

第十八届全国薄板宽带
生产技术信息交流会

论
文
集

主办单位：全国轧钢信息网薄板宽带分网

承办单位：马鞍山钢铁股份有限公司

协办单位：安徽泰尔重工有限公司

二〇〇六年十月

第十八届全国薄板宽带 生产技术信息交流会

论 文 集

主办单位：全国轧钢信息网薄板宽带分网

承办单位：马鞍山钢铁股份有限公司

协办单位：安徽泰尔重工有限公司

二〇〇六年十月

目次

·试验研究·

带钢连续彩涂生产线气刀过滤装置的工艺改进研究·····	高兴昌(1)
控制带钢连续热镀锌工艺中有效铝的研究及当前技术进展·····	高兴昌 范洪彬 关立凯(8)
冷轧宽薄板材的酸洗技术 ·····	王立峰(17)
镀层板材的防潮与防锈 ·····	范春磊 杨海水 马卫华(29)
PET 热覆膜彩板的开发 ·····	王美珣 施国兰 柴立涛(35)
冰箱专用彩板的试制工艺探讨 ·····	朱跃进 张文静(40)
罩式退火过程中设备故障分析 ·····	程书生(43)
稀土对冷轧深冲薄板成形性能的影响 ·····	游 涛 朱兴元 石 勤 邹 洋(46)
冷连轧机 SmartCrown 辊形使用工艺 ··· 贾生晖 曹建国 王伟湘 谭仁伟 曾劲松	尹建龙(53)
冷轧带钢凸度道次遗传系数及辊型影响系数的研究 ·····	张凤泉(58)

·综合评述·

安赛乐公司碳钢扁平材品种结构启示录	张志勤(66)
热镀锌连续退火炉的工艺技术	刘子正 李霜莉(71)
热镀锌板生产过程的三废治理	梁 岩(75)
国外现代热轧宽带钢生产技术特点	杨兆林 潘国平(79)
热轧宽带钢轧机工艺装备新技术	闻玉胜 杨兆林(88)
带钢热镀锌工艺及其发展趋势 张召恩 杨瑞枫 刘光明 刘大滔 王亦工	孟宪堂(93)
汽车薄钢板用户技术及发展趋势 郑天然 滕华湘 刘光明	唐茂生(98)
热镀锌汽车用板和热镀锌相关技术的发展	杨春雨 李鸿友 张明全(102)

·生产实践·

本钢 CDCM 冷连轧机负荷分配经验模型开发研究	张 勇	蒋光炜(105)
本钢 CDCM 冷连轧机组弯辊设定的影响因素及其优化	张 勇	迟秀斌(113)
彩涂印花系列产品的发展现状及本钢的实践	高兴昌	关立凯(118)
本钢彩涂机组印花产品工业生产的工艺研究		高兴昌(126)
板带涂镀过程中的技术分析及创新		
..... 张耀民 张卫革 解 红 曹秦梅 于金柱 宋 阳 吕树庆(135)		
彩涂线开卷机润滑系统的改进	霍秋忍	邹 贵 张习良(141)
促进废水中 Fe ²⁺ 的氧化,提高出水水质	胡金良	于金柱(144)
镀锌、彩涂 UPS 热备技术的开发与实践	王凯军	柴 鑫 彭 权(147)
镀锌线通讯故障的分析和解决	邹 贵 霍秋忍	彭 权 张习良(150)
缓蚀剂对盐酸再生机组的影响及改进措施	杨 启	梁 岩 李 群(154)
热轧酸洗镀锌钢卷的生产与创新	张耀民 解 红 任晓宇 张卫革 曹秦梅	柴 鑫(158)
酸洗镀锌厂变频器的常见故障和处理办法	霍秋忍	邹 贵 张习良(164)
酸再生工艺及操作中的故障分析		常艳茹 梁 岩(166)

现场总线 PROFIBUS 不稳定因素研讨及改进	董存武 陈德升 王 维(169)
马钢 1 # 连续热镀锌机组卷取张力的优化	杨兴亮 王卫远(173)
马钢 CSP 加热炉板坯氧化烧损控制	王 少(178)
CSP 摆剪压下辊故障分析	周立宏(183)
攀钢热镀锌产品开 发	于 丹 娄 燕(188)
本钢薄板坯连铸(FTSC)生产实践	宋满堂 李秉强 陶力群 许家彦(195)
马钢冷轧轧机断带原因的分析与对策	严开龙 李宏洲(203)
浸入式水口在薄板坯连铸机上的应用	彭荣才(208)
CSP 轧辊使用实践与探讨	王 强 张树山(214)
MES 在马钢冷轧厂的应用	许长安 张四方(219)
马钢 UCM 冷连轧机厚度及板形控制特点分析	沈新玉 胡 柯(225)
马钢冷轧乳化液应用与优化	严开龙 胡 柯(229)
浅谈平整机组对冷轧板带质量的影响	孙建华(235)

·技术交流·

马钢 1 # 连续热镀锌机组清洗段工艺的优化	王卫远 陶厚龙(240)
罩式退火工艺粘结形成机理及对策	程书生(246)
探讨提高热镀锌产品镀层粘附力的方法	章一樊(250)
稳定生产超薄带的几点认识	赵海山(256)
满足 RoHS 指令的系列产品的开发及应用	于 丹 周一林 胡 红(259)
家电用热镀锌板生产技术	段向东 金永清(265)
耐火钢生产技术及发展趋势	刘庆春 郑之旺(273)
攀钢无铬钝化环保镀锌产品工艺优化	邓有福(278)
攀钢冷轧厂 3 # 热镀锌机组工艺、设备国内自主成套及创新	
.....	周 敏 邹桂明 王良兵 黄德轩(289)
双机架可逆冷轧机组的自动化控制	金东海(296)
冷轧板连续退火工艺的发展及应用	姚 舜 熊爱明 刘光明(308)
莱钢 1500 热连轧带钢工程技术特色	徐德贵 孙艳秋(314)
浅议镀锡板黄斑锈产生机理与解决途径	邹卫国 田有金 赵 柱(321)
浅议如何实现武钢镀锡板专业化生产与规模化效益	邹卫国 赵 柱(327)
热连轧机工作辊横移对热凸度影响解析	韩 斌 苏 毅 张志宏 孔祥伟 王国栋(334)
以信息化推动冷轧生产管理的现代化	张 鹏 詹宏惟 张依刚(339)
本钢薄板坯连铸连轧 600MPa 级冷成型用热轧高强度钢板的开发	闵洪刚(348)

·其他·

安徽泰尔重工有限公司简介	(354)
华东钢铁在线简介	(356)

带钢连续彩涂生产线气刀过滤装置的工艺改进研究

高兴昌

(本溪钢铁(集团)有限公司冷轧薄板厂)

摘 要 由于国际普通彩涂板市场竞争的日趋激烈,国外各大彩涂钢板生产厂家已将重点放在生产及开发高档次特殊品种高技术含量的高附加值高端产品。对于彩涂钢板生产企业来说,当前急需的是加大高档次彩涂钢板的质量及品种研制开发力度,持续走与上下游用户共研共赢的发展之路。但当前困扰大多数彩涂机组质量和品种提升的是工艺技术诀窍和自我创新技术,而这些正是新品种新技术开发的关键症结所在。本工艺研究通过对其过程设备的工艺改进,满足了工艺要求,减轻了劳动者劳动强度,正符合了当前国家所提倡的自主创新的精神。

关键词 彩涂 气刀 本钢 工艺改进

0 引言

随着彩涂板消费的增长,应用领域的不断扩展,用户对彩涂板的品种质量、性能要求不断提高,就世界范围来看,普通彩涂板市场的竞争日趋激烈,彩板的生产逐步向着品种多样化,定位高级化的方向发展。近年来,国内的彩涂板应用领域及消费需求量发展的很快,国内产量及规模也在不断扩大,但是,就国内目前彩涂钢板生产的质量,档次和品种而言,与国外差距很大;因而造成普通品种低端产品产量多,竞争激烈,而高质量高档次特殊品种高技术含量的高附加值高端产品却不能生产或产能不够。而高档次的彩涂钢板在国内市场的需求量逐年增加,于是国内需要大量进口高档次的彩涂钢板以满足市场的需求。因而国外一些贸易商针对国内产能与市场需求的矛盾,把目标瞄准中国目前尚属空白或产能较少的高档次产品,抢占中国此领域的市场份额。所以,对于彩涂钢板生产企业来说,当前需要的是加大高档次彩涂钢板的质量及品种研制开发力度。因此为适应市场需求,高档次的彩涂产品的开发成为彩板生产企业的当务之急。

众所周知,彩涂产品品质除受彩涂工艺生产和原料影响外,还受从炼钢到轧制涂镀一贯制工艺技术操作的影响,高档次的彩涂产品必然具有优异的力学性能,物理性能,抗腐蚀性能和高表面质量。而这就需要优异的彩涂基板和其他辅料与轧制涂层一贯制工艺技术的完美配合。作为轧钢企业生产产品链条的最终一环,彩涂产品的档次和品种的优劣直接代表了一个钢铁联合企业的综合技术和管理水平,代表了企业与上下游企业的合作共赢能力。

本钢彩涂机组定位在高档建筑和家电板。虽然目前国内彩涂钢板的主要领域为建筑行业,其消费比例占到了总消费量的85%—90%,但家电行业也已开始采用国产彩涂钢板,且其潜在的市场很大;还

有交通运输等产业也正在逐渐启动。预计，在未来的几年中，国内彩涂钢板市场仍将以建筑市场为主，家电行业的需求量将明显增加，产品将以薄规格、高强度、耐腐蚀性的板材为主，占据主导市场。而今后彩涂发展的必然方向便是朝着高档高技术含量多品种高端方向发展。而作为彩涂高端产品的生产对彩涂生产工艺的要求和从炼钢到轧制涂镀一贯制工艺技术的要求更高，以现在国内逐步采用的家电外壳彩涂板为例，由于彩涂作为家电板外壳后便不再进行额外加工处理，而且由于家电板对外壳表面及性能的独特高要求，因此，彩板在家电上的应用又凸显出其生产和加工上的新要求。由于家电的用途不同，家电外壳用彩板除要求极高的表面质量外，还对钢板的耐候性和加工成型性提出了要求。在耐候性方面，某些家电板要求进行潮湿性室内实验，盐雾试验，周期性腐蚀试验；对一些家电板采用食物等抗化学腐蚀试验。在成型性方面，要求了基板和涂料的强度和柔性，成形的压力及应变水平（弯曲和深冲及杯突）；摩擦系数（工具表面的处理或产品表面的保护）；表面外观方面考虑了耐刮伤性，耐冲击性，抗辐射性，光泽度，抗粉化及不同部件的色彩匹配性，色差均匀性等。此外，彩涂家电板也对产品的原料和包装，运输及最终加工等等各个环节都有独特要求，因此，可以看出高档次产品生产的高难度。本钢彩涂机组从投产以来便致力于经验的积累，技术的研究和人员的培训，这两年来，随着普通产品质量的不断提高和一些新高产品的陆续开发生产，彩涂机组也得到了不断的拉练，取得了很好的效果。而且随着对工艺研究的不断深入，机组生产高档次产品的能力也得到极大提高。但在生产过程中还存在一些影响产品质量和影响机组高档次生产的隐患需要继续改进，其中清洗段和两个水淬槽的气刀过滤装置的改进便是其中之一。

1 存在的工艺问题描述

彩涂机组共有三台气刀，分别位于清洗段，初涂水淬段和精涂水淬段。依据彩涂工艺，清洗段担负着保证彩涂基板清洁干净干燥的进入化涂段的功能；初涂水淬段担负着保证涂敷底漆后的彩板温度降低到精涂涂装工作范围，同时确保准备涂敷的底漆彩板清洁干净干燥；精涂水淬段担负着保证涂敷面漆和背漆后的彩板温度降低到卷取的工作范围，同时确保卷取后的彩板清洁干净干燥；这三台气刀的运行质量直接关系到彩涂产品运行过程中的质量控制，涉及到彩涂产品的表面质量，物理性能和产品后步用户质量保证三方面的控制。

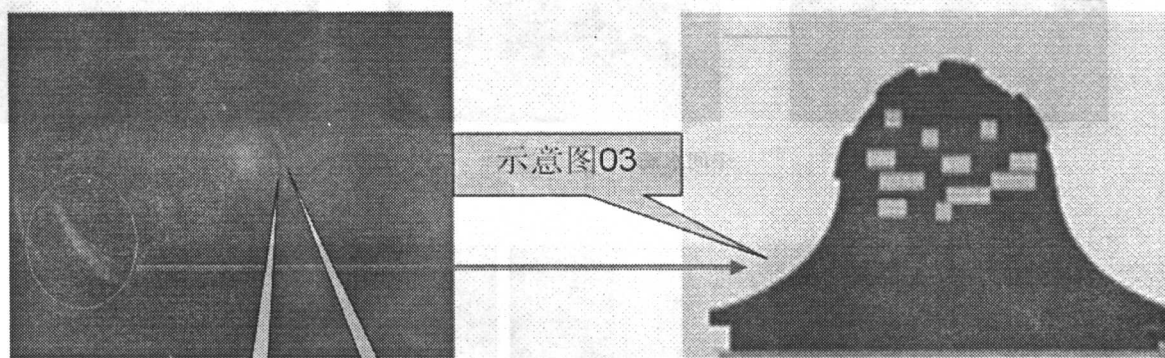
清洗段气刀：经过六段最终清洗后的带钢，经过清洗段最终的挤干辊后，便进入气刀的工作区域。气刀担负着将经过挤干辊处理后的带钢吹干的任务。而初涂和精涂水淬后的气刀则是将水冷却后经挤干辊处理后的带钢吹干。所有的气刀都必须保证处理后带钢清洁干燥且温度适当。

由于原始设计的缺陷，这三个气刀设计时仅考虑了风机的噪音问题，仅在吸风风机外接了一个气刀噪音消音器，而未考虑到本机组的具体特点及周围空气的状况，气刀的空气清洁过滤装置仅采用边长约为 3~4cm 的大菱形孔径进行粗过滤，可以说不能起到任何过滤作用。

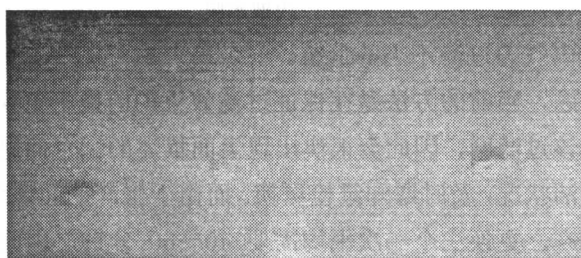
该过滤方式是外方在国外清洁环境条件下设计；而本机组厂房周围环境差，灰尘多，特别是清洗段的气刀消音器的吸风口正好位于彩涂机组的厂房大门侧，生产期间的涂料和生产用辊等物料的进出从该门口出入。同时该吸风口紧挨着彩涂安全通道，因此改位置的灰尘较其他地方更多且不符

合安全生产理念。其他两个吸风口位于出口侧。气刀消音器的吸风口均为单口设计，单口吸风，该吸风口的进风质量便直接决定了气刀吹到带钢上的风流质量，也决定了清洗和水冷后带钢的质量。

彩涂机组在 2004~2005 年，曾经出现困扰机组正常生产的一个技术难题：产品的 T 弯，NTO 反冲击及附着力性能差，出现了多批脱漆漏基板的严重产品缺陷，而这也严重影响着产品的形象。而且 2005 年年初出现的“T 弯大于 5T，NTO 小于 6 焦耳”更是直接导致了机组不能继续生产。经过技术人员对炉温，涂机等工艺参数的不断调整仍未得到解决。最终通过认真分析和逐项排除发现清洗段挤干后带钢是清洁的，而化涂后带钢手感则粗糙，且分析发现化涂涂机和干燥炉均正常，因此问题便聚焦于挤干辊后，化涂机前，那就只可能是气刀。而由于当时灰尘较细且分布在带钢上较均匀，因此用手抚摸气刀后带钢无手感且较干净。但通过使用面巾纸对气刀后带钢擦拭便呈现明显的均匀灰尘膜层。分析机理便是气刀进风口吸进了灰尘后，灰尘在消音器内均匀细化，最后在风机的风压下吹到刚挤干完毕的带钢上，然后对带钢仅完成吹干过程，带钢上的均匀水膜便吸附了灰尘，水膜进入空气自干阶段后形成灰尘层，经化涂机涂敷便形成了化涂膜的中间层，因而导致了化涂层的脱落，从而表现为涂漆层的脱落与 T 弯，NTO 反冲击及附着力性能差，实物图和示意图如下：



而当颗粒较大时还会直接影响表面质量，形成如下图的颗粒状缺陷：



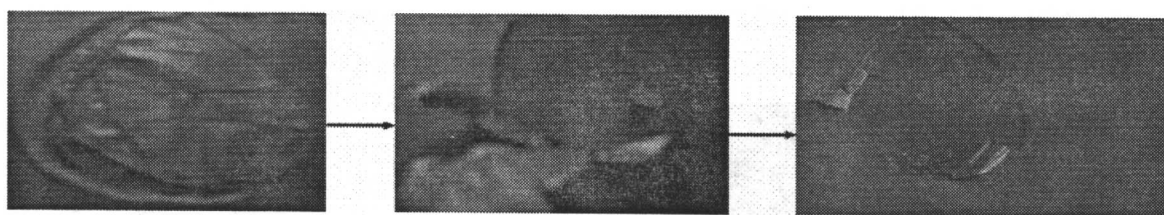
这是清洗段气刀过滤不足导致的问题；而初涂水淬后的气刀导致的问题则与之类似，不同的是出现问题的底漆层和面漆层的附着力差，导致面漆涂层的脱落，从而表现为面漆层的脱落与 T 弯，NTO 反冲击及漆层间附着力性能差，上述的示意图则变化为漏底漆。

精涂水淬后的气刀导致的问题则与上述两个不同，其表现形式更为隐蔽，危害性更大。由于精涂后涂层表面的灰尘随带钢进入卷取，而由于卷取张力的存在，导致了灰尘存在于面漆和背漆之间且存在压力，这除了会导致开卷后用户使用提出板面脏，还可能引起粘连，压印，长期存放时还可

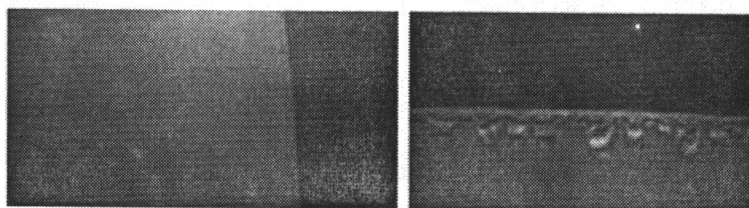
能进入水分导致发生色差和腐蚀性降低等。

2 曾经的尝试和现状

为解决这一问题，分厂技术人员首先采用了使用清洗段过滤纸堵住吸风口的办法来解决。但由于风机的功率是依据原有的非过滤状态设计，因此使用该滤纸后出现三个新问题：首先是气刀的吹干效果变差，表现为气刀处理后带钢的表面仍然存在很多水，导致气刀处理后的带钢上的水在气刀后转向辊积聚下流，特别是带钢边部更为严重，这就严重影响着化涂液的工艺稳定性和化涂层的附着性。其次该滤纸为纸质，在风压下逐步分解后进入气刀风流中，导致气刀吹出的风流中含有纸絮；再次，由于滤纸导致吸风量受阻，因此导致风机设备本体出现过热，存在损伤风机设备的极大危险。而初涂水淬和精涂水淬也出现同样问题，如下图便为当时由于初涂水淬气刀风压效果不好导致带钢边部有水，经精涂涂漆后出现的缺陷：



中间水滴



边部水膜

从上面可以明显看出气刀过滤不当的危害。

为平衡解决这一问题，当前的方法是在保证过滤效果的前提下更换了孔径较大的布状过滤网。但由于灰尘会很快堵塞该过滤网，因此会很快出现上面描述的三个问题。因此，工艺便要求操作工经常检查该过滤网的清洁状况，及时通知维检更换。而由于生产期间该过滤网平均每班需更换一次，而更换期间不能正常生产，更换三个一次平均需要 40~60 分钟，因此当前的策略仅是权宜之计，该工艺状态亟需改进。

3 工艺改进研究及方案

为彻底解决这一问题，同时也为了今后生产高档次彩涂板奠定基础，冷轧厂成立专门项目组，确定了通过设计合理的气刀过滤器，防止灰尘颗粒等附着在带钢表面造成清洗后的带钢再污染，同时避免出现上面的问题。可以确保带钢板面无水雾并具有良好的清洁效果，可表现为清洁面巾纸擦

拭无颜色变化及可见细微颗粒的项目目标。同时，为达到这一目标，经过分析研究及借鉴其他机组的类似经验教训，决定避免采用其他厂家的大型过滤装置或加二级吹灰装置，单纯对现有的过滤器进行创新改进。为实现上述项目目标，制定具体实施目标如下：

(1) 经查阅资料，上述气刀原设计风机电机功率 30kw, 转数 1500 rpm；气刀两喷嘴缝间距约 90mm，空气工艺流量约 8300m³/h，因而，本方案首先要确保风机设备的正常工作和喷嘴喷出的空气流量满足工艺要求。

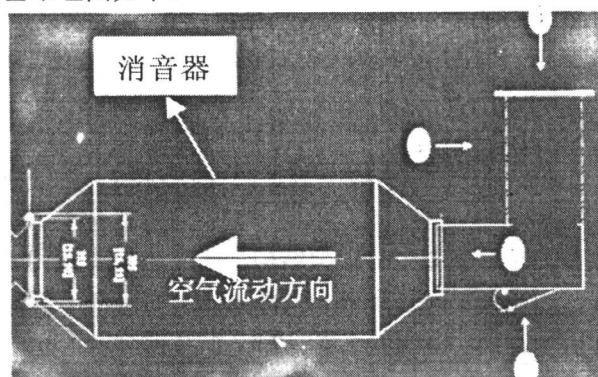
(2) 借鉴以前的经验教训，本方案还需对过滤网的选择进行优化，保证孔径合适且无灰尘和产生絮状物进入气刀，同时保证较长时间的更换周期，不必经常更换。

(3) 考虑到每台气刀所处位置和具体环境需要，对每台气刀进行有专门性的改进，有必要时对小范围的周边现场环境进行改进。

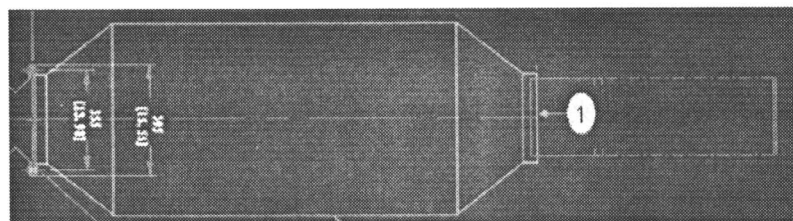
(4) 为保证彩涂现场管理和安全生产的要求，该项目实施后还必须确保现场管理和职工安全生产，乃至保证参观的需要。

(5) 尽量少的改动原有设备布置，仅在原有设备基础上进行改进，同时保证各气刀的噪音水平维持在原有水平。

在上述具体目标的指导下，项目组人员首先通过讨论并论证确定了如下的工艺实施原理，清洗段和精涂水淬的气刀工艺原理图如下：

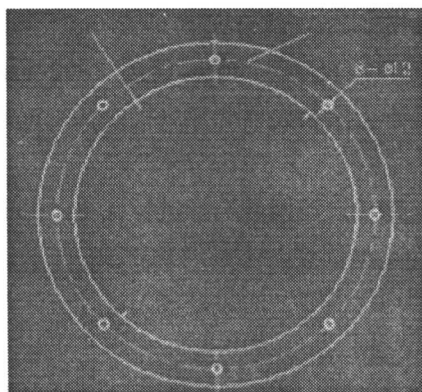


初涂水淬气刀的工艺原理图如下：



其中红色部分为后加部分，后加部分的结构为双层结构，内层为支架作用的大过滤网，外层可方便取下，而且在外层包覆细过滤布，待过滤布脏时可将整个外层取下，而将另一个已包覆好过滤布的外层直接快速套在内层上。外层作为备件，始终保证有至少一个覆有干净过滤布的外层。依据上图可见，本方案通过添加该装置扩大吸风面积，而扩大的吸风面积可以弥补因添加过滤网而导致的吸风面积不足的问题。而且，采用过滤网内外层双结构，便于在线生产时快速更换，彻底降低了更换过滤网造成的停机时间；同时，清洗段和精涂水淬弯管式设计可保证彩涂现场管理和安全生产

的要求，因为其经过安全通道和走廊，而弯管导致的气体摩擦阻力可通过加大吸风面积解决。标示1处如下图设计：



可通过螺栓方便将该结构拆卸下便于检修和清洁消音器内部；而标示2处则通过开小门并通过2螺丝密封，便于正常清理该结构内部的灰尘。标示3处为过滤网位置，采用圆柱形四面采风过滤，并通过计算和实验选取最合适的过滤网；标示4处则为圆盘盖设计。其具体尺寸和详细构造待通过对风机流量和吸风面积计算后给出。考虑到具体的工艺需要，清洗段和精涂段水淬的过滤网孔径采取不同的大小，以满足最佳的效果。初涂水淬与上述类似，只是结构和减少弯曲管导致的吸风面积减少有些不同。

在具体实施过程中，首先为保证喷嘴喷出的空气流量满足工艺要求和风机设备的正常工作，依据气体动力学原理理论计算出保证空气流量所需的吸风总面积。同时选用几种不同孔径的满足要求的过滤网，对应计算出依据上述工艺原理图所需要的吸风部分具体尺寸，取最大的尺寸并进行优化修正作为设计尺寸。然后制作主体结构 and 外层附属结构具体加工设计图，标注尺寸及材料，并上报材料进行委托加工制作。制作完毕后安装主体框架结构，并快速安装外层结构后进行使用及调整优化。同时根据现场环境及最终实施效果对清洗段和精涂水淬气刀进行现场管理和安全生产两方面的评估。在必要情况下对清洗段区域的安全通道进行改进，使其更符合生产工艺和职业健康安全的需求，也有利于现场管理的现场环境美化。

4 工艺改进特点

- (1) 通过扩大吸风面积来弥补因过滤布导致的吸风面积减少的问题
- (2) 确保设备功能和工艺效果
- (3) 内外层设计，外层在线瞬时更换，实现了过滤装置的在线快速更换
- (4) 采取四面采风，避免正面采风的设计方式，强化了过滤效果
- (5) 整体结构便于拆卸，不影响原有设备功能，方便检修需要
- (6) 设计清灰门，方便实时清理内部灰尘。
- (7) 考虑到生产工艺，安全生产，现场管理和职业健康安全各方面的需要。

5 结束语

由于国际普通彩涂板市场竞争的日趋激烈,国外各大彩涂钢板生产厂家已将重点放在生产及开发高档次特殊品种高技术含量的高附加值高端产品。而国内普通品种低端产品产量多,竞争激烈,而高质量高档次特殊品种高技术含量的高附加值高端产品却不能生产或产能不够。对于彩涂钢板生产企业来说,当前急需的是加大高档次彩涂钢板的质量及品种研制开发力度,持续走与上下游用户共研共赢的发展之路。但当前困扰大多数彩涂机组质量和品种提升的是工艺技术诀窍和自我创新技术,而这些正是新品种新技术开发的关键症结所在。本工艺研究通过对其过程设备的工艺改进,满足了工艺要求,减轻了劳动者劳动强度,正符合了当前国家所提倡的自主创新的精神。

控制带钢连续热镀锌工艺中有效铝的研究及当前技术进展

高兴昌 范洪彬 关立凯

(本溪钢铁(集团)有限公司冷轧薄板厂)

摘 要 有效铝是在带钢连续热镀锌涂镀工艺中熔融在锌锅中的总铝中的一部分,在镀层形成的过程中,有效铝可明显的抑制铁锌间的反应。当前通常采用的取锌液样进行化学分析的方法测量的为包括未溶解铝份和可能结合到底渣或浮渣的总铝量。本文介绍了在带钢连续热镀锌工艺中控制有效铝的理论研究及相关技术进展。对锌锅内锌液中有效铝的精确测定控制是当前采用带钢连续热镀锌涂镀工艺生产普通热镀锌产品和热镀锌合金化产品时锌锅锌液成分管理的研究前沿和热点。

关键词 连续热镀锌 控制工艺 有效铝 技术进展

The control effective aluminum's theory and relatively technical developing in the continuous galvanizing process

Gao Xingchang

(Cold Rolling Mill, Benxi Iron & Steel Group)

Abstract Effective aluminum is the part of the total aluminum in the galvanizing bath that is dissolved in the zinc, available for controlling the Fe-Zn reaction on the steel strip during coating formation. Total aluminum, measured by bath assays, also includes un-dissolved aluminum and aluminum tied up in dross particles. There introduced the research of control effective aluminum's theory and relatively technical developing. Accurate control of effective bath aluminum is a priority in modern CGL bath management for quality galvanized and galvanized products.

Key words Continuous Galvanizing Control Process Effective aluminum Technical developing

0 引言

热镀锌工艺(Hot Dip Galvanizing)是至今为止钢材防腐方法中应用最广泛、最有效的工艺方法,自从1837年法国的索里尔申请热镀锌专利,将热镀锌应用于工业生产以来,已经有一百六十多年的发展史了。然而,热镀锌工艺还是在近半个世纪随着冷轧带钢的飞速发展而得到长足发展的。热镀锌工艺与其他金属防腐蚀方法相比,在镀层电化学保护性、镀层致密性、镀层耐久性、镀层免维护性、镀层与基体结合力、经济耐久性以及热镀锌工艺对钢件形状、尺寸的适应性、生产的高

效性方面具有其他工艺无法比拟、得天独厚的优势，广泛用于钢板、钢带、钢丝、钢管、结构件、零部件等产品。

热镀锌钢板作为钢材与锌复合形成的材料，具有优良的性能，既有基材钢的高强度和韧塑性，又有锌镀层良好的耐腐蚀性能，随着近年来热镀锌工艺的经济性及热镀锌钢板整体性能的大幅度提高，产品广泛应用于建筑，交通运输，家电家具，机械工业，电子工业，容器制造及包装等行业。近几年由于国内经济保持了较高的增长速度，从而为镀锌产品下游行业的迅速发展创造了有利的外部环境；受到建筑、机械、汽车、家电等相关下游行业需求的有力支撑，加之国内资源呈现出阶段性的偏紧，国内镀锌板需求量呈现出快速增长的趋势，从而掀起了国内的镀锌板生产线投资热，估计 2004 年底国内至少将形成 780 万吨左右的年生产能力。在当前国内已投产的大型带钢连续热镀锌生产线中，虽然生产设备及工艺布置设计等已经达到相当高的水平，但在锌池工艺管理，产品质量与成本，工艺控制等众多方面与国际先进水平相比尚存在很大差距，因而导致当前国产热镀锌产品的品种，档次及质量尚不能满足国内市场的需求。

当前热镀锌工业研究的重点主要集中在以下几个方面：

- 高质量要求带钢的前处理工艺；清洗，电解，传感器；焊接缝合工艺，退火和表面活化 / 煤气与金属的作用。
- 锌液化学成分和锌池工艺管理；锌锅材质；锌锅中液态金属流动状态；锌液中有效铝测定与控制工艺模型；多品种热镀锌和锌合金生产线涂镀工艺研究；Zn-Pb 工艺。
- 涂层厚度控制；表面质量和凝固过程控制；镀锌层退火工艺。
- 后处理工艺；光整和其它表面附加涂覆工艺研究。

锌液化学成分和锌池工艺管理作为带钢连续热镀锌工艺中的关键工艺之一，包括带钢入锌锅的状态、锌液成份的动态变化、加锌捞渣、清洁锌液污染等众多方面，是一个复杂的生产工艺，也是影响产品质量、成本的重要环节。

锌液化学成份控制对镀锌产品质量的影响，除影响锌层附着性外，还对其产品质量影响极大，这一点已在实践中得到充分的证实。通常对于生产建材产品和普通产品，锌液成份控制范围允许较大，但对于生产高质量彩涂基板及家电、汽车等产品，这个范围限制就很严格。Al 作为锌液中最重要添加元素，Al 含量的控制对镀锌产品质量的影响很大，目前国外锌液中铝含量的确定，引进了“有效铝”的概念，稳定锌液中的铝含量的方法是国外生产汽车和高等级产品的一个专利。目前国内还没有一家能够掌握这方面的技术，因而这也是国内目前无法稳定、批量生产热镀锌汽车板的一个技术原因。控制带钢连续热镀锌工艺中有效铝含量，研究如何减少锌液中的铝含量的波动，并研究铝含量波动锌渣产生量发生变化情况成为当前国内热镀锌工业提高产品质量及档次的关键。

1 控制锌液中有效铝在连续热镀锌涂镀工艺中的重要性

1.1 连续热镀锌工艺控制要点

在带钢的连续热镀锌工艺中，简单讲，产品质量的工艺控制可以概括为三个方面：

其一：钢基性能：主要由连续退火炉的工艺来决定。

其二：镀层性能：主要由退火工艺和涂镀工艺共同决定。

其三：表面状态：主要由气刀工艺，涂镀工艺及镀后处理工艺来决定。

由此可见，涂镀工艺对产品最终质量和镀层性能表面状态至关重要。而涂镀工艺主要包括锌液温度、带钢入锌锅温度、锌液中化学成分这三方面工艺控制，这三方面既相互影响又相互制约，故此科学合理的控制这三部分参数才能获得良好的镀层性能。

1.1.1 锌液温度的控制

对于锌液温度的控制，一般要维持在 450—470℃左右，如果温度超过 480℃，则带钢的铁损量将呈抛物线关系倍增。当达到 500℃左右时铁损量达最大值。铁损量的增大将造成底渣的大量生成，造成锌液的污染，其结果不但造成锌的损耗，锌渣粘在带钢表面就造成了表面锌粒锌疤缺陷。故此锌液温度的上限不允许超过 470℃就是这个原因。锌液温度也不能过低，否则易产生锌起伏等缺陷，其下限是由两方面因素决定的，其一为锌液粘度即锌液的流动性能，锌液温度越低其流动性能越差，粘度越大，在相同条件下带钢的表面带锌量就越大，气刀刮锌变的困难，故生产薄镀层产品受到限制。另一方面带钢入锌锅温度一般要高于锌液温度，若锌液温度过低带钢入锌锅温度需降低。出于这两个因素，锌液温度一般控制在 450—470℃左右。

1.1.2 带钢入锌锅温度的控制

对于带钢入锌锅温度的控制，我厂在生产实践中发现，带钢入锌锅温度和锌液温度的温差愈大，对提高镀锌层粘附性愈有利。分析认为高的带钢入锌锅温度有利于 Fe_2Al_5 中间粘附相层的形成。但带钢入锌锅温度不易过高，铁在锌锅中的熔解主要发生在带钢刚入锌锅，还没有形成 Fe_2Al_5 阻止层的时候，过高的带温会使入锌锅带钢周围的锌液温度升高加之阻止层没有形成就会造成铁损增大。 Fe_2Al_5 粘附层对镀层性能影响非常重要，该层的形成不但与带钢入锌锅温度有关，而且还与锌液成分和带钢浸锌时间有关。一般情况而言，锌液中 AL 含量较低时，应采用较高一些的带钢入锌锅温度，当 AL 含量达到 0.16% 以上时，带钢入锌锅温度可以等于锌液温度。在生产中，当锌液温度控制在 450—470℃时，带钢入锌锅温度维持在 480—520℃范围内对形成良好粘附性的镀层最为有利。

1.1.3 锌液中化学成分的控制

锌液化学成份的控制主要考虑的是铝和铁含量。当前热镀锌锌液中的主要成份是锌、铝、铁、铅，其它化学成份极少。铁元素在锌液中的溶解度是随温度增加而增加，每一次锌液温度变化都将导致铁元素过饱和（当温度下降时）或不饱和（当温度上升时）。当铁元素过饱和时，处于过饱和的铁将与合金中铝发生反应，结果是造成浮渣量增加。当铁元素不饱和时，合金对锌锅材料的腐蚀将会增强，以回到饱和状态。两种温度变化的一个共同结果是最终造成对铝元素的消耗，形成更多的浮渣。事实上铁的含量也很低，但它是一个变量，同铝一样随着不同的生产过程、状态，锌液中的铁和铝的含量是不同的，甚至在锌锅中的不同位置，也有微小的区别。在热镀锌过程中，带钢会超比例的从锌液中获取铝，而形成 Fe_2Al_5 粘附层，使镀锌产品获得一个好的附着性。这就产生锌液中的铝含量随产量的大小而变化（尽管锌锭中铝含量较高但它是一个确定值），同时带钢的铁也会不断的溶解到锌液中，一方面随着产量增加，另一方面（锌液温度为 450—470℃时）机组速度降低，锌液中的铁含量会有所增加。在生产中，为了保证锌层附着性，通常采取稳定铝含量，降低线速度（即延长涂镀工艺时间），提高带钢入锌锅温度的工艺措施，因而对锌液的化学成份特别是有效铝

含量的稳定性必须加以控制,要求铝含量要稳定在一个较佳的范围内,铁和其它杂质含量要尽量减少。

由此可见,锌液化学成份控制工艺的关键和难点是有效铝含量的控制,如何精确测定锌液中有有效铝含量、优化控制锌液中的有效铝含量、减少锌液中的有效铝含量的波动等,是当前我国热镀锌行业生产高质量产品必须解决的问题,也是镀锌工作者多年来研究的方向之一。

2 在连续热镀锌涂镀工艺中控制锌液中有有效铝的分析

为确定锌液中铝含量,国外引进了有效铝的概念。按照经典理论,锌锅中的铝有两种存在方式,其一是固溶在锌液内的,称之为有效铝或活化铝,其作用是形成 Fe_2Al_5 中间粘附相层,在锌液中只有精确控制有效铝的含量才能显著改善镀锌产品质量;另一方面是依据 Fe-Zn-Al 三元相图,当铁过饱和时,锌液中的铝与铁,锌作用,形成底渣或浮渣,可能落到钢板上造成锌粒锌疤等产品缺陷;而且,即使在同一锌锅中,也存在明显的有效铝含量波动和温度梯度,因此,进一步增加了有效铝控制的难度。

2.1 在热镀锌涂镀工艺中铝所起作用

图 2.1 为热镀锌工艺中未添加铝的镀锌产品:

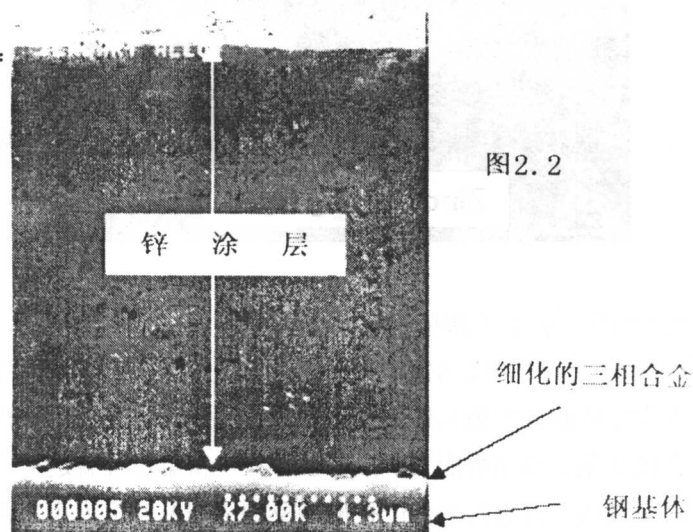


图2.2

图 2.1 中的金属间化合形成合金层区域是由锌和铁颗粒形成的为钢基体和外层锌体组织提供高结合力的化合物。但是这层化合物具有很差的柔韧性和加工成型性,因而这就很大的限制了它在很多领域的应用。为解决这个问题,当前普遍做法是在锌液中加适量的铝;生产中发现锌液中适当的铝含量可以使合金层晶粒细化,即其中有效铝起作用形成 Fe_2Al_5 中间粘附相层,可明显改善产品的加工成型性。

已证实,锌液中含一定比例的铝时,铝含量的轻微变化即会引起镀锌层的显著变化:含铝量从 0.1% 开始锌层中的 γ 相和 δ_1 相的厚度较不加铝时大量的减少;含铝量为 0.16% 左右时, γ 相和 δ_1 相的厚度减少到不加铝时的 0.8%;当铝含量达到 0.2% 时, γ 相和 δ_1 相几乎完全消失,这时镀层仅有两个结构,即由共晶混合物 $\zeta + \eta$ 和 η 所组成。这种合金层很薄且具有良好的韧性。此外,铝还可以与锌液内的氧化铁,氧化锌等有害杂质结合,上浮到锌液表面形成浮渣,保证了锌层的纯度。同时,由于锌液中的 AL 含量对 Fe_2Al_5 粘附层的形成起着决定性作用,故此在当前热镀锌涂镀

工艺中均要求锌液中含有一定量的 AL。通过以上分析, 我们可以推出加铝法热镀锌涂镀工艺过程: 当适当含量的铝添加到锌锅内时, 正常的 Zn-Fe 合金如我们所熟知的以快速率生长的 FeZn7 就不再是稳定的组分; 由于铝对铁比锌对铁有较大的热力学亲和力 (Fe-AL 的自由焓为 40 卡 / 克 · 原子, 大于 Fe-Zn 的自由焓), 所以, 当带钢进入锌锅时, 快速形成的金属化合物为铝铁间化合物, 如 Fe₂Al₅ 粘附层; 此粘附层很细小, 阻碍着锌铁间的反应; 当带钢离开锌锅 (1—3 秒) 时, 一些锌进入此合金层, 此时就形成了一层很细小的三相合金层, 这层是由大约 45%Al, 35%Fe 和 20—35%的 Zn 组成的。在无铝热镀锌中此时发生的是由高扩散率推动的两相 FeZn7 合金的生成, 而此时, 由于铝铁间化合物的存在显著的减缓了其反应速率, 因而大大减低了合金层厚度。图 3.2 为放大倍数为 7000 倍的锌液中加铝后的合金层微观组织, 从中可以看到, 在此图中合金层如同铅笔尖细小; 因而, 这种产品就具有了很好的抗弯性, 加工成型性及良好的附着力。

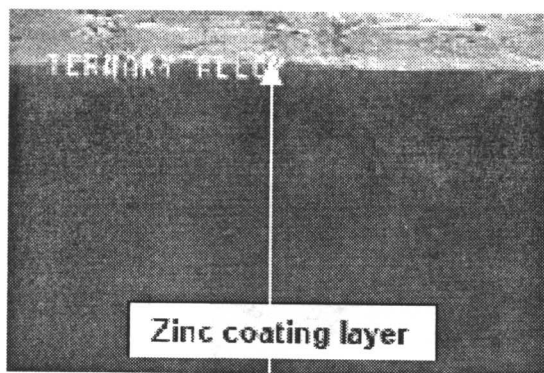


图 2.2

细化的三相合金

钢基体

2.2 铝含量控制范围的选择

在加AL法带钢热镀锌过程中, 由于铝对铁比锌对铁有较大的热力学亲和力, 故此带钢在镀锌过程中能够超比例地从锌液中吸取大量的铝, 且Fe-AL化合物优先于Fe-Zn化合物在钢基表面形成并直接富集于钢基表面上。只要铝存在, 富集过程就进行, 而且不仅在熔融状态, 就是在凝固之后, 这个过程一直进行到低于扩散和反应所需的温度为止。这个富集形成的薄而均质的Fe-AL化合物就是Fe₂Al₅中间粘附相层, 在镀锌的温度范围内, Fe₂Al₅能够溶解大约13%的锌, 当溶锌量超过13%时, Fe₂Al₅将处于过饱和状态, 生成高锌固溶体。此时的中间层中铝的绝对含量虽然没有减少, 但铝的百分含量却显著降低, 由于锌的过饱和可能呈细粒分散析出, 破坏了Fe₂Al₅中间层的均质性, 使中间层丧失了阻止Fe、Zn扩散的作用, 并形成较厚的铁-锌合金层, 镀层的附着性也随之变坏。在连续热镀锌的带钢表面经还原后, 达到具备镀锌条件和要求的前提下, 热镀锌过程中, Fe₂Al₅中间层的形成过程受三个主要因素的影响, 即带钢入锌液温度与锌液温度的温差; 带钢浸锌时间; 锌液中铝含量。生产中要求三要素在其最佳的范围内。相对于其它两个要素, 锌液中铝含量的控制是其中的关键和难点, 铝含量较高时 (在0.5%以下, 随着铝含量的增加锌液的流动性降低), 易造成镀层过厚, 给生产薄镀层带来困难, 而且影响产品的点焊和软钎焊性能, 还可能引起产品白锈。铝含量低于0.1时, 若获得好的镀层性能需提高带钢入锌锅温度。又易造成锌液超温。以前通常将铝含量控制在0.15%, 现在随着相关研究的深入, 国外有些厂家已能够将铝含量控制在0.20%—

0.25%；在我国由于相关理论及试验成果的不成熟，故此，我们在实际生产中，按照传统做法，通常将锌液中的铝含量控制在0.15~0.19%的范围内。上述讲的是生产普通镀锌产品时的铝含量，在生产合金化镀锌产品（galvanneal）时，要求铝含量低于0.15%（在0.12到0.14%之间），因此国外的有些厂家，用同一条生产线上生产galvanize和galvanneal产品时，在锌液中铝含量控制上，在生产galvanize产品时，铝含量控制为0.15 to 0.19%，生产galvanneal产品时，将铝含量降至少于0.15%。这就对锌液中有效铝含量的精确测量和控制提出了更高的要求，当前国内此方面的研究尚不能满足此方面的要求。

2.3 锌液中铝含量的波动

带钢不断的将锌液带走形成镀层，在这个过程中镀层中的铝含量要远远高于锌液中的铝含量，也就是说镀层会超比例的从锌液中获取铝。另外，镀锌过程会产生锌渣，锌渣中的铝含量通常也高于锌液。这样随着产量的变化，锌液中的铝含量是一个变化值。为了保持锌液中的铝含量在一个合适的范围，在生产操作中通常按产量向锌锅中加入高铝的铝锌二元合金，并按时对锌液成分进行检验以保证铝含量的稳定。但这样对铝含量稳定性的控制效果可想而知，其波动精度远远不能满足生产高档次产品工艺的要求。稳定锌液中的铝含量国外目前所掌握的锌液铝含量控制的波动精度在 $\pm 0.006\%$ ，而我厂1#连续热镀锌机组的波动范围为 $\pm 0.0425\%$ 左右。如何稳定锌液中的铝含量，减少铝含量的波动成为我国镀锌行业当前急需解决的难题。

3 当前在连续热镀锌涂镀工艺中控制锌液中有效铝的进展

当前，对锌液中铝含量的测定控制主要集中在以下几个方面：化学分析法，经验公式求解法，相图计算法，铝探测传感器直接测定法。

3.1 化学分析法

化学分析法是从锌锅内不同位置取锌液样进行化学分析，这是目前国内绝大多数连续热镀锌生产线采用的方法，也是最古老的办法。这种办法对样品的纯度要求很高，同时，通过这种方法测定的铝含量为总铝量而非有效铝含量，如前所述，由于底渣或浮渣的影响，因此对取样的要求很高，很难避免样品中不含锌渣，因此测定精度很难保证。

3.2 经验公式求解法

近年来，许多镀锌工作者通过化学分析的结果，总结出许多求解有效铝的经验公式，试图通过公式，从总铝中减去底渣和浮渣等化合物的部分，得到有效铝。但目前众多的经验公式差别很大，且都相对简化，而且应用起来也存在很大的局限性，同时还可能给镀锌的生产带来一些误导，当前这种方法尚不能满足生产大多数镀锌产品的需求。

3.3 相图计算法

相图计算法是将化学分析结果作为合金成分，依据合金成分点Zn-Fe-Al三元系相图中的位置，通过准确分析Zn-Fe-Al三元系相图，来进行有效铝含量的计算。这种计算方法是基于科学的热力学基础上，富锌部分的Fe溶解度曲线是已经过多年试验测定的结果，计算精度高，能满足镀锌生产不同产品的需求。这种方法也是目前国内外研究的重点。在国内，湘潭大学材料设计研究所开发出一套有效铝计算软件—CAC（Calculate Active Aluminum Content），通过相图分析计算，输入