



高韧性螺栓用钢 42CrMo(Ni)的试制

海燕,穆敬飞,于洪波

(山东寿光巨能特钢有限公司,山东 寿光 262711)

摘要:山东寿光巨能特钢采用电炉—精炼炉—真空脱气—连铸的工艺流程试生产高韧性螺栓用钢42CrMo(Ni),通过Ni元素的加入大幅度提高钢材的低温韧性,通过Cr—Mo—Ni合金化细化晶粒及控制轧制工艺使42CrMo(Ni)具有良好的综合机械性能。经生产实践及检验发现,钢材的晶粒细小,组织均匀,-100℃的低温冲击功 $A_{kv} \geq 27$ J,比42CrMo(B7)平均提高5 J以上,机械性能稳定,满足用户的使用需求。

关键词:螺栓用钢;42CrMo(Ni);控制轧制;低温韧性

中图分类号: TG142.41

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2014)06-0014-03

1 前言

在各种机械和设备上有各式各样的紧固件,它品种规格繁多,性能用途各异,而且标准化、系列化、通用化的程度极高,主要包括螺栓、螺柱、螺钉、螺母、垫圈、销等。各行业对紧固件有不同的要求,其中包括不同的综合机械性能,如高强度、防止钢低温脆断等,山东寿光巨能特钢有限公司开发的42CrMo(Ni)在要求具有较高强度的同时,还具备良

好的低温韧性,满足了耐低温高强度紧固件用钢的市场需求。

2 产品的主要技术要求

2.1 化学成分

为保证产品良好的综合机械性能,要求严格控制化学成分,技术要求采用与用户签订的技术协议,其化学成分及生产中内部控制要求见表1。

表1 42CrMo(Ni)化学成分要求及内控化学成分(质量分数) %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
要求	0.40~0.45	0.17~0.37	0.80~1.10	≤ 0.040	≤ 0.040	0.80~1.10	0.20~0.25	0.18~0.22	≤ 0.25
内控	0.41~0.44	0.22~0.30	0.90~1.00	≤ 0.020	≤ 0.015	0.90~1.00	0.21~0.23	0.19~0.21	≤ 0.10

Cr在钢中的作用主要是提高其淬透性和耐腐蚀性能,并提高钢的强度、弹性极限和屈服极限。Ni的加入可以改变钢中的位错滑移特点,使位错绕过某些障碍,避免了产生大的压力集中,因而不产生解理断裂。Ni还能提高基体的层错能,使螺位错易产生交叉滑移,提高了钢的韧性。所以在重要的机械零件中加入Ni,可以具有良好的韧性和较小的缺口敏感性。在调质钢中Cr、Mn、Ni同时存在时,会增加对高温回火脆性的敏感性,所以加入适量的Mo,它可以抑制高温回火脆性,在回火温度提高到500~550℃时,仍具有较高的硬度及良好的韧性^[1]。

在冶炼过程中钢中的P、S杂质及气体都强烈降低钢的塑韧性,增加钢的缺口敏感性,为改善韧性,提高其在服役条件下的安全可靠,采用真空冶炼来降低钢中夹杂物、气体和有害杂质元素的含量。同时用Al脱氧和合金化来细化晶粒,用Al在钢中形成稳定的氮化物等弥散相,在轧制过程中这些

弥散相都能钉扎晶界,抑制奥氏体晶粒长大,细化铁素体晶粒。

2.2 非金属夹杂物

由于材料在低温、腐蚀的环境下工作,对钢中非金属夹杂物级别要求较为严格,按照GB/T 10561标准中方法A进行检测,要求钢中A类硫化物、B类氧化铝、C类硅酸盐、D类球状氧化物的级别均不能超过2.0级。

2.3 力学性能

采用 $\Phi 25$ mm毛坯试样进行热处理(850℃淬火+680℃回火),产品的力学性能应满足:屈服强度 $R_{eL} \geq 725$ MPa,抗拉强度 $R_m \geq 860$ MPa,断后伸长率 $A \geq 16\%$,断面收缩率 $Z \geq 50\%$, -100℃的冲击吸收功 $A_{KV} \geq 27$ J。

3 工艺控制要点分析

生产工艺流程为:采用50%高炉铁水热装→70 t超高功率电炉熔炼(偏心炉底出钢)→70 t LF外精炼→VD真空脱气→R8 m四机四流连铸机连铸→冷送→蓄热连续式加热炉加热→高压水除鳞→ $\Phi 550$

收稿日期:2014-02-10

作者简介:海燕,女,1984年生,2007年毕业于辽宁工程技术大学材料成型与控制工程专业。现为山东寿光巨能特钢有限公司市场部助理工程师,从事新产品开发工作。

mm × 1 机列粗轧 → 250 t 热剪切头 → Φ 430 mm × 4 机列中轧 → 飞剪切头尾 → Φ 320 mm × 6 机列精轧产材 → 飞剪分段 → 冷床冷却 → 500 t 冷剪剪切定尺 → 在线检查(物理检验) → 收集 → 包装 → 计量、标识、入库。

3.1 电炉冶炼

生产前准备要求所有合金及原辅材料质量要达到相应标准的要求。冶炼中要求控制出钢 $0.10\% \leq [C] \leq 0.25\%$, $[P] \leq 0.012\%$; 出钢温度控制在 1 640 ~ 1 660 °C, 严防出钢下渣致 LF 回磷; 出钢过程中采用 Fe-Si、Mn-Si、钢芯铝和硅钙钡铝进行脱氧, 出钢结束后加入石灰 12 ~ 15 kg/t, 预熔渣 3 ~ 3.5 kg/t, 防止钢水沸腾, 出钢全过程采用氩气搅拌。

3.2 LF 精炼

钢包到位后加热并向渣面加 CaF_2 0.3 ~ 0.4 kg/t、SiC 0.3 ~ 0.4 kg/t 进行扩散脱氧、造白渣操作, 钢渣形成良好、渣白后按 1 ~ 2 m/t 喂 Al 线, 然后取样, 以后分批少量加入 SiC 脱氧来保持白渣和炉内还原性气氛。根据炉前取样分析结果加入相应的铁合金微

调化学成分, LF 出钢成分 C 按 0.40% ~ 0.41%, 其他元素按内控成分进行调整。待合金熔化取样全分析后喂入 CaSi 线 1 ~ 2 m/t。

为保证产品的晶粒度及钢水的纯净度, 碳按中下限控制并严格控制杂质元素 P、S 的含量, 因在高温回火中 P、S 易偏聚于晶界形成网状碳化物, 降低晶界强度, 引起钢的低温脆化^[1], 因此 P、S 含量应尽量控制在 0.020% 以下。同时采用钙处理技术, 在精炼后期加入钙系合金, 使氧化铝夹杂变为钙铝酸盐夹杂, 大部分可在钢液中上浮进入渣中, 以有效降低钢水中的夹杂物。

3.3 VD 真空处理

VD 真空度 < 100 Pa 保持时间 ≥ 15 min, 真空处理平均温降 2 ~ 3 °C/min, 可确保真空处理后 $[H] \leq 1.5 \times 10^{-6}$, $[N] \leq 80 \times 10^{-6}$ 。真空处理后加足低碳覆盖剂, 吊连铸平台吹氩, 吹氩时间 ≥ 10 min, 以促进各类夹杂物充分上浮。连铸钢水成分及成品化学成分见表 2。

表 2 42CrMo(Ni) 连铸钢水及成品化学成分(质量分数) %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
钢水	0.38 ~ 0.43	0.20 ~ 0.30	0.91 ~ 0.94	0.011 ~ 0.018	0.005 ~ 0.011	0.90 ~ 0.94	0.21 ~ 0.22	0.19 ~ 0.21
	0.408	0.228	0.933	0.0156	0.008	0.927	0.211	0.197
成品	0.40 ~ 0.44	0.23 ~ 0.29	0.90 ~ 0.95	0.010 ~ 0.018	0.005 ~ 0.006	0.91 ~ 0.95	0.21 ~ 0.22	0.20 ~ 0.21
	0.42	0.267	0.926	0.0148	0.0052	0.938	0.217	0.202

3.4 连铸

采用 150 mm × 150 mm 断面进行浇铸, 全程采用氩气保护浇铸, 浇铸前要向中包充氩气, 以置换中包中空气, 浇铸时要安装好氩气保护环, 调好氩气流量, 减少注流的二次氧化。过热度要严格控制在 20 ~ 30 °C, 拉速相应控制在 1.5 ~ 1.7 m/min。中包采用低碳、低碱度覆盖剂, 结晶器用中碳钢保护渣, 四流全部采用结晶器电磁搅拌, 可以消除过热, 析出气体以及促进夹杂物上浮, 形成细小的等轴晶带, 防止产生枝晶偏析, 获得良好的铸坯质量^[2]。

3.5 轧制

采用奥氏体未再结晶区控制轧制来细化晶粒和提高产品的强度及韧性。采用低温加热以避免奥氏体晶粒过分长大。中轧机组的轧制温度在 950 °C 以下, 随轧制温度的降低, 奥氏体不会发生再结晶。随变形量的增加, 奥氏体晶粒内部会产生变形带, 变形量越大, 变形带越多, 在接近奥氏体向铁素体转变温度时终轧, 当奥氏体向铁素体相变时, 这些变形带成为铁素体形核的优先位置, 从而使铁素体晶粒细化, 获得良好的内部组织^[3]。

加热炉加热 I 段温度控制在 920 ~ 1 050 °C, 加

热 II 段温度控制在 1 140 ~ 1 190 °C, 严格控制出钢节奏, 均衡出钢。粗轧机单支过钢, 进入连轧机的温度为 940 ~ 970 °C。

4 试验结果及分析

4.1 化学成分及力学性能

对试生产的 39 炉 42CrMo(Ni) 的检验结果进行统计, 成品化学成分 C、Si、Mn 等主要元素基本实现窄成分控制, P、S 杂质元素控制在较低水平, 统计结果见表 2; 综合机械性能良好, 尤其是低温冲击韧性平均值比 42CrMo(B7) 提高 5 J 以上, 力学性能检验结果统计见下表 3。

表 3 42CrMo(Ni) 的力学性能检验结果统计

项目	R_m /MPa	$R_{m0.2}$ /MPa	A/%	Z/%	$A_{KV}(-100\text{ °C})$ /J
统计	765 ~ 970	885 ~ 1080	17 ~ 26	57 ~ 66	30 ~ 45
	841.56	956.25	20.19	62.16	38.76

4.2 晶粒度及非金属夹杂物

均匀、细小的晶粒度可保证产品使用中强韧性能良好, 通过控制钢中的 Al 含量和采用 Cr—Mo—Ni 合金化技术, 保证了产品的组织均匀, 晶粒细小, 非金属夹杂物含量较低, 奥氏体晶粒度达到 6 ~ 8 级。产品内部质量控制较好, 低倍组织也达到了高级优

质钢的要求。非金属夹杂物及低倍组织统计结果 见表4。

表4 42CrMo(Ni)各类非金属夹杂物及低倍组织检验结果

A类		B类		C类		D类		低倍组织		
粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	一般疏松	中心疏松	锭型偏析
0~0.5	0~1.5	0~1.0	0~1.0	0~1.5	0~2.0	0~1.5	0~1.0	0~1.0	1.0~1.5	0~1.0
0.3	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0.1	1.0	1.0	1.0

4.3 钢中气体含量

抽检 091-03794V 炉的气体含量, $[H]=1.2 \times 10^{-6}$, $[N]=58 \times 10^{-6}$, 抽检结果表明, 真空处理显著降低了有害气体含量, 保证了最终产品的质量。

5 结 语

首次生产 42CrMo(Ni) 时, 由于受到加热炉煤气压力的波动变化及人工手动控制开轧和终轧温度的变化等不稳定因素的影响, 导致产品的低温韧性值波动范围较大, 在以后的生产中将加强工艺控

制, 进一步提高产品性能的稳定性。

经过生产实践及产品的检验结果证明, 制定的 42CrMo(Ni) 的工艺路线是合适的, 能够满足产品生产的需要。使用情况反馈表明, 产品的实物质量能够满足客户的使用需求, 现已开始批量订单生产, 为公司开发相关产品积累了宝贵经验。

参考文献:

- [1] 凤仪. 金属材料学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [2] 王雅贞, 张岩, 刘术国. 新编连续铸钢工艺及设备[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.
- [3] 翁宇庆, 胡正寰, 李鹤林, 等. 轧钢新技术 3000 问(上) 型材分册[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005.

Experiment and Production of 42CrMo(Ni) High Toughness Steel for Bolt

HAI Yan, MU Jingfei, YU Hongbo

(Shandong Shouguang Juneng Special Steel Co., Ltd., Shouguang 262711, China)

Abstract: The 42CrMo(Ni) steel for high toughness bolt is produced by EAF-LF-VD-CCM at steelmaking plant, Shandong Shouguang Juneng Special Steel Co. Ltd. The addition of Ni can improve the low temperature impact toughness substantially. The alloy composition of Cr/Mo/Ni can refine the grain size and the control rolling process can make the steel having fine grain microstructure and the good integrative mechanical properties. Production practice and test show that the steel has fine grain size, lesser inclusion and better microstructure. The Charpy impact absorb energy at $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ can be more than 27 J and the average value increases 5 J compare with 42CrMo(B7) steel. All mechanical properties can meet the requirements of the customers.

Key words: steel for bolt; 42CrMo(Ni); control rolling; low temperature toughness

信息园地

莱钢棒材厂聚焦国际市场创效益

2014年以来, 莱钢棒材厂依托莱钢螺纹钢国际标准认证多样化的优势, 联合国贸公司、特钢事业部、品质保证部, 稳步实施国际营销战略, 合力提升棒材产品吨材创效能力。棒材厂借助山钢集团进出口业务整合的协同效应, 及时了解出口市场信息变化、产品价格动态和新客户渠道信息, 通过与客户沟通和对市场的准确研判, 不断提升出口产品多国认证和多国(地)标准生产能力。近期, 该厂发挥中小型生产线现有装备优势, 将认证与批量生产合二为一, 首次完成 $\Phi 32\text{ mm}$ 、 $\Phi 40\text{ mm}$ 、 $\Phi 50\text{ mm}$ 三个大规格共计 3 000 t 港标材的生产。11 月 10 号, 经中国香港屋宇署检测, 产品各项指标均符合香港 CS2:

2012 标准要求, 莱钢成为国内首家为中国香港提供 $\Phi 50\text{ mm}$ 港标 500B 钢筋的企业。

该厂近期从工艺储备、导卫件完善、轧制料型优化等方面进行技术攻关, 合理分配出口材的生产任务, 提高出口产品交付能力。同时通过完善合同评审、技术协议、检验判定、储存发运等环节的保障机制, 实现产销高效衔接, 确保产品保时、保质装船离港。目前, 棒材厂已具备澳标、英标、美标、日标、韩标出口材生产资质。今年已累计生产出口螺纹钢 3.26 万 t, 拓展了棒材产品创效空间。

(摘自 2014 年 12 月 8 日《世界金属导报》)

石横特钢获评中钢协“对标挖潜”先进企业

近日, 中国钢铁工业协会评审委员会在四川省西昌市召开会议, 评选 2013 年度“对标挖潜”十项主要产品制造成本及吨钢材利润先进企业前三名, 并对评选出的先进企业在全行业进行通报表彰。山东石横特钢集团有限公司取得了吨材利润、三级钢筋成本行业第二名, 低合金钢坯成本行业第三名的好成绩。

近年来, 中国钢铁行业面临着复杂多变的外部环境

和艰难的经营形势。石横特钢深入开展成本精细化管理及“对标挖潜”活动, 不断挖掘降本增效潜力。财务部门加强与同行业成本、原材料价格、主要财务指标的对标力度, 定期与同行业工序加工费进行对比分析, 帮助车间改善经济技术指标、降低工序生产成本, 为企业进行最优管理决策和有效经营提供了有价值的信息资料, 为企业战略实施提供了可靠的数据支撑。(肖富君)