铁牌号	配 料 的 参 考 数 (%)							烧 损 %	
	废钢	V-Ti生铁	洗炉铁	75%硅铁	70%锰铁	焦比	石灰石和萤石	Si	Mn
HT 15—33	10	90	/	3.0	1.0	1:10	6	15	20
”	/	/	100	0.8	0.3	”	”	”	”
HT 20—40	20	80	/	2.5	1.0	”	”	”	”
HT 25—47	30	70	/	2.3	1.5	”	”	”	”
HT 30—54	40	60	/				”	”	”

②铁水温度的控制:用可消耗快速热电偶测定了几个厂的铁水出炉温度和浇注温度,列于表十比较。一般认为出炉温度控制在 $1340^{\circ}C \sim 1360^{\circ}C$,浇注温度控制在 $1300^{\circ}C$ 以上,可以得到稳定质量的钒钛铸铁件。

表十 攀枝花地区各厂的出炉温度和浇注温度

厂 别	冲天炉型式	焦比	出炉温度℃	浇注温度℃
十九冶机修厂	2吨热风冲天炉	1:10	1360~1400	1300~1340
煤炭机修厂	0.7吨冷风冲天炉	1:7	1340~1360	1280~1320
	2吨多排风口热风冲天炉	1:10	大于1340	大于1300
农机厂	2吨热风冲天炉	1:10	1340~1390	大于1280
林业大修厂	半吨冷风冲天炉	1:10	1320~1340	1260~1300
	半吨热风冲天炉	1:11	1360~1400	1280~1320

生产中控制出炉温度的主要方法，是正确选择风机的风量和风压，合理的炉型和风眼大小及排列，适当块度的底焦和层焦的高度，以保证炉内燃料的完全燃烧，从而达到要求的出炉温度，以保证钒钛铸铁具有良好的流动性。出炉温度和浇注温度的高低，直接影响到铸件的质量，偏低时降低了铸铁的流动性，增加了白口倾向性，当浇注温度低于1220℃时铸件废品率可达50%以上。因此合适的温度往往是保证产品质量的重要因素之一。

值得注意的是生产高牌号HT30—54时，由于废钢加入量较大，为保证获得所需的出炉温度，以免流动性能过低，宜采用热风冲天炉或电炉来生产。

③覆盖剂：由于钒钛铸铁中钒、钛二元素的存在，在液相就可能存在着难熔的钒钛的碳氮化物，漂浮在铁液表面上，易结壳，降低铁液的流动性和造成严重的粘包现象。因此铁液表面采用覆盖剂对保持液态表面的高温是十分有利的。最简单的为覆盖稻草灰。

三 钒钛球墨铸铁的生产

随着工业的飞速跃进，球墨铸铁已愈为广泛应用，无论大、中、小型工厂都可以生产。特别是稀土、稀土镁等球化剂成功地被采用后，使球墨铸铁的生产和应用更出现一种新的局面。球墨铸铁的应用推动和逐步实现了“以铁代钢”的、多、快、好、省的发展方向。

用钒钛生铁生产球墨铸铁曾一度受到束缚和被视为不可能。据国内外一些研究认为，钒钛元素是反球化的元素〔5〕，特别是钛，并规定球铁中含钛量为0.04~0.07%，否则在球墨铸铁中将会出现片状石墨，引起球化不良的缺陷。

但是经过几年来的试验和生产实践表明，用钒钛生铁铸制球墨铸铁是完全可行的。先后用过三种球化剂进行处理：包钢1#稀土合金，包钢4#稀土——镁合金和纯镁进行处理钒钛铸铁均能获得良好的效果。特别是稀土镁中间合金处理的结果最好，基本上消除了夹杂的片状石墨，性能达到要求而且稳定，生产也比较简便和安全，最适于生产钒钛球墨铸铁。

1. 球化剂的影响

为了摸索不同球化剂对钒钛球墨铸铁的影响，在高频炉和冲天炉熔炼了稳定成份的钒钛铸铁，在相近浇注温度范围和同样冷却速度的铸型，观察不同的球化剂加入量对球状石墨形成的影响，采用的各种球化剂的成份列于表十一。

表十一 各种球化剂的化学成分

球 化 剂	化 学 成 分				
	Si	M	Re	Al	Ti
包钢1#稀土合金	39.52	/	13.75	/	3.48
包钢3#稀土镁合金	37.84	9.7	10.86	3.7	1.09
包钢4#稀土镁合金	50.95	4.23	12.50	/	1.09
纯 镁	/	100	/	/	/

下面分别叙述各种球化剂的加入量对钒钛球墨铸铁的球状石墨形成的影响情况。

①稀土合金的使用

铁水是在高频炉内熔炼的，包钢1#稀土合金的处理是采用包底式冲入法进行。选择了三种加入量，其结果是随着加入量逐渐增加，石墨由片状逐渐变为球状，见图11、12、13。当加入量达到1.5%时，即能得到常见的球状并夹杂着厚片状的石墨。但是随铁液过冷度加大，使得基体组织会出现大量的莱氏体，因此必须同时适当调整终硅的含量。不同的稀土合金加入量其成份和性能情况见表十二。

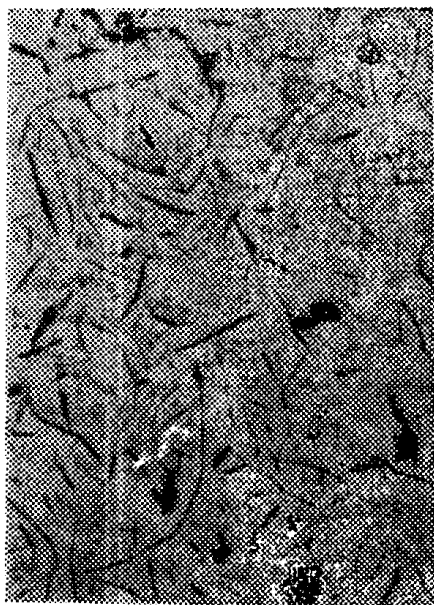


图11 稀土合金0.5%处理
未腐蚀 ×100

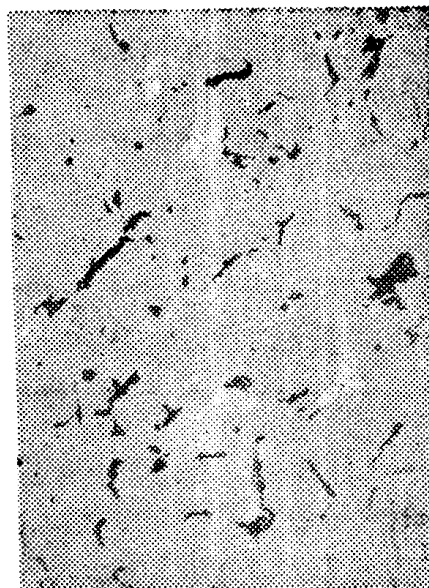


图12 稀土合金1.0%处理
未腐蚀 ×100

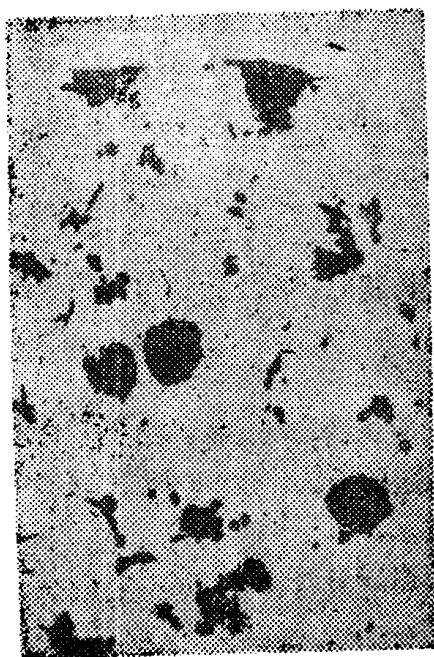


图13 稀土合金1.5%处理
未腐蚀 ×100

表十二 稀土合金的加入量对钒钛铸铁性能的影响

炉号	稀土合金加入量 %	Fe-Si孕育剂 %	化 学 成 分 %								机械性能		三角试片断口
			C	Si	Mn	P	S	V	Ti	RxOy	σ_b	ak	
3—1	0.5	0.8	3.64	3.00	0.91	0.028	0.049	0.31	0.09	0.026	14.8 13.5	0.3 0.3	全灰
3—2	1.0	"	3.56	2.70	0.78	0.026	0.044	0.19	0.05	0.047	47.0 41.0	0.3	银灰, 中间有缩松
3—3	1.5	"	3.29	3.10	0.94	0.026	0.049	0.44	0.10	0.104	49.0	0.9 0.5	"

从表十二可以看出：随着稀土合金加入量的增加，石墨的逐步变形和球化，机械性能则有很大的变化。加入量为0.5%时，其 σ_b 仅为13.6~14.5 公斤/毫米²，而当加入量为1.5%，石墨已经大部分球化时， σ_b 则达到49公斤/毫米²。

在钒钛铸铁中加入1.6%稀土合金，硅量控制在2.0~2.9%范围内，随着铸铁含钒量的增加，其机械性能是在增加，这是与钒强化了钒钛球墨铸铁的基体相关的，见表十三。

表十三 钒对稀土钒钛铸铁抗拉强度的影响

炉 号	稀土合金加入量 %	化 学 成 分 %			σ_b 公斤/毫米 ²	备 注
		Si	RxOy	V		
3—4	1.6		0.108	0.17	31.5	
3—5	1.6		0.099	0.29	59.0	
3—6	1.6		0.092	0.34	63.0	

值得注意的是：用冲天炉生产稀土钒钛球墨铸铁时，由于所使用的焦炭中的硫量稍高，因此稀土合金的加入量应增加至1.8%为好。

②稀土——镁中间合金的使用

实践表明：稀土镁作为球化剂能生产所要求的钒钛球墨铸铁。由于多种球化元素——Ce, La和Mg等的联合作用，消除了因钒所起的干扰作用〔6〕，使夹杂着的片状石墨显著地减少，而达到基本球化或完全球化的要求。

稀土镁合金加入方式，目前在攀枝花地区普遍采用的是冲入法。其加入量视稀土镁合金中的镁和稀土含量而定，根据生产的经验是：

含10%Mg和10~12%Re的稀土镁加入量为1.2~1.4%，

含4~5%Mg和10~12%Re的稀土镁加入量为1.4~1.8%。

孕育剂均采用0.8%~1.0%硅铁，各种牌号的稀土镁钒钛球铁的成份、组织和性能列于表十四。