



# 中厚板精轧机AGC自动厚度控制的改进

## Improvement and Optimization on Automatic Gauge Control for Medium and Heavy Plate Finishing Mill

供稿|胡学剑 / HU Xue-jian

内  
容  
导  
读

文章介绍了舞阳4100 mm精轧机辊缝控制原理以及AGC自动厚度控制系统的组成及原理,针对轧制钢板同板差大,尤其是钢板头部厚度与板身厚度偏差大的问题,结合IBA数据采集系统记录的轧机辊缝曲线和测厚仪测量的钢板厚度曲线,根据实测钢板边部厚度值绘制厚度变化趋势图,综合分析影响钢板同板差大的可能性因素。经过多轮反复实验,认为轧机弹跳补偿和轧辊变形补偿是影响钢板头部偏薄的主要因素。通过改进和优化AGC自动厚度控制进一步提高钢板厚度控制精度,尤其是钢板头部厚度控制精度,减小钢板同板差。

舞阳4100 mm精轧机应用了当今世界上最先进的轧机设计理念,轧机控制系统采用西门子奥钢联VANTAGE控制系统,轧机辊缝调节采用电动机械压下+下置式液压AGC油缸,应用液压AGC厚度自动控制实现钢板厚度精确控制。

舞阳4100 mm精轧机投产后,钢板轧制过程中轧辊冷却水收集不完全、轧机除鳞水关闭延迟等因素导致钢板头部冷却过快,钢板头部出现“黑头”现象,造成钢板头部厚度精度不高,钢板同板差大。严峻的市场形势和用户对产品质量的高要求,促使进一步提高钢板厚度控制精度。

### 精轧机辊缝控制原理

#### 精轧机辊缝静态设定

舞阳4100 mm精轧机辊缝调节方式采用电动机械压下+下置式液压AGC油缸。精轧机VANTAGE控制系统根据接收到的L2道次辊缝设定值计算压下丝杠位置参考值和AGC油缸位置参考值,之后将计算得到的参考值发送到相应的子控制系统,并由相应的子控制系统按照辊缝设定的控制时序完成位置参考值的精确控制,最终实现轧机辊缝的静态设定。

作者单位:舞阳钢铁有限责任公司,河南 舞钢 462500



### 精轧机辊缝动态补偿

精轧机辊缝设定完成后，一旦钢板被咬入轧机，受钢板实际温度、钢板对准度等外部因素的影响，实际的轧制力与L2模型计算的轧制力之间的偏差会导致轧机实际辊缝与L2计算辊缝不一致。为了确保轧机轧出钢板的实际厚度与设定厚度一致，精轧机AGC自动厚度控制系统会在轧机辊缝设定完成的基础上根据实际轧制力与计算轧制力的偏差动态计算轧机辊缝补偿值，动态调整AGC油缸位置，实现轧机辊缝精确控制。

### AGC自动厚度控制系统的组成及原理

舞阳4100 mm精轧机AGC自动厚度控制系统主要由轧机弹跳补偿、轧辊变形补偿、支承辊油膜轴承补偿和油压缩补偿等四个补偿功能组成。

#### 轧机弹跳补偿

轧机弹跳补偿是根据实际轧制力与二级模型计算出的轧制力参考值的偏差计算出轧机牌坊实际拉伸量与参考拉伸量的偏差值，并在轧制过程中进行动态补偿。轧机弹跳补偿模型如图1所示。

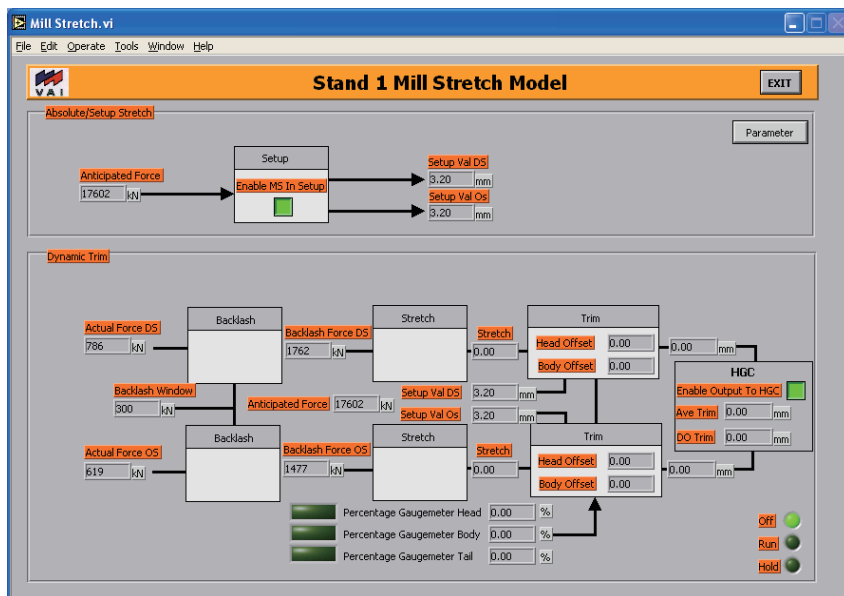


图1 精轧机弹跳补偿模型原理

#### 轧辊变形补偿

轧辊变形补偿的主要功能是钢板轧制过程中根据实际轧制力和弯辊力的变化动态计算轧辊实际变形量与L2预测变形量的偏差，并通过调整AGC油缸的位置减小轧辊变形对轧机辊缝的影响，以保证轧出钢板的目标厚度。轧辊变形补偿模型如图2所示。

厚度随着轧制力的增大而变小，随着转速的增大而变大。油膜轴承补偿模型参数表中的数据是设备的固有特性，由油膜轴承厂家提供。精轧机AGC控制程序是根据油膜轴承油膜厚度参数表实现模型控制。

#### 油膜轴承补偿

油膜轴承补偿的主要功能就是根据轧制力和速度的变化动态计算油膜轴承油膜的变化量，通过调整AGC油缸的位置减小油膜厚度变化对轧机辊缝的影响，以保证钢板的目标厚度。油膜轴承补偿模型参数表如图3所示。由图3可知，油膜轴承油膜

#### 油压缩补偿

油压缩补偿的主要功能是根据当前道次L2预计算的轧制力计算钢板咬入轧机后由轧制力引起的AGC油缸位置变化量(油压缩补偿量)。在辊缝设定过程中，提前补偿AGC油缸的油压缩补偿量；当钢板咬入轧机后，一定时间之内油压缩补偿量以设定的速率逐渐减小到0，以保证钢板头部厚度的均匀性，

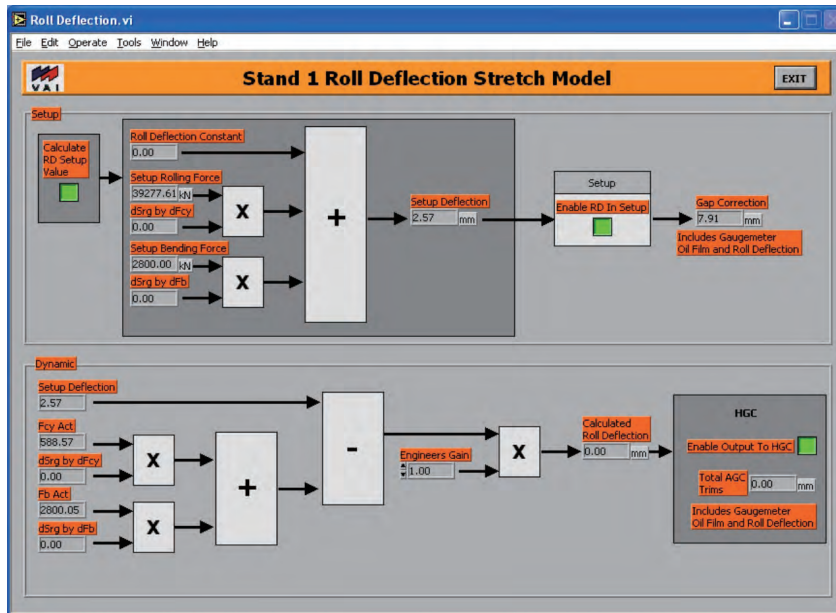


图2 轧辊变形补偿原理图

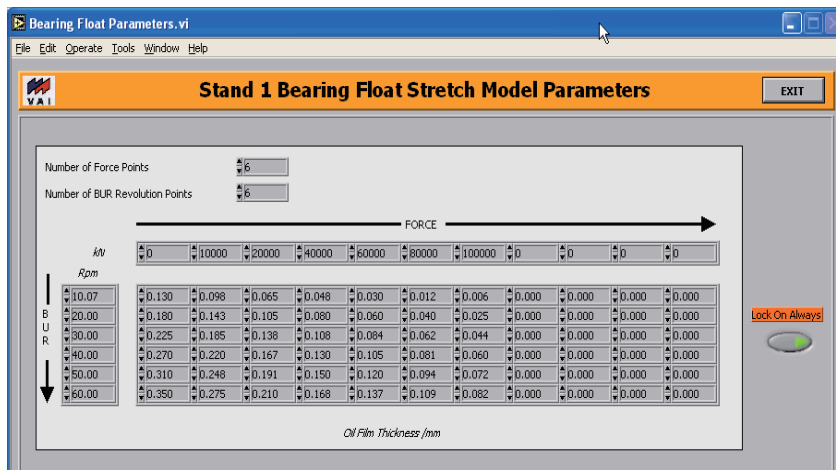


图3 油膜轴承补偿模型参数表

同时也减少伺服阀的频繁动作。

### AGC自动厚度控制系统的改进与优化

为了进一步减小钢板同板差，开展了钢板头部厚度偏薄技术攻关，通过人工卡量钢板100余块，厚

度范围60~125 mm，卡量位置和点数如图4所示。

通过分析，钢板每侧最薄点与平均厚度之间的误差分布曲线如图5所示。

精轧机出口测厚仪测量的钢板厚度曲线如图6所示。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10(尾部)	12	11(中部)	20...5	4	3	2	1(头部)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10(尾部)	12	11(中部)	20...	5	4	3	2	1(头部)

图4 人工卡量钢板的卡量位置和点数分布



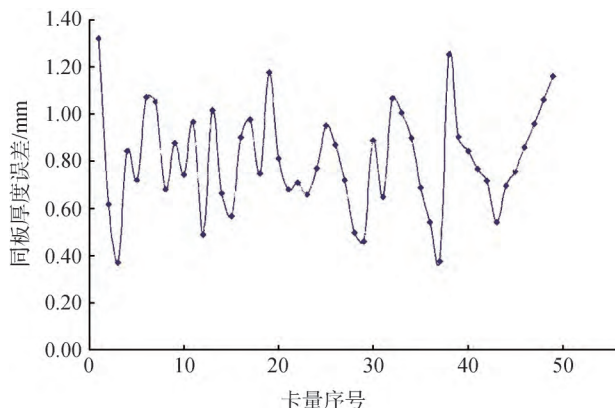


图5 钢板每侧最薄点与平均厚度之间的误差分布曲线

通过对人工卡量数据的统计、分析，得出如下结论：

- (1) 钢板平均厚度与钢板最薄点差值多分布在0.8~0.9 mm范围之内；
- (2) 钢板最薄点位于钢板头部300~500 mm位置。

研究钢板厚度最薄点在钢板头部300~500 mm位置的原因时，发现钢板厚度最薄点的位置与轧机弹跳补偿和轧辊变形补偿投入延迟时间相一致。于是，对AGC自动厚度控制的各个补偿功能参数进行调整、测试，经过多轮、反复实验，认为轧机弹跳补偿和轧辊变形补偿是影响钢板头部偏薄的主要因素。

### 轧机弹跳补偿的改进

#### ◆ 轧机弹跳补偿投用时机的改进

轧机弹跳补偿的投用时机是指轧机弹跳补偿模型计算值参与AGC油缸位置控制的时机，精轧机TCS系统调试完成后，轧机弹跳补偿投入时机和轧辊变形补偿投入时机使用同一个时间参数，该参数设定为0.3 s。

研究钢板头部厚度偏薄时，将轧机弹跳补偿投入延迟时间分别调整为0.1 s、0.6 s进行实验，发现调整为0.1 s后钢板厚度最薄点厚度值更小，调整为0.6 s后钢板厚度最薄点厚度值没有明显变化。然后，决定修改精轧机AGC控制程序，将轧机弹跳补偿投入延迟时间与轧辊变形补偿投入延迟时间分离开，实现单独调整控制。最终，与轧辊变形补偿延迟时间调整相结合，经过反复实验找到轧机弹跳补偿投入延迟时间设定为0.4 s为最佳，钢板头部厚度偏薄明显改善。

#### ◆ 轧机弹跳补偿运行模式的改进

轧机弹跳补偿有两种运行模式：平均补偿模式和偏差补偿模式。其中，平均补偿模式是取轧机DS侧和RCS侧补偿值的平均值作为两侧轧机弹跳的补偿值；偏差补偿模式是指轧机DS侧和RCS侧单独计算弹跳补偿值，并作为相应侧的轧机弹跳补偿值。

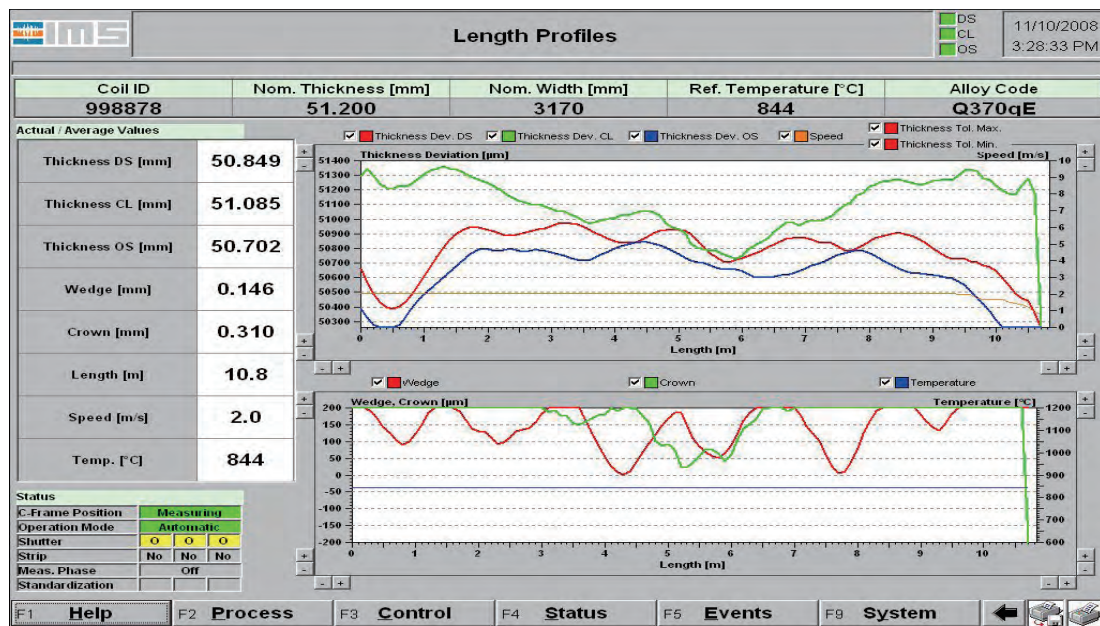


图6 测厚仪测量的钢板厚度曲线

精轧机设备运行稳定, 钢板加热温度均匀, 轧机弹跳补偿采用平均补偿模式能够满足轧机精度控制要求。但是, 随着轧机设备磨损加剧, 受钢板加热质量和轧机两侧机械设备间隙不同等因素的影响, 钢板轧制过程中轧机两侧轧制力偏差明显变大, 甚至出现严重的钢板镰刀弯现象。于是, 逐步尝试使用偏差补偿模式, 测试发现使用偏差补偿模式后钢板两侧的厚度偏差明显变小, 钢板镰刀弯现象明显好转。实践证明, 轧机弹跳补偿采用偏差补偿模式更有利于钢板厚度控制和钢板板形控制, 并在程序中加以固化。

#### ◆ 轧机弹跳补偿值的改进

舞阳4100 mm精轧机弹跳补偿值可以根据钢板头部、中间和尾部厚度控制精度设定一定的补偿比例。实际生产中, 受钢板规格品种多、小批量生产模式的影响, 轧机弹跳补偿值的比例需要频繁调整, 且调整后达不到预期的效果。于是, 借鉴其它钢厂二级模型一个道次多点轧制力预测提高钢板厚度控制精度的控制思想, 修改精轧机AGC自动厚度控制程序, 增加钢板头部弹跳补偿值人为干预功能。经过大量的钢板轧制实验和钢板头部厚度曲线分析, 将钢板头部轧机弹跳补偿值进行固化, 具体参数见表1。钢板头部轧制结束后, 轧机弹跳补偿值重新回到模型计算的补偿值。

表1 钢板头部轧机弹跳补偿值参数表

序号	钢板厚度范围/mm	轧机弹跳补偿值	备注
1	6~25	0	
2	25~40	-0.3	
3	40~60	-0.4	
4	60~70	-0.4	
5	70~80	-0.5	
6	80~90	-0.5	
7	90~100	-0.65	
8	>100	-1	

#### ◆ 轧机弹跳补偿增加人工干预功能

由于钢板头部弹跳补偿值受很多工艺条件的影响, 为了更好地控制钢板头部厚度, 实现操作工对钢板头部厚度补偿参数微调功能, 在4CS HMI画面中增加头部厚度补偿参数调整窗口, 并修改精轧机厚度补偿控制程序, 实现了头部厚度补偿参数微调

功能, 方便轧钢操作工根据测厚仪测量的厚度曲线及时对钢板头部厚度补偿参数进行微调, 提高下一块钢板头部厚度控制精度, 减小钢板同板差。

### 轧辊变形补偿的改进

#### ◆ 轧辊变形补偿弯辊力计算的改进

研究轧辊变形补偿时, 发现精轧机TCS控制系统中将弯辊双液压回路控制(即两个交叉回路控制)简单分成了上下弯辊独立的液压回路, 且按照单个液压回路来计算实际弯辊力, 这样计算出来的弯辊力是错误的。错误地计算弯辊力会导致轧辊变形补偿模型计算的补偿值错误, 最终导致轧机辊缝补偿错误。随后, 根据弯辊液压回路实际情况对实际弯辊力计算逻辑进行修改, 程序修改如图7所示。程序修改后, 轧机弯辊力按照双液压交叉回路进行计算, 使用正确的弯辊力计算出了正确的轧辊变形补偿量, AGC自动厚度控制的精度也相应提高了。

#### ◆ 轧辊变形补偿投用时的改进

研究钢板厚度最薄点在头部300~500 mm位置的原因时, 将轧辊变形补偿投入延迟时间调整为0.2 s, 弹跳补偿延迟时间分别调整为0.1、0.6 s进行多轮实验, 最终, 经过反复实验找到轧机弹跳补偿投入延迟时间设定为0.4 s为最佳, 轧辊变形补偿投入延迟时间设定为0.2 s为最佳, 并进行固化。

#### ◆ 轧辊变形补偿值的改进

研究钢板厚度最薄点在钢板头部300~500 mm位置的原因时, 仅调整轧机弹跳补偿投入延迟时间和钢板头部补偿值达不到明显改善钢板头部厚度控制精度的目标, 于是又考虑人为干预测试钢板头部轧辊变形补偿值。经过大量的钢板轧制实验和钢板头部厚度曲线分析, 将钢板头部轧辊变形补偿值进行固化, 具体参数见表2。钢板头部轧制结束后, 轧辊变形补偿值重新回到模型计算的补偿值。

### 油压缩补偿的改进

#### ◆ 油压缩补偿投用时的改进

当轧机实际轧制力大于400 t时, 油压缩补偿功能才投入使用。而有时实际轧制力超过400 t而轧机并没有咬钢, 导致油压缩补偿功能错误投用。另外, 轧制薄板时, 最后道次出现负辊缝, 轧机没有咬钢时实际轧制力已经超过400 t, 也会出现补偿功



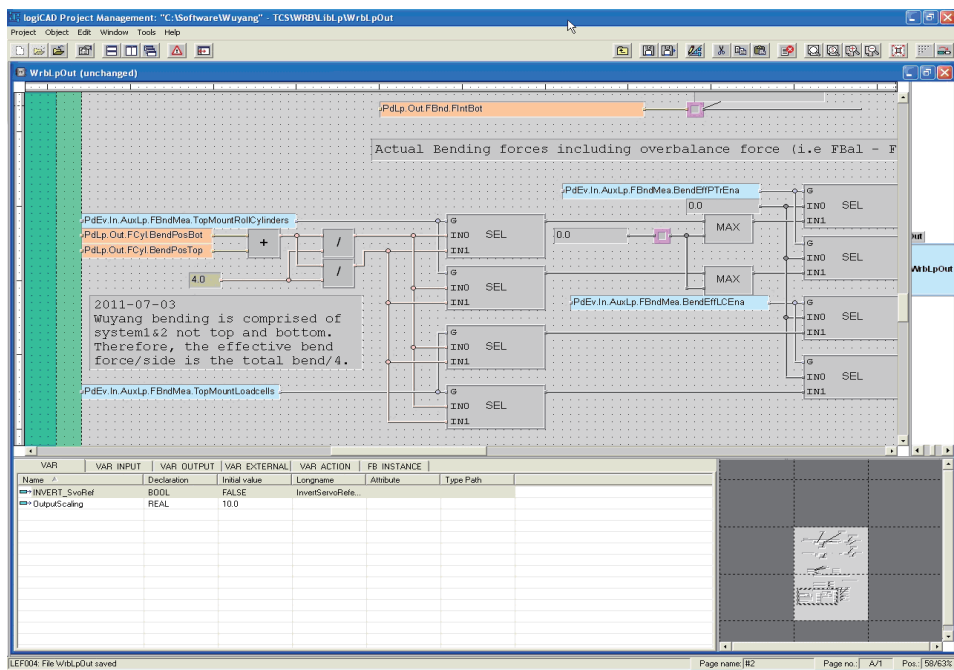


图7 精轧机弯辊力计算逻辑修改

表2 钢板头部轧辊变形补偿值参数表

序号	钢板厚度范围/mm	轧辊变形补偿值	备注
1	6~25	0	
2	25~40	-0.2	
3	40~60	-0.2	
4	60~70	-0.3	
5	70~80	-0.3	
6	>80	0	

能投用时机错误。于是，对补偿时机进行了如下改进：非负辊缝道次轧制时，采用轧机咬钢信号作为油压缩补偿功能的投用时机；负辊缝道次轧制时，只有当实际轧制力大于1000 t才会投用油压缩补偿。程序改进之后，AGC油缸油压缩补偿投用时机稳定，补偿值得到正确应用。

◆ 油压缩补偿值的优化

精轧机油压缩补偿功能已经正常投用后，查看IBA曲线发现轧机咬钢时伺服阀仍然出现±100%开口度反复摆动，AGC油缸实际位置变化量比模型计算的补偿值大，导致轧机咬钢时AGC油缸位置需要反复重新设定。于是对油压缩补偿值进行如下改进：将AGC油缸油压缩补偿值的最大限制由原来的±0.5 mm调整到±2.0 mm；将AGC油缸油压缩补偿量

调整速率由原来的3 mm/s调整到10 mm/s。

程序改进之后，AGC油缸实际位置的变化趋势与油压缩补偿值的变化趋势基本吻合，钢板头部轧制力曲线基本平滑，钢板头部厚度波动也比较小，轧机咬钢时伺服阀不再大幅度反复偏摆，在一定程度上延长了伺服阀的使用寿命。

改进后的效果

精轧机AGC自动厚度控制系统改进和优化之后，轧机辊缝控制精度更准确，轧机咬钢时AGC油缸位置调整量明显减小，伺服阀的动作更加平稳，轧制力变化趋于平滑，轧制过程中动态辊缝补偿更精确，轧出的钢板同板差明显降低。图8是AGC自动厚度控制系统改进前后的钢板每侧最薄点与平均厚度之间的误差分布曲线(其中40前为优化前曲线部分，40后为优化后曲线部分)，从图8中可以看出，优化后比优化前头部减薄情况改善了0.2~0.3 mm，效果明显。

结束语

中厚板轧机AGC自动厚度控制的准确性主要取决于轧机的运行状态，现场检测仪表的测量精度和反馈数据的真实性，AGC油缸的响应速度和控制精



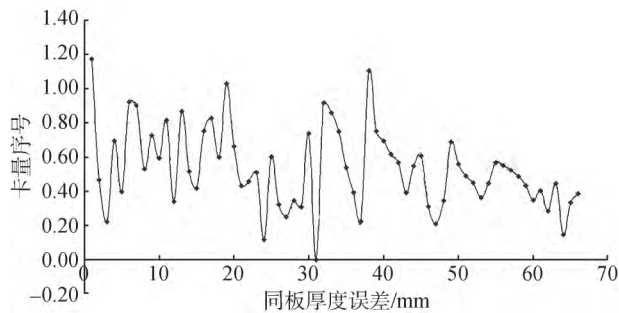


图8 AGC自动厚度控制系统改进前后钢板最薄点与平均厚度之间的误差分布

度以及AGC自动厚度控制功能的正确性。随着轧机状态和设备性能的不断变化,需要对轧机AGC自动厚度控制的程序逻辑和控制参数进行不断的改进和优化,提高轧机辊缝自动控制的精度,减小钢板同板差,保证轧机能够轧制出合格的高质量的产品,满足用户的需要。

**作者简介:** 胡学剑(1982—),男,河南省舞钢市人,现场技术管理,高级工程师。2005年毕业于郑州大学计算机科学与技术专业,主要研究方向:电气自动化。E-mail: suejine@126.com。

(上接第19页)

这主要是由于钢中第二相的变化造成的。

(3) 随着模拟焊后热处理温度的升高、保温时间的延长,基体位错密度越低,合金元素析出越多,第二相粒子聚集长大越明显,所以钢板的强度越低,韧性越差,塑性越好。

(4) 与延长保温时间相比,提高模拟焊后热处理温度对钢板性能的影响更明显。对于SA-738Gr.B钢板,经660℃模焊后即使保温时间缩短至8 h,钢板的强韧性也达不到标准要求。

#### 参考文献

- [1] 王永峰,杜广波,李浩. AP1000核电关键设备的制造特点及国产化. 电力与能源, 2010, 31(1): 28
- [2] 董富军,张留洪,刘小林. 模拟焊后热处理对630 MPa压力容器用钢组织和性能的影响. 金属材料与冶金工程, 2017, 45(1): 78

**作者简介:** 林明新(1971—),女,河南省舞钢市人,高级工程师。1994年毕业于武汉科技大学金属压力加工专业。主要研究方向:锅炉压力容器钢板、核电用钢板。2016年获河北省科技进步奖二等奖,2018年获河北冶金(钢铁)科学技术奖一等奖。E-mail: wgguolu@163.com。



摄影 安孟辉

