热轧1Cr5Mo合金钢管内折探讨*

张文亮，张立志，刘学江

（内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 1Cr5Mo合金钢管坯在热穿孔时，内折缺陷存在是主要的问题之一，其不仅对钢管的合格率造成影响，还会影响成材率指标。文章针对我公司1Cr5Mo合金钢管生产过程中产生的内折缺陷进行分析，主要从环型炉加热制度、轧制节奏、穿孔工艺、热工具的使用进行优化，取得了良好的效果。

关键词： 合金钢；内折；穿孔；优化

中图分类号： TG335.71 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2019)04－0029－05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.04.008

Discussions on Infolding of Hot Rolled 1Cr5Mo Alloy Steel Pipe

Zhang Wen－liang, Zhang Li－zhi, Liu Xue－jiang

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The defect of infolding is one of the main problems during hot perforation of 1Cr5Mo alloy steel tube blank, which could not only influence the qualified products ratio, but also the yield of steel tube. In the paper, it is mainly introduced the heating schedule of circular furnace, rolling pace, perforation technology and application of hot tools are optimized as well as analyzed the defects of infolding in the production of 1Cr5Mo alloy steel tube of our company so that the effects are good.

Key words: alloy steel; infolding; perforation; optimization

1Cr5Mo属于贝氏体低合金耐热钢，其平均碳含量为0.12%，铬含量为4.00%～6.00%，钼含量在0.45%～0.60%之间，用途较为广泛。在无缝钢管行业中，高压化肥用管、高压锅炉用管、石油裂化用无缝钢管及管件用无缝钢管均可以用1Cr5Mo材质进行生产。因为该材质生产工序长，技术要求严格，高温塑性范围较窄，故工艺路线选择的合理与否将直接影响着成品管的质量。包钢股份钢管公司Φ180 mm MINI－MPM连轧管机组主要采用断面尺寸为Φ270 mm、Φ230 mm的1Cr5Mo连铸坯进行生产，轧制的成品管合格率偏低，出现废品的主要原因为钢管内表面折叠缺陷较重，无法通过修磨消除。因此消除1Cr5Mo合金钢管内折缺陷是改善钢管质量，提高成材率的必经之路。

1 内折的成因及种类

斜轧穿孔过程对内折产生有很大影响，内折的产生是由于顶头前管坯中心部位金属的完整性被破坏和孔腔开裂的结果[1]。在钢管内表面呈现螺旋状、半螺旋状或直线状且分布无规则的一种折叠缺

* 收稿日期：2019－06－05

作者简介：张文亮(1984－)，男，内蒙古丰镇市人，工程师，现从事热轧无缝钢管生产技术管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

陷，一般呈片状、锯齿状或鱼鳞状。内折缺陷较重者甚至会沿着钢管内表面径向呈通长分布，较轻时只在局部位置存在。如果采用斜轧方式，会加重拉应力作用对连铸管坯一些部位造成的影响，从而使得钢管的金属中心出现破裂的情况，影响孔腔的形成。同时因为孔腔内部金属的表面很粗糙，会被空气氧化；在辗轧时就会被折叠，并且附属在钢管内部的表面上，因此，采取相应的预防措施，对内折缺陷进行消除，才能更有利于形成孔腔。一般情况下，内折可分为管坯内折、加热内折、孔腔内折三种。对于整支钢管来讲可分为全长性内折和局部内折。典型内折如图1所示。管坯内折是由于管坯自身缺陷而产生，所以将管坯自身的质量归结为内折缺陷形成的内因，而加热内折及孔腔内折是由于加热制度不合理、穿孔工艺调整不当造成，故将其归为外因，本文着重从外因方面进行分析，并制定相应的措施。

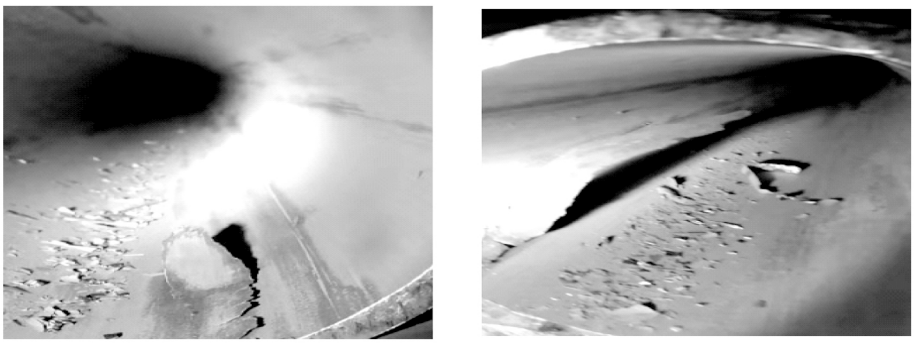


图1 无缝钢管内折缺陷典型形貌

2 影响内折产生的因素

管坯加热温度控制不当，管坯加热温度过低或管坯在均热段停留保温时间过短，塑性降低，内壁产生内折；穿孔机工艺设定不合理，穿孔机顶头位置太小，顶头前压下量过大，使管坯中心过早形成孔腔，从而产生钢管头端内折；穿孔机轧辊转速及角度设定不合理，穿孔机轧辊距离与导板距离调整不当，均会导致内折的产生。在生产中，如果顶头磨损严重、融化掉肉或顶头粘钢，穿孔时会造成直道或螺旋内折；导板磨损严重，轧槽太深，导致毛管椭圆度过大，钢管尾端产生内折。

2.1 加热制度

管坯加热情况直接影响管坯的塑性，在进行连铸管坯穿孔加热的时候，如果温度太高或者加热的时间太长，就会造成穿孔温度的上升频率过快，会出现一大片像鱼鳞的内折；如果加热的温度过低，就会缩短加热时间，很大程度降低了金属的塑性性能，那么在咬入的过程中，会遇到很大的难度，加大了顶头前部的变形量。因此制定合理的加热制度是控制内折的有效手段。

2.2 轧机调整

穿孔机的孔型主要由轧辊、导板及顶头三部分组成，如果孔型设计或调整不当，如穿孔机轧辊距离与导板距离及顶头前伸量匹配不当，造成孔型椭圆度过大，孔型椭圆度也就是穿孔机导板距离与轧辊距离的比值，如果孔型椭圆度设定不合理，在穿孔辗轧时过早或过晚形成孔腔，导致孔腔内部撕裂形成内折。孔腔内折一般沿螺距分布，且连续一段时间甚至整支连续分布，内折边沿呈锯齿形。

另外顶头前伸量必须根据孔型设计原则控制的合理范围，过前过后都会影响内折出现。一般情况下薄壁管的椭圆度较厚壁管椭圆度大，前伸量也较大。顶前压下量的大小也极其重要。顶前压下量受到轧辊长度的影响，取值较大，一旦超出钢材的塑性指标，会导致内折出现。

穿孔机的升速比及轧机转数太高也是导致内折缺陷产生的原因之一，这是因为在低速咬入阶段和高速轧制阶段，二者速度差相对较小，连铸管坯的变形条件相近。在低速向高速转变时，金属流动能够平稳过渡。由于穿孔过程本身是一个升温过程，如果咬入速度和轧机转速过高，则在升速的过程中会导致温度突然升高，内部组织发生巨变，孔腔极易撕裂，造成内折缺陷[2]。如果咬入速度与轧机转速二者速度差相对较大，金属变形产生波动就容易产生大片内折。这种内折常发生在毛管前端。

中国知网 https://www.cnki.net

2.3　穿孔热工具的状态

在实际的生产中，如果顶头出现严重的磨损现象，在穿孔的时候就会对钢管的内壁造成严重的擦伤，出现螺旋形状的内折。另外内折缺陷会受到顶头形状的直接影响，如果顶头是锥形，就会使得尖部到孔型之间的压下量逐渐的增大，就促使其对荒管造成直接的影响；如果顶头是球形，那么荒管就会沿着送进的方向不断前进，降低了压下量，因此一定要改进慌管的质量。顶头的最好形状是确保其沿着变形区域对的长度行使，并且荒管壁的压下量不变。

导板磨损严重，轧槽太深也是导致内折缺陷产生的一个原因，由于导板轧槽磨损太深，坯料在穿孔孔型中的横向变形加大，导致毛管的椭圆度增大，在进一步轧制过程中，纵向的压力会造成内部金属变形不均，产生撕裂，从而产生内折缺陷。

3　内折缺陷的预防措施

3.1　制定合理的加热制度及轧制节奏

1Cr5Mo 含有较高的 Cr，同时还含有一定的 Mo，此材质在低温时导热系数大，导热性差，而在高温时导热性又有所提高[3]。因此加热制度制定的合理与否，将直接影响到 1Cr5Mo 合金钢穿孔性能的好坏，即直接影响到内折的存在与否。现场实际生产过程中，根据公式“连铸坯的出炉温度 = 穿出温度 - 穿孔温升 + 出炉至穿孔之间的温降”，对 1Cr5Mo 及其它含合金量较高的合金管坯的加热制度进行了优化，采用低温慢速，高温快速的加热工艺，增加管坯的保温时间，通过测温实验总结出，加热时间必须在 3 h 以上，同时制定合理的停轧保温制度，以保证管坯加热温度的均匀性，减小断面温差，提高穿孔性能。

生产时，加热速度采用 8 ~ 10 min/cm，操作中，预热段执行中线值，进入加热段后，加热二段执行温度的上限 1 300 ℃，一段加热温度执行中上限，进入均热段时，均热一段执行采用与加热二段相同的加热方式，或比加热二段低 5 ~ 10 ℃的加热方式，均热二段加热温度执行中上限。在制定加热制度时，尽可能缩小各加热面的温度差，最高温度以炉顶温度为准，降低管坯的加热速度，保证管坯断面温度的均匀性，避免出现温差。管坯的加热制度见表 1。

表 1　1Cr5Mo 合金钢管坯加热制度　　℃

预热一段	预热二段	加热一段	加热二段	均热一段	均热二段
920 ~ 1 050	1 050 ~ 1 200	1 250 ~ 1 270	1 270 ~ 1 300	1 280 ~ 1 300 -	1 260 ~ 1 280

在制定加热温度的同时，对于轧制节奏也作了相应的规定，根据不同坯长，制定不同的轧制节奏见表 2，而且此节奏必须从该钢种装炉开始就执行，轧制过程中，遇上停轧，环形炉必须进行炉底反转，避免炉门口的料由于散热而降低温度。

表 2　不同坯型、坯长 1Cr5Mo 合金钢轧制节奏

坯型直径/mm	坯长/m	节奏/s	坯型直径/mm	坯长/m	节奏/s
270	1.95 ~ 2.5	45 ~ 48	230	1.95 ~ 2.5	43 ~ 45
	2.6 ~ 3.1	50 ~ 55		2.6 ~ 3.1	46 ~ 49
	3.2 - 3.8	55 ~ 60		3.2 - 3.8	50 ~ 53
	3.9 ~ 4.35	60 ~ 65		3.9 ~ 4.35	54 ~ 57

3.2　优化穿孔工艺

穿孔机的工艺参数主要包括：轧辊距离、导板距离、顶头前伸量、轧辊转速、轧辊的咬入角度等。一般情况下应根据管坯的直径、轧辊的长度、直径、穿孔变形区的长度、顶头的直径以及顶前压下量先确定轧辊距离，轧辊距离指的是两个轧辊的轧制带之间的距离，它是重要的调整参数之一。确定轧辊距离通常根据以下经验数据获得：

碳钢：$E = (0.84 \sim 0.90) \times DB$，通常取 $(0.86 \sim 0.89) \times DB$

低合金钢：$E = (0.85 \sim 0.90) \times DB$，通常取 $(0.87 \sim 0.90) \times DB$

中国知网　https://www.cnki.net

高合金钢: $E = (0.88 \sim 0.91) \times DB$，通常取 $(0.88 \sim 0.90) \times DB$

式中: E—— 轧辊距离;

DB—— 管坯直径。

本机组选用的辊距是按照坯料直径的85%进行确定。当轧辊距离确定后，再根据椭圆度系数确定导板距离，通常普碳钢及低合金钢孔型椭圆度一般控制在1.12～1.15之间，即导板距离是轧辊距离的1.12～1.15倍，而中高合金钢(如1Cr5Mo)椭圆度还会更低，本机组的椭圆度系数为1.12。在轧制1Cr5Mo高合金管时，顶头前伸量的选择也是非常重要的一个参数，顶头前伸量不仅要保证管坯在孔型中不会提前形成孔腔，同时还要保证在进行第二次咬入时，能够顺利的开展工作。

顶头前伸量的计算公式为:

$$Ld_1 = Le - G_L$$

$$G_L = \pi \cdot DB \times \tan\gamma \times G_{F_1}$$

式中: Ld_1—— 顶头前伸量，mm;

Le—— 轧辊入口锥长度，mm;

G_L—— 自由段长度，mm;

G_{F_1}—— 校配系数，取值为: 1 ～ 1.5;

γ—— 穿出口机咬入角，(°)。

系数GF通常影响顶头位置和顶头前的压下量，在实际生产中顶头前伸量的值至少要大于40 mm，本机组轧制合金钢时顶头前伸量的设计范围为95～105 mm。

虽然顶头前伸量的大小影响着穿孔的过程和毛管的质量。生产中应避免在顶头的前部形成孔腔，有利于减轻毛管内表面的缺陷。但起决定性的影响因素是顶前压下率和管坯接触顶头前转动的次数，一般情况下，管坯越小顶前压下量越大，根据现场经验总结出顶前压下量控制在4%～6.5%之间，对于1Cr5Mo的咬入及内折缺陷控制较为成功。

另一方面采用大角度低转速进行1Cr5Mo合金钢的轧制，大送进角穿孔工艺的实质就是提高管坯在变形区中每旋转一周的前进距离，显著增大钢的临界压下率，提高实际穿孔速度，可以减轻管坯的附加不均匀变形[4]，减轻管坯在顶头前承受的反复拉、压应力作用的循环次数，有效的较少顶头的磨损，保证热工具的良好状态，避免内折缺陷。

为了连铸管坯平稳咬入，轧辊开始以低速旋转，咬入后高速轧制高速抛钢。生产中通常设定的咬入速度为50%～60%，可以提高穿孔机的生产效率，通过实验表明，轧制1Cr5Mo合金钢时，按照轧制表最低值按正常转速的30%设定升速比，轧机转速降低到设定转速的90%时，穿孔产生的内折量明显的得到改善。

3.3 合理使用变形热工具

由于1Cr5Mo属于中合金钢，金属塑性差，温降快，变形抗力高，在轧制过程中顶头极易损伤，通常轧制几支后顶头便出现轧制带融化、粘钢或掉肉等现象，进一步轧制时，造成管体内表面内折。见图2。



图2 顶头工作带融化粘钢

经过观察发现，旧顶头在轧制1Cr5Mo合金钢时，效果比新顶头有明显的改善，产品质量有了很大的提升，主要是顶头在经过20#试轧后，身上形成了一层金属氧化膜，具有隔热润滑的作用。因此在轧制1Cr5Mo合金钢时，提高了顶头的耐热性并杜绝了粘钢现象。

本机组所设计的导板，轧制寿命可高达4 500支，但是根据现场实际情况来看，生产合金钢时导板的轧制2 500支时，轧槽会急剧加深，毛管的椭圆度在不断的变大，故轧制1Cr5Mo合金钢时，规定导板的轧制支数不超过2 500，同时更换时保证左右两块导板的轧制支数不超过200，或者是使用新导板进行轧制，这样可有效的保证毛管的椭圆度。

4 效果分析

通过对加热制度、轧制节奏、穿孔工艺参数的优化，变形热工具的合理使用等措施，1Cr5Mo合金钢目前在本机组能够顺利的轧制，穿孔机工艺顺畅，生产运行稳定，热工具除导板轧制寿命低，其余均正常。近半年的生产中，钢管的各项质量指标得到大

中国知网 https://www.cnki.net

幅提升。已经生产的 838 t 1Cr5Mo 合金钢管，成材率由 82.58% 提高到 86.43%，一次合格率由原来的 76.8% 提高到 89.96%（具体见图 3），同时 1Cr5Mo 合金钢的顺利生产为今后其他合金钢无缝管的生产积累了经验。

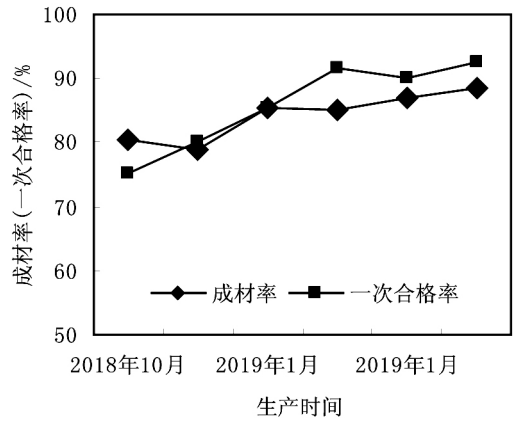


图 3　1Cr5Mo 合金钢管质量指标

5　结语

根据现场生产实际，分析内折产生的原因，优化工艺制度，规范热工具使用，提出了相应的预防措施，取得了良好的效果，为更高级别合金钢生产提供参考。

参　考　文　献

[1] 滕尧. P92 高压无缝钢管端部缺陷分析 [J]. 科技创新与应用，2013，(05)：99.
[2] 王婀娜，尹人洁，陈谨，等. 34CrMo4 气瓶用无缝钢管内表面缺陷分析及预防措施 [J]. 四川化工，2014，(04)：43－46.
[3] 严琴，李东风. 低膨胀固体材料线膨胀系数的干涉测量方法 [J]. 激光技术，2004，28(2)：202.
[4] 蔡开科，党紫久. 连铸钢的高温力学性能研究 [J]. 北京科技大学学报，1993，15(s1)：30.

(上接第 28 页)

Cr、Mn 元素，它们对氮有较强的亲和力，其中钒的亲和力最大，起到固氮作用。因此 12Cr1MoVG 钢中 N 含量比同类的低碳钢、15CrMoG 钢 N 含量要高。为控制 N 含量，FeV 合金在 LF 中期调加，减少 V 吸收空气中的 N_2。另外采取保护浇注，减少浇注过程吸气。采取这些措施后，钢中 N 可控制在不大于 90×10^{-6}，其对钢的时效性能影响较小。

5　结论

(1) 采用 EAF－LF－HCC 工艺生产 12Cr1MoVG 高压锅炉管坯是可行的，铸坯的化学成分、低倍组织、表面质量、夹杂物控制良好。

(2) 在现场实际生产控制中，调整与对应成分、对应工艺特点相适应的渣系，通过渣系的调整达到快速成渣和脱氧的目的，为后续的夹杂物吸收与上浮提供充分时间，有利于夹杂物的去除。

参　考　文　献

[1] 彭自胜，周雍茂，钟春生. 高压锅炉管用 12Cr1MoVG 钢水平连铸圆管坯的试制 [J]. 特殊钢，2004，25(4)：47.
[2] 李华德. 水平连铸圆管坯中间裂纹的形成分析 [J]. 特殊钢，2000，21(2)：52.

中国知网　https://www.cnki.net