

单机架可逆冷轧机成材率的提高

Improvement of Yield of Single Stand Reversible Cold Rolling Mill

供稿|汤文锋 / TANG Wenfeng

内容导读

成材率偏低一直是单机架可逆冷轧机生产效率提升的难题。传统改进方法往往依赖设备升级或原料质量控制，成本较高。本文从生产实际操作入手，在不新增投入的前提下，聚焦两大关键环节——减少带钢头尾超厚段、优化卷取机缠绕圈数，通过调整轧制压力、张力等参数，并结合人工经验与自动控制模型的融合，实现成材率的有效提升。经过现场试验与数据对比，该优化方案使成材率最高提升 0.54%，验证了“零成本”提效的可行性，为同类冷轧生产提供了可借鉴的实践路径。

目前，业内针对提高冷轧成材率的研究有很多，大致分为两个方向：热轧原料质量控制和设备改造控制系统升级^[1-2]。而基于生产实践及操作控制的研究尚不多见。在竞争日益激烈的钢铁行业，提质、降本、增效已成为该行业的迫切需求。无论是对热轧原料的质量进行控制，还是对现有设备控制系统进行改造升级，都需要大量的成本投入。为此，亟需一种在不增加企业成本的前提下提高成材率的方案。本文以冷轧生产实践为基础，针对性地找出单机架可逆冷轧机以及控制模型的技术缺陷，合理利用现有设备能力，让原有自动控制计算模型与人工二次优化实现融合并轨，依托操作控制，突破技术壁垒，最终实现成材率的“零”成本提高。

影响因素

影响冷轧成材率的因素有很多，主要包括原料质量、原料可轧部分长度（包括原料焊接带头、带尾与原料头尾未轧部分）、轧后超厚部分长度^[3]。

原料质量

影响冷轧成材率的热轧原料缺陷较多，其中热轧原料头尾板形缺陷、厚度波动、热轧表面缺陷、内部缺陷等为重要因素。由于上述缺陷在酸洗过程中几乎无法消除，导致缺陷直接延伸至冷轧轧制阶段。轻则造成冷轧时跑偏、勒辊，产生少量损失，切损或冷轧轧后表面质量差，造成质量降级；重则可能导致断带，产生大量废品，最终导致成材率下降。

原料焊接带头、带尾

在原料钢卷的两端分别焊接一段新的带钢作为带头和带尾，以增加原料可轧部分，是诸多单机架可逆冷轧机为提高成材率所采用的方法。其优点是焊接的带头可以重复使用，而且对提高成材率的效果十分明显；缺点是对焊接的质量要求较高，需要采用专门的焊接机组来满足焊接需求，焊接设备的运行与维护也需要一定的人力、物力，且焊接带尾较繁琐。除此之外，该方法对原料本身及焊接部分

作者单位：鞍钢集团本钢板材冷轧总厂，辽宁 本溪 117000

的头尾板形质量要求也较高，以保证焊接质量和焊接后卷取机上的缠绕质量，从而保持稳定轧制和提高成材率。

原料头尾未轧部分

单机架可逆冷轧机需要将原料钢卷带头、带尾分别缠绕到入口、出口两台卷取机卷筒上来实现张力轧制，且通常需要足够的缠绕圈数才能保证具有一定的摩擦力，从而产生张力，避免打滑现象。不同的卷取方式或设备（如不同的卷筒表面粗糙度、钳口夹紧方式等），以及不同厚度的带钢、不同的板形质量都将影响带钢与卷筒之间的摩擦力和卷取效果^[4]。

在实际生产中，现场情况错综复杂，往往很难达到理想状态，所以将带钢与卷筒的缠绕圈数适当提高，以增大摩擦力，避免卷筒打滑或卷取不齐造成的钢卷塔形或轧制时失去张力。因此，如何用最少的缠绕圈数满足张力轧制所需的摩擦力，成为提高单机架可逆冷轧机成材率的关键。

轧后超厚部分长度

单机架可逆冷轧机采用往复式轧制，每次转换轧制方向、轧机启停都将在带钢上产生两段厚度超厚的过渡区，一段出现在启车阶段，另一段出现在降速停车阶段^[5]。每道次产生的两段轧后超厚的过渡区的长度受原料宽度、原料厚度、轧制压力、轧制速度、张力等因素的影响，通常在 3~7 m 变化。假设按照 5 道次生产，每卷将产生不少于 15 m 的超厚部分，如果这段长达 15 m 的超厚部分按照此轧机的平均终轧厚度 0.5 mm，平均宽度 1200 mm 来计算，那么其质量大约为 71 kg（冷轧钢板密度约为 7.85 t/m³），以平均卷质量 18 t 为例，将对整卷成材率造成约 0.39% 的降低，此处超厚过渡区的长度及、厚度均取最小值进行计算，实际轧制中因超厚部分导致的成材率降低值均大于此计算结果。

提高单机架可逆冷轧机成材率的方法

通过以上分析，大致可以将影响单机架可逆冷轧机冷轧成材率的因素分为外部因素（轧制原料因素）和内部因素（轧机生产因素）。外部因素可控性不大，在此不作赘述，下面结合实际生产着重分析内部因素。

缩短原料未轧部分

原料未轧部分分为头和尾两部分，分别缠绕在单机架可逆冷轧机两端的两台卷取机卷筒上，由于卷筒缠绕的未轧部分错综复杂，因此，首先需要依据丰富的现场工作经验来准确判断带钢头尾板形质量，然后在保证原料质量的基础上，使带钢处于轧制中心线位置，确认准确无误后做出合适的选择。缠绕圈数对比方案见表 1，原方案对带钢质量要求为无明显缺陷。优化后方案要求穿带方式均为钳口。

表 1 缠绕圈数对比方案

原料厚度/mm	卷取机缠绕圈数	
	原方案	优化方案
<2.0	<3.0	1.5~1.6
2.0~2.6	<3.0	1.6~1.8
2.6~3.0	3.0~3.3	1.8~2.2

若遇带钢窝边、折叠、严重浪形，则建议将缺陷部分切除后再进行生产。若带钢表面油污残留、表面涂油、表面生锈氧化严重，则建议多缠绕 0.5~1 圈进行建张试验，确认无打滑后再轧制生产。若目测带钢偏离轧制中心线位置较多，则需要矫正后重新在卷取机卷筒上按指定圈数缠绕。当偏离轧制中心线位置较少且已经完成缠绕时，若建张成功，则可以进行轧制生产，但要密切关注轧制钢卷的前 3~5 t 在卷取机卷筒上的缠绕情况，保持低速匀速轧制，若无异常可转入正常生产。

减少轧后超厚部分

单机架可逆冷轧机正常轧制时，缠绕在两端卷取机卷筒上的钢卷首尾两端的厚度超厚部分是必然存在的，且随轧制道次的增加，超厚部分也逐渐增加，从而进一步降低成材率。虽然超厚部分不能消除，但可以通过精细化调整轧制参数和优化改进操作方法来缩短其长度。经大量的试验证明，通过控制调整轧制压力和轧制速度，再配合适当的张力，可以达到缩短带钢头尾厚度超厚部分的目的。其中第 1 道次甩尾和第 2 道次反向穿带这两个环节尤为重要。

第 1 道次甩尾阶段的轧制长度比较重要，带尾越接近轧制辊缝，成材率越高，但也面临相应的风

险，如带钢跑偏、勒辊、刮蹭损伤等。所以，甩尾阶段需要现场操作员以及轧机主控人员的密切配合及准确调整，将带尾未轧区域控制在最小范围。第2道次反向穿带同样关键，以最小轧制压力、带张力状态进行操作，保证带钢对中缠绕，既能保证预压下效果，又能降低跑偏的风险，最大限度地提高成材率。

轧制参数的预设通常是由二级计算机来完成的。二级计算机计算出的预设轧制压力往往偏小，这是因为较小的预设轧制压力在启车阶段控制起来比较容易，还能降低断带、勒辊的风险，但在无形中降低了成材率。由于二级计算机的存储和计算能力有限，且二级计算机的计算是在各项生产条件和工艺要求都比较理想的情况下完成的，因此，在面对单机架可逆冷轧机的产品规格多样，且

各项参数变化波动频繁的情况下，想要提高成材率，需要收集大量数据并对其分析整合。为此，本文针对性地采集了长达半年的数据，并结合轧机操作员的经验，对各方数据进行对比分析，根据不同规格钢种分类比较，综合得出显著提高成材率且直接、快速的轧制压力调整方法（见表2）。

随着轧制压力的增加，适当增加第1、2道次前后张力，增幅控制在 $10\%\pm 3\%$ ，张力最大道次对应的前后张力适当减小，降幅控制在 $15\%\pm 5\%$ ；最终道次后张力适当减小，降幅控制在 $15\%\pm 5\%$ 。增加1、2道次张力是为了减少轧制压力增加带来的负面影响；而减小张力最大道次的张力及最终道次后张力，则是为了降低边部应力集中带来的断带风险^[6-7]。

随着轧制压力的增加，第1道次轧制启车阶段

表2 轧制压力调整对照表

钢种	宽度/mm	二级计算机计算轧制压力/kN	轧制压力调整比例/%				
			道次1	道次2	道次3	道次4	道次5
50W1300	1200~1300	>8500	3	3	0	0	0
		8100~8400	3	5	3	0	0
		7700~8000	9	8	3	0	0
		7300~7600	11	11	3	0	0
		6900~7200	13	12	5	0	0
		6500~6800	17	14	5	0	0
	1190~1090	>8000	3	3	0	0	0
		7600~7900	6	7	0	0	0
		7200~7500	12	10	3	0	0
		6800~7100	14	13	3	0	0
		6400~6700	16	15	5	0	0
		6000~6300	18	18	5	0	0
50W800	1200~1300	8900~9500	3	4	0	0	0
		8500~8800	7	6	3	0	0
		8100~8400	9	9	3	0	0
		7700~8000	13	11	5	0	0
		7300~7600	16	13	5	0	0
		6900~7200	18	15	6	0	0
	1190~1090	8300~8900	5	5	0	0	0
		7900~8200	7	7	0	0	0
		7500~7800	9	9	3	0	0
		7100~7400	13	11	3	0	0
		6700~7000	15	13	3	0	0
		6300~6600	17	15	5	0	0

续表 2

钢种	宽度/mm	二级计算机计算轧制压力/kN	轧制压力调整比例/%				
			道次1	道次2	道次3	道次4	道次5
50W600	1200~1300	>9900	3	3	0	0	0
		9500~9800	3	3	3	0	0
		9100~9400	5	4	3	0	0
		8700~9000	5	4	3	0	0
		8300~8600	6	5	3	0	0
		7900~8200	7	6	4	0	0
	1190~1090	>8800	3	3	0	0	0
		8400~8700	6	5	3	0	0
		8000~8300	9	8	3	0	0
		7600~7900	10	10	5	0	0
		7200~7500	12	12	5	0	0
		6800~7100	15	14	5	0	0

注：表格内容的调整原则：（1）依据二级计算机给出的轧制压力进行增加调整，增加比例对照表格查找；（2）轧制压下率低于28%不做调整；（3）所有计算得出的轧制压力，受乳化液浓度及原料因素的影响，可以进行±200 kN的浮动。

的操作控制精度有所提高，需要操作员快速、准确调控轧制压力差。轧制压力调整比例应考虑乳化液的浓度、温度，轧辊的辊径和粗糙度等因素对轧制压力的影响，结合根据调整轧制压力后带钢启车阶段的实际厚度情况、压下速率以及实际轧制压力的大小等进行综合调整。轧制时厚度波动越小（快速、准确达到目标厚度），轧制越平稳，成材率也就越高、越稳定。轧制压力调整是否合适，以启车

轧制 5~10 m 内能够压下至目标厚度为宜。这样随轧制速度的迅速提升，启车阶段的轧制压力不会因厚度波动剧烈而急剧增加，并能避免增加事故风险。

通过分析研究方案试运行 3 个月后的采集数据，成材率的提高最大可以达到 0.54%，实现了“零”成本提高成材率的既定目标。钢卷数据对比见表 3；具体实物效果可见钢卷卷心处超厚部分圈数明显减小。如图 1 所示。

表 3 随机抽取钢卷数据对比

方案	序号	班组	原质量/t	产质量/t	损失量/t	成材率/%	平均成材率/%
优化方案	1	丙	22.20	21.93	0.27	98.78	98.75
	2	丙	21.95	21.67	0.28	98.72	
	3	丙	21.94	21.66	0.28	98.72	
	4	丙	22.02	21.75	0.27	98.77	
原方案	1	丙	22.28	21.92	0.36	98.38	98.31
	2	甲	21.85	21.48	0.37	98.31	
	3	乙	21.91	21.54	0.37	98.31	
	4	丁	22.16	21.77	0.39	98.24	

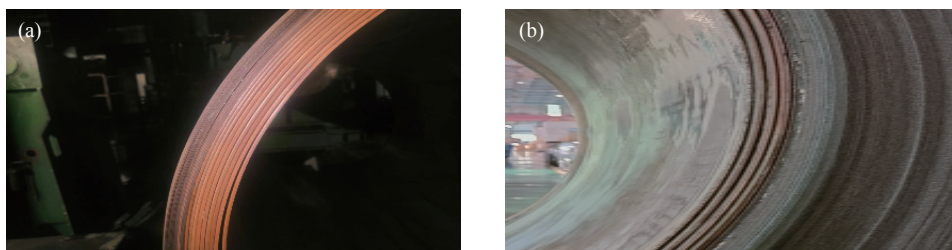


图 1 钢卷实物图: (a) 原方案; (b) 优化方案

结束语

本研究从减少厚度超厚部分和卷取机缠绕圈数两方面入手，增加了原料可轧部分，提高了金属利用率。对比优化方案与原方案随机抽取的钢卷数据可知，优化方案成材率的提高效果显著，成材率的提高最大可以达到 0.54%。另外，优化方案对成材率的提高体现在钢卷的带头与带尾的损失量减少。但在轧机生产试验中只体现了带尾的损失量减少，而带头的损失量减少需要到后道工序生产时才能够体现，故优化方案对成材率还有潜在提高。

参考文献

[1] 赵兵兵, 曲家东, 高尚飞, 等. 冷轧纯钛带板形控制的工艺解析. 金属世界, 2025(6): 83

[2] 高尚飞, 曲家东, 戴山, 等. 如何“驾驭”钛板成型?——冷轧与退火工艺对纯钛性能的调控. 金属世界, 2025(5): 45
[3] 赵家骏. 冷轧带钢生产问答. 北京: 冶金工业出版社, 2004
[4] 金兹伯格. 高精度板带材轧制理论与实践. 姜明东, 译. 北京: 冶金工业出版社, 2000
[5] 李天祺. 现代单(双)机架四辊可逆式冷轧机生产技术的发展. 轧钢, 2000(2): 38
[6] 朱巍. 冷轧硅钢边裂产生机理的研究[学位论文]. 上海: 华东理工大学, 2010
[7] 徐鹤贤. 冷轧钢带张力及其控制工艺探讨. 特钢技术, 2001(3): 12

作者简介: 汤文锋(1983—), 男, 辽宁省本溪人, 冷轧轧钢工人。2010年毕业于东北大学材料成型及控制工程专业, 主要研究方向: 金属材料压力加工。通信地址: 辽宁省本溪市明山区胜利路。E-mail: 273027488@qq.com。