

热连轧薄规格带钢卷取稳定性控制

余宁

安阳钢铁集团有限责任公司 河南安阳 455004

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21188

[摘 要] 热连轧薄规格带钢卷取过程中容易受到张力波动、温度变化、设备误差等因素的影响而产生松卷、塔形、错层、内圈折皱等问题。从卷取稳定性角度出发，对头尾段张力、卷取温度、夹送辊和助卷辊的状态对卷形质量的影响进行分析，并提出分段张力设置、冷却节奏配合、辊缝参数调节以及质量闭环管理等措施，以提高薄规格带钢卷取的稳定性以及后续加工的适应性。

[关键词] 热连轧；薄规格带钢；卷取稳定性；张力控制

第一章 引言

热连轧薄规格带钢厚度小、速度高、温降快，卷取时对于张力、温度、速度以及设备状况比较敏感。头部咬入不稳定，尾部张力释放失常，卷取温度不准或者夹送辊和助卷辊的动作失调都会造成松卷、塔形、错层、内圈折皱、边部擦伤等缺陷出现，从而影响到钢卷的外观、运输以及后续的开卷加工。因此，需要从张力分段、温度协同、辊缝控制、操作闭环等方面加强卷取稳定性的控制。

第二章 热连轧薄规格带钢卷取失稳因素分析

表 1 薄规格带钢头尾段张力波动与控制要点

阶段	主要表现	典型规格	可能问题	控制要点
头部建张段	张力建立不稳、头部摆动	厚度 1.2~2.0 mm，宽度 1000~1500 mm	首圈松动、内圈折皱	控制超前率和压靠时序
稳定卷取段	张力随卷径变化波动	厚度 1.2~2.0 mm，宽度 1000~1500 mm	层间松紧不均	随卷径修正张力
尾部减张段	张力释放过快或过高	厚度 1.2~2.0 mm，宽度 1000~1500 mm	松卷、错层、甩尾	控制减张斜率和打开时机

2.2 卷取温度变化对卷形稳定性的影响

卷取温度对带钢的强度、塑性、层间摩擦以及冷却收缩都有影响。薄规格带钢经过层流冷却之后温度下降的速度比较快，如果卷取温度低于工艺窗口，带钢的变形抗力会增大，首圈包覆能力降低，卷筒建张困难，容易造成内圈贴合不好、局部出现折皱的情况。卷取温度过高时，带钢层间压紧以后仍然有较强的热收缩，在冷却过程中卷层间的应力重新分布，容易引起卷芯松动、边部鼓包或者后续开卷横折印。低碳钢、低合金薄规格带钢的卷取温度还会受到组织转变和强度波动的影响，温度控制不稳定会造成卷内各个部位的力学性能差别变大，进而影响到后续的开卷平整稳定性。

温度对于卷形的影响也存在空间上的差别。带钢边部受到冷却水侧喷、空气对流以及辊道边部散热的影响，温降比中部要快得多，边中温差变大之后，带钢横向收缩会出现不均匀，进入卷取机的时候就会出现边浪、镰刀弯或者轻微跑偏的情况。如果此时夹送辊两侧的压力调节不够到位，卷层会在横向方向上不断积累偏移，最后造成塔形或者边部错层的现象。因此薄规格带钢卷取温度控制不能只看单个温度是

2.1 薄规格带钢头尾段张力波动特征

薄规格带钢头尾段卷取稳定性较差，主要原因在于头部尚未形成稳定包角，尾部脱离精轧末架后张力约束迅速减弱。以厚度 1.2~2.0 mm、宽度 1000~1500 mm 带钢为例，头部若建张过慢，容易出现摆动、首圈贴附不紧和内圈折皱；尾部若减张过快，则易造成松卷和错层，若张力维持过高，又可能引起甩尾、拉窄或边部变形。因此，头部应控制夹送辊超前率和助卷辊压靠时序，尾部应控制减张斜率和夹送辊打开时机，使张力变化保持平稳。

否达到要求，还要考虑精轧出口温度、层流冷却分区水量、卷取入口温度和边中温差等各方面的联系。

2.3 夹送辊与助卷辊运行偏差引起的失稳问题

夹送辊主要是用来将带钢导入，使带钢的速度与之相适应，并且可以建立一定的初始张力，它的辊缝精度、两侧的压力是否均衡以及辊面的状态都会影响到头部的咬入情况。如果两侧辊缝相差很大，带钢进入卷取机之前就会受到横向不均匀的约束，薄规格带钢由于刚度小而容易产生跑偏和边部起皱的现象，辊面磨损、粗糙度不够或者粘钢都会导致打滑、擦伤和卷内缺陷叠加。

助卷辊主要影响首圈以及前面几圈包卷的好坏。压靠过早或者压力太大容易造成头部压痕和折皱，压靠滞后或者压力不够则会造成首圈贴附不好，影响整个卷的稳定性。薄规格带钢高速卷取时，由于设备偏差被进一步放大，所以应该把夹送辊压力差、辊缝偏差、助卷辊响应时间、卷筒涨缩状态等纳入到稳定性控制指标当中。

第三章 薄规格带钢卷取稳定性控制方法

3.1 卷取张力分段设定与动态调节

薄规格带钢卷取张力宜采用分段设定方式，将卷取过程划分为头部建张段、稳定卷取段和尾部减张段。头部建张段不宜采用过高张力，应以保证头部顺利贴附、减少甩头和折皱为目标；稳定卷取段应根据厚度、宽度、钢种屈服强度和卷径变化逐步修正张力，使层间压力保持相对均衡；尾部减张段应降低张力突降幅度，使尾部在脱离精轧机后仍具有可控包卷状态。张力设定过低会导致松卷，过高则会诱发拉窄、边浪和内圈折皱，合理区间应通过单位宽度张力计算和现场缺陷反馈共同确定。

卷取单位宽度张力可按下式进行核算：

$$T_b = \frac{T}{B}$$

式中：T_b为单位宽度卷取张力，单位为 N/mm；T 为卷取机实际张力，单位为 N；B 为带钢宽度，单位为 mm。以厚度 1.5 mm、宽度 1250 mm 的低碳薄规格带钢为例，稳定卷取段设定总张力为 62.5 kN，即 62500 N，则单位宽度张力为 T_b=62500/1250=50 N/mm。若头部建张段按稳定段的 80%设定，则总张力约为 50 kN；尾部减张段按 70%设定，则总张力约为 43.8 kN。该计算可为现场张力分段提供基础值，但实际应用

中还需结合钢种强度、温度、卷径增长和卷形反馈进行修正。

3.2 卷取温度与冷却节奏协同控制

卷取温度控制应从层流冷却末端前移到精轧出口温度和冷却路径协同管理。薄规格带钢通过层流冷却区时间短，温度对水量变化较敏感，若前段冷却过强，卷取入口温度下降过快，带钢强度升高后会削弱头部包卷能力；若后段冷却不足，卷内热量释放慢，卷层间热应力重新分布，容易造成卷芯松动和边部变形。较为合理的控制方式是保持前段冷却满足组织和性能要求，同时在后段采用小幅修正，避免卷取入口温度出现大幅波动。

表 2 给出了薄规格带钢卷取稳定性控制参数建议。该表并非固定工艺制度，而是用于说明不同控制环节之间的配合关系。现场应用中应结合钢种、厚度、宽度和轧制节奏建立产品族参数表，对卷取温度下限、边中温差、头尾段张力系数、夹送辊超前率和助卷辊压力进行联动设定。参数联动的意义在于，当卷取温度低于目标区间时，不宜单纯提高张力弥补卷紧度，而应同步检查冷却后段水量、夹送辊摩擦条件和助卷辊压靠时序，防止通过一个参数补偿造成新的质量风险。

表 2 薄规格带钢卷取稳定性控制参数建议

控制项目	建议控制范围或方式	控制目的	异常修正方向
头部建张系数	稳定段张力的 75%~85%	降低头部冲击和折皱	头部松动时小幅提高，折皱时降低
稳定段单位宽度张力	45~60 N/mm	保持层间压紧力	结合钢种强度和卷形反馈修正
尾部减张系数	稳定段张力的 65%~75%	控制尾部甩动和错层	尾部松卷时延缓降张
卷取温度波动	目标值±20 ℃	保证组织和卷形稳定	调整层流冷却后段水量
边中温差	宜控制在 30 ℃以内	降低横向收缩差异	检查边部冷却和水嘴状态
夹送辊超前率	0.5%~1.5%	保证头部咬入稳定	打滑时提高，擦伤时降低
助卷辊压力	分级压靠、随卷径释放	保证首圈贴附	折皱时降低峰值压力

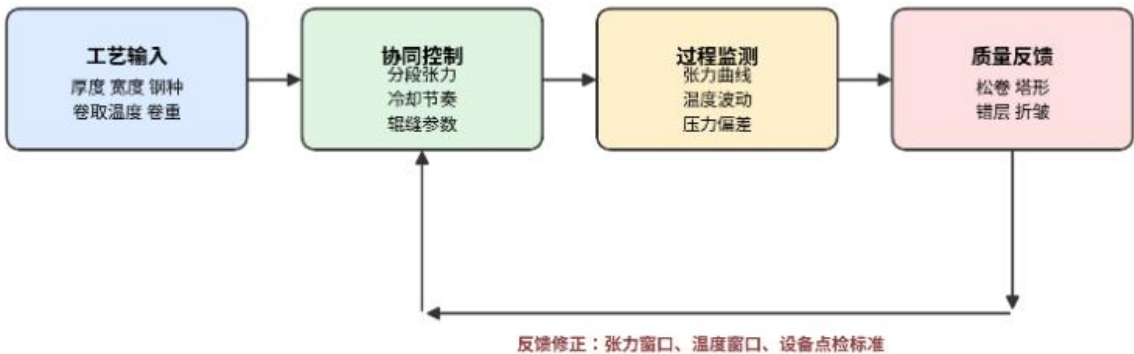


图 1 热连轧薄规格带钢卷取稳定性控制逻辑图

3.3 卷取设备状态与辊缝参数控制

设备状态控制是保证薄规格带钢卷取稳定的前提条件。夹送辊辊缝要进行班前标定和规格切换复核，主要控制两侧辊缝偏差和压力差；助卷辊要查看动作响应时间、液压压力

稳定性以及辊面磨损情况；卷筒涨缩机构要保证涨紧到位，避免首圈建张之后发生卷芯松动。对于薄规格带钢来说，辊缝控制不能仅仅满足机械间隙的要求，还要考虑带钢的厚度、温度以及头部板形来确定压下的余量，以保证夹送辊可以产

生稳定的摩擦力,并且不会对带钢表面造成损伤。

卷取设备的状态也要与过程数据协同管理。可以把夹送辊电流波动、两侧液压压力差、助卷辊压靠时间、卷筒速度偏差、头部跟踪信号等纳入卷取稳定性的监控画面中。当某个参数接近预警值的时候,应该提醒操作员检查相应的设备状况,而不能等到出现卷形缺陷之后才去寻找原因。薄规格产品连续生产的时候可以设定同规格首卷确认制度,对首卷头尾段卷形、内圈贴附和边部情况进行确认之后再批量放行后续卷,从而减小由于设备状态微小差异造成的批量质量波动风险。热连轧薄规格带钢卷取稳定性控制逻辑如图1所示。

第四章 卷取过程稳定运行保障路径

4.1 头尾段卷取过程的精细化控制

头部控制要以稳定咬入、平顺包卷、逐渐建张为原则。带钢头部到卷取机之前,要对夹送辊辊缝、卷筒速度和助卷辊待机压力进行确认;头部经过夹送辊之后,应该按照头部跟踪信号来控制助卷辊分级压靠,防止因为固定延时控制而出现压靠过早或者过晚的情况。对于头部翘曲、边浪较大的薄规格带钢,可以减小头部的建张系数,同时提高夹送辊的超前率,使头部进入卷筒的时候处于受控导入的状态,而不是依靠过高张力强行拉直。

尾部控制主要是张力衰减和速度补偿。尾部离开精轧末架之前,卷取机就要提前转入尾部控制状态,让张力下降保持连续斜率;尾部脱离末架之后,不能让夹送辊过早打开或者卷筒速度突然变化。对于容易产生尾部松卷的规格,可以适当增加夹送辊的保持时间,控制尾部最后几圈的张力释放量。头尾段控制要形成规格化的参数模板,把每种钢种、每个厚度范围所对应的头部张力系数、尾部减张斜率、助卷辊压靠时序以及异常处理办法记录下来,为后续生产提供可复用经验。

4.2 卷形缺陷预防与过程参数联动管理

卷形缺陷预防要以过程参数联动为重心。塔形一般同带钢跑偏、边中温差、夹送辊两边压力不均以及卷筒对中误差有关;松卷大多是因为张力不够、卷取温度低、首圈贴附不好或者尾部减张太快造成的;内圈折皱常常是由于头部板形、助卷辊压力峰值过大、头部建张过高所导致的。如果只在成品卷检查时发现问题,然后去追溯单个参数,很难找到真实的根源。因此应该按照缺陷类型来建立一个现象、参数、设备、操作之间的关联表,将质量判定提前到卷取过程中。

过程联动管理可以采用分级处理的方式。轻微塔形或者边部错层出现的时候,应该先核查带钢的对中情况、夹送辊

的压力差以及层流冷却边部的水量;连续发生松卷的时候,要查看稳定段单位宽度的张力、首圈包卷状况和卷筒的涨紧情况;如果内圈折皱集中在一个规格或者一个钢种上,就要重新检验头部温度、头部建张系数和助卷辊压靠压力。把缺陷信息反馈到工艺参数表和设备点检计划里,就可以防止卷形质量管控只停留在终检判定上,让卷取控制拥有不断改进的能力。

4.3 薄规格带钢卷取操作标准化与质量闭环管理

薄规格带钢卷取操作标准化要体现规格差异,不能机械地按照通用的操作规程来执行。生产前要依据轧制计划确定厚度、宽度、钢种、目标卷取温度和卷重要求,调出相应的卷取参数模板;生产过程中主要观察头尾段张力曲线、卷取入口温度、夹送辊压力和卷形在线图像等;生产结束后要对首卷、换规格卷和异常卷进行复核,记录卷形等级、缺陷位置和过程参数。标准化的本质不是增加记录的数量,而是把重要的参数、异常情况以及处理的结果对应起来。

质量闭环管理要包含工艺、设备、操作、检验这四个方面的内容。工艺人员负责修正张力和温度窗口,设备人员负责辊缝、压力和动作响应精度,操作人员负责头尾段过程控制和异常确认,质检人员负责卷形缺陷判定与反馈。对于重复出现的缺陷要组织多岗位人员一起分析,找出是由于参数窗口设置不当、设备状态漂移还是操作时机不同造成的。闭环管理建立起来之后,薄规格带钢卷取稳定性的控制就可以由“事后处理缺陷”转变为“过程抑制波动”,从而减少批量性松卷、塔形和内圈折皱的问题。

结论与展望

热连轧薄规格带钢卷取稳定性受张力、温度、速度和设备状态共同影响,头尾段张力波动、卷取温度偏差以及夹送辊、助卷辊运行不稳是卷形失稳的主要原因。通过分段张力设定、冷却节奏协同和辊缝参数控制,可改善首圈包卷质量,提高层间稳定性,减少松卷、塔形、错层和内圈折皱等问题。后续可结合卷形在线识别、张力自适应修正和设备状态监测,推动卷取控制向数据化和智能化方向发展。

[参考文献]

- [1]张尊干.热连轧硅钢头部厚度波动原因分析及控制措施[J].科技创新与应用,2025,15(33):116-120,124.
- [2]霍建生,秦红波,郑立康,等.厚规格热轧带钢卷取温度控制精度研究[J].轧钢,2024,41(3):107-112.
- [3]姚世元,刘坤华,周冬冬.热轧卷取机前侧导板结构分析及其稳定性探索[J].机械工程与自动化,2024(3):87-88,91.