

C、Si 含量和冷轧压下率对低碳钢 Q195 冷轧板力学性能的影响

赵海泉 王新宇 赖 奇 周兰花
(攀枝花学院钒钛学院,攀枝花 617000)

摘 要 研究了不同 C、Si 含量对低碳钢冷轧板(/% :0.005 ~ 0.034 C,0.008 ~ 0.054 Si,0.28 ~ 0.30 Mn,0.023 ~ 0.026 P,0.004 ~ 0.007 S,0.044 ~ 0.060 Al)力学性能的影响,工业生产流程为铁水预处理-80tBOFRH-连铸-热轧-酸洗-冷轧。结果表明:C、Si 含量越高,强度、硬度越高,伸长率越低。采用工业生产的 Q195 热轧板(/% :0.0112 C,0.009 Si,0.30 Mn,0.025 P,0.006 S,0.052 Al)进行实验室冷轧试验,试验结果表明冷轧压下率由 41% 升高到 57%,强度、硬度逐渐降低,伸长率略有升高。当 C 含量为 0.005% ~ 0.010%,Si 含量为 $\leq 0.012\%$,冷轧下率为 40% ~ 50%,Q195 冷轧板的抗拉强度(R_m) ≤ 660 MPa,(HRB)硬度值为 86 ~ 89,满足技术要求。

关键词 低碳钢冷轧板 C 含量 Si 含量 冷轧压下率 力学性能

Effect of C、Si Content and Cold-Rolling Reduction on Mechanical Properties of Cold-Rolled Plate of Low Carbon Steel Q195

Zhao Haiquan, Wang Xinyu, Lai Qi and Zhou Lanhua
(College of Vanadium and Titanium, Panzhihua University, Panzhihua 617000)

Abstract The effect of C and Si content on mechanical property of low carbon cold-rolled steel(/% :0.0051 ~ 0.0344 C,0.008 ~ 0.054 Si,0.28 ~ 0.30 Mn,0.023 ~ 0.026 P,0.004 ~ 0.007 S,0.044 ~ 0.060 Al) has been studied. Industrial process is hot metal pretreatment-80tBOF-RH-continuous casting - hot rolling-acid pickling-cold rolling. Results show that the higher the C or Si content, the higher the strength and hardness, the lower the elongation. Cold rolling test was carried out in the laboratory, the test material was low carbon steel hot rolled (/% :0.0112C,0.009Si,0.30Mn,0.025P,0.006S,0.052Al) which produced in plant. Results of cold rolling test show that when the cold rolling reduction ratio increases from 41% to 57%, strength and hardness gradually increase, the elongating slightly elevate, When the content of C was 0.005% ~ 0.010%, Si was $\leq 0.012\%$ and cold rolling rate was 40% ~ 50%, the tensile strength (R_m) of cold rolled sheet was less than 660 MPa and hardness (HRB) was 86 ~ 89, meeting technical requirement.

Material Index Q195 Cold-Rolled Steel, Carbon Content, Silicon Content, Cold-Rolled Reduction, Mechanical Properties.

力学性能是低碳钢冲压性能的重要影响因素,合适的力学性能能够提高冲压效率,减少磨具磨损。本文根据用户提出的技术协议,通过工业生产实验和实验室研究,掌握了 C、Si 含量和冷轧压下率对 Q195 冷轧板力学性能的影响及其变化规律,以及满足技术要求的工艺制度。

1 技术要求和工艺流程及实验方法

Q195 冷轧板力学性能要求:

抗拉强度(R_m) ≤ 660 MPa,硬度(HBR)的范围为 82 ~ 92

Q195 冷轧板工业生产工艺流程:铁水预处理 \rightarrow 80 t 转炉冶炼 \rightarrow RH 真空精炼 \rightarrow 连铸板坯 \rightarrow 热轧 \rightarrow 酸洗 \rightarrow 冷轧。板坯尺寸 220 mm \times 1 200 mm \times 8 800 mm。化学成分如表 1 所示,共冶炼 6 炉钢,其中 1[#] ~ 5[#] 炉 C 含量逐渐升高,6[#] 炉加 Si。热轧温度

制度为:板坯驻炉时间 ≥ 3 h,出炉温度(1 150 \pm 20) $^{\circ}$ C,精轧终轧温度(820 \pm 20) $^{\circ}$ C,卷取温度(600 \pm 20) $^{\circ}$ C。热轧板厚度 3.0 mm。冷轧采用森及米尔二十棍冷轧机,冷轧板厚度为 1.5 mm。

取 2[#] 炉热轧板在实验室进行冷轧试验,采用直拉式四辊可逆冷轧机,冷轧压下率设计为 40%,50%,60%。

在冷轧板宽度的 1/4 处取横向拉伸试样,采用

表 1 试验用低碳钢化学成分 / %
Table 1 Chemical compositions of low carbon steel Q195 used for testing / %

炉号	C	Si	Mn	P	S	Al
1 [#]	0.005	0.010	0.29	0.024	0.06	0.050
2 [#]	0.011	0.009	0.30	0.025	0.006	0.052
3 [#]	0.016	0.010	0.28	0.023	0.005	0.045
4 [#]	0.026	0.012	0.27	0.026	0.007	0.044
5 [#]	0.034	0.008	0.30	0.023	0.005	0.055
6 [#]	0.007	0.054	0.28	0.025	0.004	0.060

Zwick/Roell Z100 型拉伸机测试拉伸性能,并用 LE-CO LCR-500 型硬度计测试洛氏硬度 HRB。每个数据为 3 个试样测量的平均值。

2 试验结果与分析

2.1 C 含量对力学性能的影响

大量试验数据都表明^[1-3],低碳钢的化学成分对力学性能影响很大,而其中碳对性能的影响则更为明显。图 1 为 C 含量对 Q195 冷板力学性能的影响,不难看出,碳的微量变化对力学性能的影响极为显著。当碳含量由 0.005% 升高到 0.034%,抗拉强度和屈服强度均提高约 150 MPa,硬度 HRB 提高约 8;并且在此范围内,低随着碳含量的升高,强度和硬度逐渐升高;伸长率先下降后略有升高,最高值与最低值相差 3.6%。

碳在钢中可形成间隙式固溶体,亦可形成金属化合物即渗碳体。炉号为 1[#]、2[#]、3[#]的试验钢含碳量小于 0.021 8%,此时低碳钢在室温下正常的组织形态为铁素体+三次渗碳体。根据相图杠杆定律,碳含量越高室温时渗碳体越多。渗碳体是一种极硬、极脆的化合物,是钢中重要的强化相^[4]。一方面渗碳体的硬度远高于铁素体,伸长率为 0,这是导致 1[#]、2[#]、3[#]试验钢硬度提高,而伸长率下降的主要原因;另一方面渗碳体的抗拉强度低于铁素体^[4],但

随着钢中碳含量增加,渗碳体增加使相界面增多,加大了位错滑移的阻力,所以试验钢的强度逐渐增加。

4[#]、5[#]炉钢碳含量在大于 0.021 8%,室温组织由铁素体和珠光体组成^[4]。由于碳在铁素体中的固溶强化和珠光体的相变强化作用,使试验钢的强度和硬度进一步提高,而伸长率变化不大。

由图 1 可以看出,当 C 含量控制在 0.005% ~ 0.011% 时,抗压强度 ≤ 660 MPa,HRB 在硬度值 86 ~ 89,能够满足技术要求。

2.2 Si 含量对力学性能的影响

Si 含量由 0.001% (1[#]炉) 提高到 0.054% (6[#]炉),冷轧压下率相同时,力学性能变化较大(见表 2),抗拉强度由 624.6 MPa 提高到 745.0 MPa。HRB 硬度值由 86.4 提高到 93.5,超过了技术要求。伸长率降低了 5.6%。与碳含量的影响相比, Si 含量对伸长率的影响较大。Si 在低碳钢中起到固溶强化作用,硅的原子半径与 α-Fe 相差不大($Fe: 1.26 \times 10^{-10}m, Si: 1.11 \times 10^{-10}m$),它们因此溶解在铁素体基体中,置换晶格点阵中的铁原子后造成铁素体的晶格畸变^[5-6],导致低碳钢强度、硬度的提高,塑性下降^[7]。

因此, Si 含量不宜过高,应控制在 0.012% 以下,才能保证力学性能满足技术要求。

2.3 冷轧压下率对力学性能的影响

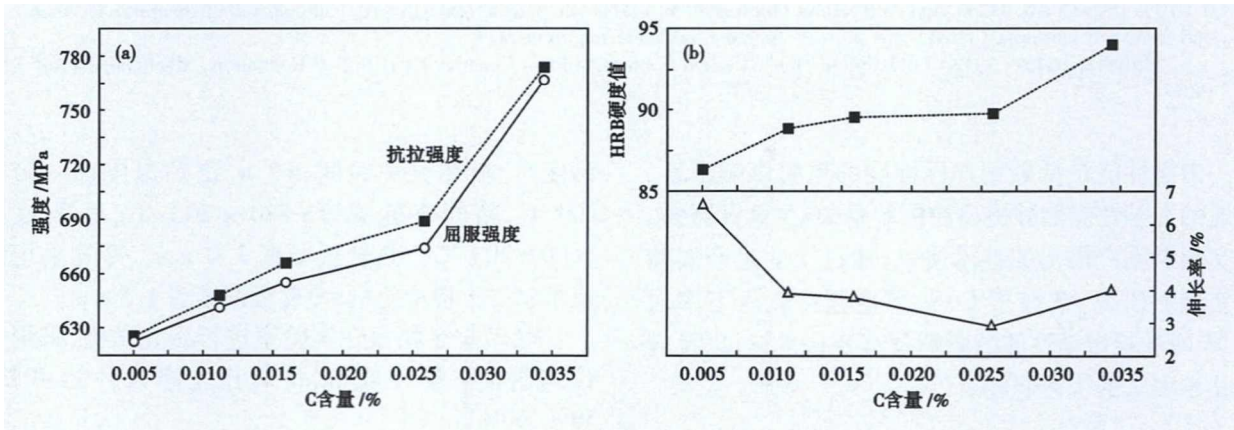


图 1 C 含量对 Q195 冷轧板力学性能随的影响, (a) 强度; (b) 硬度和深伸长度

Fig. 1 Effect of carbon content on mechanical properties of low carbon steel Q195 cold-rolled plates, (a) strength; (b) hardness and elongation

表 2 Si 含量对低碳钢冷轧板力学性能的影响

Table 2 Effect of silicon content on mechanical properties of low carbon steel Q195 cold-rolled plates

炉号	冷轧压下率 / %	抗拉强度 / MPa	屈服强度 / MPa	伸长率 / %	硬度值 HRB
1 [#]	50	624.6	622.0	6.6	86.4
6 [#]	50	745.0	739.0	1.0	93.5

将 2[#] 炉的热轧板分别轧制成不同厚度的冷轧板,冷轧压下率分别为 41%、50%、57%。冷轧压下率对冷轧板力学性能的影响如图 3 所示。随着冷轧压下率由 41% 提高到 57%,抗拉强度和屈服强度均以 40 MPa 的增幅逐渐增加,总增幅约 80 MPa;伸长率由 4.0% 降低到 3.5%,降低幅度不大;硬度值

表3 冷轧压下率对低碳钢冷轧板力学性能的影响
Table 3 Effect of cold-rolling reduction on mechanical properties of low carbon steel cold-rolled plates

冷轧压下率/%	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	硬度值 HRB
41	604.2	596.3	4.0	84.5
50	647.5	641.4	3.9	88.8
57	684.0	676.6	3.5	89.0

(HRB)先由 84.5 提高到 88.8,再提高到 89,前期提高幅度大于后期。

当冷轧压下率超过 50%,达到 57%时,抗拉强度为 684.0 MPa,大于 660 MPa,不能满足技术要求。因此冷轧压下率应为 40%~50%。

相关研究表明,随着材料塑性变形量增加,一方面位错不断增殖,位错间的交互作用又增大了位错运动的阻力,从而使强度、硬度越大,塑性越低;另一

方面,钢中的渗碳体颗粒逐渐细化,这将提高冷轧钢带的强度,降低伸长率^[8]。

3 结论

(1) Q195 冷轧板的力学性能受到化学成分和生产工艺的影响,其中 C 含量对强度影响较大, Si 含量对伸长率影响较大;冷轧压下率对强度的影响与 Si 含量相当,而对伸长率的影响最小。

(2) 提高 C、Si 含量和冷轧压下率均可提高 Q195 冷轧板的强度和硬度,降低伸长率。

(3) 采用本文的炼钢工艺和热轧工艺,将 C 含量控制在 0.005%~0.010%, Si 含量在 0.012% 以上,冷轧压下率为 40%~50%, Q195 低碳钢冷轧板的抗拉强度 (R_m) \leq 660 MPa, HRB 硬度值为 86~89。

参考文献

- [1] 李志斌,王立新,李国平. 化学成分和工艺对 304NbN 不锈钢板力学性能的影响[J]. 特殊钢,2001,22(4):51-52
- [2] 张明星,康沫狂,周鹿宾. 高强高韧低碳贝氏体钢的化学成分与力学性能的关系研究[J]. 包头钢铁学院学报,1991,10(2):40-45
- [3] 张秀丽,孙永庆,梁剑雄,等. 0Cr16Ni5Mo 钢 Φ 120~160 mm 棒材成分和力学性能的回归分析[J]. 特殊钢,2015,36(2):60-61
- [4] 廖健诚. 金属学[M]. 北京:冶金工业出版社,1994:137-145,151
- [5] 王明杰. 化学成分及熔炼工艺对集装箱角铸钢件力学性能的影响[J]. 铸造技术,2002,26(1):8-9
- [6] 王有铭,李曼云,韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却[M]. 北京:冶金工业出版社,1995.5
- [7] 范倚,范新有,李士琦,等. Si 含量对超超临界汽轮机转子钢 30Cr2Ni4MoV 组织和性能的影响[J]. 特殊钢,2011,32(4):57-

59

- [8] 程晓杰,刘雅政,武磊,等. 冷轧压下率对 DQ 级深冲带钢组织和性能的影响[J]. 特殊钢,2010,31(1):46-48

赵海泉(1975-)男,博士(2018年钢铁研究总院毕业),高级工程师,钒钛、钢铁材料研究。

E-mail:zhao_hai_quan@163.com

王新宇(1979-)女,硕士,高级工程师,2005年中南大学硕士毕业,电磁纯铁新产品新工艺研发。

E-mail:wangxy2@tisco.com.cn

收稿日期:2018-05-29

欢迎订阅《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00元/期 96.00元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社