厚规格冷轧深冲用钢性能优化研究*

路 璐,刘 妍,齐 蒙

(内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 冷轧深冲产品受各工序工艺影响,通过调整工艺参数,可有效优化产品性能。文章介绍了包钢某厂在深冲用钢稳定生产的基础上,针对厚规格产品,采取改变冷却方式、提高退火温度、降低平整机延伸率的综合方案,降低厚规格产品屈强比,提高钢带变形能力,满足用户的使用要求。

关键词: 控制冷却; 屈强比; 连续退火; 晶粒度

中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)06-0048-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.06.020

Study on Performance Optimization of Cold Rolled Deep Drawing Steel with Heavy Gauge

Lu Lu, Liu Yan, Qi Meng

(*Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The cold rolled deep drawing products are affected by all process technologies. The product performances could be optimized effectively by adjusting the process parameters. In this paper, it is introduced the yield ratio of heavy gauge products is reduced, deformability of steel strip is improved so as to meet the operating requirements of users by adopting the integrated scheme of changing cooling mode, increasing annealing temperature and reducing elongation of temper mill aiming at the products with heavy gauge on the basis of stable production of deep drawing steel in a plant of Baotou Steel.

Key words: controlled cooling; yield ratio; continuous annealing; grain size

深冲用钢采用超低碳加微合金设计,因其具有优良的深冲性能和非时效性,被广泛应用于汽车行业中多工序冲压成形的复杂结构件和内外表面件,例如汽车门板、顶盖、保险杠中段、行李箱锁销螺母板、雨刮电机安装支架等。近几年随着汽车厂生产节奏加快,主机厂及配套厂冲压模具更新换代,深冲产品多以连续冲压为主,对产品性能稳定性也提出了更高的要求。若深冲用钢的塑性变形能力小于冲压成形所需的塑性变形,则会引发开裂,为避免材料变形失效,对该系列产品工艺优化研究具有一定意义。

目前国内多家钢厂连退产线已具备稳定生产深冲系列产品的条件。包钢某厂的深冲产品采用连续退火工艺,为在已成熟的市场条件下进行产品推广、抢占市场份额,需不断提升产品性能指标,达到同行业先进水平。尤其厚规格产品因原料厚度受限,冷轧压下率不足,影响产品性能,存在屈服强度高,但抗拉强度不足,即屈强比低的问题。因此本文重点

* 收稿日期:2021-09-28

作者简介:路 璐(1986-),女,内蒙古包头市人,硕士,高级工程师,现从事产品开发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

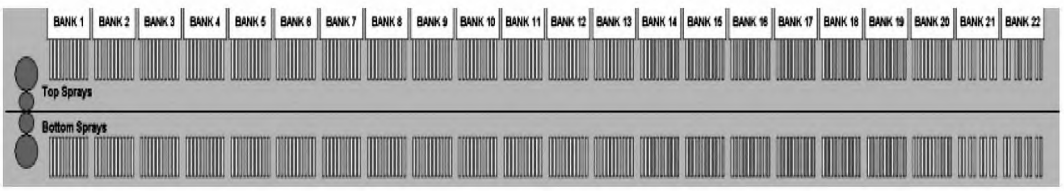
研究影响产品屈强比的各工序工艺参数，摸索降低厚规格产品屈强比的有效方案。

1　工艺优化

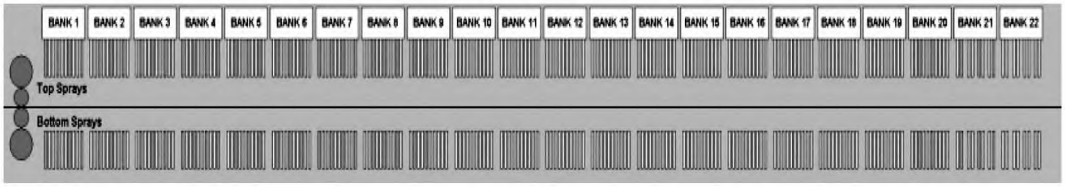
深冲钢产品在成分设计方面，C、N 含量低的同时又加入一定量的 Ti，使钢中的 C、N 原子被固定成碳、氮化物，因而钢中没有间隙原子，其特点是超低碳、钢质纯净、微合金化，具有优异的深冲性能。该产品性能包括屈服强度、抗拉强度、延伸率、塑性应变比及应变硬化指数，受化学成分、热轧轧制温度、卷取温度、冷却模式、冷轧压下率、退火温度、退火速度、平整机延伸率等多种因素的影响，其中屈强比的控制难度较高。包钢某厂结合产品现阶段的工艺路线及生产现状，针对热轧、连退两个工序的工艺参数对性能的影响规律进行研究，通过采用不同冷却方式、退火温度及平整机延伸率的方案进行试制，改善厚规格产品性能。

1.1　热轧工序工艺调整

深冲 IF 钢的力学性能是由其冷轧成品的组织、再结晶织构状态决定的，而组织、织构又受全流程生产工艺控制影响，其中热轧工艺是重要影响因素[1]。该工序出炉温度、粗轧压下率、精轧终轧温度、冷却能力及卷取温度均对产品冲压性能有一定的影响。为了避免产品在精轧过程中进入两相区，必须保证高的终轧温度；此外卷取温度对第二相粒子的析出过程有一定影响，尤其 TiC 粒子随卷取温度的变化析出形貌不同，为了获得有利织构，采用高的卷取温度。现阶段，包钢某厂已采用高温终轧与高温卷取的方案，因此，精轧终轧温度与卷取温度基本没有可调整空间。本次试验选择不同的冷却方式，通过影响产品的相变过程及组织改善屈强比。该厂前期采用后部冷却方式，因产品轧制后在高温区停留时间长，形变储存能释放较多，降低了奥氏体向铁素体相变的驱动力，卷取后的产品铁素体晶粒较粗大。本次挑选厚度为 2.5 mm 产品进行试验，为提高产品抗拉强度，将冷却方式由后部分散冷却调整为前部快冷，如图 1 所示。图 1(a) 表示后部冷却，即产品在轧制结束后经过一段时间的空冷加水冷；图 1(b) 表示前部冷却，即产品在轧制结束后直接进行水冷。研究表明奥氏体区轧后急冷能提高铁素体的形核率[2]，通过改变冷却方式细化晶粒，获得等轴、均匀的铁素体组织，实现细晶强化。



(a) 后部冷却



(b) 前部冷却

图 1　冷却方式调整

1.2　退火工序工艺调整

再结晶退火工艺对超深冲用冷轧板成品的再结晶组织、有利织构取向和性能有着重要影响，是保证成品性能的重要工艺环节。因极限规格产品热轧工序冷却方式加强后会同时提高产品屈服强度与抗拉强度，为保证产品良好的成形性，限制屈服强度的继续提高，退火工序通过提高退火温度，消除加工应力，获得等轴铁素体晶粒。随温度升高，抗拉强度与屈服强度均降低，且下降趋势基本相同[3]，不能有效调节屈强比，需通过调整平整机延伸率进一步优化。平整不仅能够改善产品的机械性能与板形，并使钢带达到一定的粗糙度，其对屈服强度与抗拉强

中国知网　https://www.cnki.net

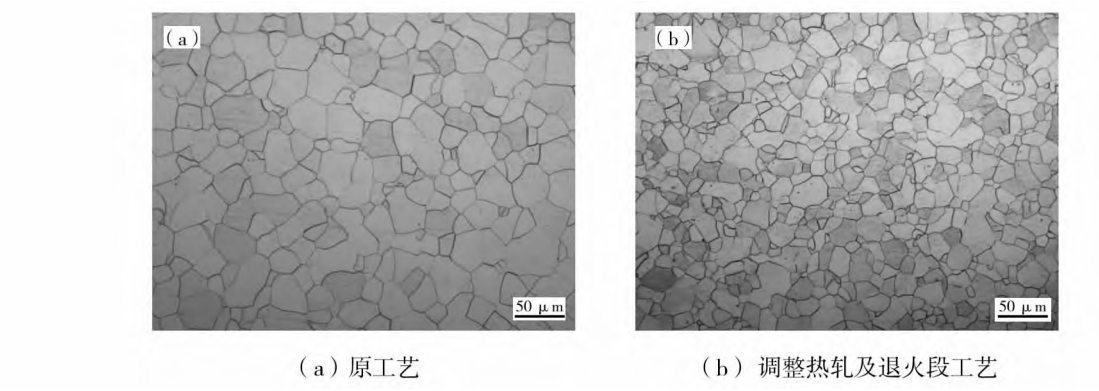
度的影响幅度不同。退火后降低平整机延伸率，在进一步降低屈服强度的基础上，减缓抗拉强度的下降趋势。

工艺调整后的性能如表1所示，其中1#代表原工艺对应性能数据，2#代表仅调整热轧冷却模式工艺后对应性能数据，3#代表同时调整冷却方式、退火温度、平整机延伸率后的对应性能。

表1 产品工艺调整参数与性能

工艺	热轧冷却方式	退火温度/℃	平整机延伸率/%	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	屈强比
1#	后部冷却	≤750	≥1.2	162	275	0.59
2#	前部冷却	≤750	≥1.2	170	294	0.58
3#	前部冷却	≥800	≤1.0	153	288	0.53

图2为采取不同工艺钢带的显微组织，采用原工艺生产的钢带对应显微组织如图2(a)所示，金相组织为铁素体，晶粒度6.5级；综合调整热轧及退火段工艺生产的钢带对应组织如图2(b)所示，金相组织为铁素体，晶粒度7.5级。



(a) 原工艺 (b) 调整热轧及退火段工艺

图2 显微组织照片

从表1及图2中看出：当退火温度与平整机延伸率不变，仅调整热轧后的冷却模式(见表1中的1#与2#工艺对应的性能数据)，虽抗拉强度有显著提高，但屈服强度亦有所增加，不利于产品变形；同时调整热轧冷却模式、退火温度及平整机延伸率，采用3#工艺对应性能相较于1#、2#工艺对应的性能，屈服强度与屈强比均有所降低，但抗拉强度适中。产品的热轧冷却方式、退火工艺、平整机延伸率优化后，产品晶粒度由6.5级细化至7.5级。

2 小批量试制

按照优化后的工艺进行小批量试制，产品屈强比得到有效优化且控制稳定，图3显示(厚度不小于2.0 mm)工艺优化前后产品的屈强比范围，产品工艺调整前屈强比范围集中在0.60~0.70之间，通过调整冷却方式、退火温度与平整机延伸率，屈强比范围降至0.53~0.57之间，该指标降低保证钢带拉伸变形时更容易产生塑性变形而不产生冲压开裂，改善了产品的变形能力，同时在变形时材料起皱的趋势减小，提高产品极限变形能力。

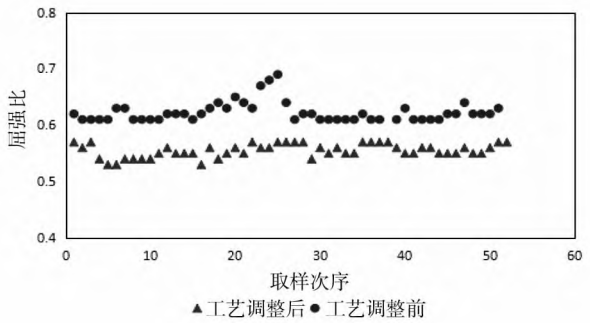


图3 小批量试制产品屈强比范围

(下转第78页)

中国知网 https://www.cnki.net

测,年可利用生产时间为5 600 h,可检测15万t圆截面无缝钢管。该设备包括纵向检测系统(14通道电磁超声探头)、横向检测系统(8通道电磁超声探头)、测厚和分层缺陷检测系统(16通道电磁超声探头)三套独立检测系统。

该设备基于电磁超声波原理,具有电磁超声的特性,不需要耦合剂(无水对检测材料和设备没有腐蚀),同时能够高精度的对壁厚进行测量,精度可达±0.03 mm,即使是距离表面非常近的分层缺陷也可以被检测出来。横向检测、纵向检测和壁厚检测三套独立检测系统均具有优越的抗干扰能力及抗噪音能力,同时检测不受地区极端天气影响。

以石油套管规格Φ244.48 mm×8.94 mm钢管为例,钢级为P110,验收等级为L2,设备在动态校准过程中,信噪比为13 dB,周向灵敏度差为1 dB,稳定性不大于1 dB,设备漏误报率为零,整体性能测试指标全面优于YB/T 4082—2011钢管自动超声探伤系统综合性能测试方法。对比压电超声,避免了水层厚度、挡水圈磨损、极端天气对设备稳定性及性能指标的影响。

5 结束语

电磁超声波技术已应用于各类无缝钢管缺陷检测。针对高温及承压环境用的低中高压锅炉管、石油裂化管、高压化肥管、液压支架管等产品,基于电磁超声技术的工业化应用特点和质量检测控制优势,在保证产品质量的同时,降低了产品使用风险。对比传统压电类超声波检测设备,电磁超声具有相对稳定的检测可靠性,不受外力影响。对于应用电磁超声原理的设备,同样避免了极端天气影响,特别是北方极寒天气对水耦合的影响。电磁超声设备在实际应用中,可连续、稳定、可靠工作,同规格同验收等级的钢管在间隔四小时校样的过程中其缺陷波幅高度吻合。因此,电磁超声技术不仅获得了无缝钢管产品应用单位的认可,也成为了钢管生产企业产品在线质量控制的重要手段。

参 考 文 献

[1] 张广纯. 电磁声(EMA)检测技术的研究、开发与工程化[J]. 应用声学,1995,(2):1-6.
[2] 张晓春,刘春生,李海宝. 电磁超声无损检测技术及其应用[J]. 煤矿机械,2002,(2):69-70.
[3] 李振才. 电磁超声(EMA)技术的发展与应用[J]. 无损探伤,2006,(6):13-14.
[4] 夏志敏,康宜华,武新军. 电磁超声检测技术初探[D]. 武汉:华中科技大学,2007.

(上接第50页)

3 结论

(1)通过调整热轧后的冷却模式,冷轧成品屈服强度与抗拉强度同时提高。

(2)采用调整冷却模式、退火温度与平整机延伸率的综合措施,可有效降低产品屈强比。

(3)屈强比降低后,不仅保证钢带拉伸变形时更容易产生塑性变形而不产生冲压开裂,改善了产品的变形能力,同时在变形时材料起皱的趋势减小,提高极限变形能力。

参 考 文 献

[1] 康海军,刘明辉,高洪刚. 热轧工艺对超深冲IF钢冷轧板力学性能影响研究[J]. 工艺装备,2010,(1):37-37.
[2] 潘竟忠,王艳东. IF钢热轧生产工艺分析[J]. 河北冶金,2009,(3):11-12.
[3] 李锋,吕家舜,敖列哥,等. 连续退火工艺对Nb-Ti-IF钢性能及再结晶织构的影响[J]. 钢铁,2008,(1):64-65.

中国知网 https://www.cnki.net