

利用线材轧制薄带宽展的模拟研究

李胜利 孙傲 田长杰

(辽宁科技大学材料与冶金学院, 鞍山 114051)

摘要 在实验室利用Φ11 mm 铅棒代替热轧线材,通过Φ130 mm 二辊轧机模拟试验热轧圆钢轧制薄带的变形过程。结果表明,当薄带厚度为1.2 mm 时,采用纵轧法宽展可增加35.37%,且随着变形量的增多,宽展变化较小;采用角轧法时,随着送入角的减小,宽展增加明显,拟合得到宽展计算公式为 $\Delta b = 28.67 - 0.26\alpha$,当送入角为20°时,薄带宽度可达到36.12 mm。除此之外,在小变形量范围内进行角轧时,轧件的宽度随着压下量的累积呈线性增长,这有利于得到热轧线材生产大宽厚比薄带的可行性解决方案。

关键词 线材 角轧 宽展公式 薄带 变形规律

Simulation Study on Spread of Thin Strip Rolling by Wire Rod

Li Shengli, Sun Ao and Tian Changjie

(School of Materials and Metallurgy, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114051)

Abstract The deformation process of thin strip rolling by hot-rolled rod is simulated and tested by Φ130 mm two-high rolling mill in laboratory using Φ11 mm lead bar to replace hot-rolling rod. Result show that for thickness of thin strip is 1.2 mm the spread can increase by 35.37% by using longitudinal-rolling method, and with increasing the deformation, the change of spread is small; by using diagonal method with decreasing the bite angle the spread increases obviously, the imitate-defined spread formula $\Delta b = 28.67 - 0.26\alpha$ is obtained, and with bite angle being 20° the width of thin strip is up to 36.12 mm, beside as rolling process is in range of small deformation, with accumulation of reduction the width of rolling piece increases linearly, it is available to get a feasible solution for production of thin-strip with big width-thickness ratio by hot-rolled rod.

Material Index Rod, Diagonal Rolling, Spreading Formula, Thin Strip, Deformation Low

发蓝带钢广泛用于钢材、有色金属、轻纺制品、建材、玻璃、烟草、纸卷、羊毛等货物的包装^[1]。目前生产发蓝带钢最为普遍的方式是将热轧或冷轧后的宽板进行纵剪^[2],但在切边剪处理后,产品边缘质量差,容易出现裂纹、毛刺,不仅容易造成轧机轧制过程中的断带,而且还由于其脱落、粘贴在轧辊上,造成冷轧产品表面压痕缺陷^[3]。为了避免这种缺陷,特别是大宽厚比且要求边部成圆状的高精度发蓝带钢,美国 US5542995A 专利提出了一种以盘卷或钢棒为原材料生产包装钢带的方法,但是这种工艺存在许多问题^[4]。国内专利中同样也提出了以线材为原料的方法,并且在热处理方面进行了改进,根据原料成分的不同,改进以后的薄带钢强度最高可达1 400 MPa^[5]。本试验结合线材在轧制过程中金属流动及宽展变形理论^[6-7],在常温下以一定规格的铅棒为原料模拟热轧线材来验证线材轧制成薄带钢能否达到所要求的宽厚比。

1 轧制时送入角与宽展的关系

1.1 实验材料及方法

实际生产中常见的带钢尺寸(mm)为(0.9 ~

1.2) × (19 ~ 40)。本次实验为了获得1.2 mm × 32 mm 的薄带,利用Φ11 mm 的铅棒进行纵轧,但其宽展并未达到要求,因此为了获得较大的宽展,实验采用角轧的方式来进行轧制;同时改变轧件送入角的大小来研究送入角与宽展的关系,轧件的送入角是指原料的长边与轧辊的轴线所成的角度^[8]。

1.2 实验数据及分析

由表1可以得到,当轧制的各道次压下量一定时,轧件的最终宽度与角轧时轧件的送入角有关。根据上述实验数据拟合出了宽展与送入角的关系曲线,如图1所示。

从图1可以看出,当各道次压下量一定及轧制速度、摩擦因素、轧制温度等其它影响宽展的因素不变

表1 不同送入角下的轧件宽度/mm

Table 1 Width of rolling piece with different bite angle/mm

轧制道次(N)	轧前厚度(H)	轧后厚度(h)	不同送入角的轧后宽度(b)				
			90°	60°	45°	30°	20°
1	11.0	8.0	12.54	12.64	12.82	13.06	13.10
2	8.0	3.0	16.22	17.24	18.54	18.90	21.28
3	3.0	2.2	16.80	19.26	20.64	22.44	26.50
4	2.2	1.7	17.12	21.26	23.84	26.50	32.20
5	1.7	1.2	17.20	23.64	26.16	31.54	36.12

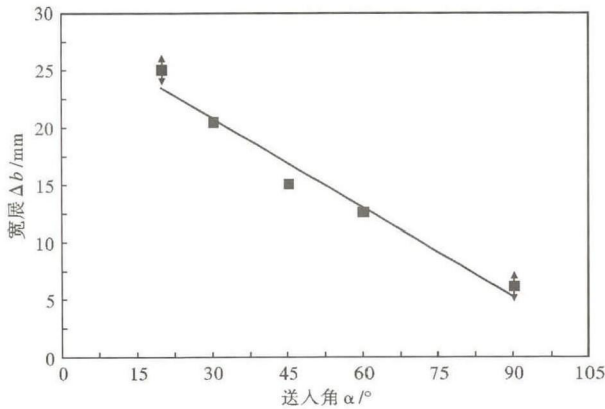


图 1 送入角对薄带宽展的影响
Fig. 1 Effect of bite angle on spread of thin strip

时,轧件的宽展随着送入角的减小呈增大趋势,拟合得到本实验条件下宽展与送入角的变化呈线性关系。

$$\Delta b = 28.67 - 0.26 \alpha \quad (1)$$

式中:Δb- 轧件宽展/mm;α- 送入角/°。其中相关系数 $r_1 = 0.95404$,拟合结果较为准确。

轧制时的压下量及摩擦系数、轧制速度等其它影响宽展的因素不变时轧件的宽展之所以会随着送入角 α 的减小而增大是因为随着 α 的减小,由轧件的受力分析可得,轧件横向上的受力变大,导致轧件的宽展变大。通过对比第 1 道次轧制后轧件的宽度,无论是纵轧还是角轧的送入角 α 如何变化,其第 1 道次轧制后的宽展相差较小。这是由于第 1 道次轧制时,其变形过程是铅棒的压扁过程,属于不均匀变形。变形区是由线接触逐渐变为面接触而且在此之前由于空气的氧化而使原料表面存在着一层氧化物薄膜^[9],从而导致轧制压力和摩擦系数较小。由于宽展系数 C 与轧辊直径、压下量、摩擦系数等因素有关,但是在第 1 道次轧制中金属变形的特殊性使得摩擦对宽展的影响远大于送入角对其的影响,因此由公式^[10] $\mu = \frac{C}{1 + \Delta h/H} + \frac{\Delta h}{2\sqrt{R \cdot \Delta h}}$ 可知,当轧件尺寸及压下量一定时,宽展系数随着摩擦系数的减小而减小,故第 1 道次轧制后的宽展不会随着送入角的减小而发生较大的变化。

2 宽展

2.1 宽展公式

用以下常用的宽展公式进行比较来确定角轧时用于计算第 1 道次轧制后轧件宽展的计算公式。

(1) Sibel 宽展公式:

$$\Delta B = C \cdot \frac{\Delta h}{H} \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (2)$$

式中:C- 钢材的宽展系数;Δh- 压下量/mm;H- 钢材轧压前的厚度/mm;R- 轧辊半径/mm。

(2) 古布金公式:

$$\Delta b = \left(1 + \frac{\Delta h}{H}\right) \left(\mu \sqrt{R \cdot \Delta h} - \frac{\Delta h}{2}\right) \frac{\Delta h}{H} \quad (3)$$

式中:μ- 摩擦系数。

(3) Kazeminezhad 宽展公式^[11]:

$$\frac{W_1}{W_0} = 1.02 \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{0.45} \quad (4)$$

式中:W₀、W₁- 轧制前后轧件的宽度/mm;h₀、h₁- 轧制前后轧件的厚度/mm;R- 轧辊半径/mm。

(4) 近似宽展公式: $dn\pi = 2(b+h)$ (5)

式中:d- 圆钢直径;b,h- 表示扁带钢的宽度和厚度;n- 系数,1.05 ~ 1.25。

由表 2 可知,用上述理论公式计算得到的宽展值的精度略有不同,其中 Kazeminezhad 公式计算结果较为接近实际测量结果,虽然 Sibel 公式计算出的宽展精确度略低于 Kazeminezhad 公式,但从公式的合理性上来看,Sibel 公式考虑影响宽展的因素更全面些。近似宽展公式的计算结果与实验结果的吻合度取决于该公式中的系数 n,为了保证生产产品尺寸的精确,生产前需要进行试样的模拟试验。因此根据实际需要可采用 Kazeminezhad 或 Sibel 公式计算第 1 道次的宽展,但是在角轧的后续道次中,随着累积变形量的增大,计算的理论宽展值与实际测量结果偏离程度越来越大,因此这 4 个宽展公式不适合角轧的其它道次。

2.2 各道次宽展的变化规律

在送入角为 60°时分别做了 3 组宽展实验进行对比。通过改变每组实验的道次压下量来观察角轧时轧件的宽展变化规律,并记录了相应的实验数据,数据结果如表 3 所示。

从表 3 中可以看出,当轧件的送入角(60°)一定时,改变各道次的压下量也可以改变轧件的最终宽度。由于第 1 道次轧件压扁过程中金属流动的不均匀性^[12],发现前道次的宽展量对轧件成品宽度影

表 2 实验结果与理论公式计算宽展结果的对比/mm
Table 2 Comparison between test results and theoretical formulas calculated results of spread /mm

轧前厚度(h ₀)	轧后厚度(h ₁)	轧后宽度(b)	Sibel 宽展公式	古布金公式	Kazeminezhad 公式	近似宽展公式
11	8	12.54 ~ 13.10	12.12	12.09	12.95	10.14 ~ 13.60

表3 送入角60°时不同压下量下的实验数据

Table 3 Tested data with different reduction at bite angle 60°

产品尺寸/ (mm × mm)	道次 (N)	轧前厚度 (H)/mm	轧后厚度 (h)/mm	轧前宽度 (B)/mm	轧后宽度 (b)/mm
1.2 × 21.5	1	11.0	9.0	11.00	11.62
	2	9.0	6.0	11.62	14.56
	3	6.0	3.0	14.56	17.10
	4	3.0	1.8	17.10	19.34
	5	1.8	1.2	19.34	21.58
1.2 × 22.9	1	11.0	8.0	11.00	12.44
	2	8.0	4.0	12.44	16.58
	3	4.0	2.5	16.58	19.42
	4	2.5	1.7	19.42	21.52
	5	1.7	1.2	21.52	22.96
1.2 × 23.6	1	11.0	8.0	11.00	12.42
	2	8.0	3.0	12.42	17.26
	3	3.0	2.2	17.26	19.20
	4	2.2	1.7	19.20	21.28
	5	1.7	1.2	21.28	23.66

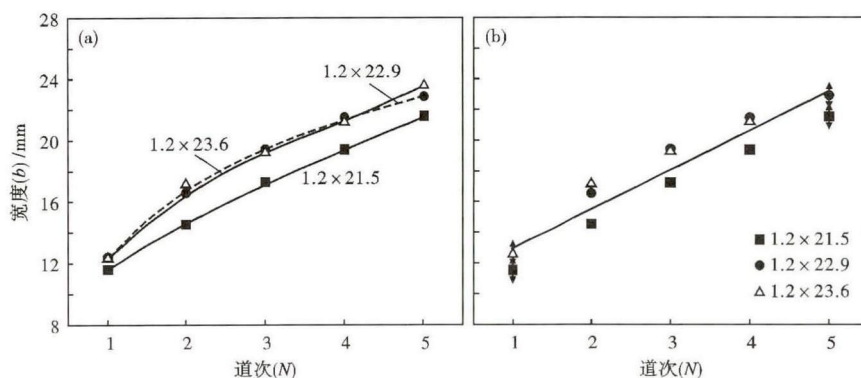


图2 压下量累积(a)和压下量(b)对轧件宽度的影响

Fig. 2 Effect of accumulation of reduction (a) and pass reduction (b) on width of rolling piece

响较大,因此为了提高产品的宽展,可适当的增加前道次的压下量。图2(a)为用上述实验数据做出的轧件宽度随压下量累积变化的关系曲线。

从图2(a)中可以发现,由于各个道次压下量的

不同,导致轧件宽展增长的缓慢程度也不同,总的来说,轧件的宽度随压下量的累积大致呈线性增长趋势。为了更好地研究其变化规律,利用上述实验数据进行了一系列的数据拟合,拟合结果如图2(b)所示。

通过图2(b)可以得知,角轧法之所以能获得大宽厚比的薄带是因为在小变形范围内轧件的宽度与压下量的累积变化呈线性关系,进而获得在本实验条件下轧件宽度与压下量累积变化的关系式。

$$b = 2.57 \Delta h + 10.32 \quad (6)$$

式中: b - 轧件宽度; Δh - 累计变化量,相关系数 $r_2 = 0.91382$ 。该线性公式的斜率随轧件的送入角的减小而增大。

3 结论

(1) 当轧制道次压下量及摩擦因素、轧制速度等其它影响宽展的因素不变时,轧件的宽展随着送入角的减小呈增大趋势,并且拟合得到宽展与送入角之间的线性关系式为: $\Delta b = 28.67 - 0.26 \alpha$ 。

(2) 在第1道次轧制压下量较小的范围内,无论是纵轧还是角轧的送入角 α 如何变化,其第1道次轧制后的宽展相差较小,因此可用 Kazeminezhad 或 Sibel 公式求得第1道次宽展的近似值。

(3) 在小变形范围内进行角轧时,轧件的宽度随着压下量的累积变化呈线性增长,此线性关系式的斜率与轧件的送入角有关。

参考文献

- [1] 黄非,胡敏,张万灵,等. 高强度捆带生产的质量控制[J]. 武汉工程职业技术学院学报, 2011, 23(1): 11-15.
- [2] 师晓莉,宋清华,王伯健,等. 平辊压扁轧制纺织器材专用超窄钢带的工艺研究[J]. 纺织器材, 2007, 34(2): 68-72.
- [3] 洪运涛. 切边剪“毛边”原因分析及技术改进[J]. 钢铁研究, 2010, 38(3): 60-62.
- [4] Reilly Robert. Method of Making Steel Strapping and Strip and Strapping and Strip; US, 5542995 [P]. 1996-08-06.
- [5] 赵朋,高义,王义栋. 高强度包装钢带的生产设备及其生产方法; 中国, 1927482 [P]. 2007-03-14.
- [6] Kazeminezhad M, Karimi Taheri A. A Theoretical and Experimental Investigation on Wire Flat Rolling Process Using Deformation Pattern [J]. Materials and Design, 2005, 26(2): 99-103.
- [7] 刘世锋,徐萍,王伯健. 304 不锈钢扁钢丝轧制过程中的宽展研究[J]. 特殊钢, 2009, 30(4): 19-21.
- [8] 陈林,定巍,方琪. 板带钢生产技术 1000 问 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 133-134.
- [9] 赵虎. 超窄不锈钢带的成型工艺及组织性能研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2006.
- [10] 林吉曙. 纺织器材用钢材轧制和压扁宽展的研究 [J]. 纺织器材, 2001, 28(1): 23-26.
- [11] Kazeminezhad M, Karimi Taheri A. An Experimental Investigation on the Deformation Behavior during Wire Flat Rolling Process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 160(3): 313-320.
- [12] 徐萍,王伯健,刘世锋. 平辊轧制扁钢丝的研究 [J]. 金属制品, 2009, 35(3): 3-7.

李胜利(1967-),男,博士(2006年东北大学),教授,1988年鞍山钢铁学院(本科)毕业,金属压力加工研究。

E-mail: lishengli66@sohu.com

收稿日期: 2015-11-02