

退火和平整工艺对 08Al 钢冷轧包芯线用冷轧薄带力学性能的影响

裴润奇

(太钢不锈钢股份有限公司冷轧硅钢厂,太原 030003)

摘要 试验研究了退火工艺(820 ℃连续退火,670 ℃罩式退火和730 ℃罩式退火)和平整延伸率(0.8%, 1.2%和1.5%)对包芯线用08Al钢(0.07% C, 0.05% Al, 0.004 0% N)0.4 mm冷轧薄带组织和性能的影响。结果表明,连续退火薄带组织为铁素体+珠光体,屈服强度(300 MPa)和屈强比(0.78)高,延伸率(35%)较低,塑性差,不适合压制成形;730 ℃罩式退火薄带晶粒粗大,不均匀,成形性能差;670 ℃罩式退火薄带组织为再结晶铁素体和呈点链状的游离渗碳体,屈服强度(252 MPa)和屈强比(0.69)低,延伸率(48%)较高,成形性能好;随平整延伸率的增加,屈服强度和屈强比先降低后升高,延伸率下降。合适的平整率应控制在1.2%左右,成形性能最佳,应用效果良好。

关键词 08Al 钢 包芯线用冷轧薄带 退火 组织 力学性能 平整率

Influence of Annealing and Flattening Process on Mechanical Properties of Steel 08Al Cold-Rolled Thin Sheet for Clad Wire

Pei Runqi

(Silicon Steel Cold-Rolling Mill, Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The influence of annealing processes (continuous annealing at 820 ℃, bell type annealing at 670 ℃ and at 730 ℃) and flattening elongation (0.8%, 1.2% and 1.5%) on structure and mechanical properties of 0.4 mm cold-rolled thin sheet of 08Al steel (0.07% C, 0.05% Al, 0.004 0% N) for clad wire has been tested and studied. Results show that the structure of continuous-annealed thin sheet is ferrite + pearlite, it has higher yield strength (300 MPa) and strength-yield ratio (0.78), lower elongation (35%) and poor plasticity, not suitable to press and shape; of bell type annealed at 730 ℃ the grains are coarse and uneven with poor shaping performance; of bell type annealed at 670 ℃ the structure of thin sheet is recrystallized ferrite and particle- or chain-shaped free cementite, it has lower yield strength (252 MPa) and strength-yield ratio (0.69), higher elongation (48%) and nice shaping performance; with increasing flattening elongation the yield strength and strength-yield ratio decrease first and then increase, and the elongation decreases, the suitable flattening elongation is about 1.2% with nice shaping performance and better application results.

Material Index Steel 08Al, Cold-Rolled Thin Sheet for Clad Wire, Annealing, Structure, Mechanical Properties, Flattening Elongation

包芯线主要由容器作用的外部冷轧薄钢带和内部裹着的喂线处理时合金粉剂组成。由于外部钢带较薄,内部粉剂采用松装,因此包芯线松软容易变形。根据统计数据表明,喂线处理时,断线率非常高^[1]。因此,包芯线用冷轧薄带需具备良好的强度、延伸性和成形性能。当前使用的包芯线外皮用钢主要有08F、0B2F和08Al等^[2],但由于退火和后续加工工艺等质量问题,很难保证包芯线质量。本文采用08Al热轧卷作原料,经冷轧后分别在硅钢连续退火机组和全氢罩式退火炉上进行0.4 mm规格包芯线专用冷轧薄带产品的开发。通过研究退火工艺和平整延伸率对包芯线薄带组织和力学性能的影响,确定了包芯线用冷轧薄带最佳生产工艺流程,解决了包芯线压制过程中存在的漏粉现象,试用效果良好。

1 试验材料与方法

试验用钢08Al在太钢股份公司第二炼钢厂80 t顶底复吹转炉上进行冶炼,然后在80 t RH真空处理炉上进行精炼,连铸坯规格为220 mm × 1 260 mm。热连轧后热轧卷规格为2.5 mm × 1 250 mm,试验数量3卷。热轧卷经酸洗切边后一次冷轧至0.4 mm × 1 224 mm,对应冷轧压下率为84%。将其其中1个冷轧卷在硅钢卧式连续退火机组上进行连续退火,退火温度820 ℃,退火时间5.5 min。另外2卷在全氢罩式炉中进行退火,其中1卷退火温度670 ℃,退火时间40 h,另1卷退火温度730 ℃,退火时间40 h。保温结束后均缓慢冷却至550 ℃,起吊外罩,随炉冷却至160 ℃后出炉。每种工艺罩式炉内装炉量1卷,约20 t。对670 ℃罩式退火后的产品分别进行延伸率为0.8%、1.2%和1.5%的平

表1 试验08Al钢的分析成分/%
Table 1 Analysis of test steel 08Al/%

C	Si	Mn	P	S	Al	N
0.07	0.03	0.35	0.030	0.020	0.05	0.004

整处理,平整后带钢厚度分别为0.397、0.395、0.394 mm,并将平整后的材料分成宽度为55 mm条料送往包芯线机组上进行试用。

试验流程为80 t顶底复吹转炉冶炼→80 t RH真空处理→热轧→酸洗→冷轧→连续退火或罩式退火→平整→分条→包芯线机组试用,试验用材料化学成分如表1所示。

将平整前后不同罩式退火工艺条件下的试样裁成24 mm×14 mm的矩形样品,使用光学显微镜观察样品轧向组织,采用图像处理软件统计晶粒尺寸。按照标准GB/T228-2002要求,在退火及平整后的板面上取样加工成拉伸试样,然后在Z100电子拉伸试验机上进行力学性能检测。

2 试验结果及分析

2.1 退火工艺对组织和力学性能的影响

2.1.1 组织

图1(a)为经84%冷轧压下率后的08Al冷轧薄板轧向组织。可以看出,冷轧板金相组织由铁素体、珠光体和渗碳体组成。铁素体晶粒沿轧制方向被严重的拉长,在拉长的铁素体晶界处分布着珠光体和极少量的渗碳体。热轧板在冷轧过程中,铁素体和珠光体都易被拉成纤维状,而珠光体中的渗碳体片首先发生破裂^[3]。珠光体在冷变形时,铁素体中的位错不易移动,使塑性变形抗力增大。外力增大时,位于铁素体中心的位错源被启动,滑动的位错受阻于渗碳体片,塞积的位错将在渗碳体薄片造成切应力,导致渗碳体片产生破碎断裂。压下率越大,越容易破碎,然后随基体流动的同时也改变了原来的

分布状态^[4]。

图1(b)为820℃连续退火后的08Al薄板轧向组织,可以看出,连续退火组织由大量铁素体和珠光体两相组成。冷轧薄带经连续退火后,拉长的形变铁素体此时已全部再结晶,但再结晶晶粒尺寸较小,而且不均匀,平均晶粒尺寸约8 μm,形状基本为等轴晶粒,晶界较为平直。珠光体总体上呈岛状分布于铁素体晶界,数量较少。08Al的碳含量为0.07%,属于亚共析钢,820℃退火时将形成奥氏体。由于硅钢连续退火线冷却速度很快,无过时效工艺段,急速冷却后,奥氏体转变为铁素体+珠光体组织。而冷轧板中极少量的游离渗碳体在连续退火线保温过程中溶解后,快速冷却后很难再次析出,因此连续退火后组织中几乎没有游离渗碳体。另外,连续退火工艺升温速率较高,回复过程来不及进行或进行不充分,促使更多的冷变形储能保存在组织中,再结晶形核速度大于晶粒长大速度,因此,连续退火后产品晶粒尺寸较小且不均匀。

图1(c)为670℃罩式退火后08Al薄板轧向组织。可以看出,冷轧板经过670℃罩式退火后,再结晶过程已经全部完成,组织为典型的低碳钢退火组织:再结晶铁素体+渗碳体。和图1(b)相比,局部晶粒大小显著增长,但由于铁素体晶粒大小极不均匀,平均晶粒尺寸16 μm。晶粒饼形度较高,另外,670℃罩式退火后,冷轧板中的破碎渗碳体发生了球化,以点链状分布于铁素体晶内,少量存在于晶界,这是因为670℃处于铁碳平衡相图的铁素体+渗碳体球化温度区域范围内,随着罩式退火保温过程的进行,冷轧时破碎的片状碳化物溶断成质点,并逐渐长大成颗粒状的球化组织。片状渗碳体球化后,自由地分布于铁素体的基体之中。

图1(d)为730℃罩式退火后08Al薄板轧向组织。随着罩式炉退火温度的升高,铁素体平均晶粒

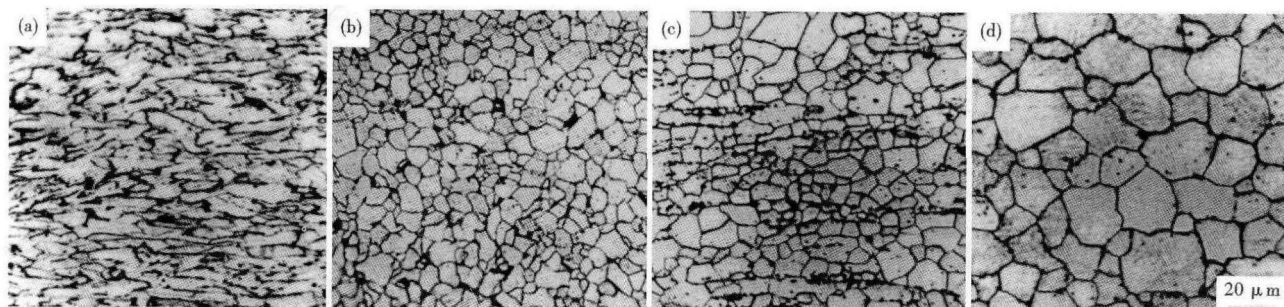


图1 (a)冷轧板(未退火);(b)820℃连续退火;(c)670℃罩式退火;(d)730℃罩式退火时08Al钢0.4 mm薄带的组织形貌
Fig.1 Morphology of structure of 0.4 mm thin sheet of steel 08Al: (a) cold-rolled sheet (non-annealed); (b) continuous annealed at 820℃; (c) bell type annealed at 670℃; (d) bell type annealed at 730℃

表2 退火工艺对08Al钢0.4 mm薄带力学性能的影响
Table 2 Influence of annealing process on mechanical properties of 0.4 mm thin sheet of steel 08Al

退火工艺	$R_{el}/$ MPa	$R_m/$ MPa	R_{el}/R_m	$A/\%$
820 °C连续退火	300	385	0.78	35
670 °C罩式退火	252	367	0.69	48
730 °C罩式退火	242	335	0.72	46

尺寸明显增大,晶粒大小不均匀,平均晶粒尺寸约24 μm 。另外,沿晶内分布的渗碳体数量显著减少。分析认为,当退火温度高于727 °C时,铁素体开始奥氏体化,和铁素体相比,碳更易溶于奥氏体中,随着罩式炉退火温度的升高,未溶碳化物颗粒减少,缓冷过程中渗碳体析出量减少。又因为退火温度位于两相区,晶粒尺寸不均匀。

2.1.2 力学性能

表2为不同退火工艺条件下产品的抗拉强度、屈服强度、屈强比(R_{el}/R_m)和延伸率。经对比发现,连续退火后,产品的屈服强度最高,但延伸率也最低,仅有35%。670 °C罩式退火产品的屈服强度较连续退火产品低48 MPa,但延伸率提高了13%。和670 °C罩式退火产品相比,730 °C罩式退火产品的屈服强度进一步降低,延伸率也略有降低。

和罩式退火工艺相比,连续退火保温时间短,再结晶非常快,晶粒细小,强度较高,延伸率较低;带钢的快速冷却,使碳化物来不及析出,放置过程中发生时效,强度进一步提高,延伸率降低,产品塑性和韧性下降。罩式退火工艺保温时间长,冷轧板退火后强度降低,延伸率增加;当罩式退火温度增至730 °C时,游离渗碳体数量显著减少,强度大幅下降,晶粒突然长大,个别晶粒尺寸大于32 μm ,晶粒过大导致塑性降低,延伸率略有下降。

触摸并手工弯曲不同退火方式下的08Al薄带,发现连续退火后的产品较硬,弯曲后出现明显折痕,不利于后序成形加工;和连续退火后产品相比,670 °C罩式退火后的产品塑性较好,经多次反复弯曲折印不明显,见图2。和670 °C罩式退火后产品相比,730 °C罩式退火后产品较软,非常容易变形。

包芯线用退火薄带的成形性能主要受退火升温速率,屈服强度(R_{el}),屈强比(R_{el}/R_m),延伸率(A),组织构成,

晶粒大小和形状等因素影响。退火工艺升温速率越快,成形性能越差;退火后的钢板的成型性能随着 R_{el} 和 R_{el}/R_m 的降低而改善,随着 A 的升高而升高;当薄带组织内含有渗碳体时,会对冲压成形带来伤害;薄带组织内的晶粒尺寸应适中^[5],晶粒太小,则强度过高,不利于冲压成形,晶粒过于粗大,塑性降低,冲压成形时产生破裂;一般来说,再结晶后饼形晶粒越多,晶粒的饼形度越大,退火板的冲压成形性能越好。另外,针对包装用薄带,要求保证一定的洛氏硬度^[6]。综合对比3种退火工艺,及退火后产品的组织和力学性能,670 °C罩式退火升温速率缓慢,退火后产品的 R_{el} 和 R_{el}/R_m 低, A 最高,晶粒尺寸适中,再结晶后饼形度高。其组织内含有的少量点链状渗碳体会稍微恶化退火板的冲压成形性能,但和730 °C罩式退火后产品晶粒过于粗大、硬度低等严重恶化成形性能的特性对比,其对成形性能的影响力较低。因此,认为670 °C罩式退火后产品成形性能最佳,并选择该工艺退火后的产品进行后序的平整工艺。

2.2 平整延伸率对组织和力学性能的影响

冷轧带钢经过再结晶退火,消除了加工硬化组织,但却使力学性能和加工性能变坏。这时带钢的应力应变曲线具有明显的上屈服极限,并且在下屈服极限出现屈服平台。平整工艺不仅可以改善带钢的平直度,使带钢表面有一定的粗糙度或光洁度,还能消除退火带钢明显的屈服极限,消除由此产生的滑移线的倾向。为保持带钢的平直度,防止长时间存放产生屈服平台。对于用于包装的薄带和薄板,一般平整率在1.0%~3.0%。对670 °C罩式退火后的包芯线薄带分别进行0.8%、1.2%和1.5%的平整。

2.2.1 组织

将670 °C罩式退火后的卷分成3小卷,分别进

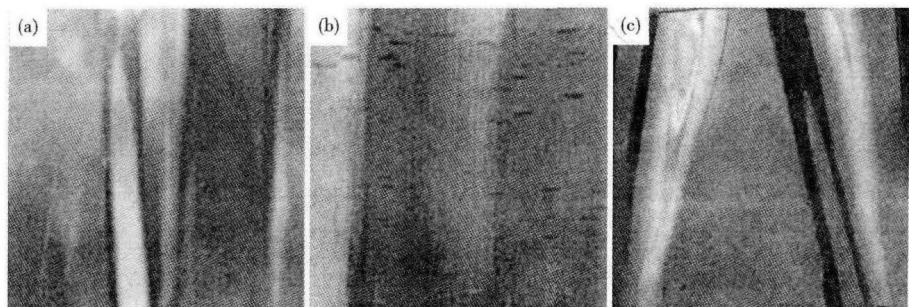


图2 (a)820 °C连续退火;(b)670 °C罩式退火;(c)730 °C罩式退火后薄板弯曲折印对比
Fig. 2 Comparison of crease of bending thin sheet processed by continuous annealing at 820 °C (a), ball type annealing at 670 °C (b) and ball type annealing at 730 °C

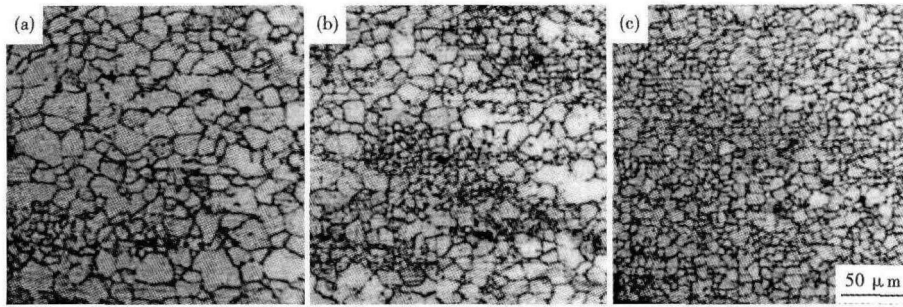


图 3 平整率 08Al 钢 0.4 mm 薄带晶粒尺寸的影响: (a) 0.8% , 15 μm; (b) 1.2% , 10 μm; (c) 1.5% , 7 μm

Fig. 3 Influence of flatting elongation on grain size of 0.4 mm thin sheet of steel 08Al: (a) 0.8% , 15 μm; (b) 1.2% , 10 μm and (c) 1.5% , 7 μm

表 3 平整延伸率对 08Al 钢 0.4 mm 薄带力学性能的影响
Table 3 Influence of flatting elongation on mechanical properties of 0.4 mm thin sheet of steel 08Al

退火工艺	平整率/%	$R_{el}/$ MPa	$R_m/$ MPa	$R_{el}/$ R_m	$A/$ %
670 °C 罩式退火	0.8	246	369	0.67	48
	1.2	243	372	0.65	43
	1.5	256	377	0.68	40

行延伸率为 0.8%、1.2% 和 1.5% 的平整。轧向显微组织分别见图 3(a,b,c)。可以看出,平整对产品组织构成无影响;随着平整延伸率的增加,晶粒平均尺寸减小。

2.2.2 力学性能

表 3 为 670 °C 罩式退火产品不同平整状态下的力学性能。随着平整率的增加,屈服强度先降低后增加,抗拉强度总是随平整率的增加而提高,屈强比先降后升,钢带延伸率则不断降低。

分析认为,通常在小变形量范围内进行带钢平整时,屈服极限会缓慢降低至最低值,屈服平台消失,随着平整延伸率的增加将导致材料位错密度的提高,变形抗力随之提高,屈服极限得到了提高;由

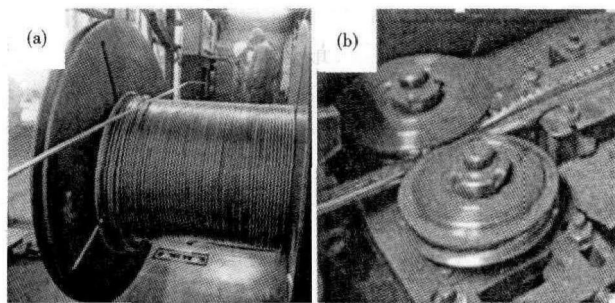


图 4 (a) 延伸率 1.2% , (b) 延伸率 0.8% 和 1.5% 平整率后产品成形状态

Fig. 4 Products forming status with flatting elongation 1.2% (a) and flatting elongation 0.8% and 1.5% (b)

于位错密度对破断抗力影响较小,所以平整延伸率对抗拉强度影响不大^[7]。随着平整延伸率的增大,由于加工硬化不断增大,钢带延伸率不断降低。平整率为 1.2% 时,屈服强度最低,屈强比最低,延伸率适中,成形能力最佳。

3 应用

将 670 °C 罩式退火并分别经过 0.8%、1.2% 和 1.5% 平整后小卷送至包芯线机组进行试制,1.2% 平整后的小卷在包芯线机组进行压制时成形性能良好,0.8% 和 1.5% 平整后小卷在压制过程中压扣不良,经常出现漏粉现象,成形性能较差,见图 4 所示。

4 结论

(1) 连续退火工艺升温速度和降温速度快,产品组织为铁素体 + 珠光体,屈服强度和屈强比高,延伸率低,成形性能差。

(2) 670 °C 罩式退火后,产品组织为铁素体 + 少量游离渗碳体,屈服强度和屈强比最低,延伸率最高,晶粒尺寸适中,再结晶饼形度高,成形性能好。

(3) 730 °C 罩式退火后,晶粒过于粗大,且不均匀性增加,成形性能恶化。

(4) 670 °C 罩式退火后,经 1.2% 延伸率平整后成形性能最佳,应用效果良好。

参考文献

- [1] 刘顺平. 包芯线松装密度优化及其力学性能分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2011: 1-2.
- [2] 徐鹿鸣. 包芯线技术及其在冶金工业中的应用(II)[J]. 铁合金, 2008(2): 10-13.
- [3] 孟运杰. 低碳钢丝球化退火工艺的探讨[J]. 金属制品, 2002, 28(5): 27-28.
- [4] 张 熹, 王春旭, 刘宪民, 等. 冷轧过程中过共析钢组织演变和形变强化[J]. 钢铁, 2007, 42(7): 66-67.
- [5] 涂光棋. 冲模技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 6-8.
- [6] 张晓伟. 冷轧带钢的平整轧制[J]. 一重技术, 2005(5): 1-4.
- [7] 袁新运, 张 标. 平整延伸率对 Ti-IF 冷轧带钢力学性能的影响[J]. 安徽冶金科技职业学院院报, 2010, 20(1): 1-2.

裴润奇(1976-), 男, 硕士(中北大学), 工程师, 1998 年武汉大学(本科)毕业, 冷轧硅钢生产和技术工作。

E-mail: peirq@tisco.com.cn

收稿日期: 2015-06-08