

(6) 21-25

厚壁管微张力减径过程有限元计算分析的实验研究

冀文生 郝润元 田晓虹

(太原重型机械集团(有限)公司设计研究院 030024 TEL:(0351)6362594)

杜凤山 于辉

(燕山大学)

摘要:本文通过弹塑性有限元对厚壁钢管微张力减径过程中的壁厚变化作了计算分析,并与实验结果进行了对照,证明了用弹塑性有限元分析微张力减径过程是可行的,并得出一些结论,这对于用有限元手段开发新品种,推广微张力减径技术有重要的意义。

关键词:钢管、微张力、减径、有限元、实验

厚壁管 实验研究

钢管的精度有直径精度和壁厚精度。直径精度反映出来的是钢管的椭圆度,壁厚精度反应出来的是钢管的壁厚均匀度。生产钢管时,除了内外表面质量外,最重要的就是钢管的壁厚均匀度。引起壁厚不均的原因很多,但工艺参数是主要原因。由于对壁厚不均的研究分析理论不是十分成熟,国内不少工厂在很多情况下都以正公差进行生产,因此钢管的实际重量常超过理论重量的10%,使得金属消耗大大增加。由于微张力减径是热轧的最后一道环节,它直接决定钢管的直径公差,并对壁厚公差起关键作用。为了能更准确地反映钢管的微张力减径过程,把仿真结果与实际结果统一起来,本文着重对TZ355微张力减径机组厚壁管实验的品种进行有限元分析和研究。本文的有限元计算是在燕山大学杜凤山教授开发的EPFEP3大变形弹塑性有限元程序上进行的。

1. 微张力减径有限元仿真计算的边界条件和工艺参数

由于三个轧辊轧制的对称性,所以取轧件的六分之一进行研究。

轧辊直径:355mm

机架间距:325mm

机架数:7

轧辊材料:无限冷硬球墨铸铁

轧辊角位移增量: $\Delta\alpha=0.01091\text{rad}$

摩擦层厚度:0.1mm

屈服函数: $y=50+300\ln(\epsilon_p+1)\text{MPa}$

摩擦系数:0.4

单元:八节点六面体等单元

节点数量: $26\times 48=1248$

轧制温度:950℃

坯料尺寸: $\varnothing 108\times 15$,材料:20#,45#

张力情况:反复对国内外的各种资料进行对比研究,最后张力采用斜梯形分布,通过三维解析法编制程序对通过每一机架的前后张力进行计算,然后平均分配到每节点上:

$\varnothing 108\times 15$,材料:20#(张力系数:0.268)

机架号	1	2	3	4	5	6	7
张力(N/每节点)	120	260	320	250	180	90	0

$\varnothing 108\times 15$,材料:20#(张力系数:0.134)

机架号	1	2	3	4	5	6	7
张力(N/每节点)	60	130	160	125	90	45	0

$\varnothing 108\times 15$,材料:20#(张力系数:0)

机架号	1	2	3	4	5	6	7
张力(N/每节点)	0	0	0	0	0	0	0

设计孔型参数表

机架间距:325mm 轧辊理想直径:355mm

机架序号	半长轴 a	半短轴 b	刀具直径	距离	椭圆度
1	53.218	51.218	108.966	27.063	1.0325
2	51.585	49.927	105.710	27.174	1.0332
3	49.977	48.389	102.414	26.829	1.0328
4	48.418	46.898	99.222	26.482	1.0328
5	46.909	45.453	96.128	26.133	1.0320
6	45.749	44.894	92.827	20.018	1.0191
7	45.137	44.950	89.900	0	1

机架序号	2a(mm)	2b(mm)
1	合乎样板	合乎样板
2	无法量	99.83
3	99.5	96.76
4	96.50	93.745
5	93.35	90.80
6	90.30	89.80
7	89.80	90.16

2. 微张力减径有限元仿真计算结果的处理和分析

我们将有限元计算的各节点的信息直接与 Autocad 接口,可得到轧件的三维变形图,经处理可得到完整的稳态变形图。我们取第十五层截面作为研究对象。共可得到各品种通过各机架的稳态变形图。

考虑到轧辊的对称性,我们把轧件的六分之一作为研究对象,在横向取均匀的十点作计算分析。根据机架轧辊的布置,点1通过机架1时为轧辊孔型底部,通过机架2时为轧辊辊缝处,同样以此类推,……,通过机架7时为轧辊孔型底部。对于点10则相反,通过机架1时为轧辊辊缝处,通过机架2时为轧辊孔型底部,同样以此类推,……,通过机架7时为轧辊辊缝处。以下为7个轧制品种通过每一机架后10点的壁厚变化。

∅108×15,材料:20#(张力系数:0)

	第一架	第二架	第三架	第四架	第五架	第六架	第七架
点1	15.221	15.56	15.008	15.928	15.362	16.246	15.436
点2	15.1845	15.5281	15.046	15.9316	15.3613	16.2284	15.459
点3	15.1567	15.4758	15.2838	15.9126	15.5065	16.2433	15.6018
点4	15.1634	15.488	15.4767	15.8903	15.6759	16.1757	15.7684
点5	15.1512	15.5107	15.5256	15.9107	15.7907	16.0818	15.8971
点6	15.1808	15.4665	15.5956	15.7986	15.9901	15.8678	16.0922
点7	15.2329	15.4375	15.5955	15.7603	16.0536	15.7416	16.2019
点8	15.2898	15.301	15.6606	15.5085	15.9634	15.5781	16.2711
点9	15.3173	15.220	15.6143	15.2572	16.3689	15.4368	16.253
点10	15.3249	15.3079	15.7223	15.2312	16.2523	15.3036	16.1515
平均值	15.22225	15.42763	15.45284	15.7129	15.83247	15.89048	15.9132
偏差	0.0668	0.112359	0.2539	0.2780	0.35445	0.35776	0.3279

∅108×15,材料:20#(张力系数:0.134)

	第一架	第二架	第三架	第四架	第五架	第六架	第七架
点 1	15.233	15.243	15.687	15.218	15.938	15.722	15.851
点 2	15.2158	15.2433	15.6189	15.306	15.7802	15.7672	15.7475
点 3	15.2076	15.3326	15.6791	15.3995	15.7637	15.856	15.7872
点 4	15.1928	15.3725	15.6243	15.3008	15.807	15.712	15.8933
点 5	15.194	15.4044	15.5577	15.4197	15.8	15.8374	15.8993
点 6	15.1998	15.4144	15.5154	15.5766	15.6832	15.9158	15.8324
点 7	15.2042	15.4881	15.4673	15.6338	15.5596	15.8616	15.7153
点 8	15.2355	15.4638	15.4503	15.6751	15.6965	15.78	15.852
点 9	15.1566	15.4779	15.3568	15.734	15.6146	15.7669	15.7761
点 10	15.242	15.5436	15.3285	15.8715	15.5077	15.9168	15.7178
平均值	15.20813	15.39839	15.52853	15.5135	15.71505	15.81357	15.80719
偏差	0.02527	0.10180	0.1271	0.2157	0.12936	0.0745	0.0682

∅108×15,材料:20#(张力系数:0.268)

	第一架	第二架	第三架	第四架	第五架	第六架
点 1	15.159	15.174	15.156	15.176	14.936	15.296
点 2	15.1372	15.2268	15.147	15.2335	15.0051	15.3351
点 3	15.1241	15.2069	15.1821	15.2918	15.2022	15.3741
点 4	15.1517	15.232	15.2074	15.3482	15.2761	15.505
点 5	15.1334	15.287	15.2648	15.3716	15.5799	15.6682
点 6	15.1485	15.3055	15.2562	15.4928	15.5306	15.48839
点 7	15.206	15.2127	15.2152	15.2387	15.4279	15.4386
点 8	15.2664	15.2542	15.277	15.1696	15.37	15.3329
点 9	15.3505	15.2741	15.4436	14.9893	15.3403	15.1121
点 10	15.3343	15.2842	15.381	14.7784	15.2757	15.0194
平均值	15.19811	15.24574	15.25303	15.20899	15.29438	15.356979
偏差	0.088	0.0421	0.0958	0.2030	0.2066	0.1891

我们把∅108×15三种张力情况下的10点通过各个机架的横向、纵向壁厚变化列表对比分析,由于D/S=7.2,钢管属于厚壁管,我们以此品种来研究厚壁管,通过各种对比分析,我们可以看出:

在无张力时,点1、2、3和点10、9、8(靠近轧辊孔型底部和辊缝)在轧制过程中壁厚波动幅度较大,通过轧辊孔型底部时减壁明显,通过轧辊辊缝时增壁明显。在远离孔型底部和辊缝的点4、5、6、7则表现为平缓增壁。

在中张力时,10个点壁厚变化的波动幅度明显减小,但还存在明显的减壁增壁过程。通过第1机架时,在前张力的作用下,壁厚缓慢增加,增加值较小且分布较均匀。在中间机架时,由于有中等的前后张力作用,在第3机架的7、8、9、10点和第四机架的1、2、3、4、5点减壁明显,且规律与无张力时相反。张力递减的第5、6、7机架,壁厚变化较均匀,除1、10两点外均呈增壁现象。

在施加了大张力之后,从壁厚的变化中明显看出:壁厚在每一点的延伸趋势上,变化平缓,波

动幅度小于上述两种情况。在前张力继续加大的第1机架,壁厚变化的增加值较大,分布情况较上述两种情况大。在后面几个机架时,壁厚变化较稳定且在轧辊辊缝处增壁在孔型底部处减壁。

综合以上的数据和分析,我们可以得出一些厚壁管在椭圆孔型的微张力减径规律,它与国外用刚塑性有限元的计算结果非常接近:

1)在光有前张力的情况下,钢管横断面的壁厚变化随着张力的增加而增加,壁厚波动幅度加剧。在光有后张力的情况下,钢管横断面的壁厚变化也随着张力的增加而增加,壁厚波动幅度加剧。这与我们在实际应用中的情况符合;张力的升起和落下不能太快,否则壁厚变化太剧烈影响钢管质量。

2)从钢管的纵向延伸上看,随着张力的增加,壁厚变化趋于平缓且幅度递减,有利于提高钢管质量。因此,在允许的微张力情况下,尽量用较大的张力。

3)在有前后张力的情况下,随着张力的增加,横向的壁厚偏差均比无张力时有所改善,但随着

张力的增加,壁厚的横向壁厚偏差有加大的趋势,这说明较大的张力对横向和纵向的影响是不相同的,在具体品种时应综合考虑,以便提高钢管的质量。

4)轧件在孔型中部的点 5、6 在无张力减径时是壁厚最薄或最厚的,但经微张力减径后,它是壁厚最厚的地方,这也是张力减径产生内六角的基本原因,由于微张力减径的减径率较小,机架轧制次数较少,因此虽有内六角的可能,但一般不发生。

5)随着张力的增加,单机架的延伸率也逐渐增加且比较平稳,这有助于提高钢管质量。

3. 实验数据的分析

我们对四个轧制品种进行了实验,边界条件与有限元相同。

3.1 壁厚偏差平均值的对比分析

我们经过数据整理和计算,得到了毛管、成品管壁厚偏差的平均值(包括头部和尾部),整理归纳如下:

1)5 只 45# $\varnothing 108 \times 15$ 毛管的壁厚偏差值如下(张力系数 0.268):

0.0446, 0.389, 0.346, 0.394, 0.502, 0.595, 0.541, 0.850, 0.444, 1.642

10 个偏差值的平均值为:0.5017

5 只成品管的壁厚偏差值为:

0.346, 0.196, 0.369, 0.436, 0.59, 0.332, 0.445, 0.312, 0.324, 0.260

10 个偏差值的平均值为:0.361

减径后较减径前的平均偏差值减少了 28%

2)5 只 20# $\varnothing 108 \times 15$ 毛管的壁厚偏差值如下:

0.446, 0.398, 0.346, 0.394, (0.502, 0.595), 0.541, 0.850, 0.444, 1.642

8 个偏差值的平均值为:0.633

4 只成品管(1 只轧卡)的壁厚偏差值为:

0.58, 0.14, 0.558, 0.393, 0.344, 0.301, 0.317, 0.264

8 个偏差值的平均值为:0.362

减径后较减径前的平均偏差值减少了 43%

从以上可以看出壁厚偏差的变化规律与我们用有限元计算分析的非常接近,即有张力的减径比无张力的减径能改善壁厚不均的情况。

3.2 $\varnothing 108 \times 15$ 实验结果分析

我们分析轧卡的 3# 和与有限元计算初始条件接近的 4#。

3# 的情况如下:

第一段入口的壁厚偏差如下:

0.174, 0.217, 0.119, 0.195, 0.216, 0.329, 0.166, 0.241

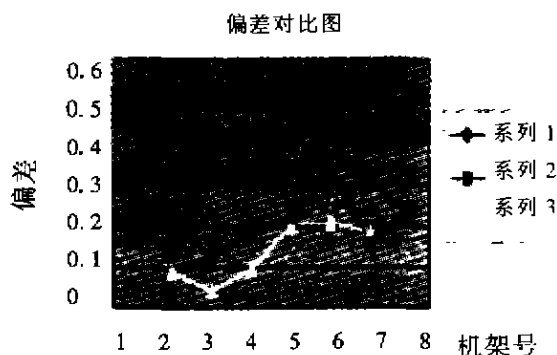
第一段出口的壁厚偏差如下:

0.215, 0.133, 0.413, 0.327, 0.520, 0.513, 0.309, 0.225

有限元计算的结果为:

0.088, 0.0421, 0.0958, 0.2030, 0.2066, 0.1891

把上述三组数据作图 2 以对照分析。



图形基本吻合。

4# 管的测量结果如下:

毛管壁厚为:

头部:15.63, 16.25, 15.45, 14.70, 14.85, 14.0, 14.30, 15.70

尾部:16.36, 18.08, 16.95, 15.67, 12.60, 12.09, 14.36

平均值为:15.18

总平均值为:15.15

有限元计算初始值为:15.00

成品管壁厚:切为 4 段,共 8 个截面,平均值分别为:

15.63, 16.17, 15.79, 16.05, 15.26, 15.10, 15.49, 15.15

总平均值为:15.58

有限元计算结果为:15.36

毛管比有限元计算初始值大 0.15, 成品管比有限元计算结果大 0.21, 这说明有限元计算比较准确。

结论

本文采用三维大变形弹塑性有限元着重对厚壁钢管在椭圆孔型下张力减径的过程的壁厚变化进行了计算。通过理论计算和实验分析我们可以认为: 有限元计算及其边界条件, 各种假设条件是符合实际变形的, 理论计算与实验分析的趋势是一致的。

结合本文的计算和实验分析, 主要得到以下结论:

(1) 用三维大变形弹塑性有限元分析厚壁钢管微张力减径的过程是切合实际的。

(2) 在微张力减径过程中, 提高张力系数能有助于改善厚壁钢管的壁厚不匀。

(3) 在厚壁管微张力减径过程中, 孔型的中部壁厚值最大, 随着张力的增加, 有形成内六角的趋势。

(4) 张力的建立和降落应该缓慢, 否则, 壁厚会剧烈波动, 将影响钢管的质量。

(5) 在无张力情况下, 钢管通过轧辊底部时减壁, 通过轧辊辊缝时增壁。

微张力减径是一个很复杂的过程, 由于时间所限和难度, 本文只涉及了其中的一部分, 大量的研究工作还有待进行。微张力减径是国家的重点推广技术, 拥有良好的市场前景, 进一步对其进行研究有十分重要的意义。

(上接 48 页) 两种轧制力作用方式下计算结果参见表 1。

表 1 两种轧制力作用方式下计算结果表

	轧制力 作用范围	机架最大主 应力(MPa)	机架最大变形 (mm)	最大等效应力 (MPa)	其它部位等效 应力(MPa)
'人'形放置	60°	112.40	0.308	291.4	<19.7
'Y'形放置	60°	83.24	0.293	290.3	<101.3
'人'形放置	90°	48.39	0.142	148.0	<53.5
'Y'形放置	90°	46.53	0.210	147.3	<52.7

4. 结论

通过对这种脱管机方机架进行有限元静力分析, 得到以下几点看法:

1. 脱管机工作时, 方机架变形较小。如果轧制力作用在轧辊支座外侧接触面的 60° 范围内, 方机架最大变形为 0.3mm 左右, 当轧制力作用范围增大, 方机架最大位移减小至 0.21mm 左右。

2. 方机架轧辊支座轧制力作用的支座外侧端部存在一定的应力集中, 最大主应力峰值为 112.4MPa, 最大等效应力峰值为 291.4MPa, 而机架其它部位的应力较小。

3. 比较两种不同轧制力作用范围的方机架计算结果, 不难看出, 轧制力的大小及作用方向直接影响着机架的变形及应力分布状态。轧制力作用的范围越小, 作用力越集中, 机架的应力集中就越明显。可见, 确定轧制力的实际分布状态, 对了解机架真实应力分布具有重要意义。

4. 从机架的等效应力分布云图上看, 除轧辊

支座外侧载荷作用处等效应力较高外, 机架其它部位的应力均在 103.7MPa 以下, 应力水平较为均衡。这说明该机架具有相当强度, 基本处于等强度设计。

5. 由于支座外侧有一定的应力集中, 尽管衰减很快, 但仍可能会对机架的使用寿命有一定影响。建议在此处采取一定措施, 以降低其应力峰值。

综上所述, 脱管机方机架的强度和刚度设计是合理的。但是, 应当指出, 由于载荷是以集中力方式作用在结构上的, 对载荷作用处的峰值应力可能会有一定影响。同时, 由于脱管机的工作是一个极其复杂的动态过程, 仅靠有限元静力分析是远远不够的。要想了解方机架在钢管轧制过程中的真实应力分布, 还应进行现场实测, 并对实测数据进行有限元动力分析。这样, 才能更全面地了解机架的结构力学特性。