

汽车轴头用低合金高强度钢 Q460D 的开发和性能

梁 娜

(山东钢铁股份有限公司莱芜分公司技术中心, 莱芜 271105)

摘 要 开发的 Q460D 钢 ($\% : 0.16 \sim 0.18\text{C}, 0.42 \sim 0.48\text{Si}, 1.40 \sim 1.46\text{Mn}, 0.012 \sim 0.020\text{P}, \leq 0.005\text{S}, 0.11 \sim 0.12\text{V}, 0.020 \sim 0.050\text{Al}, 0.0102 \sim 0.0139\text{N}$) 的冶金流程为 $\geq 40\%$ 铁水 + 废钢 - 50 t 电弧炉 - LF - VD - 260 mm \times 300 mm 坯连铸 - 轧制 $\Phi 70 \sim 100$ mm 材。通过 EAF 终点控制 $[\text{C}] \geq 0.07\%$, $[\text{P}] \leq 0.015\%$, LF 精炼渣碱度 ≥ 3.0 , 喂 Al、Ca 线, 控制 Al $0.030\% \sim 0.05\%$, 控制 $[\text{S}] \leq 0.005\%$, LF 出钢前喂氮化锰线等工艺措施, 钢的力学性能稳定, 屈服、抗拉强度、延伸率和冲击功分别为 470 ~ 504 MPa, 576 ~ 695 MPa, 19.0% ~ 27.5% 和 32 ~ 60 J, 钢的成分及各项性能稳定性高, 探伤合格率为 93.7%, 满足汽车轴头用钢高洁净度、高均质化、高性能稳定性的要求。

关键词 Q460D 钢 汽车轴头 开发 性能

Development and Properties of Low Alloy High Strength Steel Q460D for Auto Axle Head

Liang Na

(Technology Center, Laiwu Sub-Company, Shandong Iron and Steel Co Ltd, Laiwu 271105)

Abstract The metallurgy flowsheet of developed steel Q460D ($\% : 0.16 \sim 0.18\text{C}, 0.42 \sim 0.48\text{Si}, 1.40 \sim 1.46\text{Mn}, 0.012 \sim 0.020\text{P}, \leq 0.005\text{S}, 0.11 \sim 0.12\text{V}, 0.020 \sim 0.050\text{Al}, 0.0102 \sim 0.0139\text{N}$) is $\geq 40\%$ hot metal + scrap - 50 t EAF-LF-VD-260 mm \times 300 mm bloom casting - hot rolling to $\Phi 70 \sim 100$ mm products. With the process measures including controlling EAF end $[\text{C}] \geq 0.07\%$ and $[\text{P}] \leq 0.015\%$, LF refining slag basicity ≥ 3.0 , feeding Al and Ca wire, controlling Al $0.030\% \sim 0.05\%$ and $[\text{S}] \leq 0.005\%$, and feeding manganese-nitride wire before LF tapping, the mechanical properties of steel is stable i. e. yield and tensile strength, elongation and impact energy of steel being respectively 470 ~ 504 MPa, 576 ~ 695 MPa, 19.0% ~ 27.5% and 32 ~ 60 J, the qualified rate of nondestructive testing is 93.7%, and the stability of composition and each performance of steel is high to meet the of high cleanliness, high homogeneity and high stability of properties of steel for auto axle head.

Material Index Steel Q460D, Auto Axle Head, Improvement, Properties

Q460 系列低合金高强度钢是在碳钢基础上, 加入少量合金元素而形成的。利用合金元素产生的固溶强化, 细晶强化和沉淀强化来提高钢的强度。按照对于冲击性能的不同要求, 分为 C、D、E 三级, Q460D 钢要求具备 -20°C 时的冲击性能。

轴头位于车轴端部, 通过焊接与轴连接在一起, 如图 1 所示。轴头在使用过程中与车轴一起承受汽车载荷, 属于汽车的保安件, 对钢材的质量要求很高, 目前国内轴头用钢常采用 45 钢、40Cr 及非调质钢等钢种, 采用 Q460D 等低合金高强度钢来生产轴头极其罕见。为了更好的满足轴头用钢的发展需要, 莱钢特钢事业部采用 50 t 电弧炉短流程生产工艺开发了 Q460D 轴头用钢, 本文以 Q460D 钢为研究对象, 对其生产工艺进行研究。

1 Q460D 钢的主要技术要求

1.1 牌号及化学成分

Q460D 钢的牌号及化学成分 (熔炼分析) 应符合



图 1 汽车轴头产品形态

Fig. 1 Morphology of auto axle head

合表 1 规定。

1.2 低倍组织

钢材的横截面酸浸低倍组织试片上不得有目视可见的缩孔、气泡、裂纹、夹杂、翻皮、白点、晶间裂纹等缺陷。酸浸低倍组织级别应符合表 2 规定。

表1 Q460D 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel Q460D / %

C	Si	Mn	P	S	V	Cr	Ni	Cu	Mo	N	Alt	CEV
≤0.20	≤0.60	1.00~1.70	≤0.030	≤0.025	≤0.20	≤0.30	≤0.30	≤0.30	≤0.10	≤0.015	≥0.020	≤0.47

注:依据公式 $CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ 计算碳当量。

表2 Q460D 钢热轧材的低倍组织要求/级

Table 2 Requirement on macrostructure of hot-rolled products of steel Q460D / rating

一般疏松	中心疏松	偏析
≤2.0	≤2.0	≤2.0

表3 Q460D 钢热轧材的力学性能要求

Table 3 Requirement on mechanical properties of hot-rolled products of steel Q460D

屈服强度 (R_{e1})/MPa	抗拉强度 (R_m)/MPa	断后延伸率 (A)/%	-20℃冲击功 (A_{KV})/J
≥460	560~730	≥18	≥27

1.3 力学性能

钢材的力学性能应符合表3的规定。

1.4 非金属夹杂物

按照 DIN50602-1985 标准分别按 M 法和 K3 法检验:M 法试样面积 200 mm², 钢材的所有非金属夹杂物, 单个值均应 ≤3 级; K3 法试样面积 100 mm², 钢材的所有非金属夹杂物, K3 ≤40。

1.5 探伤

钢材按照 SEP 1920-1984 标准 4 组进行超声波探伤, 探伤结果应满足平底孔直径 ≤1 mm 要求。

2 Q460D 生产工艺流程及控制要点

2.1 工艺流程

配料(热装 40% 以上铁水)→50 t 电弧炉→LF 精炼 + VD 真空脱气处理→连铸(电磁搅拌, 连铸坯断面尺寸 260 mm × 300 mm)→入坑缓冷/热送→轧制成材(轧制规格 Φ70 ~ 100 mm)。

2.2 关键技术

(1) 成分设计。由于钢材的碳当量控制严格, 因此在满足碳当量的前提下, 成分设计采用控 C、Mn, 提硅增氮的成分设计, 利用钒氮微合金化技术^[1], 来保证钢材的力学性能。考虑钢材的成本及洁净度要求, Q460D 钢设计成分(/%) 为 0.16 ~ 0.18C、1.40 ~ 1.46Mn、0.40 ~ 0.50Si、P ≤ 0.025、S ≤ 0.010、0.10 ~ 0.12V、0.010 ~ 0.015N、0.020 ~ 0.050Al。

(2) 力学性能。采用钒氮微合金化技术, 利用析出强化和细晶强化提高钢材的力学性能^[2-3]。

在微合金元素的碳氮化合物析出的过程中, 终

轧后的冷却对晶粒细化具有深远的影响, 因此, 对最终产品的机械性能产生影响。屈服强度随冷却速度的提高而大幅增加, 这是由于钢中更加致密、细化的微合金析出物和细化的晶粒造成的。同时, 由于细化的晶粒不能完全补偿强度的增加, 冲击韧性会略有下降。对于典型的钒结构钢, 在冷却速度超过 10 °C/s 由于析出时间不充分, 析出强度降低。连续的加速冷却使温度直接降至环境温度会导致贝氏体组织的产生, 虽然强度会有所增加, 但对韧性却有所降低, 加速冷却的最终温度不应低于 500 °C。因此, 在生产工艺过程中, 钢材的均热温度控制在 1 170 ~ 1 220 °C, 终轧温度 900 ~ 950 °C, 轧后采用风冷, 冷却速度 2 ~ 4 °C/s, 下冷床温度确保 500 ~ 600 °C, 下冷床后应及时收集。

(3) 高洁净度钢材生产工艺。初步生产工艺制定为: 在电弧炉冶炼过程中, 严格脱氧脱磷操作, 终点 C ≥ 0.07%, P ≤ 0.015%, 残余元素含量符合标准要求; 精炼过程控制炉渣碱度大于 3.0, 精炼渣成分为 CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO, 白渣保持时间 ≥ 20 min。LF 出钢前喂入铝线、钙线, 按照全铝含量目标在 0.030% ~ 0.05% 喂入铝线、1.0 ~ 2.5 m/t_钢 喂入钙线; VD 真空精炼, 真空度 ≤ 67 Pa 保持时间 ≥ 12 min, 软吹氩时间 ≥ 15 min, 软吹氩时严禁钢水裸露和大氩气量搅拌降温; 连铸过程采用全程保护浇铸。

在生产过程中发现非金属夹杂物不满足要求的情况, 部分试样硫化物夹杂达到 4 级, 甚至 5 级, 如图 2。对该种情况进行分析, 分析结果表明, 超标硫化物主要为 MnS。针对此种情况, 将硫含量内控降低至 S ≤ 0.005% 以下, 加强过程脱氧, 炼好炉渣, 保证炉渣的流动性, 加强精炼过程中钙处理, 按 1.5 ~ 2.5 m/t_钢 喂入钙线; VD 真空精炼, 真空度 ≤ 67 Pa 保持时间 ≥ 12 min, 软吹氩时间 ≥ 20 min, 以保证夹杂物的充分上浮。

(4) 高品质探伤材生产工艺。电弧炉、精炼过程强化钢水的洁净度控制, 尤其是硫含量及其夹杂物形态、氧含量等控制; 在连铸过程中, 过热度按 20 ~ 30 °C 严格控制, 稳定拉速为 0.50 ~ 0.60 m/min, 使用 Q345B 钢连铸保护渣, 电磁搅拌参数 300 A/12 Hz。为满足表面质量的严格要求, 轧制前

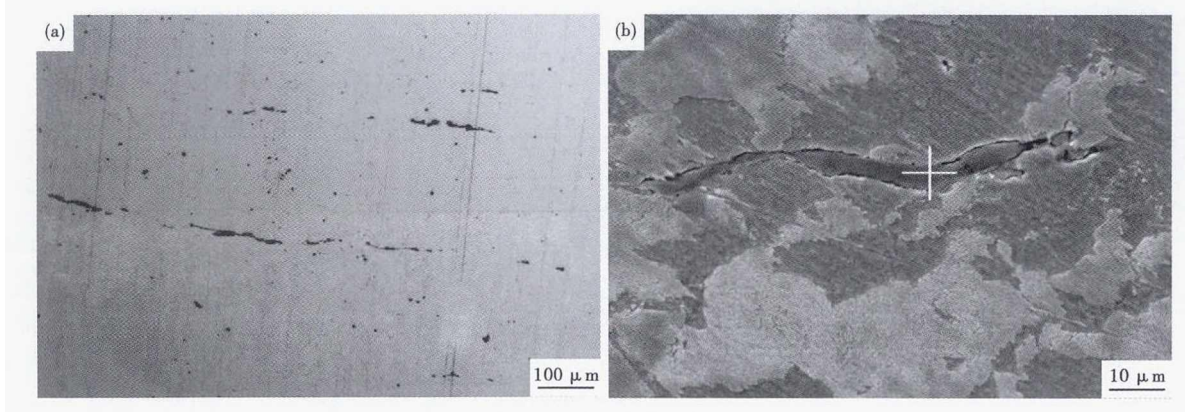


图 2 Q460D 钢热轧材硫化物的形貌:(a)抛光;(b)腐蚀
Fig.2 Morphology of sulfide in hot-rolled products of steel Q460D: (a) polished; (b) etched

要认真检查轧辊、导卫、辊道等,避免损伤钢材表面;严格控制钢材外形尺寸,尤其是椭圆度的控制,在更换轧辊后前期安排生产,按正公差 +0.6 ~ 1.2 mm 窄范围控制,对钢材进行剥皮处理,消除钢材表面缺陷,同时满足探伤材全自动探伤表面精度要求,钢材剥皮后尺寸控制为钢材公称直径 -0.5 ~ 0 mm。

(5) 增氮工艺。氮能提高钢的强度、低温韧性

表 4 氮化锰包芯线主要技术指标

Table 4 Main technical indexes of manganese nitride core wire

项目	化学成分/%						铁皮质量/ (g · m ⁻¹)	芯粉质量/ (g · m ⁻¹)
	Mn	S	C	Si	P	N		
标准值	≥80	≤0.02	≤0.10	≤1.00	≤0.03	≥7	≤175	450 ~ 500
检验值	83.26	0.011	0.083	0.002 9	0.003 1	7.26	170	485

和焊接性,对钢的综合性能具有十分重要的意义。为保证增氮效果,采用喂氮化锰包芯线(Φ13 mm)的方式增氮^[4-5],氮化锰包芯线的主要指标见表 4 所示,选择 LF 出钢前加入氮化锰包芯线,按 4 ~ 4.5 m/t_钢 喂入氮化锰包芯线。

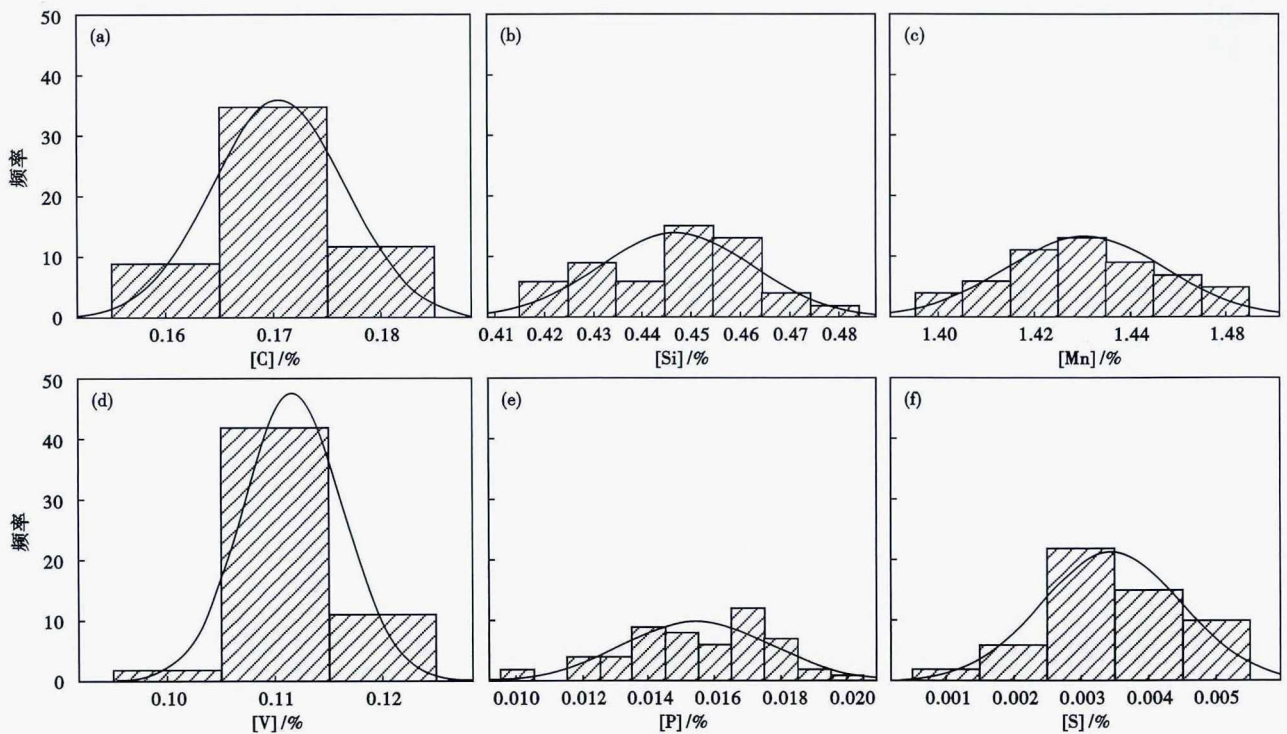


图 3 Q460D 钢化学成分分布:(a)C,(b)Si,(c)Mn,(d)V,(e)P,(f)S
Fig.3 Distribution of chemical composition of steel Q460D: (a) C, (b) Si, (c) Mn, (d) V, (e) P and (f) S

3 产品实物质量

3.1 化学成分

图3为Q460D钢中C、Si、Mn、P、S、V、Al成分的统计结果,其范围为:C 0.16%~0.18%、Si 0.42%~0.48%、Mn 1.40%~1.46%、P 0.012%~0.020%、S ≤ 0.005%、V 0.11%~0.12%、Al 0.020%~0.050%,碳当量(CEV)主要控制在0.44%~0.46%,保证了材料性能的稳定性和良好的焊接性能。钢材的氮含量统计结果如图4所示,成品氮含量主要集中在0.0102%~0.0139%,控制较稳定。

3.2 力学性能

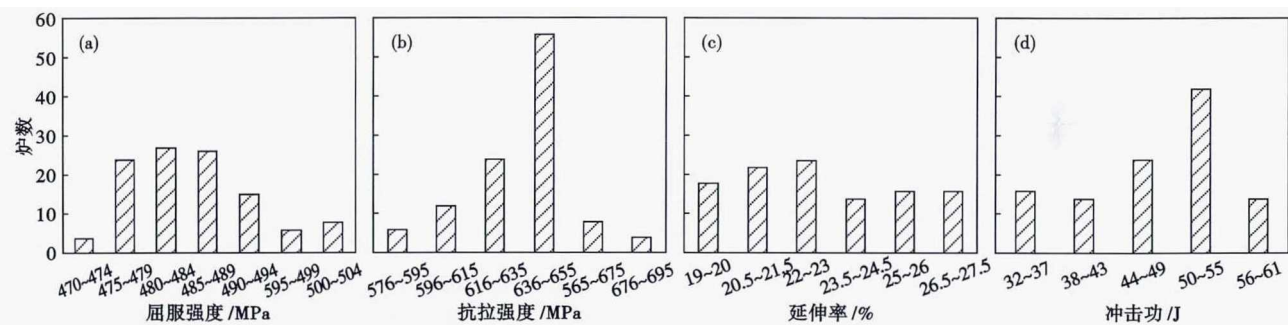


图5 Q460D钢热轧材力学性能分布:(a)屈服强度,(b)抗拉强度,(c)延伸率和(d)冲击功

Fig. 5 Distribution of mechanical properties of hot-rolled products of steel Q460D: (a) yield strength, (b) tensile strength, (c) elongation and (d) impact energy

图5为Q460D钢力学性能的统计结果,从图5中可以看出,其力学性能较稳定:屈服强度470~504 MPa、抗拉强度576~695 MPa、延伸率19.0%~27.5%、冲击功32~60 J,符合钢材力学性能要求。

3.3 低倍组织

钢材的低倍组织级别为一般疏松0.5级,中心疏松0.5~1.5级,偏析0.5级,中心偏析0~1级,无其它低倍缺陷。

3.4 非金属夹杂物

钢材对非金属夹杂物要求严格,按DIN50602标准K法和M法检验,从非金属夹杂物统计结果来看,钢材的洁净度较高。按M法检验:SS类2~3级、OA类1~3级、OS类0~2级、OG类0~2级;按K法检验,K=7~18,为材料有良好的疲劳性能提供保障。

3.5 探伤

对生产Q460D钢的探伤合格率进行统计,探伤合格率93.27%。

综合以上统计结果可以看出,生产Q460D钢的各项性能均能很好的满足技术要求,且性能稳定,洁净度高,具有良好的综合性能。

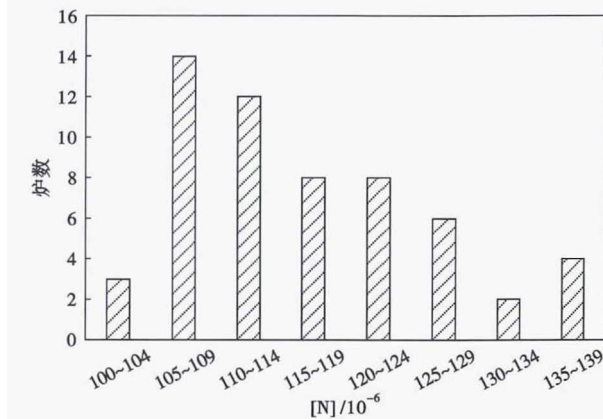


图4 Q460D钢氮含量分布

Fig. 4 Distribution of nitrogen content in steel Q460D

4 结论

(1)采用50 t电弧炉短流程生产工艺开发了Q460D轴头用钢,生产工艺稳定可行,产品各项性能均满足汽车轴头用钢的要求。

(2)生产的轴头用钢具有洁净度高、均匀性好,探伤合格率高等优点,具有良好的综合性能。

参考文献

- [1] 杨清山,刘宝超,孔磊,等. Q460C圆钢的研制与开发[J]. 天津冶金,2014,34(4):20-22,26.
- [2] 刘建,王华昆,宋立秋,等. 钒氮微合金化高强度钢的研究及应用[J]. 上海金属,2006,28(2):56-60.
- [3] 王亦工,冯运莉,冯润明. V-N微合金化提高低合金结构钢韧性研究[J]. 金属热处理,2005,30(9):27-30.
- [4] 马绍华,张志敏,储少军. 用氮化铬、氮化锰冶炼高氮钢[J]. 钢铁研究学报,2008,20(12):10-13.
- [5] 陈爱梅,乔林锁,姜丽,等. 氮化硅锰在钢中增氮应用研究[J]. 铁合金,2009,40(4):43-45.

梁娜(1982-),女,硕士(2007年昆明理工大学),工程师,2004年昆明理工大学(本科)毕业,特殊钢新产品开发和工艺研究. E-mail:wdhlp77@126.com