

Multi-roller Straightening Process of High-strength Medium Plate Based on Finite Element Method

Hanxin Wang

Xiangyang Boya Precision Equipment Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441057, China

Abstract

In this paper, a finite element simulation model for multi roller straightening of high strength medium and thick plates is established. In order to study the distribution of straightening force on each roller during the straightening process, a three-dimensional shell element model is first established to obtain the straightening force of each roller, providing a basis for the design of multi roller straightening machines. In order to study the stress and strain distribution on the strip during the straightening process, a two-dimensional plane strain element model was established, and the equivalent plastic strain distribution of the strip during the multi roller straightening process was obtained, providing a theoretical basis for determining and optimizing the process parameters of multi roller straightening.

Keywords

high-strength medium thick plate; multi-roller straightening; finite element simulation; straightening force; equivalent plastic strain

基于有限元的高强度中厚板多辊矫直过程研究

汪瀚鑫

襄阳博亚精工装备股份有限公司, 中国 · 湖北 襄阳 441057

摘 要

论文建立了高强度中厚板的多辊矫直有限元仿真模型。为了研究矫直过程中各辊的矫直力分布,建立了三维壳单元模型,得出了各辊矫直力的大小,为多辊矫直机的设计提供了依据。为了研究矫直过程中板带上应力应变分布,建立了二维平面应变单元模型,得出了多辊矫直过程中板带的等效塑性应变分布情况,为多辊矫直的工艺参数确定和优化提供理论基础。

关键词

高强中厚板; 多辊矫直; 有限元仿真; 矫直力; 等效塑性应变

1 引言

板材的生产流程主要分为四部分: 冶炼—连续浇铸—轧制—后处理^[1,2]。后处理是产品交付前的最后一个流程,对板形质量有决定性影响。多辊矫直机在冶金生产线上广泛使用,根据功能需求不同可能会在同一条生产线上多处布置^[4],是重要的板材后处理设备,直接决定了板形质量^[5]。然而,中国多辊矫直机设计仍停留在经验阶段,设计中计算的矫直力过大,造成矫直设备较为笨重,对多辊矫直过程中板带的弹塑性变形认识不足,工艺参数设置不合理,导致矫直效果不理想。

论文以某高强度中厚板生产线上的十七辊矫直机为对象,运用有限元软件对矫直过程进行分析,研究矫直过程中各辊的矫直力分布,探究矫直过程中板带厚度方向各层的状

态变量演化规律,为多辊矫直机的设计提供了依据,建立多辊矫直的工艺参数确定的理论基础。

3 高强度中厚板多辊矫直过程有限元模型建立

3.1 矫直工艺参数

某高强度中厚板生产线上的十七辊矫直机的工艺参数如表 1 所示,板带材料为某高强钢,采用理想材料模型。

表 1 矫直机工艺参数

辊径	110mm
辊距	120mm
板厚	4mm
入口压下量	10mm
出口压下量	0
板材屈服强度	1400MPa
板宽	1000mm

3.2 矫直过程的三维壳单元有限元模型的建立

多辊矫直机的矫直过程一般分为两步: 第一, 上排工作

【作者简介】汪瀚鑫(1994-),男,中国湖北谷城人,本科,助理工程师,从事冶金装备研究。

辊以一定的倾角下压,使压下量沿入口到出口方向逐渐减小,出口压下量为零;第二,上下排的工作辊以一定的角速度转动,带动板带前进,在这一过程中板带发生逐步递减的反复弹塑性弯曲变形,完成矫直。根据上述的工作过程进行简化或等效处理,工作辊采用刚体模拟,板带采用壳单元(S4R)模拟,单元尺寸为5mm,采用对称模型以节省计算时间,有限元模型如图1所示。

3.3 矫直过程的二维平面应变单元有限元模型的建立

为了分析板带在拉矫过程中沿厚度方向上的塑性变形及应力应变行为,由于板带厚度远小于其宽度,将矫直过程等效为一个平面应变问题,工作辊采用刚体模拟,板带采用平面应变单元(CPE4R),板带沿厚度方向上划分16层(如图2所示),以准确展现沿厚度方向上的塑性变形行为。

4 高强度中厚板多辊矫直过程仿真计算结果

4.1 各工作辊的矫直力

通过仿真计算,在矫直过程中,各个辊的矫直力不是

维持不变的,而是在一个值附近来回震荡的。矫直力主要分布在垂直于板带表面方向,取变化过程中的均值为矫直力,列出各辊矫直力并与实测值对比,如表2所示。

从表2中可以看出,第一辊矫直力较小,第二辊矫直力迅速升为最大,其后各辊矫直力开始缓慢减小,从第9辊开始矫直力开始较快地减小,到最后3个辊,矫直力降为零,将仿真得到的矫直力数据和现场实测的数据进行对比,吻合较好,说明论文建立的有限元仿真模型较真实地再现了多辊矫直过程。

4.2 矫直过程中板带的塑性变形

在板带矫直过程中,对图2所示的1号辊前一小段的板带进行跟踪,当这一段板带经过完整的矫直过程后,取各个辊下与板带接触的那一列板带单元,测量出这些单元的等效塑性应变,等效塑性应变是指整个变形过程中塑性应变的累计结果,数值上表述为塑性应变的绝对值之和,如表3所示。

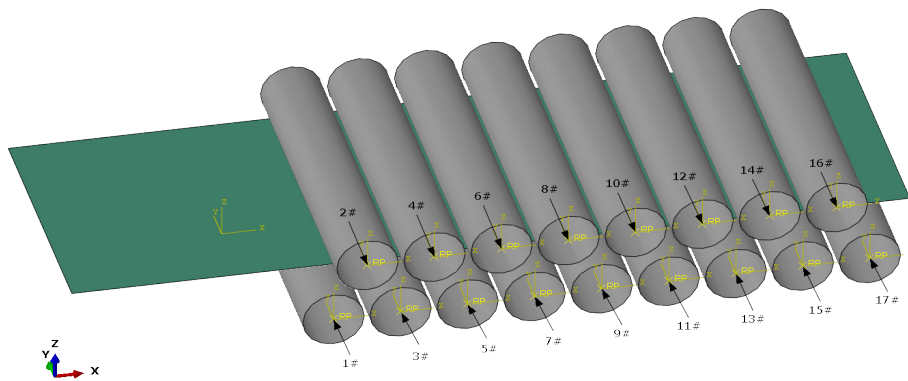


图1 三维壳单元有限元模型

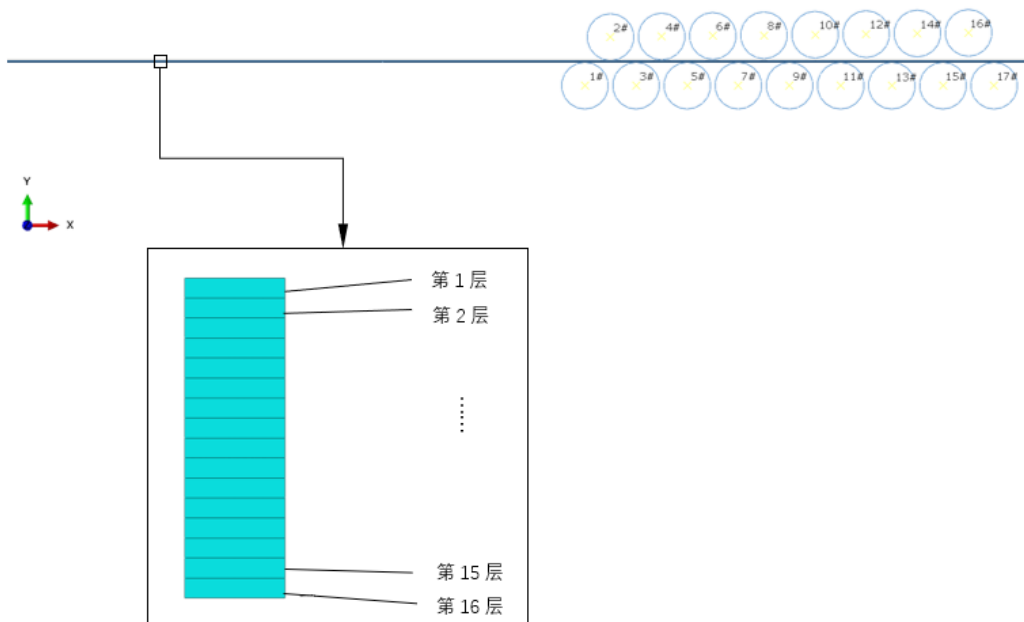


图2 二维平面应变单元有限元模型

表2 各辊的矫直力

辊号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
力/kN	280	480	480	460	460	460	450	440	400	340	250	144	64	30	0	0	0
实测	268	475	488	471	468	463	452	436	409	333	239	131	51	21	0	0	0

表3 板带单元的等效塑性应变

	层1	层2	层3	层4	层5	层6	层7	层8	层9	层10	层11	层12	层13	层14	层15	层16
辊1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
辊2	0.01686	0.0118	0.00737	0.00462	0.00234	0	0	0	0	0	0.00084	0.00397	0.00749	0.01084	0.01458	0.01873
辊3	0.05777	0.04525	0.0318	0.02084	0.01196	0.00255	0	0	0	0.00022	0.00468	0.01428	0.02447	0.03428	0.04438	0.05425
辊4	0.09639	0.07885	0.06151	0.04303	0.02429	0.00585	0	0	0	0	0.01092	0.03029	0.0493	0.06768	0.08645	0.10759
辊5	0.15536	0.12185	0.09033	0.06454	0.03847	0.01421	0	0	0	0.0002	0.01392	0.03971	0.06869	0.10158	0.13795	0.16686
辊6	0.20438	0.17083	0.13093	0.09051	0.05092	0.01668	0	0	0	0	0.02544	0.06373	0.09758	0.12786	0.16128	0.19184
辊7	0.21823	0.17348	0.14304	0.11101	0.06922	0.0265	0	0	0	0	0.02242	0.05992	0.10106	0.14418	0.18939	0.23188
辊8	0.26371	0.21473	0.16597	0.11987	0.07197	0.02529	0.00025	0	0	0	0.02238	0.06913	0.11828	0.17143	0.22753	0.27335
辊9	0.30062	0.24328	0.1825	0.12963	0.0786	0.02664	0	0	0	0	0.02841	0.07847	0.13206	0.18879	0.2405	0.28823
辊10	0.32378	0.26154	0.19765	0.13929	0.08093	0.02622	0	0	0	0	0.02823	0.08611	0.14604	0.20609	0.25907	0.30727
辊11	0.32776	0.27066	0.21313	0.15076	0.08726	0.02727	0.00019	0	0	0	0.02467	0.08161	0.14219	0.20744	0.27568	0.33951
辊12	0.36071	0.29228	0.22038	0.1475	0.0815	0.02405	0.00026	0	0	0	0.02698	0.08648	0.15786	0.23345	0.30169	0.36154
辊13	0.36263	0.28961	0.22039	0.14946	0.07989	0.02061	0	0	0	0	0.02607	0.08717	0.15378	0.21939	0.27986	0.345
辊14	0.37274	0.30341	0.22383	0.14919	0.08214	0.02474	0	0	0	0	0.02429	0.07988	0.14642	0.21854	0.29339	0.35929
辊15	0.37126	0.29931	0.22462	0.1481	0.07797	0.0206	0	0	0	0	0.02673	0.08638	0.15448	0.22475	0.2945	0.36025
辊16	0.35452	0.28408	0.21362	0.14744	0.08403	0.02555	0	0	0	0	0.0256	0.08084	0.14568	0.21699	0.29255	0.36314
辊17	0.35289	0.2836	0.21697	0.14764	0.07852	0.01902	0	0	0	0	0.02449	0.08398	0.15236	0.22001	0.28464	0.35146

在矫直上一般定义塑性变形区厚度占总厚度的比率为塑性变形率，用 ξ_s 表示，现有文献认为，较高的塑性变形率是提高矫直效果的必要条件，多数文献认为需要塑性变形率达到80%以上^[8-10]。由上表可知，在目前的工艺参数下，塑性变形率 ξ_s 约为75%，略微不足，需要改进工艺参数如加大压下量。

由表3可以看出，在板带的多辊矫直过程中，在反复弯曲弹塑性变形时中性层始终没有偏移，一直保持在板材厚度中心位置，层间的等效塑性应变沿中性层对称分布，越靠近外侧等效塑性应变越大；1号辊处未发生塑性变形，然后板带的塑性应变沿辊子逐渐累积，直至14号辊后变化不大，因为此时矫直力减小近零，板带在此后不再发生塑性变形。

5 结语

①基于有限元分析软件建立了多辊矫直的三维和二维有限元仿真模型，并通过与现场实测结果的对比，验证了模型的正确性。

②通过对多辊矫直的三维仿真计算，得到了各个辊上

的矫直力分布结果；通过对多辊矫直的二维仿真计算，得到了多辊矫直过程中板带的塑性变形规律，进而可以多辊矫直中的残余应力和延伸率等工艺参数。

③该仿真模型为多辊矫直工艺参数的确定和优化提供了一种可靠方法和有效手段。

参考文献

- [1] Roberts W L. Cold Rolling Of Steel[M]. CRC Press, 1978.
- [2] Roberts W L. Flat processing of steel[M]. Dekker, 1988.
- [3] 王效岗.十五棍组合矫直机关键技术及理论模型的研究[D].兰州:兰州理工大学,2008.
- [4] Linders D C. Cut-to-Length Lines[J]. Handbook of metal forming processes, 1999:145.
- [5] 薛军安,崔丽,胡贤磊,等.塑性变形率对辊式矫直板材的影响[J].东北大学学报(自然科学版),2009,30(5):681-684.
- [6] 崔丽,胡贤磊,郭强,等.高强度中厚板辊式矫直策略分析[J].东北大学学报(自然科学版),2011,32(5):671-674.
- [7] 孙大乐,王学敏,范群,等.强化金属材料强化系数对矫直机辊缝设定的影响分析[J].重型机械,2008(1):26-29.