

SUS410L 不锈钢 3 mm 热轧带卷退火工艺的优化

杨永超 王明涛 白晋钢 杨永杰

(太原钢铁(集团)有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 统计得出 126 卷 SUS410L 钢(/% :0.02C,0.98Si,0.99Mn,0.018P,0.022S,12.44Cr,0.025N)3 mm 热轧带卷退火后(板温 840 ℃,过线速度 50 m/min)的力学性能波动较大(抗拉强度 551 ~ 673 MPa,伸长率 16% ~ 28%),在连续冷轧时易引起断带事故。在退火时通过合理的引带长度和将 TV 值(带钢厚度 × 过线速度)由 150 降至 120(过线速度 40 m/min)时,使力学性能波动较小(抗拉强度 593 ~ 639 MPa,伸长率 20% ~ 22%),有利于冷轧顺利进行。

关键词 SUS410L 不锈钢 热轧带卷 抗拉强度 伸长率 退火工艺优化 冷连轧

Optimization of Annealing Process for 3 mm Hot-Rolled Strip Coil of Stainless Steel SUS410L

Yang Yongchao, Wang Mingtao, Bai Jingang and Yang Yongjie
(Technology Center, Taiyuan Iron & Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract It is obtained by statistics that the fluctuation of mechanical properties of annealed 126 coils 3 mm hot-rolled steel SUS410L (/% : 0.02C, 0.98Si, 0.99Mn, 0.018P, 0.022S, 12.44Cr, 0.025N) strip annealed with strip temperature 840 ℃ and strip-line running speed 50 m/min is larger, that is tensile strength 551 ~ 673 MPa and elongation 16% ~ 28%, caused the strip breaking accident during continuous cold-rolling process. During annealing by using reasonable leading strip length and decreasing the TV value (thickness of strip × strip-line running speed) from 150 to 120 (strip-line running speed 40 m/min), the fluctuation of strip mechanical properties is smaller, that is tensile strength 593 ~ 639 MPa and elongation 20% ~ 22%, it is available to carry out the cold-rolling process.

Material Index Stainless Steel SUS410L, Hot-Rolled Strip Coil, Tensile Strength, Elongation, Annealing Process Optimization, Continuous Cold-Rolling

SUS410L 不锈钢是一类价格低廉、耐大气腐蚀及耐磨损性能优良、强度与塑韧性可与常用耐候钢相仿的经济型不锈钢^[1]。目前的大生产,对于 SUS410L 的退火处理采用的是连续退火炉。

在不锈钢冷轧厂连轧生产线试轧制 SUS410L 时,轧制结果并不理想:试验卷数 16 卷,发生断带 3 次。断带事故会导致生产线停机,作业率降低,成材率下降^[2]。

1 连续退火后 SUS410L 力学性能统计

跟踪现场生产的规格为 3.0 mm 的 126 卷热轧黑皮卷,其平均成分如表 1 所示。热线退火工艺为板温 840 ℃,过线速度为 50 m/min。

由表 2 可知,退火酸洗的 126 卷钢卷的屈服强度范围在 317 ~ 464 MPa,极差为 147 MPa;抗拉强度范围在 551 ~ 673 MPa,极差为 122 MPa;伸长率范围

表 2 SUS410L 不锈钢力学性能统计结果

Table 2 Statistics results of mechanical properties of stainless steel SUS410L

项目	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%
最小值	317	551	16
最大值	464	673	28
平均值	375	628	22

在 16% ~ 28%,极差为 12%。如图 1 所示,从强度变化来看,总体数据较为稳定,在最后的 20 卷,屈服强度发生较大波动。从伸长率变化来看,整体的波动性较大,在前 15 卷波动更为明显。

如图 2 所示,伸长率为 22% 的卷数最多达到 27 卷,伸长率 18% ~ 25% 的卷数占到总卷数的 90.47%,9.53% 的卷数伸长率落在了 18% ~ 25% 以外。

单机架轧制时,由于钢卷和钢卷的轧制是独立进行的,所以通过及时调整轧制工艺参数(轧制速度、压下量、轧制压力)即可以完成钢卷的轧制。在连续轧制过程中,钢卷与钢卷通过激光焊机焊接在一起,依次经由 5 个轧机轧制;若前后两个钢卷性能

表 1 SUS410L 不锈钢的平均分析成分 /%

Table 1 Average analysis of stainless steel SUS410L /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	N
0.021	0.98	0.99	0.018	0.022	12.44	0.025

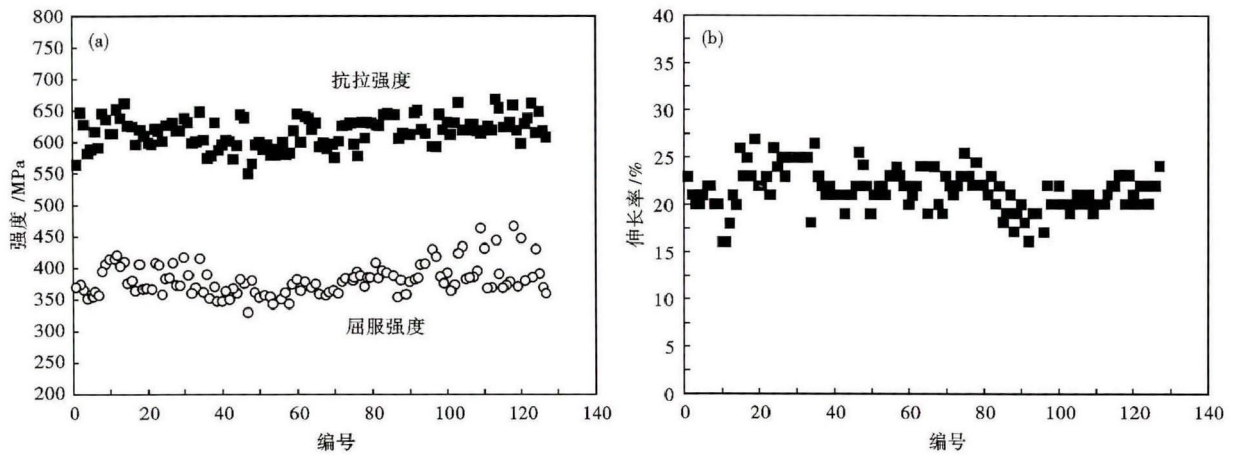


图 1 126 卷 SUS410L 钢带卷的强度 (a) 和伸长率 (b)
Fig. 1 Strength (a) and elongation (b) of 126 trip-coils of steel SUS410L

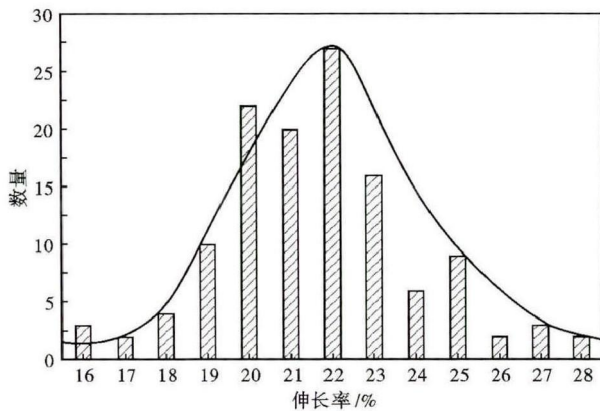


图 2 SUS410L 钢带卷伸长率的分布
Fig. 2 Distribution of elongation of trip-coils of steel SUS410L

差别较大,在相同的轧制压力下,必然会造成钢卷的厚度不均;再通过下一个轧机时,厚度的变化将导致轧机压下、速度、张力发生跳变,在高速冷连轧时使辊缝响应无法及时跟上,由于连续轧制的惯性和轧制负荷自动调整的滞后性,在经过焊缝后发生断带^[3]。

同时,从统计数据中可以发现,热轧黑卷在过连续退火酸洗线时,前几卷的性能会出现较为明显的波动。经过现场调查,在此次退火酸洗 126 卷 SUS410L 之前,此条生产线退火酸洗的钢卷为 SUS304,其退火温度为 1 120 ℃,高于 SUS410L 的退火温度。当退火温度达到设定值之后,便开始进行 SUS410L 的退火,但由于测温系统的滞后性与灵敏性的原因,退火温度会在设定的目标值上下波动,直至最终趋于稳定。前几卷性能波动原因正是由于炉温的波动导致组织回复情况存在差异,最终反映在强度和伸长率上的差别。因此,需要调整引带的长度,保证设定的目标退火温度基本不发生波动时开

始进行 SUS410L 钢卷退火。

2 连续退火的优化工艺

2.1 确定合理的 TV 值

SUS410L 经连续退火后,整体性能的波动是由于退火的不均匀性引起的,目前退火时 TV 值为 150。TV 值即为钢带厚度与钢带运行时工艺速度的乘积,在保持原有板温以及原料厚度不能改变的前提下,通过采取降低过线速度来降低 TV 值的方法,延长 SUS410L 在炉中的退火时间,使钢带平稳运行、均匀退火,得到良好的组织和性能。选取 5 卷试验卷,其规格、成分如表 3,具体退火工艺如表 4。

2.2 确定合理的引带长度

实际操作过程中,应根据 SUS410L 退火前的钢种来确定引带长度,在保证炉温及板温达到目标温度且较为稳定时,开始进行 SUS410L 的退火处理。

3 优化工艺后的结果与分析

在钢厂连续退火酸洗线进行了退火工艺优化试

表 3 优化后 3 mm SUS410L 不锈钢带的分析成分/%
Table 3 Analysis of 3mm test strip coil of stainless SUS410L after optimization /%

编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	N
1	0.025	0.981	0.985	0.019	0.021	12.431	0.027
2	0.021	0.979	0.983	0.021	0.019	12.384	0.025
3	0.023	0.985	0.977	0.023	0.017	12.458	0.023
4	0.019	0.982	0.981	0.018	0.020	12.392	0.024
5	0.027	0.977	0.982	0.021	0.019	12.435	0.026

表 4 优化前和优化后的退火工艺参数
Table 4 Parameters of annealing process before and after optimization

工艺	规格/mm	板温/℃	TV	过线速度/(m·min ⁻¹)
优化前	3.0	840	150	50
优化后	3.0	840	120	40

验,引带长度的确定以保证炉温和板温达到目标温度且没有明显波动为准,试验板温保持原工艺不变,TV 值调整为 120。

3.1 力学性能

从表 5 和图 3 中可以看出,选择合理的引带长度和 TV 值后,退火酸洗后 SUS410L 屈服强度的变化范围在 377 ~ 394 MPa,抗拉强度的变化范围在 593 ~ 639 MPa,伸长率的变化范围在 20% ~ 22%;屈服强度均值为 383 MPa,抗拉强度均值为 615 MPa,伸长率均值为 21%;屈服强度、抗拉强度以及伸长率波动较小,性能稳定。

3.2 金相组织

从图 4 中可见,TV = 150 时,退火后,可在显微镜下观察到组织为拉长的形变晶粒,板条状铁素体组织明显,基本没有发生晶粒再结晶。这是因为回复过程中所有的变化都不涉及大角度晶界的迁移,所以光学显微镜下观察到的组织基本不发生变化,并且回复过程中位错密度的减少有限,仍然存在一定的加工硬化。而在 TV = 120 时,退火后,在显微

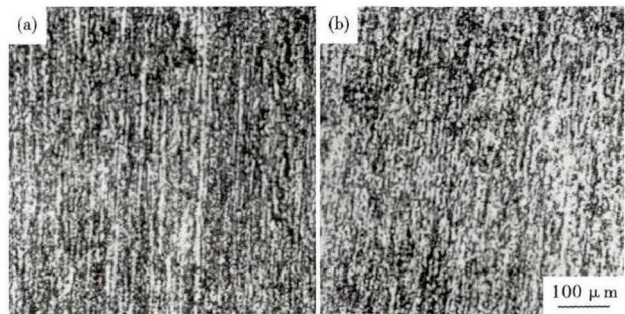


图 4 TV 值 150(a) 和 120(b) 退火 SUS410L 钢带卷的组织形貌

Fig. 4 Morphology of structure of steel SUS410L trip-coils annealed with TV value 150 (a) and 120 (b)

镜下观察到试样内板条状铁素体组织基本消失,开始出现少量的再结晶晶粒。由于回复和再结晶的软化作用,降低了钢卷的硬化程度,塑性得到了改善^[4-7]。

4 结论

(1) 力学性能的波动对单轧机轧制影响不明显,但在连续轧制时容易发生断带事故。

(2) 采用合理的引带长度,降低 TV 值,经连续退火后的钢卷性能较为稳定,未发生明显的波动;热轧后的板条状铁素体组织基本消失,组织回复效果良好。

(3) 为了保证 SUS410L 钢卷在冷连轧的顺利轧制,连续退火时应该选择合理的引带长度,低 TV 值,以得到回复良好的组织和稳定的性能。

参考文献

- [1] 杜兵,孙静涛,徐玉君,等. 铁路车辆用 00Cr12 型不锈钢及其焊接[J]. 焊接,2009(1):1-6.
- [2] 王畅,于洋,徐海卫,等. 冷轧非焊缝断带原因分析及预防措施[J]. 轧钢,2014,31(4):70-75.
- [3] 徐超,朱正勤. 冷轧断带原因与分析——兼论轧制计划排程对冷轧断带的影响[J]. 安徽冶金科技职业学院学报,2005,15(4):30-32.
- [4] 李焯,陈雨来,江海涛,等. 退火处理对 00Cr12Ti 铁素体不锈钢组织和性能的影响[J]. 特殊钢,2008,29(6):61-63.
- [5] 郑淮北,叶晓宁,江来珠,等. 00Cr12Ni 不锈钢焊接热影响区的组织及韧性[J]. 东北大学学报(自然科学版),2010,31(10):1401-1404.
- [6] 李焯,王一德,唐荻,等. 退火工艺对 00Cr12Ti 铁素体不锈钢组织和性能的影响[J]. 材料热处理学报,2013,34(10):110-114.
- [7] 李永红,李超,任世宏,等. 铁素体不锈钢 410 的 TIG 焊接[J]. 现代焊接,2009(9):16-20.

杨永超(1990-),男,硕士(2014 年东北大学),助理工程师,2012 年东北大学(本科)毕业,不锈钢冶炼。

E-mail: yangyc@tisco.com.cn

表 5 退火工艺优化后不锈钢 SUS410L 带卷的力学性能
Table 5 Mechanical properties of strip coil of stainless steel SUS410L after optimization of annealing process

编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%
1	385	601	22
2	382	620	21
3	394	623	21
4	377	639	20
5	379	593	22
最小值	377	593	20
最大值	394	639	22
平均值	383	615	21

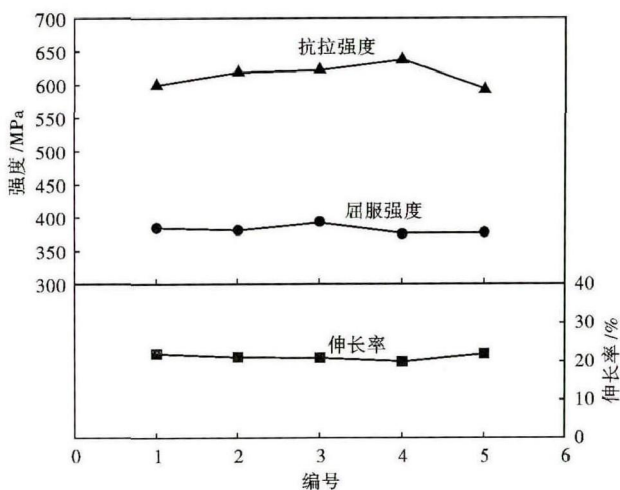


图 3 采用优化退火工艺的 5 炉 SUS410L 钢带卷的强度和伸长率

Fig. 3 Strength and elongation of 5 trip-coils of steel SUS410L with using optimized annealing process

收稿日期:2015-10-26