

## 自动控轧工艺在中厚板双四辊轧机上的应用

刘晓冬, 刘江, 刘福义

(济南钢铁集团总公司 中厚板厂, 山东 济南 250101)

**摘要:** 济钢中厚板厂双四辊轧机控制轧制系统由两级高速度的过程控制网络进行计算机控制, 精确计算、控制轧制中关键工艺参数, 选择合适的中间坯厚度, 采用一次或二次控轧方式, 使传统轧制工艺和自动控轧技术达到较好的结合, 工艺控制更精确, 钢板性能更稳定, 品种专用钢板的一次合格率在系统投用后由90%达到近100%, 机时产量由原来100t提高到140t。

**关键词:** 控制轧制; 一次控轧; 二次控轧; 中间坯厚度

中图分类号: TG334.9; TG355.11 文献标识码: B 文章编号: 1004-4620(2003)04-0004-03

## Application of Automatic Controlled Rolling on Four High Mills

LIU Xiao-dong, LIU Jiang, LIU Fu-yi

(The Heavy and Midium Plate Plant of Jinan Iron and Steel Group, Jinan 250101, China)

**Abstract:** The controlled rolling system of four rolling mills at Jigang Midium Plate Plant is controlled by two level high speed process control network. By exactly calculating and controlling key process parameters, selecting appropriate thickness of workpiece, adopting single controlled rolling or double controlled rolling, traditional rolling process is connected well to automatic controlled rolling process. Then more accurate process controll and more steady plate properties are obtained, the percent of primary pass of plate for special use increases from 90% to nearly 100%, and the mill yield is increased from 100t/h to 140t/h.

**Keywords:** controlled rolling; single controlled rolling; double controlled rolling; workpiece thickness

### 1 控制轧制系统概况

济南钢铁集团总公司中厚板厂(简称济钢中厚板厂)精轧机是2002年上半年投产的具备自动控轧功能的双四辊轧机, 装备有液压弯辊、液压AGC, 配备2台7000kW直流调速电机, 轧制压力高达68.6MN, 咬抛速度快, 轧制时间短。其电气控制和自动化控制系统全部采用西门子最新技术, 自动控制工艺是该轧机控制轧制技术中的核心内容, 于2002年下半年调试成功, 可进行高速度、大批量品种板的生产。

传统四辊轧机的钢板控轧生产, 大都采用人工工艺控制, 其缺点是工艺参数控制不稳, 钢板性能波动较大, 轧制的间歇时间长, 生产能力低于普通钢的生产。济钢中厚板厂的控制轧制系统, 通过两级高速度的过程控制网络进行计算机控制, 精确计算、控制轧制中关键工艺参数, 系统要达到的目标是:

- (1) 建立可人工修改的钢种数据库, 其关键工艺参数作为自动控制轧制的基本依据。
- (2) 用具备自适应功能的轧制过程中温降数学模型准确控制各时间段开轧、终轧温度。
- (3) 钢板性能合格且稳定。
- (4) 实现轧机无等待连续轧制, 提高生产能力。

### 2 自动控轧工艺

## 2.1 一次控轧工艺

一次控轧工艺流程如图1所示。系统开轧时，主程序先到L2服务器的钢种数据库中检索当前要轧钢种的工艺控制参数，包括轧制规格、粗轧机轧制中间坯厚度、精轧机终轧温度等。粗轧机轧后的中间坯温度为1020~1050℃，系统由温度检测1检测到中间坯实际温度后，即根据自动排定的精轧机压下规程和设定的终轧温度，由轧制过程中钢板的温降模型计算出实际的开轧温度和中间坯在E2辊道上自动游动的时间，当中间坯游动时间到或者温度检测2检测到中间坯温度达到实际开轧温度后，中间坯自动送入轧机进行连续无等待轧制，直到结束。在精轧机轧制过程中，粗轧机仍可保持连续开坯，后续的中间坯可在E4、E2辊道上自动游动降温，从而保持了双机架的连续生产。一次控轧工艺主要用来生产20g、16Mng、Q345C、A、B级船板等专用钢种，不要求很高的低温冲击韧性，精轧机的实际开轧温度不大于910℃，终轧温度820~860℃，精轧机总变形量不小于45%，道次变形量15%~25%，全部变形处在钢板的未再结晶区域，保持了较好的强韧性能。实践结果证明，用一次控制工艺生产的品种钢初验性能合格率达到100%。

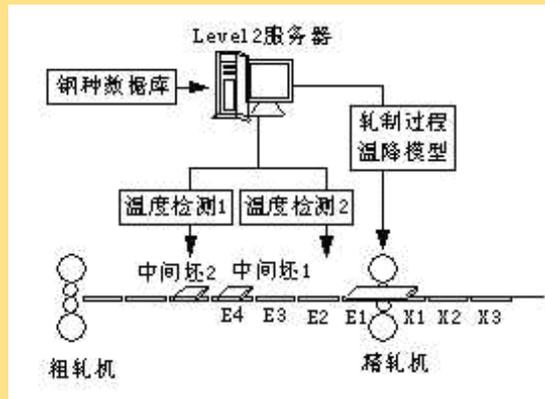


图1 一次控轧工艺流程

## 2.2 二次控轧工艺

二次控轧工艺流程如图2所示。

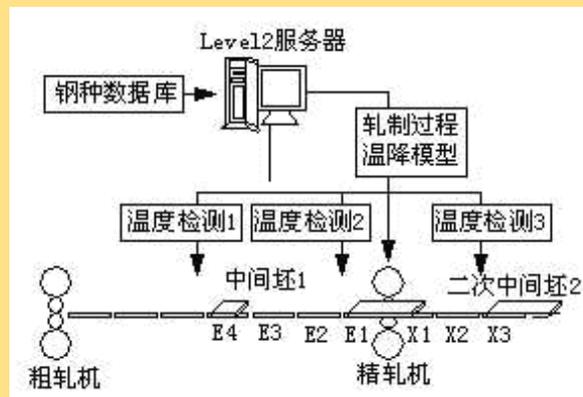


图2 二次控轧工艺流程

系统开轧时，L2服务器需要检测到轧制规格、粗轧机开坯厚度（一次中间坯厚度）、精轧机第二次开轧时的中间坯厚度（二次中间坯厚度）、二次中间坯开轧温度、钢板终轧温度等。精轧机第一次开轧的温度控制在 $(1000 \pm 20)^\circ\text{C}$ ，属于完全再结晶和部分再结晶上限温度范围，防止了晶粒的不均匀化，由温度检测2实现开轧控制。轧到设定的二次中间坯厚度后，温度一般在 $960 \sim 980^\circ\text{C}$ ，二次中间坯自动运行到X3辊道上游动，精轧机同时开始下一支钢的轧制。下一支钢轧到二次中间坯厚度后，自动退回到E2或E3（视钢板终轧后长度而定）辊道上游动。当温度检测3检测到在X3辊道上游动的钢达到模型计算的二次开轧温度后，即送入轧机连续轧制，在E2或E3游动的钢的二次开轧由温度检测2控制，如此实现两支钢为一组的连续控轧。精轧

机第一次轧制尽可能采用较大的道次变形量，一般为20%~25%，可有效提高此温度区域的再结晶数量。二次开轧温度控制在820~860℃，一般轧制3~4道次，总变形量不低于50%，最后三道次变形量不低于20%，终轧温度可降到760~800℃。二次控轧工艺主要用来生产D、E级船板、JG590等要求较高的强度和低温冲击韧性的专用板。生产实践表明，用二次控轧工艺生产的这类品种板一次合格率超过99%。

### 3 关键因素的控制

#### 3.1 精确的辊道逻辑控制

在精轧机前后辊道上，装有多个热金属检测器，实现对辊道运行的自动控制。系统采用西门子先进的逻辑控制技术，不仅反应速度快，而且具有准确的记忆功能，对各轧制阶段多个轧件的位置、行为进行准确控制，是整个系统实现自动化控制的前提。

#### 3.2 温降数学模型

轧制过程中温降数学模型是热机轧制系统中的关键，只有模型预报精度高，才能保证钢板控轧的质量。温降模型主要根据如下参数进行计算：轧制时的钢板温度、钢板厚度、电机转速、道次压下量、轧制压力、轧辊冷却水量、空气温度、道次间隙时间等，这些参数值系统可根据实测或其他模型计算取得。每一道次轧完后，系统立即将温度实测值与模型计算值进行比较，以决定是否进行自适应。以钢板的终轧温度为例，控轧范围在820~860℃时，实际终轧温度与设定温度相差十几度，误差不超过2%，完全满足高精度的控轧要求。

#### 3.3 合适中间坯厚度的选择

在本系统中，中间坯厚度（包括一次中间坯和二次中间坯厚度）的选择至关重要，它起到了以一个参数的改变影响其它所有控制参数的作用。对中间坯厚度的控制主要体现在以下几个方面：

（1）保证精轧阶段的累积变形量。因为精轧机变形速度快，轧制压力大，累积变形量大，有助于细化晶粒，提高钢板的强韧性指标。一般一次控轧工艺中精轧阶段累积变形量不低于45%，二次控轧工艺中精轧机第二阶段的累积变形量不低于50%。

（2）兼顾轧机的生产能力。因为中间坯厚度直接影响到轧件轧制过程中的温降速度，如果厚度选择不合适，将会延长道次间的等待时间，严重降低生产能力。

（3）以自适应的方式优化最佳中间坯厚度。

从以上分析可以看出，中间坯厚度直接影响到钢板最终的性能指标和轧机的生产能力，对控制轧制某一规格范围的品种钢而言，用回归分析法，可以得出最佳的中间坯厚度，在完全保证产品性能指标的前提下，实现轧机的最大生产能力。图3以生产16MnR 28mm钢板为例，说明了最佳中间坯的确定办法。将各钢种某一规格范围内的最佳中间坯厚度写进钢种数据库，通过系统的精确控制，实现全自动、最优质量和产量的品种钢控轧生产。

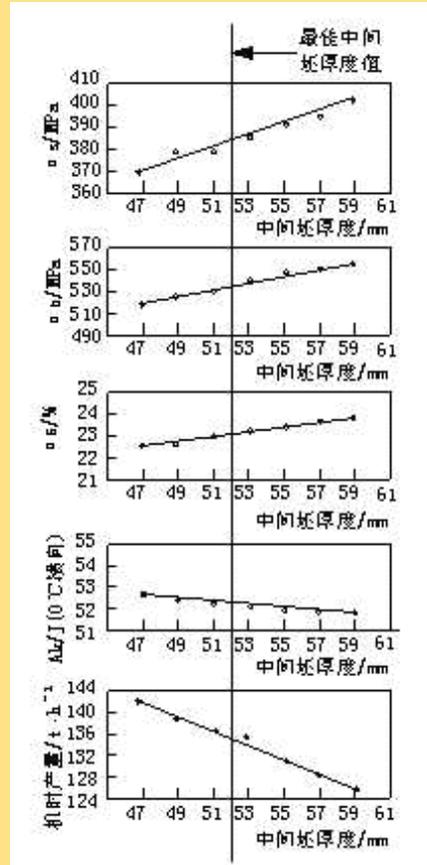


图3 28mm 16MnR 一次控轧中间坯厚度与指标

(200mm×1250mm×2500mm 轧制28mm×2000mm×6000mm。

各项性能的最低要求值分别为： $\sigma_s$ 325MPa； $\sigma_b$ 490MPa； $\delta_5$ 21%； $A_k$ 31J。)

#### 4 两种控轧工艺的对比试验

为进一步说明两种控轧工艺所具备的不同特点，用对轧制工艺要求很高的DH36钢对两种控轧工艺做了生产对比试验，采用原料为200mm×1250mm×2500mm，轧制规格为25mm×2200mm×10000mm，原料成分如表1所示。

表1 DH36钢化学成分 %

元素	C	Si	Mn	P	S	Al <sub>t</sub>	Ti
一次控轧	0.16	0.34	1.45	0.025	0.020	0.053	0.022
二次控轧	0.15	0.35	1.46	0.025	0.019	0.053	0.022

一次控轧工艺为：粗轧机开轧温度为1120℃，终轧温度1000℃，中间坯厚52mm，在辊道上游动降温至870℃后送入精轧机连续轧制4道次，终轧温度800℃，轧后空冷。二次控轧工艺为：粗轧机开轧温度为1120℃，终轧温度1000℃，一次中间坯厚度（粗轧机开坯厚度）为85mm。然后精轧机进行第一次轧制，连轧2道次，轧后温度约930℃；二次中间坯厚48mm，接着游动降温至840℃进行二次轧制，连轧3道次，终轧温度780℃，轧后空冷。两种控轧工艺性能如表2所示。

表2 DH36两种控轧工艺性能比较

性能	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$-20^\circ\text{C} A_k$ /J		平均每支钢 纯轧时间/s	每支钢累计 间隙时间/s	机时产 量/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$
				纵向	横向			
一次控轧	405	551	22	36.0	25	87	26	142
二次控轧	446	575	26	44.0	31	91	31	131

由试验结果可以看出,在原料成分几乎没有差异的情况下,两种控轧工艺结果有很大差别。一次控轧工艺钢的强度值很高,但塑性和低温冲击指标却接近下限;二次控轧工艺不仅提高了强度值,更使塑性和低温韧性值迅速脱离下限,但缺点是机时产量较大幅度下降。二次控轧工艺之所以将强韧性指标提高,主要是因为精轧一阶段压下量大,道次间隙时间稍长,奥氏体再结晶数量增多;其次二阶段开轧和终轧温度都有所降低,道次变形量大,产生更多量的变形带,终轧后冷却过程中,铁素体晶粒和珠光体片层间距进一步缩小,从而改善了强韧性。因此,对于本控轧系统而言,根据不同钢种的质量要求,选择不同的控轧方式,使质量要求和产量要求达到合理的配合,取得经济效益的最大化。该系统自2002年下半年开始先后采用一次控轧和二次控轧两种方式进行专用板的生产,积累了丰富的实践经验,尤其是对一次控轧专用板生产的应用,现在已完全满足了大批量、高速度生产的要求。表3列举了2003年1~5月份用一次控轧方式生产的主要钢种与2002年同期生产指标数据的对比。从对比数据中可以看出,一次控轧比常规轧制不仅扩大了生产规格范围,而且使一次合格率、成材率、机时产量等生产指标都有了大幅度的提高。

表3 一次控轧与常规轧制品种钢生产指标对比

钢种	轧制方式	轧制规格/mm	产量/t	成材率/%	一次合格率/%	平均机时产量/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$
16MnR	常规轧制	10~25	1926	87.61	90.45	105
20R	一次控轧	8~36	4969	91.55	99.90	145
20g	常规轧制	10~30	2221	88.64	91.60	105
	一次控轧	8~40	3555	91.72	100.00	145
船板	常规轧制	10~30	6379	87.24	90.05	102
	一次控轧	8~40	4149	88.47	99.74	138
Q235C	常规轧制	10~30	611	89.06	91.44	112
	一次控轧	8~40	6340	91.62	100.00	150
Q345C	常规轧制	10~25	700	89.01	90.50	103
	一次控轧	8~40	2892	91.50	99.69	148

## 5 结 论

5.1 传统中厚板生产控轧工艺和先进的自动化控制技术可以做到较好的结合,使控轧工艺更准确、产品性能更稳定,同时可大幅度提高轧机的利用系数,提高机时产量。济钢中厚板厂在自动控轧系统投用前,品种专用钢板的一次合格率仅为90%,机时产量最高为100t,系统投用后一次合格率近100%,机时产量提高到140t,增幅达30%以上,提高了经济效益。

5.2 在自动控轧系统中,中间坯厚度是最关键、最容易控制的工艺参数,调整中间坯厚度可起到调控整个系统的作用。根据不同钢种的质量要求,可选择一次控轧工艺或二次控轧工艺,以达到产量最大化的目的。