

# 低碳 Mn-Mo-Nb-B 钢奥氏体晶粒长大倾向性试验研究

任 毅<sup>1</sup>, 崔志新<sup>2</sup>, 王 爽<sup>1</sup>, 张 帅<sup>1</sup>

( 1. 鞍钢股份有限公司技术中心, 辽宁 鞍山 114001; 2. 鞍钢弓矿公司球团一厂, 辽宁 辽阳 111007 )

**摘 要:** 研究了低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢的韧化方向和韧性控制因素中所涉及的主要问题——原始晶粒控制。研究表明: 在 1 250 ℃左右的加热温度, 5 min/mm 的保温时间内, 钢的奥氏体晶粒仍然保持在 50 μm 左右, 为奥氏体的再结晶轧制提供了良好的奥氏体晶粒度, 但当加热温度高于 1 250 ℃后, 出现晶粒急剧长大现象。本试验为该类钢制定更合理的加热制度提供了参考。

**关键词:** 低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢; 晶粒度; 晶粒长大

中图分类号: TG115 文献标识码: B 文章编号: 1001-2311(2007)04-0014-06

## Experimental Research on Enlargement Tendency of Austenite Grain in Low-carbon Mn-Mo-Nb-B Series Steels

Ren Yi<sup>1</sup>, Cui Zhixin<sup>2</sup>, Wang Shuang<sup>1</sup>, Zhang Shuai<sup>1</sup>

( 1. Technical Center, Angang Co., Ltd., Anshan 114001, China;

2. No.1 Pelletizing Facility, Angang Gongkuang Co., Liaoyang 111007, China )

**Abstract:** Studied is the major element among those concerning control of the toughening orientation and toughness of the low-carbon Mn-Mo-Nb-B series steels, i.e., the control of the primitive gains. The result shows that with heating temperature of about 1 250 ℃ and holding time of 5 min/mm, the austenite grain size still remains as about 50 μm, a very appropriate grain size for austenitic recrystallisation-rolling, and that nevertheless, in case of temperature above 1 250 ℃, the grain size shall become bigger rapidly. This conclusion can be used as reference basis for establishing more logic heating schedule for steels of the above mentioned category.

**Key words:** Low-carbon Mn-Mo-Nb-B series steels; Grain size; Grain enlargement

### 0 前 言

低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢是近 20 多年来国际上的研究热点, 它具有高强度、高韧性、较低的脆转温度和良好的焊接性, 广泛地被石油工业、工程机械、造船、建筑、压力容器等行业看好。韧性是低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢的重要的性能指标之一。长期以来, 有关低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢韧性控制因素的研究一直为材料工作者所关注。晶粒细化是钢中最主要的强化方式之一, 同时也是一种既能提高强度又能提高韧性的强韧化方式。N. J. Perch 研究了晶粒大小对韧脆转变温度的作用, 提出了下列

计算式:

$$T_k = A + B \ln D^{-1/2}$$

式中  $T_k$  为韧脆转变温度(℃),  $D$  为晶粒直径(μm),  $A$ 、 $B$  为常数。随着晶粒尺寸的减小, 钢材的韧脆转变温度降低, 也就是说钢材将会有较好的低温韧性。

有关研究<sup>[1]</sup>表明, 低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢韧脆转变温度 85%FATT 与原奥氏体晶粒大小的关系是随着晶粒的减小, 韧脆转变温度会降低。

钢的奥氏体化温度是控制轧制工艺的主要控制参数之一。板坯加热温度控制是否合理, 直接影响到钢的初始奥氏体晶粒尺寸和微合金元素的固溶程度, 从而直接影响到轧制过程中奥氏体再结晶过程<sup>[2]</sup>, 变形后的奥氏体晶粒状态以及碳氮化物的析出状态

任 毅(1969-), 女, 高级工程师, 鞍钢管线平板课题负责人, 长期从事管线钢研发工作。

和数量，这些因素都会影响低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢的综合力学性能。因此，制定合理的加热制度十分必要。

1 试验钢材料和试验方法

试验钢采用 50 kg 真空感应炉冶炼，浇铸成 95 mm×115 mm×270 mm 钢锭，化学成分见表 1。

| 表 1 试验钢化学成分(质量分数) % |      |      |      |      |       |         |
|---------------------|------|------|------|------|-------|---------|
| C                   | Si   | Mn   | Nb   | Mo   | B     | 其他合金元素  |
| 0.05                | 0.26 | 2.01 | 0.07 | 0.30 | 0.002 | Ni、Cu 等 |

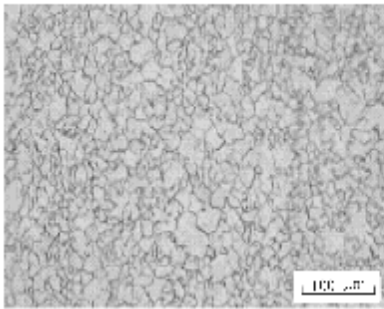
将坯料制成 20 mm×20 mm×15 mm 规格的小试样在电阻式加热炉中进行奥氏体化处理。试验分两组进行：第 1 组 1~9 号试样奥氏体化温度为

900~1 300 ℃，间隔 50 ℃；第 2 组 10~14 号试样奥氏体化温度为 1 100~1 300 ℃，间隔 50 ℃。采用到温入炉的方式，将试样放入后重新到温后计时，第 1 组试样保温 30 min，第 2 组试样保温 80 min。到时立即取出置于冷水中(水温 18 ℃)。为了避免氧化物的影响，沿 15 mm 长度方向切去 5 mm，进行预磨抛光后，对试样切面进行浸蚀试验操作。

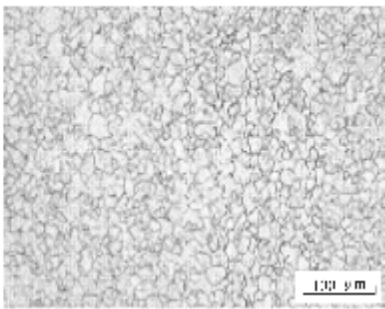
选用过饱和苦味酸+适量十二烷基苯磺酸钠溶液(海鸥牌洗发膏)作为浸蚀液，试样浸蚀时溶液温度保持在 80 ℃左右，浸蚀时间均控制在 1~2 min 的范围内。

2 试验结果及分析

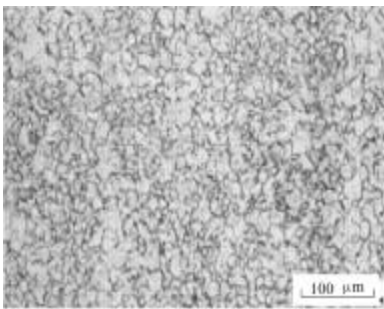
1~9 号和 5~14 号试样在光学显微镜下的金相组织对比分别见图 1 及图 2。



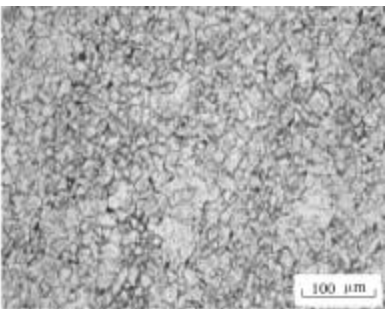
(a) 试样 1 (900 ℃)



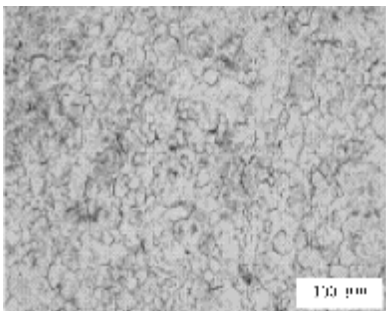
(b) 试样 2 (950 ℃)



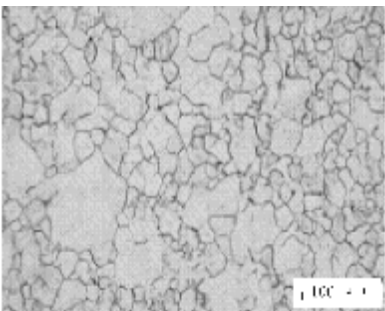
(c) 试样 3 (1 000 ℃)



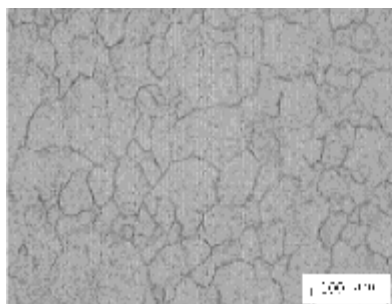
(d) 试样 4 (1 050 ℃)



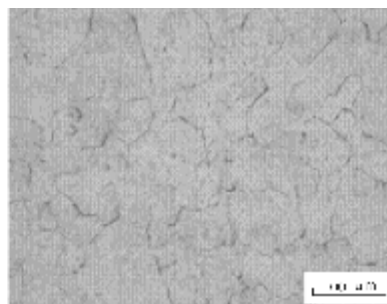
(e) 试样 5 (1 100 ℃)



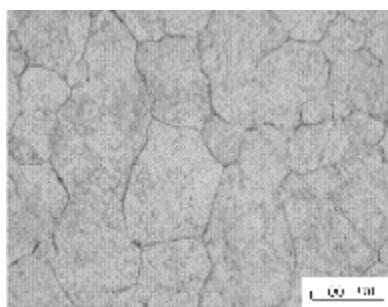
(f) 试样 6 (1 150 ℃)



(g) 试样 7 (1 200 °C)

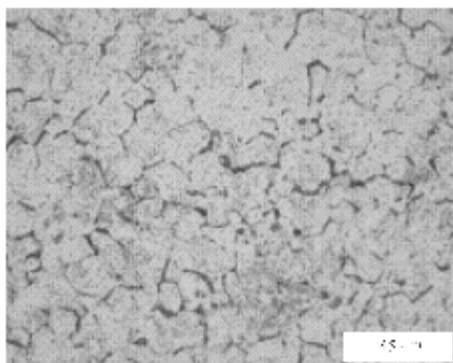


(h) 试样 8 (1 250 °C)

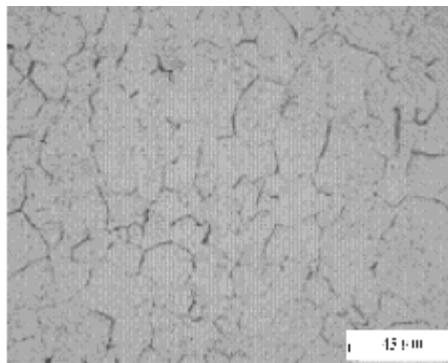


(i) 试样 9 (1 300 °C)

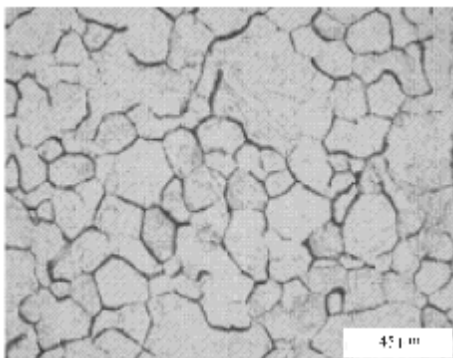
图 1 1~9 号试样在不同温度下保温 30 min 的金相组织对比



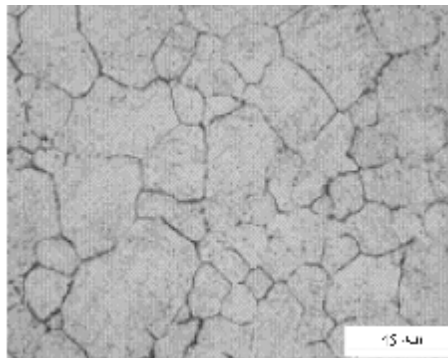
(a) 试样 5 (1 100 °C, 保温 30 min)



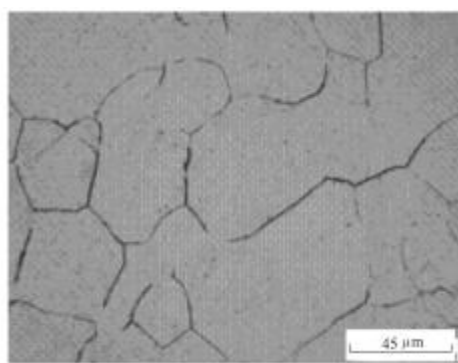
(f) 试样 10 (1 100 °C, 保温 80 min)



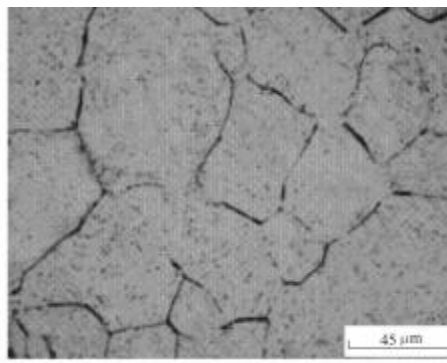
(b) 试样 6 (1 150 °C, 保温 30 min)



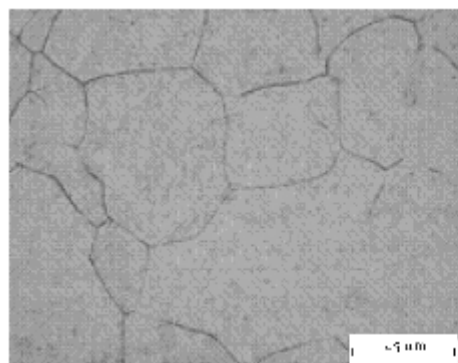
(g) 试样 11 (1 150 °C, 保温 80 min)



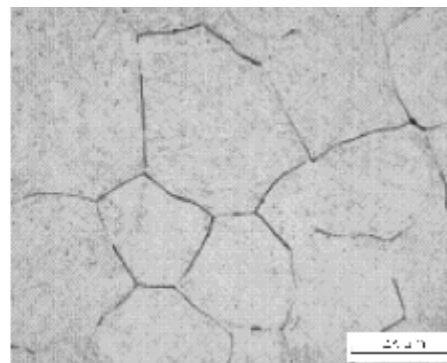
(c) 试样 7 (1 200 °C, 保温 30 min)



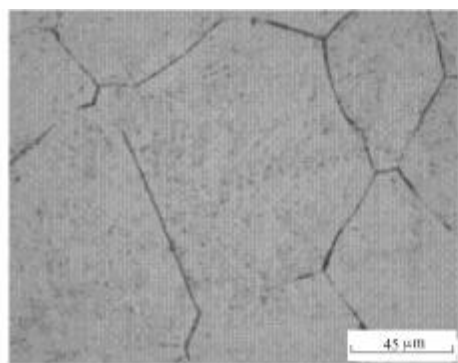
(h) 试样 12 (1 200 °C, 保温 80 min)



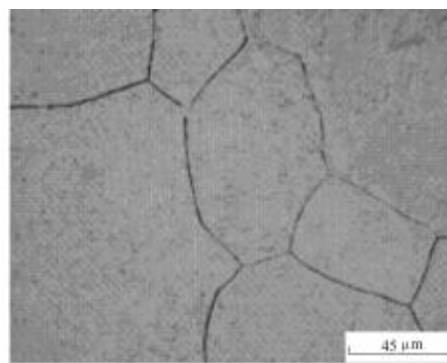
(d) 试样 8 (1 250 °C, 保温 30 min)



(i) 试样 13 (1 250 °C, 保温 80 min)



(e) 试样 9 (1 300 °C, 保温 30 min)



(j) 试样 14 (1 300 °C, 保温 80 min)

图 2 5~14 号试样在 1 100~1 300 °C 不同保温时间下的金相组织对比

从图 1, 2 可以看出: 900~1 000 °C 温度范围内试样金相组织的晶粒细小且均匀; 1 050~1 100 °C 温度范围内出现了晶粒长大, 但未出现晶粒粗大现象; 至 1 150 °C 粗大晶粒开始出现, 1 200~1 300 °C 温度范围内粗大晶粒所占比例逐渐增大, 至 1 300 °C 已完全被粗大晶粒所占据。显而易见: 随着温度升高, 晶粒明显粗大。

在相同温度下, 保温时间长的晶粒要比保温时

间短的晶粒稍显粗大。在 1 100 °C 和 1 150 °C, 两者差异较明显; 当加热温度超过 1 150 °C 时, 保温时间对晶粒的影响不大, 两种情况下都是粗大晶粒, 这说明在高温条件下, 在较短时间内, 试样金相组织的晶粒已经长大。

#### (1) 有效晶粒个数法分析

一个晶粒的所有晶界都在视场内即称之为有效晶粒。有效晶粒法即是在 200X 的金相分析下, 随

机选取 5 个直径为 300  $\mu\text{m}$  的圆形视场，统计每个视场内的有效晶粒个数。表 2 给出了不同加热温度和保温时间下有效晶粒个数，图 3 给出了相应的统计曲线。

表 2 有效晶粒个数统计

| 试样号 | 工艺制度                     |                    | 视场  |     |     |     |     | 晶粒个数<br>平均值 |
|-----|--------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
|     | 加热温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 保温时间/ $\text{min}$ | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |             |
| 1   | 900                      | 30                 | 716 | 699 | 703 | 724 | 713 | 711         |
| 2   | 950                      | 30                 | 692 | 685 | 670 | 679 | 701 | 685         |
| 3   | 1 000                    | 30                 | 671 | 687 | 690 | 688 | 693 | 686         |
| 4   | 1 050                    | 30                 | 673 | 687 | 701 | 659 | 667 | 677         |
| 5   | 1 100                    | 30                 | 291 | 275 | 340 | 244 | 300 | 290         |
| 6   | 1 150                    | 30                 | 150 | 141 | 104 | 221 | 133 | 150         |
| 7   | 1 200                    | 30                 | 48  | 39  | 42  | 37  | 54  | 44          |
| 8   | 1 250                    | 30                 | 48  | 37  | 40  | 42  | 41  | 42          |
| 9   | 1 300                    | 30                 | 7   | 8   | 11  | 6   | 10  | 8           |
| 10  | 1 100                    | 80                 | 347 | 338 | 355 | 360 | 340 | 348         |
| 11  | 1 150                    | 80                 | 45  | 40  | 52  | 37  | 47  | 44          |
| 12  | 1 200                    | 80                 | 54  | 43  | 40  | 46  | 38  | 44          |
| 13  | 1 250                    | 80                 | 13  | 12  | 11  | 15  | 14  | 13          |
| 14  | 1 300                    | 80                 | 10  | 8   | 9   | 9   | 8   | 9           |

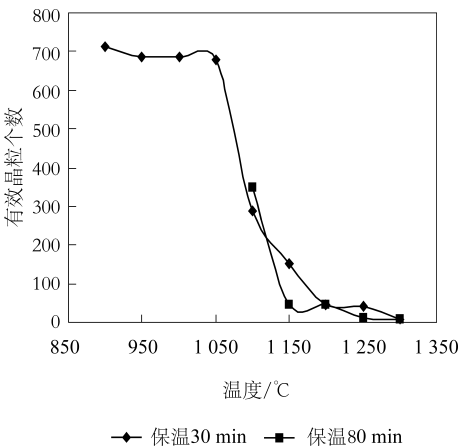


图 3 加热温度和保温时间对晶粒个数影响

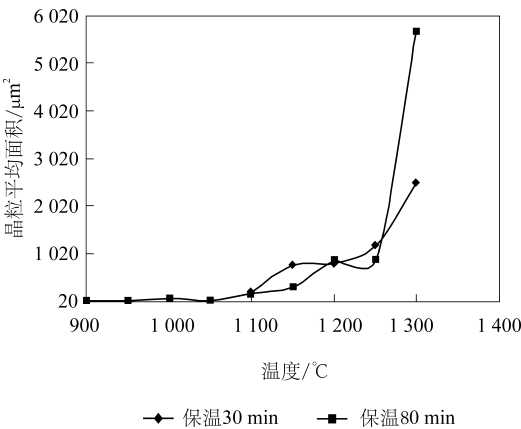


图 4 加热温度和保温时间对晶粒尺寸的影响趋势

(2) 面积法分析

面积法是在 200X 的金相分析下，利用计算机软件随机选取 100 个有效晶粒，去掉其中的最小值和最大值以后，计算其平均值。图 4 给出了面积法对试验钢显微晶粒的统计曲线。

本次试验选用有效晶粒个数法和面积法两种<sup>[3]</sup>分析方法。低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢成分设计复杂，在加热的过程中，Nb、Ti 碳氮化物及 Mn、Cu、Mo、Ti 等固溶合金元素对奥氏体晶界起到强烈的

钉扎作用，大大增加了晶界迁移阻力，强烈抑制了奥氏体晶粒的长大，但当钢的加热温度提高到一定程度，晶界的束缚力减弱，晶粒急剧长大的趋势成为必然。

3 结 论

(1) 低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢在保温 30 min，温度 900~1 050  $^{\circ}\text{C}$  条件下，晶粒个数和晶粒面积变化不大，但是随着温度的升高，相同温度下，不同

视场的晶粒个数波动增大。这说明随着温度升高,逐渐出现了粗大晶粒,晶粒面积呈上升趋势。

(2) 该钢在保温 30 min, 1 050~1 100 °C 条件下,晶粒个数产生了突变。这说明在此温度区间,钢的粗大晶粒急剧增加。但是在晶粒面积与温度关系上,这个突变位于 1 150~1 200 °C 温度区间,可以确定 1 100 °C 即为晶粒粗大温度。

(3) 该钢在保温 30 min, 1 100~1 300 °C 条件下,随着温度的升高,晶粒个数随之减少,晶粒面积增大,粗大晶粒长大到稳定状态。

(4) 该钢在保温 80 min 条件下,随着温度的升高,单位面积内晶粒个数随之减少;在 1 100~1 150 °C,晶粒个数产生了突变;在 1 150~1 300 °C,晶粒个数波动不大,粗大晶粒逐渐稳定;从晶粒面积的变化反应出相同趋势,但在 1 250~1 300 °C 区间,晶粒面积突增。

(5) 在相同加热温度条件下,低碳 Mn-Mo-Nb-B 系钢随着保温时间的增加,晶粒个数减少,晶粒面积增加,晶粒越粗大。单从晶粒长大方面考虑,加热温度  $\leq 1\ 250\ ^\circ\text{C}$ ,保证在 5 min/mm 的保温时间内,奥氏体晶粒仍然保持在 50  $\mu\text{m}$  左右,但温度高于 1 250 °C 后,出现晶粒急剧长大现象。

#### 4 参考文献

- [1] 毛为民. 金属的再结晶与晶粒长大[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 12-16.
- [2] 高惠临, 辛希贤. 论管线钢韧性的控制因素[J]. 焊管, 1995, 18(5): 7-12.
- [3] 霍春勇. X70 管线钢在管件制造过程中晶粒长大规律的研究[J]. 热加工工艺, 2006, 35(11): 55-60.

(收稿日期: 2007-04-27)

#### ● 信 息

### 中国石油天然气集团公司辽阳钢管厂与宝鸡石油钢管有限责任公司联合重组

2007 年 7 月 14 日, 中国石油天然气集团公司辽阳钢管厂与宝鸡石油钢管有限责任公司联合重组大会在辽宁省辽阳市辽阳钢管厂召开。中国石油天然气集团公司规划计划部副主任姜力孚、中国石油物资装备(集团)总公司总经理李庆毅、中国石油天然气管道局副局长曹华光、宝鸡石油钢管有限责任公司总经理钟裕敏等领导莅临重组交接仪式。

两家企业的专业化重组是加快发展集团公司石油装备制造业的一项重大举措, 有利于集团公司内部制管资源的整合。新公司将逐步形成地域分布合理、资源配置合理、产品结构合理的石油钢管制造专业公司。重组不仅可以使两家企业充分享受集团公司的相关优惠政策, 而且在经营、技术、管理等方面能够互相交流, 优势互补, 不断增强整体竞争实力。此次重组是集团公司石油装备制管业重组整合的第一步, 将为钢管制造业今后的优势互补、共同发展搭建更加坚实的发展平台。

(中国石油天然气集团公司辽阳钢管厂 郭 艳)

### 张力减径机可调机架技术在宝山钢铁股份有限公司宝钢分公司钢管厂试验成功

宝山钢铁股份宝钢分公司钢管厂采用从 SMS Meer 公司引进的张力减径机可调机架技术, 于 2007 年 4 月针对  $\Phi 60.3\text{ mm}$  和  $\Phi 73.03\text{ mm}$  两个外径的钢管进行了试验, 其内容包括可调机架的精度调整、重复性调整、最大及最小极限位置试验, 同时进行了大批量的稳定性轧制试验, 轧制出的钢管外径精度较高、内外表面均正常, 轧辊耐磨性也较好。目前正在策划更多规格的钢管轧制生产。

相关链接: 张力定(减)径是热轧无缝钢管生产的精轧工序, 决定着成品管的外径精度。由于不同的产品有不同的产品标准, 对于同样的成品管名义外径, 其公差范围有所不同, 公差范围相对于名义外径往往也是不对称的; 另外, 不同材质的管子, 其热胀冷缩特性不尽相同, 所有这些因素造成同样的冷态名义外径的管子合理的热态轧制外径有微小的差别, 这使得 1 套张力定(减)径成品孔型难以兼顾, 会造成管子外径超差, 对此必须设计专用孔型, 生产时更换成品机架。若专用孔型多, 造成占用机架多, 对资金占用、机架管理以及生产计划安排和调整都是不利的。同时, 对产能的影响更为直接, 每天多换几次张力定(减)径机机架, 全年累计损失的产能也非常大。因此迫切需要能够在线调整轧辊辊缝的张力定(减)径机机架, 即所谓的可调机架, 来满足不同产品外径的定(减)径要求。

(宝山钢铁股份有限公司宝钢分公司钢管厂 谢麒麟)