高强度管线钢的工艺与组织性能

顾洪涛
(鞍钢中板厂)

摘要 高强度管线钢是在低碳含锰钢基础上,添加微量的铌、钒、钛微合金化处理,采用精炼提高钢质纯净度,降低钢中硫、磷含量,从钢坯加热开始加以控制低温烧钢,粗轧区采用再结晶控制轧制,精轧区奥氏体非再结晶区的控制轧制,轧后控冷,进而得到极细(晶粒度11～12级)的铁素体和少量珠光体组织,满足管线钢苛刻的强度、韧性要求。

关键词 管线钢 控轧、控冷 性能

Production Process of High Strength Pipeline Steel and Its Structure Property

Gu Hongtao
(AISC Medium Plate Plant)

Abstract The high strength pipeline steel is derived from low carbon Mn-steel, which is microalloyed by adding micro Niobium, Vanadium and Titanium. The cleaness of the steel and the amount of Sulphur and Phosphor in steel are decreased by adopting refining. The low temperature reheating is controlled from the billets reheating. The recrystallization control rolling is adopted in rough rolling zone, and controlled cooling adopted in austenitic non-recrystallization region of finishing rolling zone. The cooling is controlled after rolling. Thus the finerferrite (grain size 11～12grade) and a little pearlite structure are abtained. The critical requirements for pipeline steel strength and toughness therefore are satisfied.

Key Words pipeline steel controlled rolling controlled cooling property

前 言

随着我国石油工业的迅速发展,"九五"期间有10多条长距离输气管线建成。到20世纪末,原油、成品油、天然气的输送管线总长达3×10^4km,年需求高强度管线钢100万t以上,同时东南亚地区一些国家纷纷到中国寻找管线钢生产基地,所以近几年管线钢市场走俏是必然的。

从1990年开始,鞍钢就小批量试生产高强度管线钢,近两年在生产管线钢方面更是取得了突破性进展,运用了热带钢生产的控轧控冷工艺,生产出X45、X52、X56三个级别近万吨的管线钢,成功应用于输油、输天然气管道。本文主要介绍高强度管线钢X56热轧带钢的生产过程。

顾洪涛 工程师 鞍钢中板厂 厂长
邮编 114021

1 高强度管线钢控轧、控冷原理

1.1 X56管线钢的控轧要点

为了得到细小的晶粒,满足高韧性要求,连轧机生产中必须在精轧机组中实行大压下量的奥氏体非再结晶区轧制,使未再结晶的奥氏体形成扁形晶粒,并且在晶粒内部产生大量的位错带,使得变形的奥氏体晶粒内的位错带也可形核,增加形

核机遇。

由回归公式得出：$d_\alpha \approx 0.4hr$

式中 d_α 为铁素体晶粒直径，hr 为奥氏体扁形晶粒的厚度尺寸。

1.2 管线钢在热连轧生产中应注意的问题

(1) 钢坯在炉中均热的温度必须低于奥氏体粗化温度(≤1200℃)，以得到均匀的细小的高温奥氏体组织。

(2) 粗轧机组生产要在奥氏体再结晶的温度区间进行。由于 Nb 的加入，X56 钢的再结晶温度提高到 950℃以上，另外由于粗轧机组与精轧机组之间距离长，输送时间为 14s 左右，因此有充分的时间再结晶，可以适当考虑减少粗轧机组的压下量，进而增加精轧机组的压下量。

(3) 精轧机末架出口的温度必须大于 X56 钢的 Ar_3(800～810℃)点的温度，即先析铁素体析出温度，避免铁素体轧后拉长的组织保留下来，使钢板的韧性指标变坏。

(4) 由 C 曲线测得 X56 钢贝氏体转变温度为 540℃，因此卷取温度要高于此温度，但也不能过高，以避免大的珠光体组织产生而有损钢的韧性指标。

2 管线钢(X56)生产工艺的制定

2.1 炼钢工艺

由 150t 顶底复合吹炼转炉冶炼，选用低磷、硫铁水(确保 P、S≤0.02%以下)，生产采用模铸、连铸两种工艺生产，并运用各种工艺净化钢质，改善硫化物形态。

2.2 轧制工艺

以输送天然气的 X56 卷板为例。

(1) 钢坯由三段连续推钢式加热炉加热，钢坯加热制度如表 1 所示。

表 1　X56 钢坯 250mm 加热制度

炉区域	预热段	加热段	均热段
温度，℃	不限	1200～1250℃	1200～1170
时间，min	不限	30	30～40

(2) 粗轧机组工艺

粗轧机组由 2800mm 二辊轧机和 2800mm 四辊轧机组成。

二辊轧制 7 道次，四辊轧制 3 道次。为了保证控轧的压下率要求，粗轧机组压下率要大于 70%，因此为精轧机组提供的坯料要＜75mm，同时保证在奥氏体再结晶范围内轧钢，因此温度选在 950～1020℃范围内。

(3) 精轧机组工艺

轧制温度选择开轧为 900～950℃，终轧温度为 840～880℃，以确保在奥氏体非再结晶区轧制。为了充分控轧，中间坯厚度应选大些，但考虑到轧机的能力，中间坯厚度选为 50～55mm。

(4) 为得到细小均匀的铁素体组织，自动层流冷却系统的卷取温度为 600～650℃，钢带由两台液压踏步全自动卷取机卷成钢卷。

3 X56 钢生产工艺

虽然制定了如上所述的理想工艺，但生产高强度的管线钢，在鞍钢开展大压下量的控制轧制确实存在一些困难，为此进行了一系列的摸索试验。

3.1 采用常规轧制，快速控冷

X56 钢坯在加热炉中均热段温度为 1250～1300℃，保温 40min，轧出的钢带终轧温度 960℃左右，快速冷却至 525～560℃卷取。

得到的组织如图 1 所示。

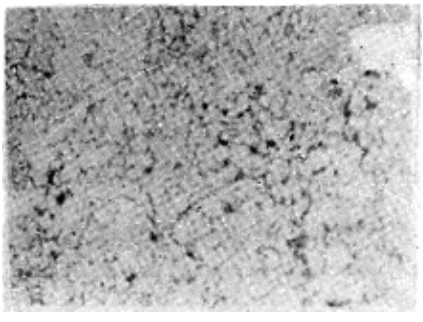


图 1　X56 钢常规轧制组织形态(×500)

组织为铁素体＋珠光体＋粒贝组织，并有部分晶粒粗大，致使韧性指标变坏，强度较高。0℃横向冲击值仅达到 20～28J，具体性能见表 2。

表2　常规轧制X56钢性能表

X56	σ_s,MPa	σ_b,MPa	δ_5,%	A_{KV}纵 0℃,J	A_{KV}横 0℃,J
指标	520～570	630～670	17～22	142～160	20～28

通过上述实验,虽然没能达到理想的管线钢性能要求,但摸清了各工序中钢坯中温降。由于我厂没有机架间冷却,控制温度相当困难。

中间辊道输送温降20～30℃,四辊轧机架为30～40℃,二辊轧机为40～60℃。根据控轧要求的精轧温度为840～880℃,可推算出二辊开轧温度应为1080～1120℃,则烧钢温度(均热段)应为1160～1200℃。由加热温度来确定整个生产线的温度控制是今后生产合格管线钢,实现温度控制轧制的可行方案。

3.2　X56管线钢控轧控冷的具体方案

连轧机生产参数见表3。

表3　连轧机轧制工艺参数

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
辊缝,mm	42.06	25.85	17.85	13.75	12.45	空过
速度,m/min	112	183	151	201	242	空过
活套张力,0.1MPa	20	30	60	30	60	空过
轧制压力,MN	22	20	20	16	12	空过

以某次生产X56管线钢的具体制度为例说明如下:

(1) 加热钢坯为250mm×900mm模铸料,在炉时间4.5h,加热段温度为1220℃,均热段温度为1160～1180℃。

(2) 粗轧二辊七道次辊缝为:215,195,170,142,119,94,82mm,四辊三道次辊缝为70,54mm,空过;温度:1080～1000℃。

(3) 精轧温度:开轧温度为910～980℃,终轧温度头部为840～890℃,终轧温度尾部为820～860℃。

中间坯料55mm。

4　管线钢X56性能及组织情况

4.1　管线钢X56组织

经过精心组织生产,X56钢卷的化学成分完全满足表1要求。并得到了细小的铁素体和珠光体组织如图2,晶粒细于10级,硫化物、氧化物按GB 10561－89评级为1.0～2.0级。

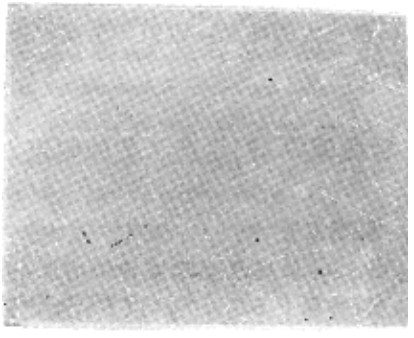


图2　X56管线钢组织晶粒(×400)

4.2　管线钢X56性能水平

X56钢性能指标见表4。

表4　125批X56 11mm机械性能表

性能	σ_s,MPa	σ_b,MPa	σ_s/σ_b	冷弯 $d=2a$	δ_5,%	0℃横向 A_{KV},J	0℃纵向 A_{KV},J
(标准)协议	≥385	≥490	≤0.87	合格	≥18	≥31	不要求
分布范围	410～500	530～600	0.77～0.87	完好	20～29	30～54	140～210
均　值	479	575	0.83		24	46	188

由表4看出，125批X56管线钢全部满足了鞍钢协议及国家标准要求，其水平也完全满足X60钢的指标要求，但性能波动及冲击要求与其它钢厂相比还有一定的距离，见表5。

表5　鞍钢管线钢X56与其它钢厂同类产品比较表

指标	σ_s，MPa	σ_b，MPa	δ_5，%	$\sigma_{0.5}/\sigma_b$	0℃横向A_{kv}，J	P，wt%	S，wt%
鞍钢X56	410～500	530～600	20～29	70.77～0.87	30～54	0.009～0.018	0.007～0.015
	479	575	24	0.83	46		
宝钢X60	490～575	580～680	31～41	0.81～0.86	126	0.011	0.0014
	522	620	37.5	0.84			
日本钢管	492～545	568～621	32～37	0.86～0.90	109		≤0.001
X60	525	602	34.5	0.87			

由表5看出，鞍钢热连轧机组生产出的管线钢，强度指标与其它钢厂基本一致，韧塑性方面略差一些。其原因主要是炼钢没有真空精炼，另外，由表5可见含硫量偏高。

5　结　论

（1）鞍钢热轧带钢厂生产高强度管线钢工艺合理。

优选后生产高强度管线钢工艺为：加热均热温度1170～1200℃；粗轧区温度为950～1020℃；粗轧区累计压下率大于70%；精轧机开轧温度为900～950℃；精轧机终轧温度为840～880℃；精轧机中间坯厚度为50～55mm；卷取深度为600～650℃。

由以上工艺生产出的X56管线钢A_{kv}横向韧性值可提高20～30J。因此近两年来鞍钢大批量生产了高强度管线钢。

（2）X56管线钢组织性能稳定。

经上述优化工艺生产的X56钢卷，得到了极细的铁素体＋珠光体的理想组织，确保管线钢的性能稳定。其指标全部满足GB及API标准要求。

（3）控轧、控冷是生产高强度管线钢的理想工艺。

通过Nb、V、Ti在低碳含锰钢中的不同作用，为在热连轧机组生产高强度管线钢创造了有利条件，使未再结晶区轧制成为可能，进而充分细化了晶粒，提高了钢材的冲击韧性，生产出各项指标均满足要求的合格产品。

（编辑　袁小青）
收稿日期：2000年9月10日

NKK公司开发出汽车用高强度板

日本各钢铁公司都在着力开发汽车轻量化和冲撞安全的高强度钢板，继新日铁开发成功丰田汽车用高强度侧面用板后，NKK又于2000年11月14日宣布开发成功加工性能好的汽车用高强度钢板。NKK公司开发成功的为SFG45kg级高强度板，主要用于汽车外板，过去的45kg级高强度板由于加工性能差难用于汽车外板。新开发的高强度钢板，由于提高了碳和铌的含量，除提高了扭转强度外，另由于降低了含硅量，使焊接性和可镀性大为改善。由福山厂（广岛县）生产，现已向3户汽车厂供应。目前，高强度板占汽车用板的30%，只有提高高强度板的技术，才有利提高汽车板的比重。

——摘自《世界金属导报》