应用研究

VN合金在HRB400钢筋生产中的应用

冯运莉[1]，齐长发[2]

(1.河北理工学院,河北 唐山 063020; 2. 唐山钢铁公司，河北 唐山 063020)

摘 要:介绍了VN合金在HRB400热轧钢筋生产中的应用,对采用VN合金与普通FeV50生产的400 MPa级钢筋的性能进行了对比,研究了VN微合金化对钢筋性能和组织的影响,比较了使用两种合金的生产成本。

关键词:VN; 微合金化;成本;400MPa级钢筋;强化

中图分类号: TF704.2, TG142.41 **文献标识码**: A **文章编号**:1004-7638(2002)04-0027-04

APPLICATION OF VN ALLOY IN PRODUCTION OF HRB400 REINFORCED BAR

FENG Yun-li[1], QI Chang-fa[2]

(1. Hebei College of Technology, Tangshan 063020, Hebei, China; 2. Tangshan Iron and Steel Co. Ltd., Tangshan 063020, Hebei, China)

Abstract: The application of VN alloy in the production of HRB400 reinforced bar was introduced. The properties and cost of 400MPa grade bar alloyed with FeV50 and VN were compared. The influence of VN alloy on the properties and microstructure was also studied.

Key Words: VN; microalloying; production cost; 400MPa grade reinforced bar; strengthening

1 引言

在我国的钢材消费中,建筑用钢材约占25%。目前我国年消费建筑用钢筋约2 000万t,其中95%为20MnSi Ⅱ级钢筋[1]。因此如何提高20MnSi钢的性能,是搞好建筑用钢的关键。20MnSi Ⅱ级钢筋的主要缺点是强度低,弯曲性能不理想,应变时延伸率下降20%~29%,其次是施工中配筋过密影响混凝土浇注,且不具备抗震性能。发达国家在建筑用钢标准中已淘汰了335 MPa级钢筋这一等级,均采用400 MPa级以上的建筑钢筋。若将强度低的335 MPa级钢筋改为强度较高的400 MPa级钢筋用于建筑,则可节约钢材约14%,具有巨大的社会效益和经济效益。

为尽快与国际接轨并节约钢材,我国正在加速建筑用钢的更新换代,大力推广应用400 MPa级钢筋。HRB400级钢筋是在20MnSi钢的基础上添加0.07%左右的钒,利用钒的碳化物和碳氮化物的析出强化作用提高钢的强度,满足HRB400钢筋的性能要求。但是由于加入钒使钢筋的成本升高,为了优化钒钢的生产,降低HRB400级钢筋的生产成本,从1998年开始,唐钢就进行了钒氮微合金化生产HRB400级钢筋的研制工作,生产出的钢筋强度高,塑性高于国标,性能稳定,成本较低。唐钢于1998年正式向用户提供钒氮微合金化HRB400级钢筋。钢筋的生产规格为Ø6~40 mm,可以全面满足楼房建筑和大型基础建设如公路、桥梁和大坝等的要求。唐钢生产的各种规格HRB400级钢筋已销售到北

[收稿日期]:2002-09-16

作者简介:冯运莉,女,高级工程师,河北理工学院冶金系工作,长期从事钒氮合金的应用研究,发表过多篇论文。

京、陕西、天津、辽宁等地,用户反映良好。

2 HRB400钢筋的生产

2.1 工艺流程

唐钢HRB400钢筋生产由炼钢厂的40 t或120 t转炉冶炼,采用FeV50或VN合金微合金化,经钢包底吹氩处理,然后连铸成165 mm或135 mm方坯,165 mm方坯在棒材厂生产Ø12～Ø40 mm钢筋,135mm方坯在高线厂生产Ø6～Ø10 mm钢筋。两个厂的生产设备均是高速连轧机,轧制质量稳定,通条性能均匀。

2.2 钢中增氮的方法

钢中残存的氮取决于冶炼工艺,唐钢转炉残余氮一般为0.004%～0.007%,为了充分利用含钒钢中的氮,V:N比应接近理想化学配比(3.64:1),对0.1%V钢意味着需增氮0.01%～0.02%。

钢中增氮较简便的方法是钢包吹氮,无论顶吹还是底吹,其收得率很不稳定,从而引起性能发生大的变化,一般不宜采用这种方法。

钢中增氮的另一种方法是添加氮化锰铁,该方法为较为常用的方法,氮的回收率约为50%。但这种锰铁的制备需附加生产过程,所以它比普通锰铁成本高得多,售价约为普通锰铁的3倍。而且氮化锰铁在合金化过程中大多数氮接近表面,氮的回收率因其在钢中快速释放而降低。

添加$CaCN_2$是一种低成本的增氮方法,但$CaCN_2$有毒,添加到钢中与钢水发生强烈反应,产生大量有毒烟气,回收率偏低,约为10%～30%,且不稳定,虽可通过采用包芯线的方法加入,但会大幅提高成本。

含钒钢中较为经济可靠的增氮方法是采用钒氮合金,钒氮合金是一种增氮稳定且均匀分布在整个产品中的钒合金,表1为两种钒氮合金的成分。

表1 两种牌号的钒氮合金化学成分 %

合金	V	N	C	Si	Al
VN12	79	12	7	0.11	0.15
VN16	78	16	3	0.11	0.15

钒氮合金成分均匀,合金溶解过程中氮的回收率能保持稳定,而且氮含量与钒含量有固定的比例关系,其钒的回收率可在90%～94%。氮的回收率稳定在70%左右。

2.3 增氮效果分析

唐钢自1998年开始试用VN合金替代普通钒铁生产HRB400钢筋的试验,已摸索出轧制不同规格钢筋的成分范围和生产工艺,并用于批量大生产。对一段时期内20MnSi、用FeV50或VN12合金化的20MnSiV的N、O含量及回收率进行了统计,结果见表2。

由表2可计算出大生产条件下,添加VN12合金冶炼20MnSiV时,氮的回收率平均为72%,钒的回收率平均为92%,添加FeV50合金冶炼20MnSiV时,钒的回收率平均为90%。由于氮的回收率受基础氮以及冶炼工艺等多种因素的影响,增氮效果不太均衡。

表2 20MnSi、20MnSiV钢的N、O水平

钢种	炉数	$[N]\times10^6$	$[O]\times10^6$	[V]/%	装炉量/t·炉$^{-1}$	合金加入量/kg·炉$^{-1}$	合金类型
20MnSi	30	70.2	103		43		
20MnSiV	32	69.7	94	0.06	42.5	56.7	FeV50
20MnSiV	30	142	96	0.06	42.8	35.8	VN12

3 性能对比及应用机理

3.1 力学性能对比

为了解VN微合金化试验钢筋的各种性能,对使用FeV50和VN12合金试生产的HRB400钢筋部分规格的化学成分和力学性能进行了统计,其结果见表3。

由表3可见,钢筋的屈服强度均在415 MPa以上,抗拉强度均在585 MPa以上,延伸率均在22%以上,试验钢的力学性能全部达到国标GB1499－1998规定的要求。加VN合金的钢筋较FeV50合金化钢筋屈服强度平均提高40 MPa,抗拉强度平均提高30 MPa,延伸率基本保持不变,加VN合金与加FeV50合金化钢筋的均匀伸长率δ_{gt}基本相同,且均大于10%,属于高延性钢筋(要求>5%～6%)[2]。

表 3　添加不同合金的 20MnSiV 钢筋化学成分和力学性能对比

合金种类	规格/mm	炉数/炉	化学成分/%				力学性能				
			C	Mn	Si	V	σ_b/MPa	σ_s/MPa	δ_5/%	δ_{gt}/%	冷、反弯
FeV50	18	36	0.18~0.23	1.30~1.50	0.45~0.65	0.04~0.08	590~640	430~485	26~32	13.7~16.6	完好
VN12	18	36	0.18~0.23	1.30~1.49	0.43~0.64	0.04~0.06	620~670	465~520	26~32	13.6~16.8	完好
FeV50	32	30	0.19~0.24	1.35~1.54	0.45~0.66	0.05~0.09	585~645	415~470	22~28	11.5~13.4	完好
VN12	32	30	0.18~0.24	1.32~1.51	0.45~0.63	0.05~0.07	630~680	455~510	22~29	11.8~13.9	完好

3.2　冲击韧性

对钢筋试样进行了常温、低温冲击试验,加 VN12 合金钢筋的冲击值比加 FeV50 合金钢筋的高,采用 VN 与普通 FeV50 微合金化的 20MnSiV 冲击韧性均优于 20MnSi,见表 4。

表 4　20MnSi 与 20MnSiV 钢筋的低温冲击值　J

温度/℃	20MnSiV		20MnSi
	加 VN12	加 FeV50	
常温	151~158	138~166	58~72
0	118~135	58~96	38~45
-20	97~122	36~47	24~32
-40	70~96	27~40	17~20

3.3　时效性能

对棒材厂生产的 Ø28 mm 热轧钢筋各 20 炉进行时效测试,人工时效如表 5 所示。

表 5　钢筋的人工时效性能对比表

钢种	添加剂	时效规程	σ_b/MPa	σ_s/MPa	δ_5/%	冷弯、反弯
20MnSi		150℃,2h	495	380	24	完好
		未时效	505	385	26	完好
20MnSiV	FeV50	150℃,2h	615	475	27	完好
		未时效	620	475	27	完好
20MnSiV	VN12	150℃,2h	635	480	28	完好
		未时效	635	480	28	完好

表 5 的时效性能测试条件为:将钢筋试样预应变 7.5%,然后在 150℃ 下保温 2h,再进行拉伸试验。结果表明,加 VN12 与加 FeV50 合金的钢筋一样,时效前后强度、塑性、冷弯和反弯没有发生变化,但用 20MnSi 生产的 HRB335 钢筋时效后比时效前屈服强度平均降低 5MPa,塑性比时效前也有所降低,冷弯和反弯没有发生变化。

20MnSi 钢筋的时效敏感性主要是由于钢中不存在氮的固定元素,而 20MnSiV 中的钒对氮有较强的亲和力,钒在铁素体中能与碳和氮结合,消除氮的危害作用。

3.4　VN 合金的强韧化机理

3.4.1　N 对 V 微合金化钢组织的影响

含钒钢中的氮元素除增加沉淀强化作用外,氮在钢中还具有明显的细化晶粒的作用。有两方面的原因促进了晶粒细化:①增氮促进了碳氮化钒 A-F 相界面的析出,有效地阻止了铁素体晶粒长大,起到了细化铁素体晶粒的作用;②高氮钒钢中由于 VN、V(CN)的析出,该质点可作为铁素体形核的质点,促进晶内铁素体的形成。在轧制条件和钒含量基本相同的情况下,加 VN 合金与加 FeV50 微合金化的 HRB400 钢筋的金相组织见图 1、2。

3.4.2　氮对钒析出的影响

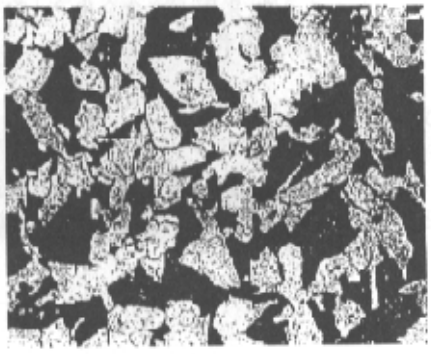

图 1　加 FeV50 的 Ø22 mm 钢筋金相组织　×400

含钒钢中氮的增加，提高了碳氮化钒的析出温度，增加了析出驱动力，随着氮的增加，析出相中碳、氮组分发生明显的变化。低氮情况下，析出相以碳化物为主，随着氮含量的增加，逐渐转变为以氮化物为主的析出相。氮化物比碳化物具有更高的稳定性，更细小和弥散，因此具有更大的强化效果。表6为相分析结果，该结果表明，V的析出物在高氮的情况下总量明显增加，相对而言，低氮钢中固溶部分的比例较多，这一结果实际是V的浪费。

另外，高氮钢中V（CN）的析出较快，即使在较快的冷却过程中，亦能很快析出，起到沉淀强化作用。

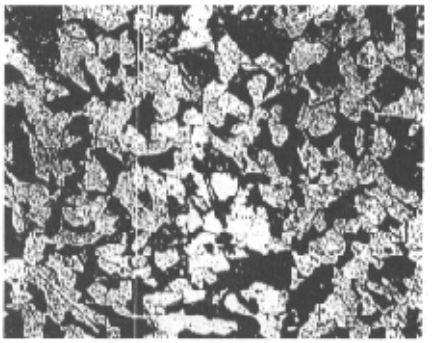

图2 加VN的Ø22 mm钢筋金相组织 ×400

表6 20MnSiV中氮对析出相的影响 %

成分				V(N)	固溶V比例	Fe_3C中的V	V(CN)
C	Mn	V	N				
0.18	1.50	0.10	0.0085	0.0498	56.3	8.2	35.5
0.20	1.41	0.09	0.018	0.1062	20	10	70

4 成本分析

目前国内FeV50市场价格约6万元/t，钒氮合金市场价格约8.5万元/t（V：79%，N：12%），采用两种钒合金生产HRB400钢筋的成本对比如表7所示。

表7 FeV50和VN12生产HRB400钢筋成本对比

合金种类	价格/万元·t^{-1}	加入量/kg·t^{-1}	成本升高/元·t^{-1}	[V]/%
FeV50	6	1.7	102	0.07
VN12	8.5	0.7	59.5	0.05

冶炼时V回收率按90%计算，轧钢厂成材率按95%计算，由表7可知，采用VN合金生产HRB400级钢筋较采用FeV50成本降低42.5元/t。

5 结论

(1) 用VN12合金替代FeV50生产HRB400级钢筋，钒含量控制在0.04%～0.07%，屈服强度平均可提高40 MPa，抗拉强度平均可提高30 MPa，延伸率基本相同。

(2)在相同生产工艺条件下，按照目前的市场价格，采用VN12合金生产HRB400级钢筋比采用FeV50合金成本低42.5元/t。

(3)在大生产条件下，采用VN12合金生产HRB400级钢筋，V的回收率平均为92%，N的回收率平均为72%。

(4)采用VN12合金生产的HRB400级钢筋，具有良好的强韧性和抗应变时效性能。

参考文献：

[1] 李世俊，等.发展低合金钢及微合金钢，提高钢铁企业市场竞争力[A].98全国低合金钢学术年会论文集[C].1998.5.

[2] 徐有林.混凝土结构用钢筋发展的探讨[A].新Ⅲ级钢筋推广暨钒氮微合金化技术研讨会论文集[C].北京：中信金属公司，2000.91.

编辑 苟淑云