

# 33 mm厚规格X80M管线钢板的开发试制

郭朝海<sup>1,2</sup>

(1山东钢铁集团有限公司,山东 济南 250101;2北京科技大学钢铁共性技术协同创新中心,北京 100083)

**摘要:**山钢集团钢铁研究院根据西气东输三线用钢管需求,开展了 $\Phi 1\ 219\ \text{mm} \times 33\ \text{mm}$  X80M管线钢板的开发试制工作。通过成分、微观组织和生产工艺设计,利用山钢优良的装备平台和多种技术进行了千吨试制生产。试制产品各项性能优良,完全满足设计要求,具有低屈强比和高止裂韧性的特点。钢板卷制的钢管经国内权威部门检验,各项性能参数完全符合标准要求。山钢具备批量生产 $\Phi 1\ 219\ \text{mm} \times 33\ \text{mm}$  X80M干线钢管制造用钢板的能力。

**关键词:**管线钢;X80M钢;厚规格;屈强比;止裂韧性

**中图分类号:** TG142.41;TF762

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4620(2016)04-0001-04

## 1 前言

中石油天然气集团公司根据目前西气东输三线中段的设计要求,提出工程建设需要使用 $\Phi 1\ 219\ \text{mm} \times 33\ \text{mm}$ 线路用直缝埋弧焊钢管,但目前国内钢厂、管厂均没有供货业绩,也未进行过该产品的小批量试制和鉴定,不具备此规格钢管/钢板的投标资格。为此,山钢集团钢铁研究院协调山钢集团成员单位,利用山钢优良的装备平台和多种技术开展了33 mm X80M管线钢板的千吨试制工作。试制产品各项性能优良,具有低屈强比和高止裂韧性的特点。此项目的开展有助于加快X80级厚壁管线钢产品研发、工艺技术创新和工程应用的步伐,提高国产化制造生产能力,支撑国家重点管道工程建设。

## 2 钢板设计及生产

### 2.1 钢板成分设计

为实现厚壁管线钢高强度、高止裂性能、低屈强比、低包辛格效应和低焊接裂纹敏感性,首先是要实现钢的低碳化,同时利用Nb、Ti细化晶粒作用保证强韧性。另外,添加Cr、Ni、Cu等合金提高钢的淬透性,保证钢板厚度方向上组织的均匀和稳定。采用细晶强化、析出强化、位错强化、固溶强化等手段结合多阶段冷却工艺,实现高强度、低屈强比和高止裂韧性的良好匹配。采用低C高Mn高Nb成分设计,扩大了未再结晶区轧制温度范围,精轧阶段可以充分发挥强力轧机的能力,细化原始奥氏体组织。钢板成品成分见表1。

表1 钢板的实际成分统计(质量分数) %

元素	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	N	O	H	Cr、Mo、Cu	Pcm
最大值	0.06	0.33	1.78	0.008	0.002	0.08	0.021	0.002 8	0.001 4	0.000 15	适量	0.18
最小值	0.04	0.29	1.70	0.004	0.001	0.06	0.015	0.002 0	0.000 8	0.000 06		0.16
平均值	0.05	0.31	1.73	0.006	0.001	0.07	0.018	0.002 5	0.001 1	0.000 10		0.17

### 2.2 组织设计

为实现技术指标要求的低屈强比、高止裂性能等性能指标,在合金强化的基础上,必须统筹考虑钢板的组织状态,以匹配性能要求。单一的针状铁素体组织强度高、屈强比较高、伸长率较低,但冲击韧性较高。为此,设计组织以针状铁素体为主加少量多边形铁素体,达到同时实现高强韧性和低屈强比的目的。另外,为获得优良的落锤性能,需要实现厚度方向上组织均匀细小。针状铁素体为主加少量多边形铁素体相的组织不仅具有较小的等效

晶粒尺寸,而且在铁素体内具有细小的亚结构和M/A质点混合组织,为钢板强韧性提供组织保证。

### 2.3 工艺路线设计

根据钢板的技术要求,结合山钢的生产条件,对钢板生产的工艺路线进行了设计<sup>[1]</sup>:

冶炼工艺路线:KR铁水预处理→120 t转炉双联冶炼→LF精炼→RH精炼→4#连铸机→铸坯缓冷48 h→检查精整入库。

轧制及冷却工艺路线:铸坯冷装炉→铸坯加热→粗轧→精轧→冷却→精整→检验→入库。

冶炼阶段:采用转炉双联工艺,在脱磷转炉内进行脱硅及脱磷操作冶炼半钢,半钢冶炼完毕后兑入另一座转炉进行脱碳及脱氧合金化。该工艺使得转炉冶炼最大限度地去除钢水中的P,钢水终点P含量

收稿日期:2016-05-03

作者简介:郭朝海,男,1983年生,2010年毕业于东北大学材料加工工程专业,硕士。现为山钢集团钢铁研究院、山东钢铁集团日照有限公司工程师,北京科技大学在职在读博士,从事管线钢的研究开发工作。

控制在 $50 \times 10^{-6}$ 以内,最低 $10 \times 10^{-6}$ 。钢种熔炼成分P含量均在0.008%以下,平均P含量达到0.0064%。

**控制S含量:**针对山钢现有设备条件开发了全流程控制S含量的工艺技术:KR铁水预处理(扒渣90%以上)确保亮面;通过在转炉出钢过程中加入铝及石灰,且在出钢结束后向渣面喂入铝对钢包顶渣快速脱氧,之后在钢包到LF精炼站后向钢包内加入石灰并通电化渣,可将钢水的S含量稳定控制在0.001%以下,脱S率高达80%以上,工艺简单、可操作性强、成本低廉。实现了高洁净钢冶炼,为获得良好的低温韧性奠定了基础。

**低夹杂物控制:**钢水浇注时全程吹氩;中间包液面全部使用超低碳覆盖剂覆盖,减少了钢水增碳的同时提高了吸附夹杂物效果;中间包钢水低过热度浇注技术,生产所有炉次中间包过热度均控制在 $11 \sim 16 \text{ }^\circ\text{C}$ ,平均过热度为 $13.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ;保证冶炼过程控制稳定;结晶器全程密闭浇注,过程增氮量控制在 $3 \times 10^{-6}$ 以内,为实现低夹杂物级别、严格的N含量要求提供了保障。

实际生产热检铸坯表面合格。低倍检测中心偏析、中心疏松均控制在C类0.5级以内。未发现表面裂纹、皮下裂纹、中间裂纹、三角区裂纹等内部缺陷。低倍质量优异,铸坯低倍组织见图1。



图1 X80M钢铸坯低倍组织形貌

**轧制阶段:**在满足合金元素固溶的基础上,降低加热温度以减少奥氏体晶粒长大,最大程度地细化原始奥氏体晶粒度;降低粗轧阶段的温度,减少

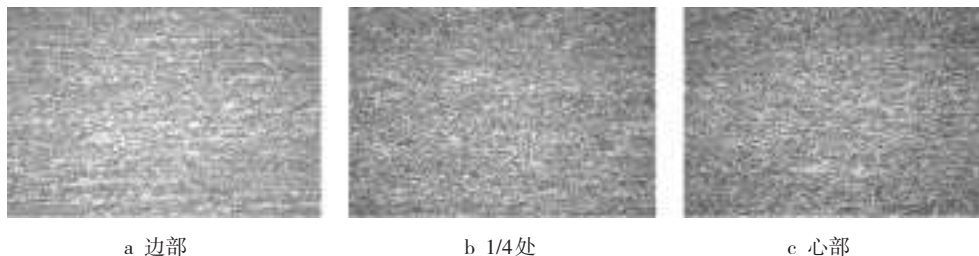


图2 X80M钢板金相组织 200×

图3为扫描电镜下X80M钢板的显微组织,图中标出了针状铁素体等精细组织,长直线型晶界分布更清晰。在图3b、c和d中均可以看到马氏体。

### 3.2 钢板性能

钢板的性能分布如图4所示,可以看出,钢板整体性能控制良好,横向屈服强度 $506 \sim 568 \text{ MPa}$ ,平均 $533 \text{ MPa}$ ;横向抗拉强度 $695 \sim 737 \text{ MPa}$ ,平均 $715$

钢板再结晶后的晶粒长大。同时采取中间坯快速冷却制度,防止再结晶轧制后的晶粒过度长大。研究表明,细小的原始奥氏体晶粒及细小的多边形铁素体微观组织有助于减少有效晶粒尺寸,提高钢板的低温韧性<sup>[2]</sup>。采用大中间坯、单次大压下量、大道次压下率设计,实现未再结晶区压下量达70%以上,提高非再结晶区轧制变形积累,细化原始奥氏体组织,保证钢板在厚度方向组织性能的均匀。

**组织调控:**为获得要求的针状铁素体组织及低屈强比,实际生产过程中关键是对冷却制度控制。根据相变规律确定MULPIC冷却中的开冷温度在铁素体相变点以下,以获得一定比例的多边形铁素体,保证要求的强度级别与低屈强比。

**板型控制:**生产时采取以下措施:1)均匀加热,采用严格的过渡料制度保证良好的辊期,同时采用工作辊弯辊、窜辊技术实现良好的初始板型控制。2)利用预矫直机进行大压力矫直,有力地改善了进水冷前的板型,为均匀冷却创造条件。3)对加速冷却的开冷温度、冷却速率、上下水比合理设置,利用边部遮蔽和水凸度提高钢板温度均匀性,保证TM-CP型高等级管线钢的板型、性能的均匀,为后续卷管工艺稳定、性能稳定提供保障。

## 3 试制钢板的组织性能

### 3.1 钢板组织

图2为X80M钢板的金相组织。钢板组织是以针状铁素体为主加少量多边形铁素体。组织沿轧制方向分布明显,多边形铁素体主要在原奥氏体的晶界处,在局部区域有多边形铁素体聚集分布;针状铁素体主要分布在原奥氏体的内部被多边形铁素体包围,并且在针状铁素体分布的区域有长直线型的晶界分布。

MPa;屈强比 $0.69 \sim 0.80$ ,平均 $0.75$ ;钢板夏比冲击功 $265 \sim 407 \text{ J}$ ,平均 $323 \text{ J}$ ;落锤值 $70\% \sim 90\%$ ,平均 $81\%$ 。从上述数据可以看出,各项性能指标满足标准要求,钢板的性能呈正态分布,控制比较稳定。钢板的低温止裂韧性优异, $33 \text{ mm}$ 规格X80M- $15 \text{ }^\circ\text{C}$  DWTT平均 $81\%$ ,达到了较高的水平。

钢板系列温度冲击功和剪切面积转变曲线如

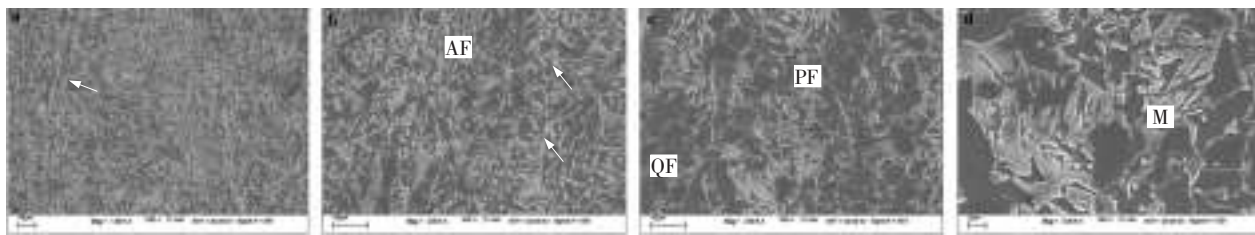


图3 X80M 钢板SEM组织形貌

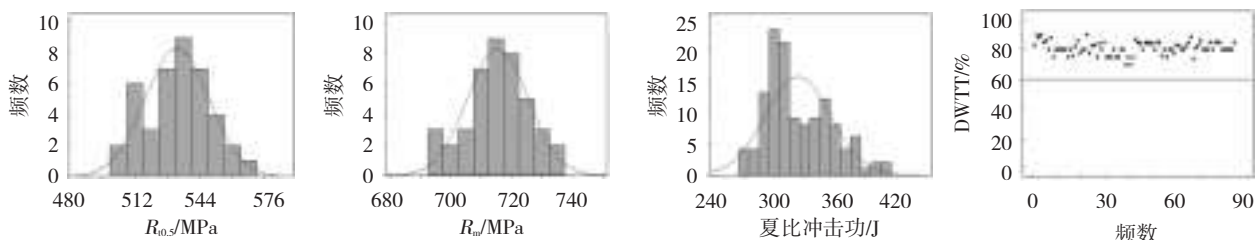


图4 X80M 钢板性能分布

图5所示。钢板在-80℃仍然保持较高的冲击功,-60℃冲击剪切面积(SA)仍然达到95%以上。

系列温度对应的冲击断口宏观形貌见图6, SEM形貌见图7。断口呈现良好韧性,说明该钢板的韧脆性转折温度很低,在-60℃时仍能保持良好的韧性。不同温度的落锤断口形貌见图8。随温度降低,落锤性能降低,但在-20℃时落锤韧性剪切面积仍然在80%以上,说明材料有很好的低温韧性。

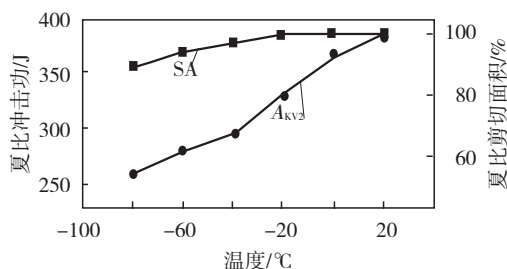


图5 X80M 钢板冲击功和剪切面积转变曲线

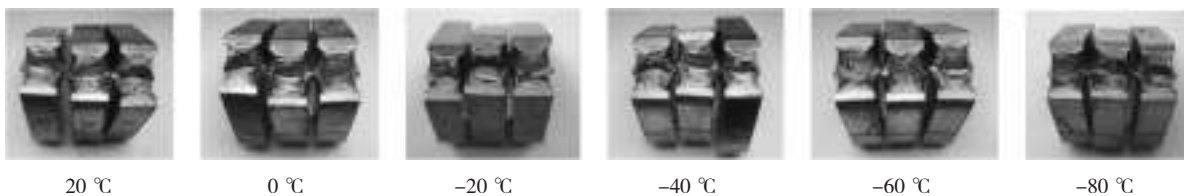


图6 X80M 钢板不同温度的冲击试样宏观断口形貌

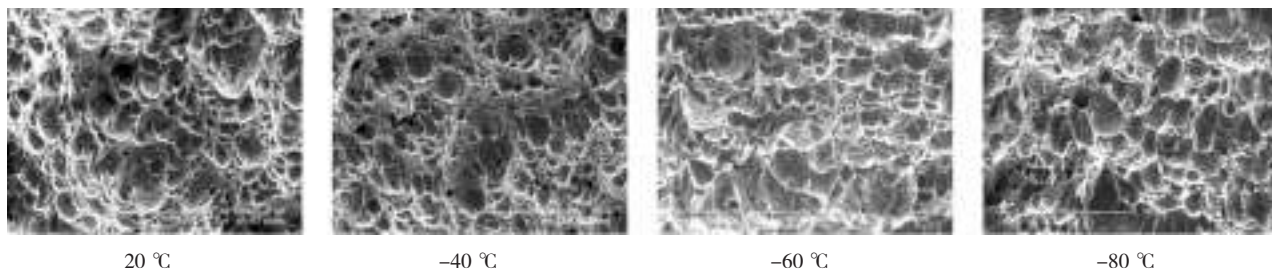


图7 X80M 钢板不同温度的冲击试样断口SEM形貌

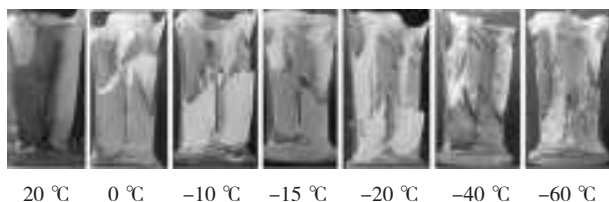


图8 X80M 钢板不同温度的落锤试样断口形貌

### 4 钢管的性能

钢管的性能分布见图9。钢管的屈服强度570~680 MPa,平均622 MPa;抗拉强度660~746 MPa,平均702 MPa;屈强比0.83~0.91,平均0.88;夏比冲

击功280~462 J,平均346 J;落锤性能72%~96%,平均82%。可见,经卷管后,钢管的屈服强度有较大幅度的上升,抗拉强度稍有下降。低温韧性基本不变。

钢管金相组织为针状铁素体+多边形铁素体,平均晶粒度在10.6级以上,焊缝组织以晶内铁素体为主。典型的母材和焊缝组织如图10所示。焊缝热影响区粗晶区域晶粒相比基体部分略有长大,但晶粒尺寸较均匀。钢管成型经过J-C-O-E工艺流程,从宏观焊接形貌可以看出,钢管的内外焊形状规范,保证了焊接区域各部分冲击韧性的较高水平。钢管焊接各部位冲击韧性分布如图11所示。



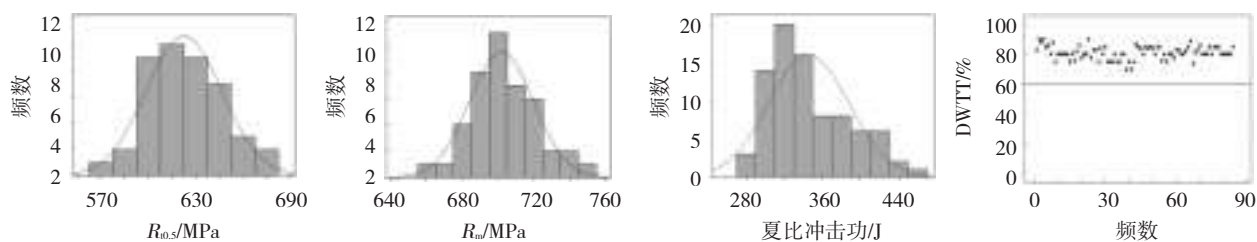


图9 X80M钢管的性能分布

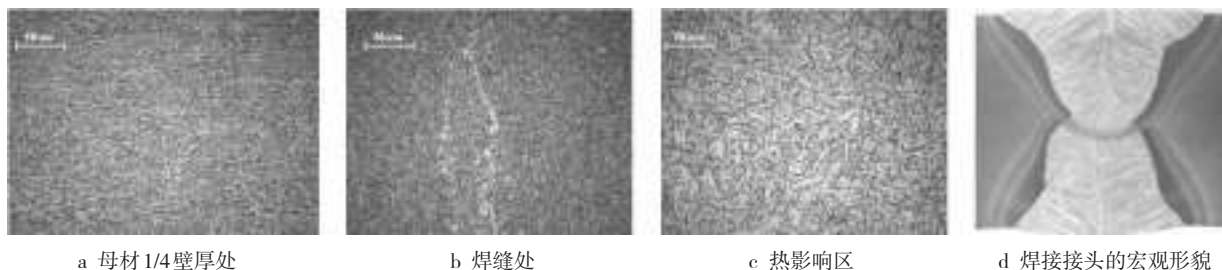


图10 X80M钢管焊接接头各部位金相组织及接头宏观形貌

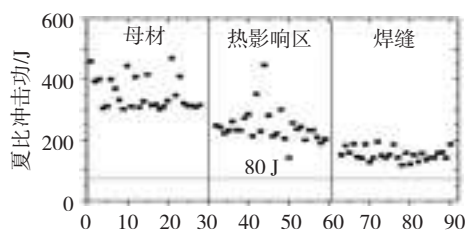


图11 X80M钢管焊接接头各部位冲击功

山钢开发的33 mm X80M管线钢相继在国家石油管材质量监督检验中心进行了钢板和卷制的钢管的性能检测,钢板和钢管性能符合西三线技术要求;卷制的钢管在中国石油天然气管道科学研究院进行了钢管环焊评定试验,焊接接头各项性能满足要求;卷制的成品钢管在河北华油钢管设计研究院有限公司进行了爆破试验,爆破口为韧性断裂(见图12);产品各项性能相继通过各项试验。全部卷制、检验过程经过专业监造。

## 5 结论

山钢建立了高性能大壁厚X80M高强韧管线钢制造工艺与技术体系,研制出了33 mm规格管线钢



图12 X80M钢管爆破口形状

产品。

1) X80M管线钢板的S、P、N、O、H等元素含量低,钢质洁净,性能稳定;具有良好的强韧性匹配、高止裂性能和低屈强比,生产工艺和产品质量稳定。2)卷制的钢管全面符合西气东输三线中段技术要求,产品性能稳定,具有低屈强比和良好的落锤性能。3)产品各项性能相继通过各专业机构的专业评定。山钢在生产过程中工艺参数控制准确,卷管性能合格率达到100%,具备批量生产 $\Phi 1\ 219\ \text{mm} \times 33\ \text{mm}$  X80M干线钢管制造用钢板的能力。

### 参考文献:

- [1] 李少坡,李家鼎,丁文华,等.厚规格X70/X80管线钢关键生产技术研究[N].世界金属导报,2015-09-15(B05).
- [2] 聂文金,王志福,李冉,等.厚规格X80管线钢钢板的低温断裂韧性控制[C]//第七届中国钢铁年会论文集,2009.

## Development and Production of 33 mm Thickness Specification X80M Pipeline Steel Plate

GUO Chaohai<sup>1,2</sup>

(1 Shandong Iron and Steel Group Co., Ltd., Jinan 250101, China; 2 The Collaborative Innovation Center of Steel Technology of University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** According to the demand of steel pipe for the third West-East Gas Pipeline of CNPC, the X80M steel plate with thickness of 33 mm for making the  $\Phi 1\ 219\ \text{mm}$  pipes was developed by the Iron and Steel Institute of Shandong Iron and Steel group. Through the design of composition, microstructure and production process, using a variety of techniques, the 1 000 tons of trial production was carried out by the excellent equipments in Shandong Iron and Steel Group. The properties of the products was very excellent, and can fully met the design requirements, and they have low yield ratio and high crack arrest toughness. The performance of steel pipe made by steel plates can fully meet the requirements of Standard according to the inspection by domestic authorities departments. Base on this industrial trial production, Shandong Iron and steel group entirely have the ability of mass manufacturing of  $\Phi 1\ 219\ \text{mm} \times 33\ \text{mm}$  X80M steel plate for main line steel pipe.

**Key words:** pipeline steel; X80M steel; thick specification; yield ratio; crack arrest toughness