



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114226594 A

(43) 申请公布日 2022.03.25

(21) 申请号 202111445142.5

(22) 申请日 2021.11.30

(71) 申请人 武汉钢铁有限公司

地址 430083 湖北省武汉市青山区厂前2号
门股份公司机关

(72) 发明人 甄瑞斌 王潇 古兵平 刘明辉
杨国义 张晗 聂顺

(74) 专利代理机构 武汉开元知识产权代理有限公司 42104

代理人 赵龙骧

(51) Int. Cl.

B21F 1/02 (2006.01)

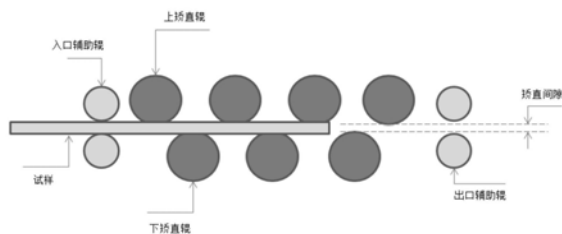
权利要求书2页 说明书10页 附图1页

(54) 发明名称

一种热轧光圆钢筋消除内应力的矫直方法

(57) 摘要

本发明涉及冶金材料检测领域,具体涉及一种热轧光圆钢筋消除内应力的矫直方法。本发明的方法是通过若干个不同规格的试样,应用统计分析,先得到试样对应的最大矫直间隙 b_{max} 与实测直径 d_0 、初始挠度 N_0 的函数关系,然后再以最大矫直间隙 b_{max} 矫直不同次数,得到与人工时效得出相同结果时的矫直最少次数 t_{min} ,应用上述方法消除待处理的热轧光圆钢筋内应力时,先根据已有的函数关系计算该试样的最大矫直间隙 b_{max} ,最后以 b_{max} 为矫直间隙进行矫直后再进行下一步操作,矫直的最少次数为 t_{min} 。利用本发明的方法消除应力后再进行拉伸试验,可获得与人工时效一致的检验结果,从而替代耗时较长的人工时效,检验周期可由4小时/根缩短至30min/根,大大提高了检验效率。



CN 114226594 A

1. 一种热轧光圆钢筋消除内应力的矫直方法,其特征在于,所述矫直方法包括以下步骤:

(1) 取某规格名义直径为 d 的盘条,在盘条相邻位置连续截取 n 根长度相同的试样,检测所有试样的实测直径 d_0 ,将实测直径 d_0 作为初矫矫直间隙 b_0 对试样进行一次初矫;

(2) 确定最大矫直间隙 b_{\max} :

初矫完成后,测量试样的初始挠度 N_0 ,然后各试样分别再进行第一次矫直,各试样的矫直间隙按照从初矫矫直间隙 b_0 开始依次递减的方式进行,各试样分别矫直后,测量其挠度,进而获得该规格盘条的试样矫直后挠度达到或者小于名义直径 d 时试样对应的矫直间隙,取其中最大的一个,即为最大矫直间隙 b_{\max} ;

(3) 分别选取不同规格的盘条,每个规格选择若干批次的盘条重复步骤(1)和(2),得出不同规格的各批次试样的最大矫直间隙 b_{\max} ,然后利用JMP拟合模型逐步回归法进行回归分析,以各试样的最大矫直间隙 b_{\max} 为因变量,试样对应的实测直径 d_0 、初始挠度 N_0 为自变量进行回归分析,得到最大矫直间隙 b_{\max} 与实测直径 d_0 、初始挠度 N_0 的关系式,式(A);

(4) 确定最少矫直次数 t_{\min} :

a) 选用某一规格的盘条,在盘条的相邻位置连续截取若干根长度相同的试样,所有试样按照步骤(1)进行初矫;

b) 初矫完成后,根据式(A)计算其最大矫直间隙 b_{\max} ;接着任选其中的一部分试样进行人工时效,其他的试样利用矫直机进行矫直;

人工时效的具体步骤为:先利用步骤a)计算出的最大矫直间隙 b_{\max} 进行一次矫直,然后进行人工时效,完成后进行拉伸试验,得到测得屈服强度、抗拉强度、断后伸长率的均值,该均值作为该批试样拉伸结果的可靠结果;

矫直机矫直的方法为:将试样均分为若干组,每组试样分别进行不同次数的矫直,每次矫直的间隙均为步骤a)计算得到的最大矫直间隙 b_{\max} ,矫直完成后进行拉伸试验,测得屈服强度、抗拉强度、断后伸长率,并分别计算每组拉伸结果的均值,作为该批试样进行不同次数矫直的拉伸试验结果;

将人工时效的拉伸试验结果分别与矫直不同次数的拉伸试验结果进行配对t检验,当配对t检验结果 $p > 0.05$ 时,代表在采用该矫直次数下测得的拉伸性能与人工时效后测得的拉伸性能无明显差异,此时矫直次数最小值,即最少矫直次数 t_{\min} ;

(5) 应用上述方法消除待处理的热轧光圆钢筋内应力时,利用矫直机,按照步骤(1)对待处理的热轧光圆钢筋进行初矫,然后根据式(A)计算最大矫直间隙 b_{\max} ,最后以 b_{\max} 为矫直间隙进行矫直后再进行下一步拉伸性能检测操作,矫直的最少次数为 t_{\min} 。

2. 根据权利要求1所述的矫直方法,其特征在于,所述步骤(3)中的式(A)为: $b_{\max} = 3.46 + 0.86d_0 - 0.07N_0$ 。

3. 根据权利要求1所述的矫直方法,其特征在于,所述人工时效条件为:温度 $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$,时间60min-75min。

4. 根据权利要求2所述的矫直方法,其特征在于,步骤(4)中选取矫直辊数量为7的矫直机,选取名义直径为6mm、8mm、10mm、12mm的4个规格盘条进行实验,确定的最少矫直次数 t_{\min} 分别为:3次、3次、4次、4次。

5. 根据权利要求4所述的矫直方法,其特征在于,对于其他不同矫直辊数量的矫直机可

作对应转换获得最少矫直次数,设定上矫直辊数目为 n_1 ,下矫直辊数目为 n_2 ,则矫直辊数量与最少矫直次数的关系如下:

$$\text{名义直径为6mm,最少矫直次数 } t_{\min} = \frac{7}{(n_1+n_2)} \times 3 ;$$

$$\text{名义直径为8mm,最少矫直次数 } t_{\min} = \frac{7}{(n_1+n_2)} \times 3 ;$$

$$\text{名义直径为10mm,最少矫直次数 } t_{\min} = \frac{7}{(n_1+n_2)} \times 4 ;$$

$$\text{名义直径为12mm,最少矫直次数 } t_{\min} = \frac{7}{(n_1+n_2)} \times 4 ;$$

以上各式的结果中,在非整数时均向上取整数。

一种热轧光圆钢筋消除内应力的矫直方法

技术领域

[0001] 本发明涉及冶金材料检测领域,具体涉及一种热轧光圆钢筋消除内应力的矫直方法。

背景技术

[0002] 钢筋作为重要的建筑主体材料在建筑构件稳固性中发挥着重要作用,拉伸性能是评价钢筋质量最为直观的指标之一,因此如何快速准确地获得拉伸性能,对于钢企和客户都至关重要。而钢筋拉伸试验结果受内应力的影响,通常试验前采用自然时效或人工时效等方式消除内应力后进行拉伸试验。通过相关文献可知钢筋自然时效需要15天以上方可消除内应力,人工时效至少需要升温、保温、降温等过程,约需要耗时4个小时才可开展试验。以上两种方式均不能满足目前钢厂对检验效率的要求。

[0003] 消除内应力的方式除了自然时效和人工时效外,还可通过施加外部机械力来实现,比如敲打振动、矫直等。

发明内容

[0004] 通常热轧光圆钢筋拉伸试验前进行简单矫直,并采用自然时效或人工时效的方式消除内应力后,再进行拉伸试验,此种方式耗时较长,不能满足目前钢企零库存及低成本运行要求。消除内应力的方法除自然时效或人工时效两种方法外,还可采用施加外部机械力消除内应力来提高检验效率,比如重复矫直,但如何矫直方可有效消除内应力并无相关标准或文献,因此需要提供一种热轧光圆钢筋消除内应力的矫直方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明公开了一种热轧光圆钢筋消除内应力的矫直方法,包括以下步骤:

[0006] (1) 取某规格名义直径为 d 的盘条,在盘条相邻位置连续截取 n 根长度相同的试样,检测所有试样的实测直径 d_0 ,将实测直径 d_0 作为初矫矫直间隙 b_0 对试样进行一次初矫;

[0007] (2) 确定最大矫直间隙 b_{\max} ;

[0008] 初矫完成后,测量试样的初始挠度 N_0 ,然后各试样分别再进行第一次矫直,各试样的矫直间隙按照从初矫矫直间隙 b_0 开始依次递减的方式进行(即第一根试样矫直间隙为 $b_0 - a$ 、第二根试样矫直间隙为 $b_0 - 2a$ 、第 n 根试样矫直间隙为 $b_0 - na$,以此类推),各试样分别矫直后,测量其挠度,进而获得该规格盘条的试样矫直后挠度达到或者小于名义直径 d 时试样对应的矫直间隙,取其中最大的一个,即为最大矫直间隙 b_{\max} ;

[0009] (3) 分别选取不同规格的盘条,每个规格选择若干批次的盘条重复步骤(1)和(2)(优选的,分别选取名义直径为6mm、8mm、10mm、12mm四个规格的盘条,每个规格选择5个批次),得出不同规格的各批次试样的最大矫直间隙 b_{\max} ,然后利用JMP拟合模型逐步回归法进行回归分析,以各试样的最大矫直间隙 b_{\max} 为因变量,试样对应的实测直径 d_0 、初始挠度 N_0 为自变量进行回归分析,得到最大矫直间隙 b_{\max} 与实测直径 d_0 、初始挠度 N_0 的关系式,式(A);

[0010] (4) 确定最少矫直次数 t_{\min} ;

[0011] 选用某一规格的盘条,在盘条的相邻位置连续截取若干根长度相同的试样,所有试样按照步骤(1)进行初矫,初矫完成后,根据式(A)计算其最大矫直间隙 b_{\max} ;接着任选其中的一部分试样进行人工时效,其他的试样进行矫直机矫直;

[0012] 人工时效的具体步骤为:先采用其对应的最大矫直间隙 b_{\max} 进行一次矫直,然后进行人工时效,完成后进行拉伸试验,得到屈服强度、抗拉强度、断后伸长率的均值,该均值作为该批试样拉伸结果的可靠结果;

[0013] 矫直机矫直的方法为:将试样均分为若干组,每组试样分别进行不同次数的矫直,每次矫直的间隙均为上述计算得到的最大矫直间隙 b_{\max} ,矫直完成后进行拉伸试验,测得屈服强度、抗拉强度、断后伸长率,并分别计算每组拉伸结果的均值,作为该批试样进行不同次数矫直的拉伸试验结果;

[0014] 将人工时效的拉伸试验结果分别与矫直不同次数的拉伸试验结果进行配对t检验,当配对t检验结果 $p > 0.05$ 时,代表在采用该矫直次数下测得的拉伸性能与人工时效后测得的拉伸性能无明显差异,此时矫直次数最小值,即最少矫直次数 t_{\min} ;

[0015] (5)使用时,利用矫直机,按照步骤(1)对待处理的热轧光圆钢筋进行初矫,然后根据式(A)计算最大矫直间隙 b_{\max} ,最后以 b_{\max} 为矫直间隙进行矫直,矫直的最少次数为 t_{\min} 。

[0016] 进一步的,所述步骤(2)中,各试样的矫直间隙按照从初矫矫直间隙 b_0 开始依次递减的方式进行,递减的间隙根据矫直机矫直间隙的分辨率进行选择,如递减的间隙为0.1mm,即第一根试样矫直间隙为 $b_0 - 0.1\text{mm}$ 、第二根试样矫直间隙为 $b_0 - 0.2\text{mm}$ 、第n根试样矫直间隙为 $b_0 - n * 0.1\text{mm}$,以此类推)。

[0017] 进一步的,所述步骤(3)中的式(A)为: $b_{\max} = 3.46 + 0.86d_0 - 0.07N_0$;

[0018] 进一步的,所述人工时效条件为:温度 $100^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$,时间60min-75min。

[0019] 进一步的,步骤(4)中选取矫直辊数量为7(包括4个上矫直辊和3个下矫直辊)的矫直机,选取名义直径为6mm、8mm、10mm、12mm的4个规格盘条进行实验,确定最少矫直次数 t_{\min} 分别为:3次、3次、4次、4次。

[0020] 更进一步的,对于其他不同矫直辊数量的矫直机可作对应转换获得最少矫直次数,设定上矫直辊数目为 n_1 ,下矫直辊数目为 n_2 ,则矫直辊数量与最少矫直次数的关系如下:

[0021] 名义直径为6mm,最少矫直次数 $t_{\min} = \frac{7}{(n_1+n_2)} \times 3$;

[0022] 名义直径为8mm,最少矫直次数 $t_{\min} = \frac{7}{(n_1+n_2)} \times 3$;

[0023] 名义直径为10mm,最少矫直次数 $t_{\min} = \frac{7}{(n_1+n_2)} \times 4$;

[0024] 名义直径为12mm,最少矫直次数 $t_{\min} = \frac{7}{(n_1+n_2)} \times 4$;

[0025] 以上各式的结果中,在非整数时均向上取整数。

[0026] 与现有技术相比,本发明的技术方案具有以下优势和有益效果:

[0027] 热轧光圆钢筋拉伸试样通常取自盘条,试样为弯曲状态,经过矫直机矫直后存在内应力,该内应力可通过多次矫直的方式逐步消除,进而准确测得各项拉伸指标。

[0028] 发明的方法是通过矫直机实现消除热轧光圆钢筋内应力,通过若干个不同规格的试样,应用统计分析,先得到试样对应的最大矫直间隙 b_{\max} 与实测直径 d_0 、初始挠度 N_0 的函数关系,然后再以最大矫直间隙 b_{\max} 矫直不同次数,得到与人工时效得出相同结果时的矫直最少次数 t_{\min} ,应用上述方法消除待处理的热轧光圆钢筋内应力时,先根据已有的函数关系计算该试样的最大矫直间隙 b_{\max} ,最后以 b_{\max} 为矫直间隙进行矫直后再进行下一步操作,矫直的最少次数为 t_{\min} 。

[0029] 光圆钢筋常见规格为6mm、8mm、10mm、12mm,通过本发明的方法可通过测量钢筋实际直径和初始挠度,获得最大矫直间隙,进而进行多次矫直,进行拉伸试验后,便可获得与人工时效一致的检验结果,从而替代耗时较长的人工时效,检验周期可由4小时/根缩短至30min/根,大大提高了检验效率。

附图说明

[0030] 图1为实施例1中所用矫直装置的示意图;

[0031] 图2为实施例1中试样挠度测试的示意图。

具体实施方式

[0032] 以下结合具体实施例对本发明的技术方案作进一步详细的说明。

[0033] 本发明中拉伸实验按照GB/T28900-2012“钢筋混凝土用钢材试验方法”进行。

[0034] 以下实施例中所用矫直装置为购买的商用辊式矫直机,其示意图如图1,该矫直装置包括1对入口辅助辊、1对出口辅助辊、4个上矫直辊和3个下矫直辊。

[0035] 以下实施例中所用同一根盘条是指:同批次钢筋盘条轧制工艺稳定的一卷盘条,试验部分实测直径偏差在0.05mm之内。

[0036] 实施例1一种热轧光圆钢筋消除内应力的矫直方法,包括以下步骤:

[0037] 1) 初矫:

[0038] 为使拉伸试样在矫直前尽可能的处在相同的状态,需要对拉伸试样进行一次初矫,测量试样的实测直径 d_0 ,并将实测直径 d_0 作为初矫矫直间隙 b_0 进行一次初矫,通过初矫后,试样的挠度将得到很大改善。挠度的测量示意图如图2。

[0039] 2) 确定最大矫直间隙 b_{\max} :

[0040] a) 矫直间隙过小易造成试样往复变形量过大,形成加工硬化效应,为最大程度降低加工硬化带来的影响,同时保证试样足够平直(此处认为当试样的挠度不大于试样名义直径 d 时为足够平直),需要尽可能的采用较大的矫直间隙,所以需要不断缩小矫直间隙,找到矫直后试样挠度达到或者小于 d 时的最大矫直间隙 b_{\max} 。下面为确认最大矫直间隙的方法:

[0041] 选用某一规格热轧光圆钢筋的同一盘条,在盘条相邻位置连续截取若干根长度均为400mm的试样,检测所有试样的实测直径 d_0 ,均按照步骤1)进行初矫。初矫完成后,测量试样的初始挠度 N_0 ,然后各试样再进行第一次矫直,其矫直间隙按照初矫矫直间隙 b_0 依次递减0.1mm方式即第一根试样矫直间隙为 $b_0-0.1\text{mm}$ 、第二根试样矫直间隙为 $b_0-0.2\text{mm}$ 、第二十根试样矫直间隙为 $b_0-2.0\text{mm}$,以此类推,各试样分别矫直后测量其挠度,进而获得该规格盘条的试样挠度达到或者小于 d 时的矫直间隙,其中,挠度 $\leq d$ 的试样中,挠度最接近 d 的试样对

应的矫直间隙即为最大矫直间隙 b_{\max} 。

[0042] b) 分别选取名义直径为6mm、8mm、10mm、12mm等4个规格的盘条,每个规格选择5个批次的盘条重复步骤a),得到表1,即各批次盘条试样的最大矫直间隙 b_{\max} ,以及该试样对应的实测直径 d_0 和初始挠度 N_0 。

[0043] 表1试验结果

[0044]

| 实测直径 d_0 (mm) | 批次 | 初始挠度 N_0 (mm/mm) | 最大矫直间隙 b_{\max} (mm) |
|-----------------|----|--------------------|------------------------|
| 6.2 | 1 | 45.2 | 5.8 |
| 6.3 | 2 | 46.3 | 5.5 |
| 6.1 | 3 | 45.8 | 5.6 |
| 6.2 | 4 | 44.4 | 5.9 |
| 5.9 | 5 | 47.2 | 5.4 |
| 7.9 | 1 | 53.3 | 6.8 |
| 8.4 | 2 | 55.2 | 6.5 |
| 8.2 | 3 | 56.4 | 6.4 |
| 8.3 | 4 | 53.4 | 6.7 |
| 8.1 | 5 | 55.7 | 6.6 |
| 10.2 | 1 | 59.5 | 8.6 |
| 10.4 | 2 | 62.5 | 8.2 |
| 9.9 | 3 | 67.8 | 7.7 |
| 10.3 | 4 | 68.2 | 7.2 |
| 10.2 | 5 | 64.4 | 7.8 |
| 11.9 | 1 | 68.4 | 9.5 |
| 12.4 | 2 | 69.2 | 9.2 |
| 12.3 | 3 | 65.7 | 9.5 |
| 12.4 | 4 | 66.8 | 9.2 |
| 12.1 | 5 | 68.6 | 9.3 |

[0045] c) 依据表1数据,利用JMP拟合模型逐步回归法进行回归分析,以最大矫直间隙 b_{\max} 为因变量,实测直径 d_0 、初始挠度 N_0 为自变量进行回归分析,得到最大矫直间隙 b_{\max} 与实测直径 d_0 、初始挠度 N_0 的关系式:

$$[0046] \quad b_{\max} = 3.46 + 0.86d_0 - 0.07N_0 \quad \text{式(1)}$$

[0047] 3) 确定最少矫直次数 t_{\min} :

[0048] 选用某一规格的盘条,在盘条的相邻位置连续截取30根长度均为400mm的试样,所有试样按照步骤1)进行初矫。初矫完成后,根据式(1)计算其最大矫直间隙 b_{\max} ;接着任选5根试样进行人工时效,其他25根试样进行矫直机矫直,人工时效的具体步骤为:先以计算出其对应的最大矫直间隙 b_{\max} 进行一次矫直,然后进行人工时效(人工时效条件:温度 $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$,时间60min-75min,下同)后,完成拉伸试验得到屈服强度、抗拉强度、断后伸长率的一组均值,该均值作为该批试样的可靠结果。

[0049] 其他25根试样,每5根为一组,5组试样按照根据式(1)计算的其对应的最大矫直间隙 b_{\max} 分别进行1次、2次、3次、4次、5次矫直,矫直完成后进行拉伸试验,并分别计算每组拉

伸结果的均值,作为该批试样进行1次、2次、3次、4次、5次矫直的拉伸试验结果。

[0050] 4) 采用10个批次同规格的盘条进行步骤3),将每批次人工时效的拉伸试验结果分别与矫直1次、2次、3次、4次、5次的拉伸试验结果进行配对t检验,当配对t检验结果 $p > 0.05$ 时,代表在采用该矫直次数下测得的拉伸性能与人工时效后测得的拉伸性能无明显差异,此时矫直次数较少的一组,即对应需要的最少矫直次数 t_{\min} ,矫直次数大于 t_{\min} 时, p 也必然大于0.05。

[0051] 5) 分别选取名义直径为6mm、8mm、10mm、12mm的4个规格盘条,重复步骤3)和步骤4),得到各个规格盘条对应的最少矫直次数 t_{\min} ,具体结果见表2-7。

[0052] 表2 6mm规格盘条各批次检测结果

| 批次 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 人工 时效 均值 | 屈服强度 MPa | 361 | 350 | 359 | 352 | 358 | 352 | 365 | 353 | 354 | 350 |
| | 抗拉强度 MPa | 543 | 519 | 553 | 525 | 548 | 534 | 561 | 526 | 535 | 534 |
| | 断后伸长率% | 34 | 33 | 29 | 32 | 35 | 28 | 31 | 28 | 33 | 29 |
| 矫直 1 次 均值 | 屈服强度 MPa | 368 | 355 | 365 | 361 | 365 | 362 | 370 | 367 | 367 | 359 |
| | 抗拉强度 MPa | 552 | 539 | 559 | 544 | 559 | 552 | 577 | 545 | 551 | 540 |
| | 断后伸长率% | 32 | 36 | 27 | 30 | 34 | 27 | 32 | 31 | 32 | 28 |

[0054]

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 矫直 2 次 均 值 | 屈服强度 MPa | 367 | 355 | 362 | 358 | 365 | 359 | 368 | 361 | 358 | 357 |
| | 抗拉强度 MPa | 553 | 523 | 559 | 531 | 553 | 540 | 566 | 530 | 545 | 544 |
| | 断后伸长率% | 31 | 34 | 30 | 29 | 33 | 27 | 29 | 29 | 32 | 28 |
| 矫直 3 次 均 值 | 屈服强度 MPa | 357 | 346 | 364 | 354 | 358 | 357 | 367 | 352 | 358 | 357 |
| | 抗拉强度 MPa | 541 | 525 | 557 | 527 | 543 | 530 | 562 | 525 | 535 | 536 |
| | 断后伸长率% | 34 | 31 | 27 | 32 | 35 | 27 | 30 | 28 | 31 | 30 |
| 矫直 4 次 均 值 | 屈服强度 MPa | 356 | 357 | 360 | 352 | 351 | 350 | 365 | 353 | 354 | 353 |
| | 抗拉强度 MPa | 541 | 516 | 554 | 521 | 545 | 540 | 559 | 531 | 537 | 535 |
| | 断后伸长率% | 32 | 32 | 28 | 29 | 36 | 31 | 30 | 28 | 31 | 29 |
| 矫直 5 次 均 值 | 屈服强度 MPa | 361 | 348 | 351 | 358 | 350 | 347 | 366 | 351 | 351 | 349 |
| | 抗拉强度 MPa | 542 | 521 | 553 | 520 | 544 | 529 | 563 | 520 | 537 | 535 |
| | 断后伸长率% | 34 | 31 | 29 | 30 | 33 | 29 | 29 | 32 | 33 | 27 |

[0055] 表3 8mm规格盘条各批次检测结果

[0056]

| 批次 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 人 工 时 效 均 值 | 屈服强度 MPa | 369 | 363 | 365 | 377 | 354 | 368 | 370 | 362 | 347 | 358 |
| | 抗拉强度 MPa | 556 | 550 | 553 | 559 | 541 | 554 | 557 | 541 | 527 | 537 |
| | 断后伸长率% | 29 | 28 | 32 | 34 | 34 | 33 | 30 | 34 | 32 | 33 |
| 矫 直 1 次 均 值 | 屈服强度 MPa | 381 | 376 | 372 | 384 | 364 | 374 | 376 | 373 | 353 | 372 |
| | 抗拉强度 MPa | 569 | 561 | 570 | 573 | 557 | 569 | 575 | 554 | 537 | 551 |
| | 断后伸长率% | 31 | 28 | 31 | 34 | 34 | 32 | 32 | 37 | 35 | 31 |
| 矫 直 | 屈服强度 MPa | 377 | 371 | 371 | 383 | 361 | 372 | 377 | 367 | 350 | 362 |

[0057]

| | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2次均值 | 抗拉强度 MPa | 565 | 559 | 558 | 568 | 546 | 560 | 567 | 551 | 536 | 545 |
| | 断后伸长率% | 30 | 29 | 34 | 35 | 34 | 31 | 28 | 32 | 29 | 35 |
| 矫直3次均值 | 屈服强度 MPa | 367 | 365 | 365 | 384 | 358 | 361 | 375 | 365 | 347 | 350 |
| | 抗拉强度 MPa | 555 | 553 | 557 | 555 | 536 | 553 | 559 | 545 | 525 | 541 |
| | 断后伸长率% | 27 | 28 | 34 | 36 | 33 | 31 | 29 | 35 | 33 | 31 |
| 矫直4次均值 | 屈服强度 MPa | 377 | 355 | 369 | 373 | 357 | 359 | 372 | 362 | 352 | 350 |
| | 抗拉强度 MPa | 559 | 554 | 556 | 563 | 542 | 550 | 552 | 547 | 523 | 544 |
| | 断后伸长率% | 26 | 29 | 31 | 33 | 31 | 34 | 30 | 35 | 32 | 31 |
| 矫直5次均值 | 屈服强度 MPa | 364 | 369 | 371 | 370 | 348 | 362 | 370 | 367 | 352 | 352 |
| | 抗拉强度 MPa | 559 | 553 | 549 | 563 | 543 | 553 | 560 | 535 | 529 | 539 |
| | 断后伸长率% | 30 | 27 | 32 | 34 | 32 | 32 | 29 | 33 | 33 | 32 |

[0058] 表4 10mm规格盘条各批次检测结果

[0059]

| 批次 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 人工时效均值 | 屈服强度 MPa | 338 | 349 | 348 | 352 | 335 | 350 | 343 | 342 | 354 | 332 |
| | 抗拉强度 MPa | 518 | 540 | 548 | 550 | 533 | 544 | 545 | 555 | 544 | 540 |
| | 断后伸长率% | 30 | 29 | 28 | 29 | 30 | 30 | 28 | 29 | 30 | 29 |
| 矫直1次均值 | 屈服强度 MPa | 345 | 363 | 356 | 367 | 343 | 362 | 349 | 356 | 367 | 337 |
| | 抗拉强度 MPa | 525 | 554 | 564 | 563 | 551 | 551 | 562 | 562 | 556 | 555 |
| | 断后伸长率% | 28 | 32 | 30 | 27 | 29 | 33 | 26 | 29 | 33 | 27 |
| 矫直2次均值 | 屈服强度 MPa | 344 | 351 | 355 | 356 | 337 | 356 | 350 | 346 | 359 | 335 |
| | 抗拉强度 MPa | 524 | 550 | 552 | 558 | 543 | 550 | 549 | 564 | 552 | 547 |
| | 断后伸长率% | 29 | 29 | 27 | 31 | 27 | 30 | 30 | 28 | 32 | 30 |
| 矫直3次均值 | 屈服强度 MPa | 343 | 349 | 347 | 358 | 337 | 349 | 346 | 344 | 358 | 333 |
| | 抗拉强度 MPa | 520 | 545 | 550 | 554 | 532 | 549 | 547 | 553 | 545 | 544 |
| | 断后伸长率% | 28 | 29 | 31 | 31 | 30 | 28 | 27 | 32 | 33 | 28 |
| 矫直4次均值 | 屈服强度 MPa | 341 | 354 | 344 | 360 | 341 | 356 | 334 | 343 | 357 | 335 |
| | 抗拉强度 MPa | 521 | 539 | 545 | 546 | 531 | 541 | 541 | 556 | 550 | 537 |
| | 断后伸长率% | 29 | 28 | 27 | 30 | 31 | 30 | 29 | 30 | 27 | 29 |
| 矫直5次均值 | 屈服强度 MPa | 339 | 348 | 347 | 345 | 338 | 350 | 338 | 344 | 358 | 328 |
| | 抗拉强度 MPa | 514 | 544 | 542 | 552 | 531 | 539 | 541 | 549 | 544 | 544 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|---|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| [0060] | 值 | 断后伸长率% | 28 | 28 | 29 | 29 | 30 | 29 | 26 | 30 | 29 | 27 |
|--------|---|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

[0061] 表5 12mm规格盘条各批次检测结果

| 批次 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 人工时效均值 | 屈服强度 MPa | 341 | 352 | 366 | 328 | 330 | 352 | 349 | 355 | 343 | 343 |
| | 抗拉强度 MPa | 543 | 565 | 564 | 531 | 531 | 552 | 548 | 555 | 539 | 555 |
| | 断后伸长率% | 32 | 32 | 31 | 32 | 30 | 32 | 34 | 31 | 31 | 33 |
| 矫直1次均值 | 屈服强度 MPa | 347 | 360 | 379 | 339 | 343 | 365 | 362 | 366 | 350 | 351 |
| | 抗拉强度 MPa | 557 | 576 | 577 | 547 | 548 | 572 | 562 | 572 | 551 | 563 |
| | 断后伸长率% | 33 | 31 | 32 | 31 | 32 | 30 | 36 | 32 | 31 | 32 |
| 矫直2次均值 | 屈服强度 MPa | 344 | 359 | 374 | 330 | 337 | 356 | 354 | 357 | 351 | 351 |
| | 抗拉强度 MPa | 553 | 574 | 572 | 535 | 537 | 557 | 558 | 563 | 546 | 564 |
| | 断后伸长率% | 32 | 32 | 33 | 29 | 30 | 32 | 34 | 30 | 33 | 34 |
| 矫直3次均值 | 屈服强度 MPa | 342 | 351 | 365 | 333 | 336 | 352 | 349 | 362 | 346 | 349 |
| | 抗拉强度 MPa | 542 | 570 | 568 | 531 | 529 | 555 | 552 | 565 | 540 | 557 |
| | 断后伸长率% | 30 | 34 | 34 | 29 | 27 | 35 | 32 | 33 | 34 | 36 |
| 矫直4次均值 | 屈服强度 MPa | 340 | 344 | 365 | 329 | 329 | 345 | 345 | 359 | 339 | 350 |
| | 抗拉强度 MPa | 550 | 570 | 565 | 535 | 530 | 552 | 545 | 29 | 32 | 31 |
| | 断后伸长率% | 32 | 30 | 31 | 29 | 28 | 32 | 35 | 29 | 31 | 34 |
| 矫直5次均值 | 屈服强度 MPa | 343 | 344 | 361 | 320 | 327 | 349 | 346 | 359 | 353 | 344 |
| | 抗拉强度 MPa | 543 | 561 | 559 | 531 | 535 | 551 | 544 | 549 | 539 | 551 |
| | 断后伸长率% | 30 | 33 | 30 | 30 | 30 | 33 | 34 | | | |

[0063] 表6各批次检测结果配对t检验p值

| | | | | | | |
|--------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| [0064] 配对 t 检验 p 值 | 人工时效均值-矫直1次均值 | 屈服强度 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 抗拉强度 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 断后伸长率 | 0.638 | 0.313 | 0.79 | 0.662 |
| | | 检验结论 | 有差异 | 有差异 | 有差异 | 有差异 |
| | 人工时效均值-矫直2次均值 | 屈服强度 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 抗拉强度 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 断后伸长率 | 0.074 | 0.743 | 0.853 | 0.832 |
| | | 检验结论 | 有差异 | 有差异 | 有差异 | 有差异 |
| | 人工时效均值-矫直3次均值 | 屈服强度 | 0.216 | 0.803 | 0.023 | 0.029 |
| | | 抗拉强度 | 0.789 | 0.721 | 0.017 | 0.042 |
| | | 断后伸长率 | 0.066 | 0.705 | 0.464 | 0.502 |
| | | 检验结论 | 无显著差异 | 无显著差异 | 有差异 | 有差异 |
| 人工时效均值-矫直4次均值 | 屈服强度 | 0.813 | 0.726 | 0.209 | 0.366 | |
| | 抗拉强度 | 0.93 | 0.304 | 0.368 | 0.614 | |
| | 断后伸长率 | 0.279 | 0.191 | 0.642 | 0.153 | |

| | | | | | | |
|--------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| [0066] | 人工时效均值-矫直5次均值 | 检验结论 | 无显著差异 | 无显著差异 | 无显著差异 | 无显著差异 |
| | | 屈服强度 | 0.133 | 0.67 | 0.498 | 0.483 |
| | | 抗拉强度 | 0.209 | 0.471 | 0.206 | 0.071 |
| | | 断后伸长率 | 0.44 | 0.138 | 0.089 | 0.193 |
| | | 检验结论 | 无显著差异 | 无显著差异 | 无显著差异 | 无显著差异 |

[0066] 根据以上结果,可得到各规格对应的最少矫直次数,见表7。

[0067] 表7各规格对应的最少矫直次数

| | | |
|--------|------------|----------------------|
| [0068] | 名义直径d (mm) | 最少矫直次数 t_{min} (次) |
| | 6 | 3 |
| | 8 | 3 |
| | 10 | 4 |
| | 12 | 4 |

[0069] 在上述步骤和结果的基础上,选用商用钢筋进行下列实验:

[0070] 1、选用名义直径8mm规格的光圆钢筋HPB300,在同一根盘条上截取10根长度为400mm的试样,依次编号为1,2,3,4.....10。

[0071] 2、测量各试样的实际直径 d_0 ,以实际直径 d_0 进行初矫后,测量其初始挠度 N_0 ,依据式(1) $b_{max} = 3.46 + 0.86d_0 - 0.07N_0$ 计算其最大矫直间隙 b_{max} ,结合表7的结果,编号为偶数的5根试样采用最大矫直间隙 b_{max} 进行3次矫直,然后开展拉伸试验。

[0072] 3、编号为奇数的5根试样采用最大矫直间隙 b_{max} 进行一次矫直后,进行人工时效,然后在空气中冷却至室温后,进行拉伸试验,结果见表8。

[0073] 表8试验结果

| 人工时效去应力 | | | | 矫直去应力 | | | |
|----------|------------|------------|---------|-------|------------|------------|---------|
| 试样编号 | 屈服强度 (Mpa) | 抗拉强度 (Mpa) | 伸长率 (%) | 试样编号 | 屈服强度 (Mpa) | 抗拉强度 (Mpa) | 伸长率 (%) |
| [0074] 1 | 356 | 541 | 29 | 2 | 350 | 540 | 30 |
| 3 | 357 | 544 | 30 | 4 | 351 | 548 | 31 |
| 5 | 359 | 545 | 29 | 6 | 367 | 539 | 30 |
| 7 | 358 | 542 | 30 | 8 | 361 | 546 | 29 |
| 9 | 359 | 542 | 28 | 10 | 365 | 535 | 28 |

[0075] 表9两种去应力方式拉伸性能差异

| | | | | |
|--------|---------|-----------|-----------|-------|
| | 去应力方式 | 屈服强度 | 抗拉强度 | 伸长率 |
| | 人工时效/均值 | 357.8 Mpa | 542.8 Mpa | 29.2% |
| | 矫直/均值 | 358.8 Mpa | 541.6 Mpa | 29.6% |
| [0076] | 差值 | 0.3% | -0.2% | 1.4% |

[0077] 注:表9中,差值的计算方式为(“矫直/均值” - “人工时效/均值”) / “人工时效/均值” * 100%。

[0078] 人工时效与矫直两种去应力方式测得的拉伸性能,屈服强度偏差为0.3%,抗拉强

度差值为-0.2%，伸长率差值为1.4%，见表9，差值均较小，对两组数据进行配对t检验，各参数的P值见表10，可见P值均>0.05，两组数据无明显差异，采用矫直的方法去除应力可以得到与人工时效基本一致的检验结果。

[0079] 表10两种去应力方式拉伸性能配对t检验结果

| 参数 | 配对t检验 | P值 |
|------|---------|-------|
| 屈服强度 | 人工时效-矫直 | 0.753 |
| 抗拉强度 | 人工时效-矫直 | 0.637 |
| 伸长率 | 人工时效-矫直 | 0.374 |

[0081] 本发明的以上实施例采用的矫直机有4个上矫直辊和3个下矫直辊，代表试样经过了4+3=7次受力，对于其他不同矫直辊数量的矫直机可做对应转换获得最少矫直次数。设定上矫直辊数目为 n_1 ，下矫直辊数目为 n_2 ，则矫直辊数量与最少矫直次数的关系见表11。

[0082] 表11矫直辊数量与最少矫直次数的关系

| 名义直径 d (mm) | 最少矫直次数 t_{\min} (次) |
|---------------|---|
| 6 | $\frac{7}{(n_1+n_2)} \times 3$ 向上取整数 |
| 8 | $\frac{7}{(n_1+n_2)} \times 3$ 向上取整数 |
| 10 | $\frac{7}{(n_1+n_2)} \times 4$ 向上取整数 |
| 12 | $\frac{7}{(n_1+n_2)} \times 4$ 向上取整数 |

[0084] 通过本上述方法可通过测量钢筋实际直径和初始挠度，获得最大矫直间隙，进而进行多次矫直，进行拉伸试验后，便可获得与人工时效一致的检验结果。人工时效约需要4小时，包括了试验准备约需10min、加热炉升温约30min、放入试样保温约70min、试样空冷至室温约120min、试验时间约10min。本发明的方法只需要30min/根，包括试验准备10min，反复矫直约10min，试验时间10min。

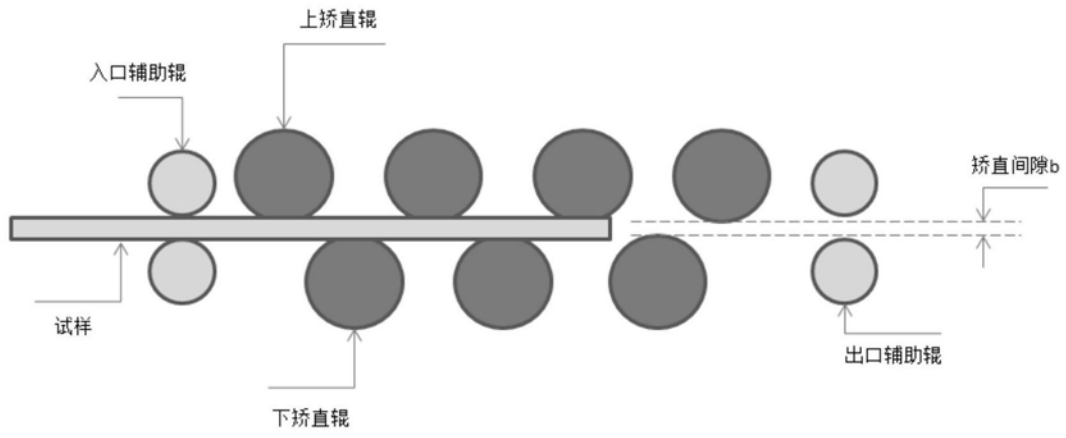


图1

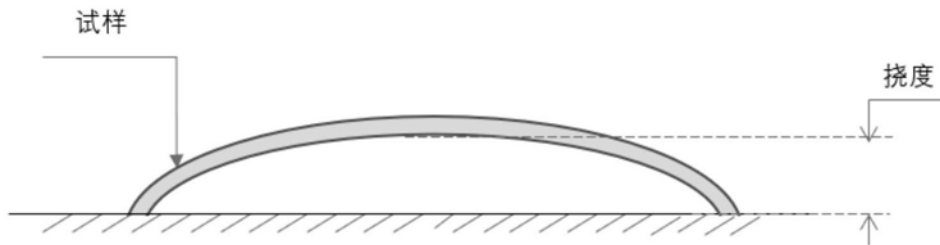


图2