

冷轧管材质量的评定参数和影响因素研究

闫菲菲
(西安交通大学城市学院 陕西 西安 710018)

摘要: 冷轧管材, 尤其是高精密冷轧管, 除了尺寸精度、几何精度以及表面粗糙度的机械精度要求之外, 还对其有更高的质量要求。本文对冷轧管材质量的评定参数做了总结概括, 并基于这些评定参数进一步分析并总结了影响轧制管材质量的三大因素, 即设备、工艺和模具, 对轧制工艺研究和设计有一定的现实意义。

关键词: 无缝冷轧管材; 质量; 评定参数; 影响因素

0 引言

金属管在各行各业中有着广泛应用, 尤其在一些高精密、极端工况和重要场所如航空、核电用管材, 除对管材有尺寸精度、光滑和圆润以及表面平整等要求之外还有更高的要求, 若发生质量问题将会对国民经济造成极大损失, 因而对管材质量的影响因素进行研究至关重要。研究影响管材质量的因素需要对管材质量的好坏进行评价并总结评定参数。同时, 冷轧管材质量的影响因素有很多, 本文对此进行梳理总结, 供相关人员参考。

1 管材质量的评定参数

1.1 管材质量的基本评定参数

(1) 管材的尺寸精度

合格管材实际尺寸(外径、内径和壁厚)必须在公称尺寸设计公差范围内, 除此之外还有壁厚不均匀性的要求。壁厚不均匀性是指在圆管任一横截面上最大壁厚与最小壁厚之差除以公称壁厚, 是一个相对值。

(2) 管材的几何精度

一般有直线度和椭圆度的要求。管材椭圆度(或不圆度)用 ρ 表示, 是为了控制圆管不圆的程度, 一般不超过外径公差的 80%。

(3) 管材的表面质量要求

指对管材表面有光洁度和粗糙度的要求。一般要求 Ra 设计值, 且管材表面要光滑、平整, 不能有裂纹、麻点、划痕、夹杂、金属氧化物等有损质量的表面缺陷。

1.2 管材质量的附加可选参数

对特殊用途和极端工况用管材, 还需规定如上表所述管材质量描述附加参数。

2 管材轧制质量的影响因素

2.1 设备

(1) 冷轧管机结构设计

管材轧制生产所用到的关键生产设备是冷轧管机, 是采用皮尔格原理利用环孔型对荒管进行冷态轧制的工艺设备。皮尔格轧制方法可使管坯产生连续的局部塑性变形, 进而实现壁厚减薄、直径减少、截面轮廓成形, 具有显著的“微观变形, 宏观积累”效果, 是难熔和难变形金属加工的理想手段。

为了提高生产效率, 轧机高速化成为冷轧管机发展的重要方向。然而轧机高速化后, 在轧制过程中会产生较大的不平衡惯性力, 严重影响轧机工作的稳定性和工作部件的寿命, 并且容易产生振动, 对模具寿命和轧管精度等会造成严重影响。为减小不平衡惯性力引起的附加动载荷和振动, 必须进行惯性力的平衡计算, 以确定附加平衡重量

表 管材质量评定附加可选参数

参数名称	具体要求
力学性能	要求进行室温拉伸和高温拉伸的力学性能检测, 满足设计要求。
晶粒度	要求晶粒度评级大于规定等级, 细化晶粒能改善管材性能。
腐蚀性能	对核电用管材, 因工作环境恶劣, 需依据技术条件要求进行腐蚀试验, 一般要求腐蚀增量控制在设计值之内, 且腐蚀外观为黑色致密、光泽均匀氧化膜。
织构	径向织构为有利织构, 要求织构因子满足技术条件要求。
CSR	CSR 为收缩应变比, 进行 CSR 值测定可解决管材径向和周向性能评价的问题, 提高 CSR 有利于提高径向织构分布比例及管材的强度和塑性。需要进行 CSR 试验, 满足技术条件要求。
氢化物取向因子	对于核电用锆合金管材, 需要防止“氢脆”影响力学性能和寿命。需要根据技术条件要求, 对氢化物取向进行测量和评级

来消除由于结构特点引起的不平衡。所以冷轧管机回转送进装置和动平衡装置设计的好坏直接决定了高速状态下的是否能够实现送料准确和稳定轧制,从而影响管材的生产率和管材质量。

(2) 工艺润滑系统设计

管材冷轧时需要润滑的原因在于减少轧制时的摩擦系数和轧制力,冷却轧辊而使辊型得到控制,并减少或防止轧辊粘钢,改善轧辊和轧件的表面质量。

润滑系统设计影响设备润滑性能。在冷轧管机的轧制过程中,变形区的润滑条件是影响工模具寿命和成品管质量的重要因素,而由于位置原因,变形区域管坯内表面的润滑是润滑的难点,一直以来采用专用的机构实现。目前的冷轧管材轧制一般采用水基润滑液喷淋润滑方式,能够改善润滑性能,提升管材质量,以及达到节能降耗,改善生产环境的目的。

润滑剂性能也影响设备润滑性能,进而影响管材质量。现在多采用水基润滑剂,其选取要综合考虑润滑油牌号、轧制润滑油参数如轧制润滑油黏度、油膜强度、浓度配比、PH 值、起泡性能、添加剂种类以及综合考虑现场工艺条件(润滑油流量、送进量、轧制速度、变形率)。实际工业生产过程中针对不同材料的管材,一般工艺试验最终确定润滑剂。

2.2 工艺

(1) 轧制工艺设计依据

机械加工不仅是获得所需的外形尺寸,更重要的是加工工艺决定了管材的微观组织和性能,因此轧制工艺设计是否合理直接影响到管材质量。轧制工艺设计多采用理论计算(Q 值和变形率匹配技术)并结合仿真模拟的方式进行。

首先,变形率 ε 是表征管材每道次变形程度的参数,含义为管材变形前后断面积之差与变形前断面积的百分比。变形率对冷轧管材的质量有明显影响,一般随着变形率的增大,组织中未破碎晶粒明显减少,变形均匀程度显著提高,强度升高而塑性下降,但当变形率大于一定程度时,轧后管材会出现裂纹。同时,过小的变形率会造成管材的再结晶晶粒尺寸分布不均,进而导致塑性较低。所以需要设计变形率的合理取值,获得最佳强塑性匹配。一般开坯道次需破碎晶粒,变形率较大,随着管材轧制进入成品道次变形率减小。

其次,冷轧过程中变形率不能完全衡量金属晶粒变形和金属流动的特征,还需结合管材轧制 Q 值(相对减壁量与相对减径量的比值)进行考察和控制。Q 值是冷轧过程中的重要参数,其大小会影响管材在冷轧过程中的变形方

式,因而形成不同的组织。在多道次冷加工过程中,开始以减壁厚为主,则会形成径向组织;开始以减径为主,则会形成切向组织。合理设计轧制 Q 值可以控制管材组织,大 Q 值轧制有助于管材径向组织的形成,以径向组织为主的管材,氢化物取向因子小,拉伸性能和 CSR 值等综合性能较好,而当 $Q < 1$ 时管材为切向组织,塑性较差。

总之,变形率 ε 和 Q 值匹配合理,有助于获得内外表面均光洁、无缺陷的管材,获得最佳强塑性匹配和综合性能优异的管材。

(2) 轧制工艺参数

工艺参数的设计一般基于不同材质,在经验基础上结合工艺试验和仿真模拟进行选取。管材轧制过程的影响因素较多,主要因素有:回转角、送进量选择和轧机的速度。

首先,管材轧制时通过转动一定角度即回转角,可减小压缩段中出现的拉应力,避免塑性差的金属在机架工作行程中出现裂纹,但是回转角过大,在其他轧制参数相同的情况下,会对壁厚的不均匀度产生较大的影响。随着回转角的增加,壁厚不均度增加较快。这是由于回转角的增大,切向变形增大,从而加大了横向变形的不均,所以回转角的选取需要合理。

其次,送进量准确与否与无缝管的尺寸精度以及产品性能有直接联系。送进量过小使设备能力没有充分发挥出来,降低了生产率;而送进量过大,则将使轧出的管材出现飞边、棱子、椭圆、壁厚不均甚至破裂等严重缺陷。一般而言,当金属及合金越难变形时,送进量应适当减小,且工作机架的行程次数可以放慢,否则轧机的负荷增加,轧出的管材容易造成废品。

最后,轧制速度的选择主要根据不使轧机负荷过于增大的原则来确定。小型轧机的速度比大型轧机的快,因小型轧机运动部分的重量和金属的送进体积小;而大型轧机的则相反,因惯性力矩很大而使传动困难,为此,在轧机的主传动部分增加动平衡装置,可显著提高速度。

2.3 模具

管材轧制模具由孔型和芯棒组成,轧制模具的优化设计是管材轧制发展迫切需要解决的问题,模具对轧制管材质量的影响取决于模具曲线设计的合理性和模具加工制造质量。

首先,模具曲线设计尤其是孔型曲线的设计需要综合考虑多方面因素。轧制时,由于轧辊槽底深,变形区孔型底部与孔型顶部的线速度相差较大,正、反轧制出现前滑和后滑,沿变形区变断面孔型轧制半径是变化的,因此选择合适的主动齿轮直径、变形区长度、孔型曲线、芯棒曲线、孔型开口形式,可以降低轧制时的轴向力,建立稳定轧制。

其中关键问题是孔型曲线和开口形式的问题，需要依据金属冷轧的变形机理，通过孔型设计，给金属变形提供最合理的变形机制。目前采用 MEER 孔型设计方法，基于理论设计基础上，根据轧制材料不同，进行细微优化，采用半理论半经验的设计方法，结合 CAE 软件建模并模拟冷轧过程，优化孔型曲线，尤其是对新材料的管材轧制，设计优化后需要经过反复试验、样品检验、修正设计。

其次，模具制造工艺对管材质量影响也较大。模具是最终直接参与成型的部分，其加工质量（加工精度、表面粗糙度、硬度、选材、加工工艺）对管材轧制质量和使用寿命有很大的影响。目前孔型曲线设计出来后，目前国内轧辊开槽后进行热处理，然后采用 Meer 公司开发的五轴联动 GG52 计算机数控轧辊磨床进行孔型精密磨削加工。

3 结语

冷轧管材尤其是高精密冷轧管，除了机械精度要求之外，还对其有更高的质量要求。本文首先对冷轧管材质量的评定参数作了总结概括，包括基本参数和附加可选参数，

并基于这些评定参数进一步对影响轧制管材质量的三大因素，即设备、工艺和模具作了总结和分析，在后续研究中，对影响轧制管材质量的因素的具体取值，需要结合理论计算、仿真模拟和工艺试验共同确定。

基金项目：西安交通大学城市学院 2020 年校级课题（课题号 No.: 2020Q10）。

参考文献：

[1] 阎雪峰, 闫菲菲, 周红兵, 杨刚. 我国冷轧管机的现状及发展趋势 [J]. 重型机械, 2010(03):1-7.
[2] 李伟, 楚志兵, 王环珠, 等. AZ31 镁合金无缝管材冷轧成形过程研究 [J]. 稀有金属材料与工程, 2020, 49(4): 1242-1249.
[3] 闫菲菲. LG730 冷轧管机孔型设计及其轧制过程仿真 [D]. 燕山大学, 2015.

作者简介：闫菲菲（1989-），女，陕西西安人，教师，硕士，研究方向：机械设计与理论。

（上接第 55 页）

的奖金。如提前完成，则提前发放奖金；若用户满意度为 100%，则在现有奖金基础上，根据项目重要性及收益情况对整个项目团队再进行二次奖励。若项目未按时间节点完成，超出一个月扣除整个项目经费的 10%，超出两个月扣除 20%，超出三个月扣除 40%，三个月后还未研制出来记项目失败，只发放极少的辛苦费。

如遇特别关键的项目，亦可两个或多个小组竞争研发。需要强调的是，项目奖金设置需要考虑到成本和投入市场后产生的收益，大项目重奖小项目轻奖，并尽可能在原有 人均奖金总额基础上进行资源倾斜。

4.3 结论

（1）打破了吃大锅饭的局面；（2）充分调动了研发人员的积极性，实现了跨部门合作共赢，也实现了企业与员工共同成长，创造了价值，解决了瓶颈问题。

5 回到第一步

结束了前四步，企业目前的状态是质量、效率、库存、人员积极性均有了大幅改善，精益生产和六西格玛发挥了

重要作用；研发人员积极性调动以来，研发新品有了新的成果，研发能够支撑和引领企业未来发展。但是，这并不意味着企业已经进入了完全的良性循环。按照 TOC 管理思想，需要找到新的瓶颈，重新走以上步骤，开始新的循环。

6 结语

本文以 TOC 管理核心思想为主手段，综合运用精益管理和六西格玛，对某企业开源节流提出了可行性分析方案。通过分析该企业全产品生命周期，找出新品开发能力不足瓶颈，利用生命周期其他环节迁就瓶颈并最终打破瓶颈，寻求企业开源节流之道，助推企业高质量发展。

参考文献：

[1] 雄文. 管理学大辞典 [M]. 上海：上海辞书出版社. 2013.
[2] 詹姆斯 P. 沃麦克, 丹尼尔 T. 琼斯. 精益思想 [M]. 北京：机械工业出版社. 2011.

作者简介：刘璐（1987.04-），女，河南济源人，本科，政工师，研究方向：新闻学。