

# 热轧工艺对家电用热镀锌超深冲IF钢性能影响的研究

刘妍, 屈文胜, 宋文钟, 王亚男

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古包头 014010)

**摘要:** 文章结合生产实践,研究了热轧关键工艺参数对家电用热镀锌超深冲IF钢性能的影响,分别开展了880℃和915℃两种精轧终轧温度、680℃和710℃两种卷取温度下试验钢的织构、金相组织及力学性能分析。研究结果揭示了不同热轧工艺参数与家电用热镀锌超深冲IF钢成品织构、金相组织及力学性能的相关性,为通过制定合理的热轧工艺来提高热镀锌超深冲IF钢产品性能提供了参考。

**关键词:** 热镀锌超深冲IF钢; 织构; 精轧终轧温度; 卷取温度; 金相组织

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2024)05-0036-05

## Study on Effects of Hot Rolling Process on Properties of Hot Dip Galvanized Extra Deep Drawing IF (Interstitial-free) Steel for Home Appliances

Liu Yan, Qu Wen-sheng, Song Wen-zhong, Wang Ya-nan

(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** In this article, the effects of key hot rolling process parameters on the properties of hot dip galvanized extra deep drawing IF steel for home appliances are studied combining with production practices. The analysis on the texture, metallographic structure and mechanical properties of test steel at finishing rolling temperatures of 880℃ and 915℃ as well as coiling temperatures of 680℃ and 710℃ separately are carried out. The study results revealed the correlation between different hot rolling process parameters and texture, metallographic structure as well as mechanical properties of finished product of hot dip galvanized extra deep drawing IF steel for home appliances, which could be as the reference for improving the properties of hot dip galvanized extra deep drawing IF steel products through establishing reasonable hot rolling process.

**Key words:** hot dip galvanized extra deep drawing IF steel; texture; finishing rolling temperature; coiling temperature; metallographic structure

随着居民生活水平的持续提高,我国家电保有量持续增加。从家电产品的需求来看,消费者更加倾向于购买高端、新型、智能、绿色的家电产品。以

电视机为例,以外观新颖、大尺寸、轻量化为特征的高端大屏电视机持续“走俏”,追求大尺寸、复杂变形已成为电视机生产制造的“风向标”。

由于家用电器结构及成形条件越来越复杂,这就要求用于冲压成形工艺的母材具有优异的性能。以大尺寸电视机背板用材需求变化为切入点,系统研究了热镀锌超深冲 IF 钢从炼钢到热轧直至冷轧镀锌的全流程各工序关键工艺参数对产品性能的影响,本文仅就其中的热轧工序关键工艺参数对产成品力学性能的影响进行分析。设计的家电用热镀锌超深冲钢带采用 Ti-IF 钢成分设计,研究不同热轧工艺参数与成品织构、金相组织及力学性能的相关性,最终通过合理的工艺参数设计保证产品满足不同用户的个性化需求,切实提高了企业的品牌效应。

## 1 试验材料、生产工艺及性能指标要求

### 1.1 材料成分

IF 钢也称无间隙原子钢,是一种具有低屈服点

和屈服比、高伸长率、高塑性应变比和高加工硬化指数的深冲用钢材。正是源于其优良的深冲性能,使得 IF 钢成为制造复杂形状汽车零件和家电外壳的理想材料,IF 钢的控制水平通常被视为衡量钢铁企业汽车及家电用钢生产能力的重要标志。各家钢企通过优化生产工艺,如采用二次精炼法和控制碳、氮含量等方式生产高质量 IF 钢。首先,在炼钢过程中要尽量降低碳和氮的质量分数,碳、氮含量越低,固溶的碳、氮就越少,越有利于 {111} 织构的形成;其次,加入强碳氮化物形成元素 Ti,使其形成碳化物、氮化物或碳氮化合物从铁素体基体中析出。碳、氮原子被固定后,钢的基体中不存在间隙原子,所以,IF 钢具有显著的无时效特性<sup>[1-2]</sup>。此外,要将钢中有害元素如硅、磷、硫等尽量控制在较低的水平,保证钢质纯净,这也是 IF 钢获得良好成形性能的重要因素。包钢热镀锌超深冲 IF 钢成分设计见表 1。

表 1 家电用热镀锌 IF 试验钢的化学成分设计(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Al <sub>1</sub>	N
≤0.003 0	≤0.030	≤0.20	≤0.015	≤0.010	0.020 ~ 0.050	≤0.005 0

### 1.2 工艺路线

KR 脱硫→转炉冶炼→LF 精炼→RH 精炼→板坯连铸→2 250 mm 机组热连轧→2 030 mm 机组酸轧→1 880 mm 机组连续热镀锌。

### 1.3 生产工艺

试验钢卷的热轧工艺参数及镀锌工艺参数如表 2 和表 3 所示。

表 2 不同精轧终轧温度及镀锌工艺参数

试验编号	板坯出炉温度 /℃	热轧带钢厚度 /mm	精轧终轧目标 设定温度/℃	卷取温度 /℃	镀锌退火温度 /℃	平整机延伸率 /%
1#	1 200	3.0	880	710	820	0.85
2#	1 200	3.0	915	710	820	0.85

表 3 不同卷取温度及镀锌工艺参数

试验编号	板坯出炉温度 /℃	热轧带钢厚度 /mm	精轧终轧目标 设定温度/℃	卷取温度 /℃	镀锌退火温度 /℃	平整机延伸率 /%
3#	1 200	3.0	915	680	820	0.85
4#	1 200	3.0	915	710	820	0.85

### 1.4 性能指标要求

为保证试验钢的使用稳定性,产品力学性能控制严于标准,以满足用户大变形量的冲压。力学性能要求见表 4。

表 4 试验钢力学性能要求

屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 /%	n 值	r 值
≤170	≥270	≥40	≥0.20	≥2.0

## 2 试验结果与分析

### 2.1 热轧精轧终轧温度的制定及对成品力学性能的影响

#### 2.1.1 热轧精轧终轧温度控制及金相组织

1<sup>#</sup>和 2<sup>#</sup> 试验钢精轧终轧目标温度分别设定 880 °C、915 °C，控制曲线如图 1。

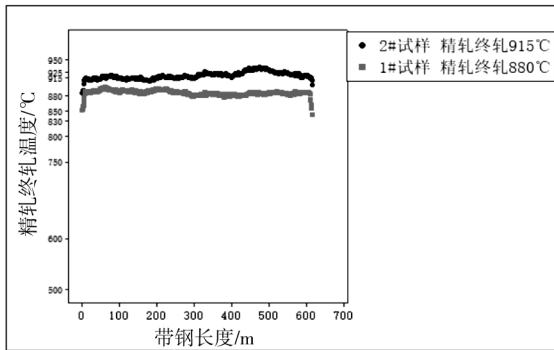


图 1 不同精轧终轧温度控制曲线

热轧带钢金相组织如图 2 和图 3 所示。从金相照片中可以看出，精轧终轧温度为 880 °C 时，热轧带钢金相组织出现明显的混晶现象，主要是因为精轧终轧温度低于  $A_{r3}$  转变温度，带钢进入两相区轧制，当带钢在铁素体相区轧制，动态变形条件下铁素体晶粒的变形程度不均匀，出现混晶。915 °C 精轧终轧温度下热轧带钢金相组织为等轴铁素体，且金相组织均匀。

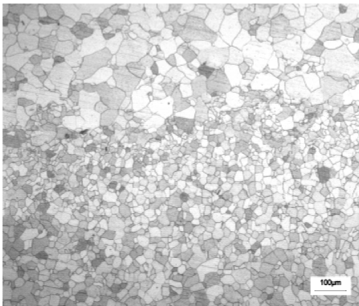


图 2 1<sup>#</sup> 热轧带钢金相组织

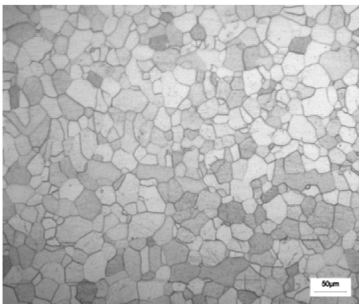


图 3 2<sup>#</sup> 热轧带钢金相组织

#### 2.1.2 镀锌退火后带钢金相组织及力学性能

镀锌退火后 1<sup>#</sup> 试样金相组织为等轴铁素体，如图 4 所示。从组织可以看出晶粒大小不均，仍存在混晶现象，说明该热轧混晶组织可遗传至成品，无法通过后工序退火消除。混晶严重影响冲压成形性能，在混晶区进行变形，屈服强度低的粗大晶粒首先发生屈服现象，此时细小晶粒并未开始屈服，这时位错滑移到混晶区的晶界时会受到阻碍，不协调变形，加剧应力集中，增加了冲压过程中的开裂风险。2<sup>#</sup> 试样金相组织较为均匀，组织为等轴铁素体，如图 5 所示。

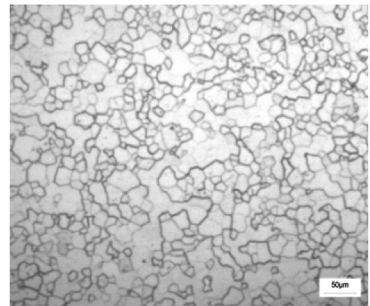


图 4 1<sup>#</sup> 镀锌成品金相组织

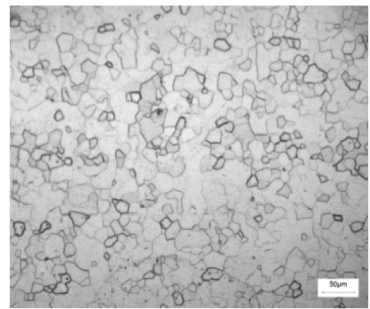


图 5 2<sup>#</sup> 镀锌成品金相组织

不同精轧终轧温度对应的镀锌成品力学性能检测值见表 5。

由表 5 可见，1<sup>#</sup> 试样力学性能屈服强度较 2<sup>#</sup> 试样高 11 MPa，抗拉强度高 4 MPa，伸长率低 6 个百分点， $n$  值低 0.5， $r$  值低 0.01。从力学性能结果同样可以看出，相比 880 °C 的精轧终轧温度，将精轧终轧温度设定为 915 °C 时，产品的性能指标更优，其在相同冲压工艺下的成形表现也会更优。

表 5 不同精轧终轧温度镀锌成品力学性能

试验编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	$n_{90}$	$r_{90}$
1#	157	297	41	2.4	0.22
2#	146	293	47	2.9	0.23

2.2 热轧卷取温度的制定及对成品力学性能的影响

2.2.1 织构分析

IF 钢的深冲性能是由织构的类型及含量决定的,  $\{111\} \langle uvw \rangle$  取向的织构是最优的, 又叫做  $\{111\} // ND$  的  $\gamma$  纤维织构, 此类型织构数量越多, 成品的  $r$  值越高, 材料成形性能越好<sup>[3-4]</sup>。卷取温度的高低对 IF 钢 TiC 粒子的析出影响较大, 不同卷取温度与成品的  $r$  值有很大的关联性,  $\{111\}$  织构有利于提高深冲性能, 且织构组分中储存能最大的为  $E\{111\} \langle 112 \rangle$  和  $E\{111\} \langle 110 \rangle$ , ODF 图中  $\varphi_2 = 45^\circ$  对  $\{111\}$  织构表征最具代表性, 如图 8 所示。图 6 与图 7 中的等高线为等织构密度线, 表示取向空间中相应位置的织构分布及其强弱, 等高线越密集, 代表织构密度越强。

超深冲 IF 钢典型的再结晶织构主要分布在取向空间中  $\varphi_1 = 0^\circ$ 、 $\varphi_2 = 45^\circ$  及  $\varphi = 55^\circ$ 、 $\varphi_2 = 45^\circ$  这两条取向线上, 它们也被称为  $\alpha$  与  $\gamma$  取向线, 因此, 对于超深冲 IF 钢镀锌退火板的取向分布可以更为简便地利用  $\alpha$  与  $\gamma$  取向线上的织构密度进行分析。

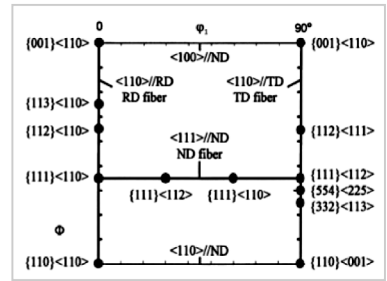


图 8  $\varphi_2 = 45^\circ$  ODF 截面图

从图 9 可以看出, 不同卷取温度试验钢具有相似的织构组成,  $\alpha$  取向线均呈单峰型, 具有较强的  $\{111\} \langle 110 \rangle$  与  $\{112\} \langle 110 \rangle$  织构, 且  $\alpha$  取向线峰值位于  $\{111\} \langle 110 \rangle$  织构处。随着卷取温度的升高, 峰值呈现升高趋势。从图 10 可以看出, 在  $\gamma$  取向线上,  $710^\circ\text{C}$  卷取温度  $\gamma$  纤维织构密度明显高于  $680^\circ\text{C}$ , 且  $710^\circ\text{C}$  卷取温度试验钢的织构  $\{111\} \langle 110 \rangle$  与  $\{111\} \langle 112 \rangle$  织构强度的差值小于 1.0; 而  $680^\circ\text{C}$  卷取温度的织构强度差值约为 3.0。理论上, 密度越高、强度差值越小, 则材料的各向异性就越小, 就越有利冲压成形。

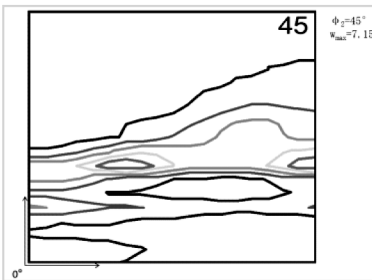


图 6 3# 成品 ODF 图

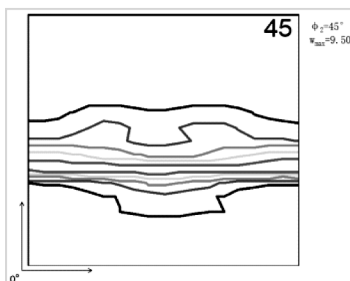


图 7 4# 成品 ODF 图

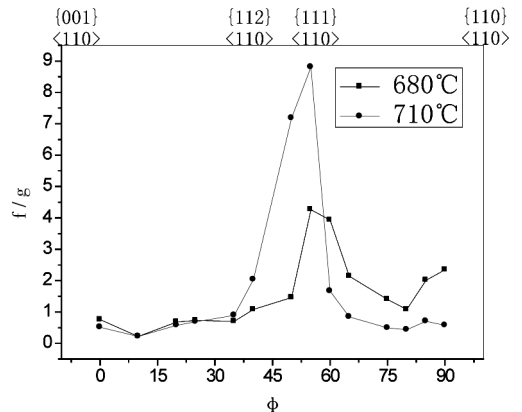


图 9 超深冲 IF 钢不同卷取温度  $\alpha$  取向线

综上所述,  $710^\circ\text{C}$  和  $680^\circ\text{C}$  卷取均具有较高的织构密度,  $710^\circ\text{C}$  卷取温度相比于  $680^\circ\text{C}$  卷取温度, 获得更优的织构分布, 具有更强的再结晶  $\gamma$  织构, 材料成形性能更优。

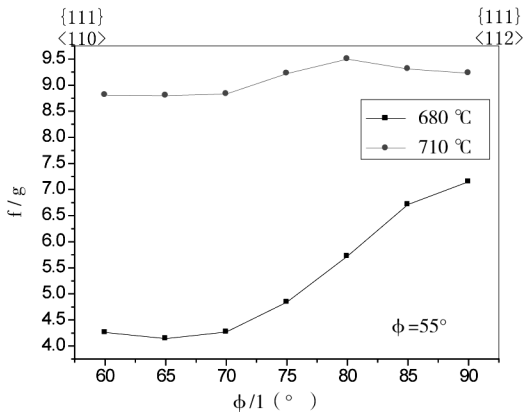


图 10 超深冲 IF 钢不同卷取温度  $\gamma$  取向线

### 2.2.2 金相组织及力学性能

3<sup>#</sup>试样(对应卷取温度为 680 °C)及 4<sup>#</sup>试样(对应卷取温度为 710 °C)的金相组织如图 11 和图 12 所示,组织均为等轴铁素体,晶粒度在 8.0 ~ 9.0 级。

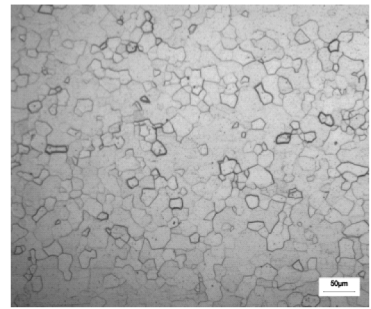


图 11 3<sup>#</sup>镀锌成品金相组织

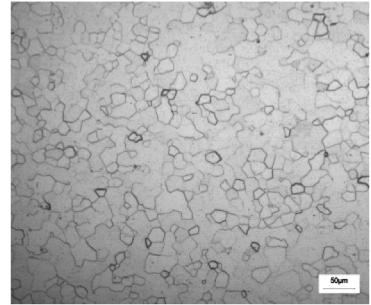


图 12 4<sup>#</sup>镀锌成品金相组织

不同卷取温度对应的镀锌成品力学性能检测值见表 6。

表 6 不同卷取温度镀锌成品力学性能

试验编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	$n_{90}$	$r_{90}$
3 <sup>#</sup>	153	297	43	0.23	2.50
4 <sup>#</sup>	149	295	45	0.23	2.80

由表 6 可见,3<sup>#</sup>试样力学性能屈服强度较 4<sup>#</sup>试样高 4 MPa,抗拉强度高 2 MPa,伸长率低 2 个百分点, $r$  值低 0.30, $n$  值一致。从力学性能检测结果来看,680 °C 及 710 °C 卷取温度的镀锌成品力学性能均满足用户要求,但是,从力学性能指标对比情况来看,710 °C 卷取温度条件下,材料的伸长率及  $r$  值均较 680 °C 卷取温度条件下的检测值更高,更有利于冲压成形。

## 3 结论

(1) 选取在两相区轧制、奥氏体区 ( $\gamma$ ) 轧制的精轧终轧温度对热轧带钢及成品金相组织有重要的影响。精轧终轧温度在 880 °C 时,带钢出现混晶现象,不利于产品的冲压成形;精轧终轧温度目标值控制在 915 °C 时,带钢金相组织为等轴铁素体,且组织

较为均匀。

(2) 卷取温度为 710 °C 和 680 °C 镀锌成品均具有较高的组织密度,相比于 680 °C 卷取温度,按照 710 °C 设定目标卷取温度时镀锌成品可获得更优的  $\{111\} \langle 110 \rangle$  与  $\{112\} \langle 110 \rangle$  结构分布,具有更强的再结晶  $\gamma$  织构,更加有利于冲压成形。

(3) 研究表明,在热轧加热温度为 1 200 °C、退火温度为 820 °C、平整机延伸率为 0.85% 等关键工艺参数不变的情况下,仅针对精轧终轧温度和卷取温度进行比对试验,可以得出的结论是:按照精轧终轧目标温度 915 °C、卷取目标温度 710 °C 进行设定时,生产的镀锌 IF 钢具有优异的力学性能及更优的取向织构,可更好地满足用户复杂及大变形的冲压要求。

(下转第 72 页)

- 2022,47(5):161-165.
- [12] 陈琳,达木仁扎布,王永明,等. U76CrRE 钢轨在线热处理工艺研究[J]. 包钢科技, 2021,47(2):1-5.
- [13] 谌智勇,翁举,杨乐. 包钢重轨钢稀土加入工艺实践[J]. 包钢科技,2019,45(6):18-20.
- [14] 曹晓明,班华,高明星. 包钢 U76CrRE 钢轨生命周期评价[J]. 包钢科技,2019,45(2):30-32,49.
- [15] 张凤明,梁正伟,薛虎东,等. 稀土 Ce 对热轧 U75V 钢轨低温韧性的影响[J]. 包钢科技, 2022,48(4):51-54.
- [16] 董捷,赵桂英,薛虎东,等. 稀土对钢轨低温韧性的影响研究[J]. 包钢科技,2020,46(5):64-67.
- [17] 郑瑞,边影,苏航,等. Ce 微合金化钢轨组织及耐腐蚀性能研究[J]. 包钢科技,2019,45(6):59-61.
- [18] 薛虎东,边影,彭泽清. 高寒地区铁路用新型珠光体钢轨研发[J]. 包钢科技,2024,50(1):60-64.
- [19] 李平,智建国,李德虹,等. 出口 R350HT 热处理钢轨试制[J]. 热加工工艺,2012,41(24):208-210.
- [20] 李平,周乐育,梁正伟,等. 美标 SS310HB 钢轨的试制[J]. 轧钢,2018,35(1):42-45.
- [21] 王嘉伟,赵桂英,谌智勇,等. 包钢出口孟加拉 R320Cr 钢轨生产技术研究[J]. 包钢科技,2021,47(4):59-62.
- [22] 王嘉伟,梁正伟,王永明,等. 美标 380HBW 级别 LH 高强热处理钢轨关键技术研究[J]. 包钢科技,2024,50(2):69-73.
- [23] 蒋宏,唐建平,赵明泉. 包钢 350 km/h 钢轨用连铸坯的生产工艺优化[J]. 包钢科技, 2011,37(5):31-33.
- [24] 梁正伟,李智丽,田荣斌,等. U71MnG 高速轨固定闪光焊接接头分析[J]. 包钢科技, 2020,46(3):1-5.
- [25] 董捷,梁正伟,王永明,等. 包钢 U71Mn 钢轨 Mn 含量优化研究[J]. 包钢科技,2022,48(5):65-69.

(上接第 40 页)

### 参 考 文 献

- [1] 付薇,岳军,刘雅政. 罩式退火工艺对 Nb + Ti - IF 钢性能的影响[J]. 鞍钢技术,2010(1):44-46.
- [2] 于守巍. IF 钢碳、氮含量控制研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学,2011.
- [3] 马多. 细晶高强 IF 钢退火工艺下再结晶组织形成机理的研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学, 2011.
- [4] 高鹏飞. 退火温度对超深冲 IF 钢性能及组织的影响[J]. 热加工工艺,2022,12(2):22-24.