

退火温度对 HC420LAD + Z 钢带组织和性能的影响

李鹏, 杨雄, 王少炳

(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: 通过热模拟试验机、光学显微镜以及硬度试验分析了退火温度对热镀锌低合金高强钢带 HC420LAD + Z 组织和硬度的影响, 得出 HC420LAD + Z 钢带的再结晶温度为 700 °C。工业生产结合测得的再结晶温度进一步讨论了退火温度不同时钢带的组织以及性能的变化, 结果表明, 780 °C 退火时钢带的力学性能最优, 屈服强度为 467 MPa, 抗拉强度为 508 MPa, 伸长率为 24%, 富余量适中, 满足 EN 10346—2015 标准和用户使用要求。

关键词: 热模拟; 退火; 低合金高强钢; 再结晶

中图分类号: TG142.1; TG156.2

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)04-0034-05

Effects of Annealing Temperature on Microstructure and Properties of Steel Strip HC420LAD + Z

Li Peng, Yang Xiong, Wang Shao-bing

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

Abstract: The effects of annealing temperature on microstructure and hardness of hot-dip galvanized low alloy high strength steel strip HC420LAD + Z are analyzed through thermal simulated test machine, optical microscope and hardness test as well as it is concluded that its recrystallization temperature is 700 °C. The changes of microstructure and properties of the steel strip at different annealing temperatures are further discussed combining the industrial productions with the measured recrystallization temperature. The results showed that the mechanical properties of steel strip were the best when annealed at 780 °C, yield strength was 467 MPa, tensile strength was 508 MPa, elongation was 24% and the surplus was moderate, which could meet the requirements of EN 10346-2015 standard and customer use.

Key words: thermal simulation; annealing; low alloy high strength steel; recrystallization

随着汽车工业的不断发展,轻量化、高安全性已经成为汽车制造业的发展方向,为了进一步降低汽车的自重,控制生产成本,汽车结构件通常采用薄规格高强钢板冲压而成,促进了高强汽车钢板的发展。由于热镀锌低合金高强钢 HC420LAD + Z 具有高屈服强度、良好的塑性以及耐腐蚀性,作为汽车的结构件或加强件在汽车车身用钢中占有较大比例,并逐渐成为汽车用钢的主流趋势,越来越受到汽车厂家

的青睐,其应用量得到快速增长^[1-3]。高强低合金钢是以低碳锰系或硅锰系为基础,添加铌、钛等微合金元素,使钢中形成细小、弥散的碳、氮化物,细化晶粒和阻碍位错,达到析出强化和细晶强化的效果,提高钢强度的同时获得好的延伸性,满足汽车制造对强度、塑性和韧性以及其他成形方面的要求^[4-5]。最优退火工艺的选择是保证镀锌板性能稳定的必要条件,尤其对于低合金高强钢,退火工艺对其组织和

性能的影响更显著^[6]。本文通过实验室热模拟试验研究了不同退火温度对 HC420LAD + Z 试验钢组织和硬度的影响,测定出试验钢的再结晶温度,并对工业生产中不同温度下钢带的组织和性能进行了研究。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

表1 HC420LAD + Z 钢带化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Al _l	Nb	Ti
≤0.11	≤0.50	≤1.40	≤0.030	≤0.025	≥0.015	≤0.09	≤0.15

表2 HC420LAD + Z 钢带力学性能

屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_{80} /%
420 ~ 520	470 ~ 590	≥17

1.2 轧制工艺

由于本试验所研究的 HC420LAD + Z 钢带产品采用铌、钛微合金化成分设计,根据热浸镀锌生产线的实际生产能力,依照 KR 脱硫→转炉冶炼→LF 炉精炼→板坯连铸→热连轧→酸洗冷连轧→连续退火→热浸镀锌的工艺流程进行生产。热轧加热温度控制在 1 200 °C 以上,由于铌的碳、氮化物会溶于奥氏体,在后续轧制过程中析出,从而起到析出强化作

用;为了确保组织中得到均匀的晶粒,终轧温度控制在奥氏体转变为铁素体的转变温度附近,并采用合适的冷却模式,终轧温度控制在 890 °C 左右;为了获得弥散细小的析出物,采用低温卷取,卷取温度控制在 580 °C 左右^[8]。冷轧工艺中压下率的选择决定了热镀锌钢带性能和质量的好坏,考虑到设备的极限生产能力和钢带板形质量等因素,实际轧制过程中冷轧压下率按 60% ~ 80% 控制,这样不仅满足了该钢种的强度要求而且保证了使用过程中冲压性能的稳定性。HC420LAD + Z 钢带的关键轧制工艺参数如表 3 所示。

表3 HC420LAD + Z 钢带关键轧制工艺参数

热轧工艺			冷轧工艺			
加热温度/°C	在炉时间/min	终轧温度/°C	卷取温度/°C	冷却模式	压下率/%	成品厚度/mm
1 200 ~ 1 220	180 ~ 240	890 ± 20	580 ± 20	前分散式	70	1.5

1.3 试验方法

将 HC420LAD + Z 冷轧钢带加工成 4 块尺寸为 20 mm × 65 mm 的试验样,采用 MMS - 200 热力模拟实验机进行模拟退火试验,按照 50 °C/h 的加热速度将试验样分别加热至 680 °C、700 °C、720 °C 和 740 °C 保温 120 s 后缓冷至 620 °C,随即快冷至 460 °C。为了模拟 HC420LAD + Z 钢带在锌锅内热镀锌过程,在 460 °C 保温 80 s 后空冷至室温。最后通过光学显微镜观察、硬度试验确定再结晶温度,热模拟退火工艺如图 1 所示。

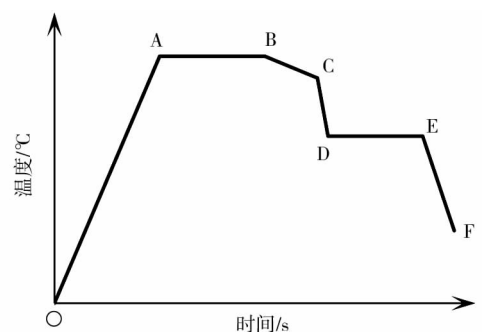


图1 热模拟退火工艺图

2 试验结果与讨论

2.1 退火温度对 HC420LAD + Z 显微组织的影响

经过不同温度退火后的试样进一步加工成 $15\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ 的显微组织试样,使用 320#、400#、800#、1 000# 不同等级砂纸进行粗磨、细磨、抛光,硝酸酒精溶液(浓度为 4%)浸蚀、冲洗、吹干,最后通过光学显微镜分别观察 4 个温度退火后试样的显微组织形貌,如图 2 所示。当加热温度控制在 $680\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,显微组织处于回复阶段,由于钢带冷变形后晶粒

会发生畸变,显微组织被拉长呈现纤维状^[9],如图 2(a)所示;当温度升到 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,显微组织中部分区域开始出现比较小的拉长的铁素体晶粒,该温度下开始发生再结晶,如图 2(b)所示;此后随着加热温度的进一步升高至 $720\text{ }^{\circ}\text{C}$,再结晶晶粒的形核速度逐渐加剧,且晶粒逐渐长大,此时晶粒大小不均匀,如图 2(c)所示;直至加热温度为 $740\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,之前大小不一的铁素体晶粒开始趋于均匀化,不再形成新的晶核,再结晶过程完成,如图 2(d)所示。

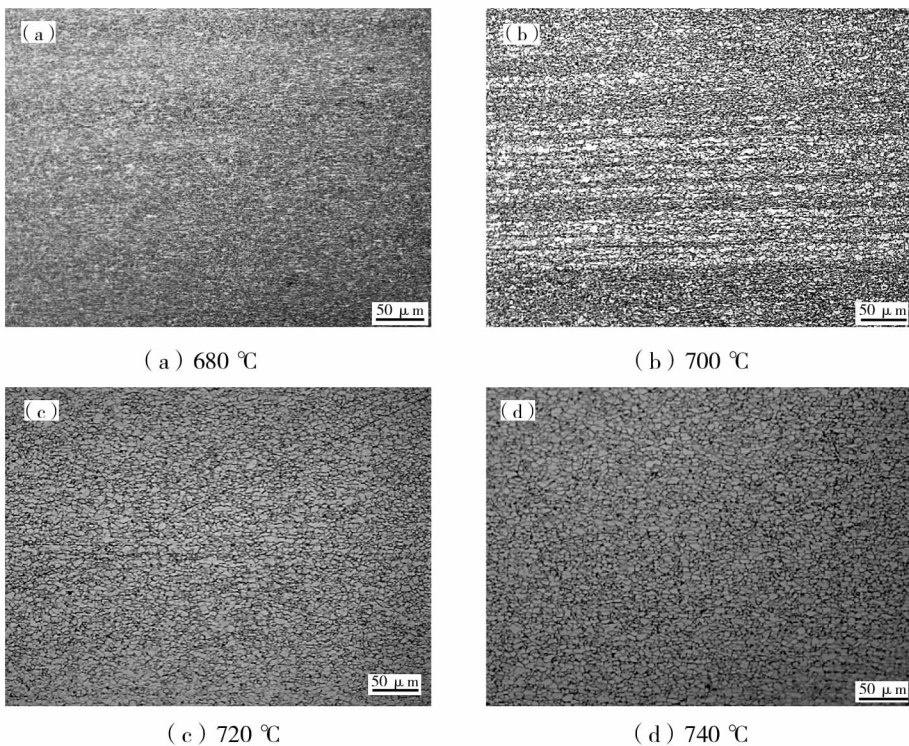


图 2 不同退火温度的显微组织

2.2 退火温度对 HC420LAD + Z 硬度的影响

不同温度退火后的试验钢经过酸洗、打磨、抛光等工序,将试验钢表面清理干净,采用洛氏硬度计测出不同温度退火以后试验钢的硬度值,最后绘制出硬度值随温度变化的曲线图,如图 3 所示。当加热温度由 $680\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 达到 $690\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,试验钢的硬度值(HRB)由 105 降低为 96,降幅较小;当加热温度再次提高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 由 $690\text{ }^{\circ}\text{C}$ 增加到 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,试验钢的硬度值(HRB)由 96 降低为 90,降幅仍然不大。由于该温度区间试样处于回复阶段,主要发生点缺陷消除、位错湮灭和重新排列,释放少量的变形储存

能,因此随着温度的升高,硬度缓慢下降^[10]。当加热温度进一步的由 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 提高到 $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,试验钢的硬度值(HRB)由 90 降低为 58,下降幅度较大,由于这一阶段试验钢发生再结晶,再结晶晶粒大量形核且再结晶体积分数逐渐增大,直至全部转变为再结晶组织,位错密度显著降低,释放大量的变形储存能,所以随着加热温度的升高,硬度急剧下降^[10];当加热温度再次提高,由 $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ 增加到 $740\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,试验钢的硬度值(HRB)由 58 降低为 53,降幅不是很明显,此阶段试验钢的再结晶过程已全部完成,组织的变化不明显,因此随着加热温度的升高,硬度下降趋

缓^[10];当温度继续升高至 780 ℃ 的过程中,硬度值 (HRB) 一直保持在 50 左右不再发生变化。

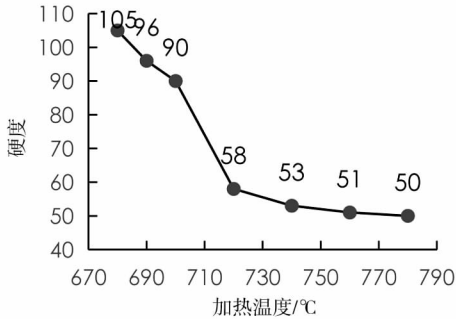


图3 试验钢硬度与退火温度曲线

综合以上对 HC420LAD + Z 试验钢显微组织和硬度在不同加热温度下的变化过程可知,当加热温度由低到高逐渐增加,试验钢的显微组织由最初的冷硬纤维组织逐步软化,直至形成均匀的铁素体晶粒,试验钢的硬度值变化过程由开始的小幅下降、大

幅下降、小幅下降到基本不变,完全和显微组织的回复、再结晶、晶粒长大这三个阶段保持一致。将试样原始硬度和完全软化后的硬度差定义为 100%,将材料的硬度软化后降低 50% 时的温度定义为再结晶温度^[11],由此可知 HC420LAD + Z 试验钢的再结晶温度为 700 ℃。

3 工业试制退火温度对 HC420LAD + Z 性能的影响

退火温度的选择是否合适,对 HC420LAD + Z 钢带成品组织及性能有很大的影响,如果加热、均热温度过高,会使铁素体过分长大,导致性能下降,如果加热、均热温度过低,则会造成纤维状组织未能充分还原为等轴晶粒,导致加工性能恶化^[9]。根据实验室得出的再结晶温度结果,结合生产线的实际状况,制定出 HC420LAD + Z 钢带在热镀锌生产线上连续退火工艺方案,并进行工业化生产,连续退火过程主要工艺参数如表 4 所示。

表4 HC420LAD + Z 钢带连续退火主要工艺参数

方案	加热均热段温度 /°C	缓冷段温度 /°C	快冷段温度 /°C	锌液温度 /°C	光整机延伸率 /%	炉区速度 / (m · min ⁻¹)
1	760	610	465	460	1.4	100
2	770	610	465	460	1.4	100
3	780	610	465	460	1.4	100
4	800	610	465	460	1.4	100
内控要求	760 ~ 800	580 ~ 630	450 ~ 475	450 ~ 470	1.2 ~ 1.6	90 ~ 110

小批量试制成品力学性能检测结果如表 5 所示,显微组织如图 4 所示。

表5 HC420LAD + Z 钢带的力学性能

方案	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	伸长率 A_{80} /%
1	516	616	15
2	482	575	22
3	467	508	24
4	413	492	26
标准要求	420 ~ 520	470 ~ 590	≥17

通过试制可以得出以下结论:①方案 1 生产的钢带由于保留了冷轧过程中的加工硬化,显微组织表现为拉长的纤维状,屈服强度虽在标准要求范围内,但数值偏高,抗拉强度比标准上限高了 26 MPa,伸长率比标准下限低了 2 个百分点,不符合要求,因

此不选择 760 ℃ 退火,显微组织如图 4(a) 所示。②方案 2 中 770 ℃ 退火的钢带显微组织开始发生回复现象,基体有所软化,从性能上看屈服和抗拉强度数值较高,余量较大,伸长率余量适中,显微组织如图 4(b) 所示。③780 ℃ 退火后组织中出现明显的再结晶晶粒,且性能控制良好,富余量合适,符合要求,如图 4(c) 所示。④当退火温度达到 800 ℃ 时,再结晶基本完成,该温度下晶粒只会发生长大,不断均匀化,逐渐形成等轴晶粒,而不会再形成新的再结晶晶粒,如图 4(d) 所示。但是由于此时屈服强度不符合标准要求,所以按照方案 4 进行工业生产是不合适的。综上所述,方案 3 的退火工艺最合适,即工业生产时退火温度设定为 780 ℃ 最佳,因为高于该温度时强度指标不符合标准要求,低于该温度时强度指标富余量过大或者超出范围导致不能满足标准要求。

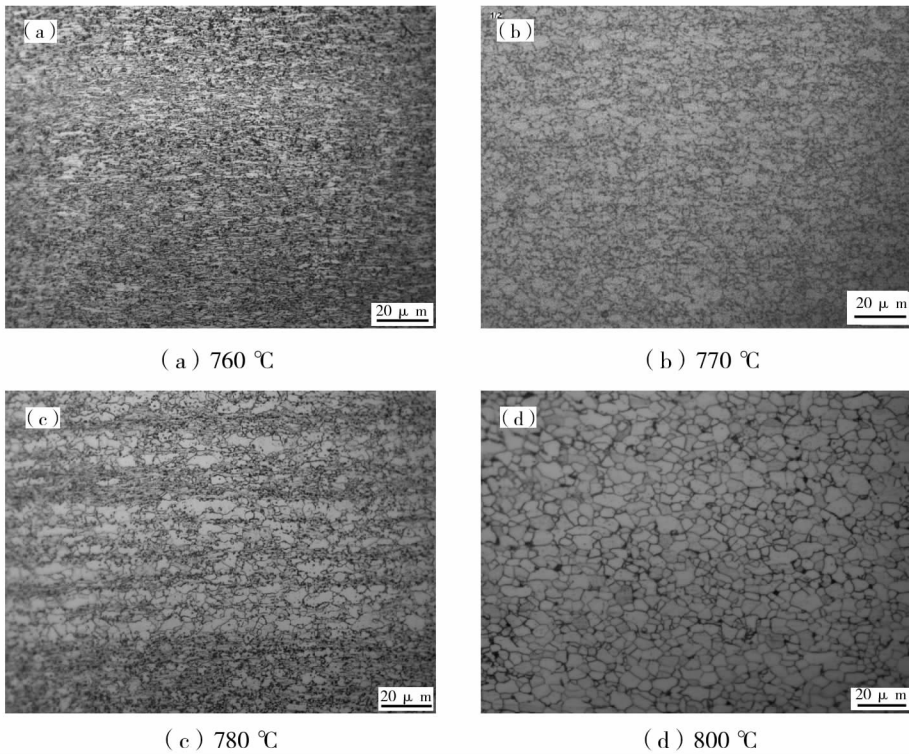


图4 不同退火温度的显微组织

4 结论

(1)通过热模拟试验结合显微组织和硬度的变化过程分析可知,当退火温度由低到高变化时钢带组织由大小均匀的铁素体晶粒取代了冷硬组织,并得出试验钢的再结晶温度为700℃。

(2)工业试制表明 HC420LAD + Z 钢带的最优退火温度为780℃,该温度下钢带的屈服强度为467 MPa,抗拉强度为508 MPa,伸长率为24%,各数值富余量适中,满足标准和用户使用要求,高于或低于该温度进行退火均导致产品性能不满足要求。

参 考 文 献

- [1] 石建强,刘济涛,孙海燕,等. 340 MPa 级低合金高强度镀锌汽车板的研发[J]. 河北冶金, 2017(9):5-7.
- [2] 杨望华,杨西鹏,陈文超,等. 420 MPa 级高强度低合金钢的生产实践[J]. 河北冶金, 2018(9):55-57.
- [3] 刘李斌,谢春乾,邝霜,等. 退火工艺对低合金高强度钢组织和性能的影响[J]. 热加工工艺, 2018, 47(24):223-225.
- [4] 王琪,陈超,杜建良,等. C700L 高强度汽车大梁钢的开发[J]. 河北冶金, 2014(8):36-38.
- [5] 杜洪志,王亚芬,黄建国. 汽车用高强低合金钢成形性能的研究[J]. 钢铁研究, 2017, 45(5):47-50.
- [6] 黄浩,徐光,戴方钦,等. 退火工艺对热镀锌用冷轧低碳高强度钢组织和性能的影响[J]. 金属热处理, 2019, 44(6):117-121.
- [7] 王恩睿,陈子刚,李斌,等. 热轧工艺对420 MPa 级薄带钢组织性能和表面质量的影响[J]. 热加工工艺, 2022, 51(11):27-31.
- [8] 靳立,杨少华. 镀锌均热温度对低合金高强度钢 H420LAD 的性能影响研究[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2021, 31(4):23-24.
- [9] 李堃,厚健龙,向华,等. 低合金冷轧高强度钢 HC420LA 生产工艺优化[J]. 河南冶金, 2021, 29(5):28-30.
- [10] 冯运动,邹宇明,丁桦. Ti 含量对 IF 钢再结晶温度及力学性能的影响[J]. 金属热处理, 2022, 47(2):70-73.
- [11] 陈泓业,李伟刚,王滕,等. 退火工艺对 Ti-IF 钢力学性能的影响[J]. 鞍钢技术, 2022(2):23-27.