

# 热镀锌退火均热温度对 300 MPa 级 低合金高强钢性能的影响

宋文钟, 路璐, 刘妍, 常慧, 王金超

(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:** 为满足家电轻量化对 300 MPa 级高强度镀锌板的市场需求, 包钢依托 1 880 mm 热镀锌产线开展 HC300LAD + Z 低合金高强钢的 Nb 微合金化成分设计与工艺优化研究。通过热模拟试验与工业试制系统研究镀锌退火均热温度 (790 ~ 850 °C) 对产品力学性能的影响。结果表明: 均热温度升高导致晶粒粗化, 屈服强度从 790 °C 下的 335 MPa 降至 850 °C 下的 297 MPa, 延伸率从 790 °C 下的 28% 升高至 850 °C 下的 38%。工业生产退火均热目标温度控制在  $810 \pm 15$  °C, 组织为均匀分布的铁素体 + 少量珠光体, 无混晶, 产品屈服强度为 310 ~ 368 MPa、延伸率为 28% ~ 39%, 满足家电部件 20% 减薄需求, 为家电用钢轻量化提供了可靠的材料解决方案。研究揭示了退火温度对 Nb 微合金化钢再结晶行为的影响机制, 为同类产线低合金高强度钢生产工艺优化提供实践参考。

**关键词:** 热镀锌; 300 MPa 级低合金高强钢; 均热温度

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438 (2026) 02 - 0039 - 04

## Effects of Soaking Temperature for Hot - dip Galvannealing Process on Properties of 300 MPa Grade High Strength Low Alloy Steel

Song Wenzhong, Lu Lu, Liu Yan, Chang Hui, Wang Jinchao

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

**Abstract:** The study on composition design of Nb microalloying and process optimization for HC300LAD + Z high strength low alloy steel is carried out based on the 1 880 mm hot - dip galvanizing production line of Baotou Steel in order to meet the market requirements of 300 MPa grade high strength galvanized sheet for light weight of home appliances. The effects of soaking temperature for hot - dip galvannealing process (790 ~ 850 °C) on mechanical properties of product are systematically studied through the thermal simulation test and industrial trial production. The results showed that the increase of soaking temperature caused grain coarsening, yield strength was decreased from 335 MPa at 790 °C to 297 MPa at 850 °C and elongation was increased from 28% at 790 °C to 38% at 850 °C. The target soaking temperature of annealing for industrial production is controlled at  $810 \pm 15$  °C, microstructure is equally distributed ferrite + a small quantity of pearlite without mixed crystal, yield strength is 310 ~ 368 MPa and elongation is 28% ~ 39% for product, which could meet the thickness reduction requirement of 20% for components of home appliances so that the solution of reliable material for light weight of steel for home appliances is provided. The influencing mechanisms of annealing temperature on recrystallization behavior of Nb microalloyed steel are revealed in this study, which could provide the practical references for optimi-

zing production process of high strength low alloy steel with similar production lines.

**Key words:** hot - dip galvanizing; 300 MPa grade high strength low alloy steel; soaking temperature

近年来,伴随家电产业升级步伐加快,家电轻量化用钢成为钢铁行业的重点研发领域。高性能轻量化材料通过提升钢材强度实现厚度减薄,既能顺应家电产品轻量化、节能化的发展趋势,又能降低下游企业的材料成本。此前,国内某知名家电企业针对电冰箱、洗衣机压缩机底板等关键部件明确提出 20% 的厚度减薄需求,并对钢材的强度与成形性有严苛要求<sup>[1]</sup>。

包钢 1 880 mm 热镀锌产线定位高端家电板与汽车板等核心产品,设计年产能 80 万 t。低合金高强钢系列作为该产线的“拳头产品”,不仅是技术突破的关键方向,更是保障产线盈利的核心支柱,进一步拓展其市场应用、提升生产规模已成为产线发展的必然要求。

为精准匹配家电制造业对 300 MPa 级高强度轻量化镀锌板的需求,包钢从 HC300LAD + Z 材料成分与工艺优化两方面开展研究,一方面在成分设计中添加微量 Nb 元素,通过微合金元素 Nb 的析出强化与细晶强化作用提升钢材强度;另一方面通过不断摸索试验,确定了适配该成分体系的镀锌退火工艺方案,最终成功研发出家电用热镀锌低合金高强钢,既满足了下游企业对原料 20% 减薄率的要求,也为自身低合金高强钢系列产品的市场拓展提供了新支撑。

## 1 热模拟试验

在热镀锌钢板生产中,退火工艺是决定产品力学性能的核心环节,铁素体再结晶、晶粒长大及再结晶组织的形成均在退火过程中完成。退火工艺参数直接影响晶粒尺寸,退火温度过高,会导致钢材晶粒过度长大,削弱材料强度;若退火温度过低,则会造成再结晶不充分,影响材料的塑性与成形性能。作为带钢热镀锌生产的关键工艺环节之一,再结晶退火过程对带钢的力学性能有着重要的影响。由于微合金化元素 Nb 的加入,提高了钢的再结晶转变温度<sup>[2]</sup>,因此有必要通过实验室研究材料的再结晶转变温度,以此指导实际工业生产。

HC300LAD + Z 钢的热模拟工艺如图 1 所示,模拟工艺涵盖镀锌退火工艺的加热、均热、缓冷等 3 个阶段。将试样以 4 °C/s 的速度分别加热至 630 °C、

650 °C、670 °C、690 °C、710 °C、730 °C、750 °C、770 °C、790 °C、810 °C、830 °C、850 °C,保温 90 s,然后以 10 °C/s 的速度冷却至室温。热模拟退火试验不同阶段试样的硬度变化如图 2 所示。从图 2 中可以看出,随着退火温度的升高,硬度逐渐下降,热处理试样由初始的冷硬态历经回复、完全再结晶等过程,进入 790 ~ 850 °C 完全再结晶区,试样硬度逐步趋于稳定,试验结果为工业生产提供了参考。

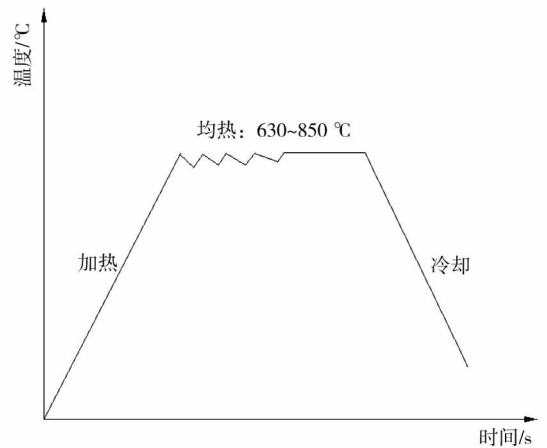


图 1 热模拟试验工艺

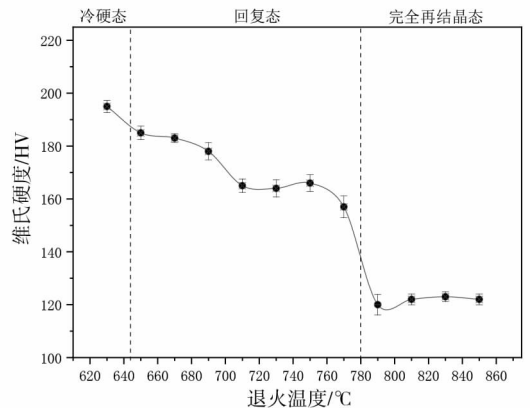


图 2 不同退火工艺后试样的硬度

## 2 工业试制

家电用热镀锌低合金高强钢卷 HC300LAD + Z 在包钢 1 880 mm 镀锌产线上进行试制,钢卷成品厚度 0.8 mm,宽度 1 410 mm。产品的化学成分、性能要求如表 1、表 2 所示。

表 1 化学成分要求(质量分数)

%

C	Si	Mn	P	S	Al <sub>1</sub>	Nb
≤0.12	≤0.08	≤1.40	≤0.020	≤0.010	≥0.020	≤0.09

表 2 力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 A <sub>80</sub> /%
300~380	380~480	≥21

根据产品的综合力学性能要求,结合热模拟试验情况,钢卷应在钢的奥氏体再结晶区完成退火,因此镀锌退火加热温度分别按照 790 °C、810 °C、830 °C、850 °C 目标控制,光整机的延伸率按照 1.1% 控制,生产线速度保持 90 m/min。在实际生产过程中,在每个退火温度下取 4 卷试验带钢,分析不同退火均热温度对产品力学性能的影响。

### 3 试制结果

#### 3.1 金相组织

取 790 °C、810 °C、830 °C、850 °C 等退火均热温度下的低合金高强 HC300LAD + Z 冷轧成品进行金相组织分析。金相试样镶嵌后,采用 400#、600#、800#、1000# 砂纸逐级打磨后抛光,用 4% 硝酸酒精溶液进行腐蚀后,在光学显微镜下对其微观组织进行观察,如图 3 所示。由图 3 可知,冷轧微观组织主要由铁素体 + 少量珠光体组成,等轴晶均匀分布,无混晶现象,无大型夹杂物。金相图片显示随着退火温度的升高,晶粒尺寸有增大的趋势。从组织形态来看,HC300LAD + Z 成品的组织较为均匀,说明退火再结晶较为充分。仔细观察,在铁素体晶内和晶界有部分碳化物析出。

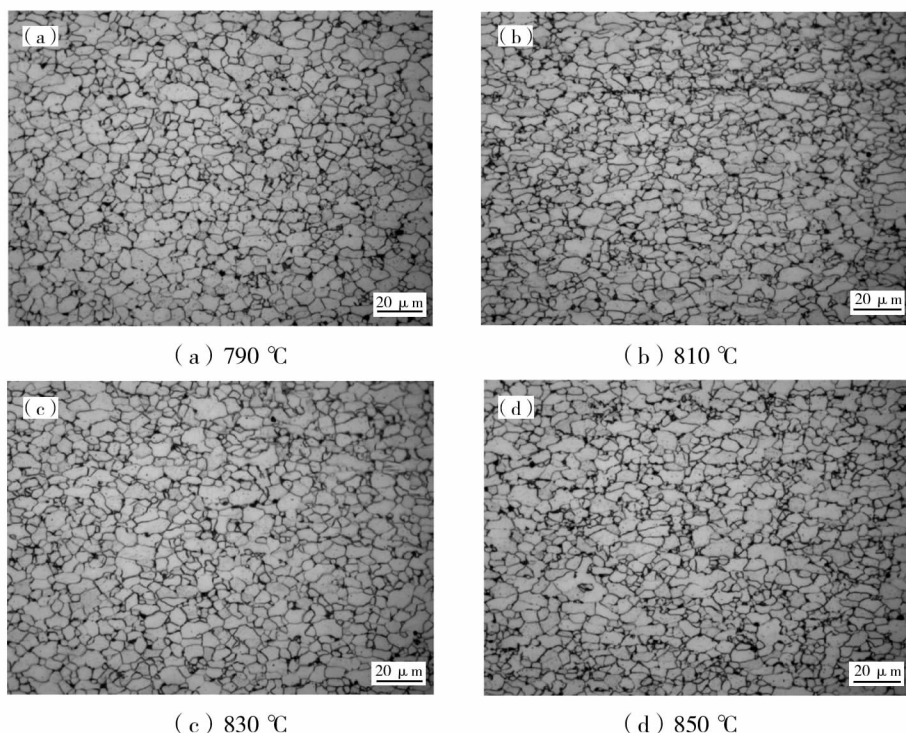


图 3 在不同退火均热温度下的 HC300LAD + Z 冷轧金相组织

#### 3.2 力学性能

图 4 是镀锌产品 HC300LAD + Z 退火均热温度与屈服强度、抗拉强度、延伸率的关系。从图 4 中可以看出,不同的再结晶退火过程对带钢的力学性能

有着重要的影响。加热温度和均热温度都对产品的机械性能产生了较大影响,均热温度与带钢的再结晶时间有关联,随均热温度不断升高,强度下降明显。均热温度过高会造成晶粒长大,如图 3 所示。

镀锌均热温度与 HC300LAD + Z 的力学性能密切相关。随着均热温度的不断升高,屈服强度呈下降趋势,屈服强度从 790 °C 下的 335 MPa 降至 850 °C 下的 297 MPa。退火温度从 790 °C 升高至 810 °C,屈服强度下降约 30 MPa;退火温度从 810 °C 升高至 830 °C,屈服强度下降约 20 MPa;当退火温度升高至 850 °C,屈服强度为 297 MPa,低于标准下限。随着均热温度的不断升高,抗拉强度呈下降趋势:退火温度从 790 °C 升高至 810 °C,抗拉强度下降约 30 MPa;

退火温度从 810 °C 升高至 830 °C,抗拉强度下降约 5 MPa;当退火温度升高至 850 °C,抗拉强度为 385 MPa。随着均热温度的升高,延伸率从 790 °C 下的 28% 提高至 850 °C 下的 38%,伸长率呈上升的趋势:退火温度从 790 °C 升高至 810 °C,伸长率升高约 2%;退火温度从 810 °C 升高至 830 °C,伸长率升高约 1%;当退火温度升高至 850 °C,伸长率达到 37%,因此退火温度控制在 790 ~ 830 °C,产品力学性能可满足标准要求。

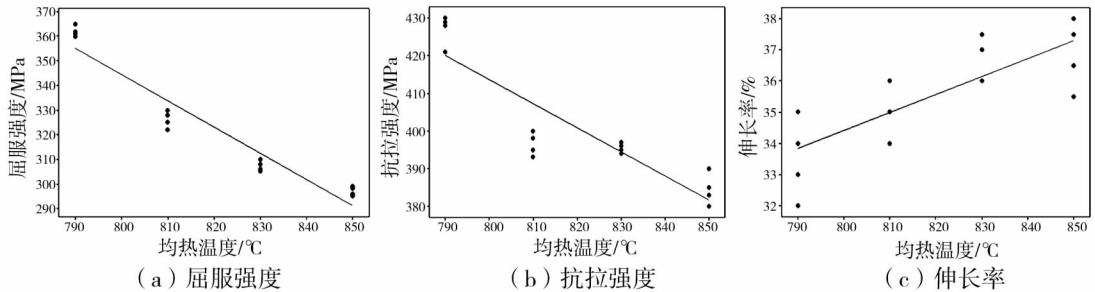


图4 退火均热温度对力学性能各指标的影响

按照试制阶段摸索的退火温度与力学性能的关系,批量工业生产将退火目标温度控制在  $810 \pm 20$  °C,产品的力学性能统计分布如图 5 所示。由图

5 可知,钢带屈服强度在 310 ~ 368 MPa 之间,抗拉强度在 385 ~ 425 MPa 之间,伸长率在 28% ~ 39% 之间,产品力学性能满足标准要求。

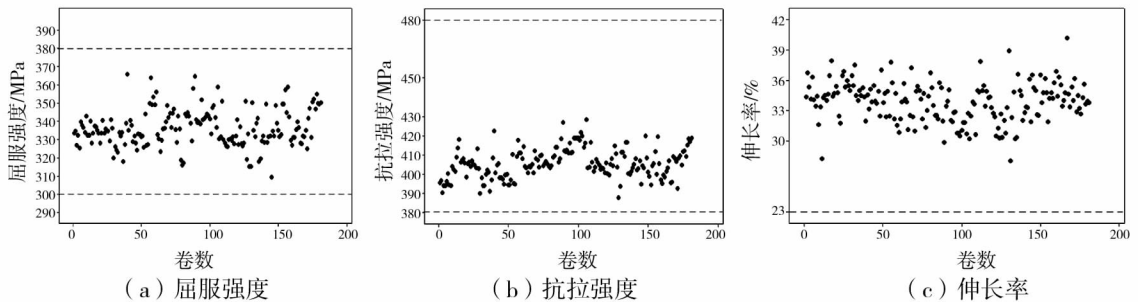


图5 批量生产产品力学性能统计情况

## 4 结论

(1) 热镀锌工序均热温度对 300 MPa 级低合金高强钢 HC300LAD + Z 的力学性能有着重要影响,均热温度的高低直接决定产品力学性能,合理控制加热温度和均热温度,可获得理想的微观组织。

(2) 随着均热温度的提高,300 MPa 级低合金高强钢 HC300LAD + Z 的屈服强度和抗拉强度呈下降趋势,延伸率呈升高趋势。300 MPa 级低合金高强

钢 HC300LAD + Z 退火均热目标温度应控制在  $810 \pm 20$  °C。

## 参考文献

- [1] 朱宁芳,彭景宏,羊省儒. 国内重点家电用钢市场特点及发展趋势[J]. 河北冶金,2025(8):1-7.
- [2] 曹建春,刘清友,雍岐龙,等. 钕对高强度低合金钢的组织 and 强化机制的影响[J]. 钢铁,2006,40(8):60-63.