



ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢材料抗拉强度与布氏硬度的关系

张瑞雪, 张 锦, 孙 安, 仇国民, 马 丽

(宁夏共享集团有限公司 检测中心, 银川 750021)

摘 要:通过对大量 ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢材料的拉伸和布氏硬度试验数据进行统计分析, 用回归分析法求出了其抗拉强度与布氏硬度之间的回归方程为 $H_{BW} = 0.326\ 9R_m$, 并通过假设试验计算统计量 $F > F_{\text{临界}}$, 概率 $P < 0.05$ 验证, 该方程的显著性水平较高, 从而可以利用该材料的抗拉强度来预测在一定置信区间内相对应的布氏硬度, 为产品的实际硬度检测及检测准确性验证提供了参考。

关键词: ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢; 统计分析; 回归方程; 抗拉强度; 布氏硬度; 预测

中图分类号: TG115

文献标志码: A

文章编号: 1001-4012(2011)04-0209-03

Relationship between Ultimate Strength and Brinell Hardness of ZG06Cr13Ni4Mo Stainless Steel

ZHANG Rui-xue, ZHANG Jin, SUN An, QIU Guo-min, MA Li

(Testing Center, Ningxia Kocel Group Co., Ltd., Ningxia 750021, China)

Abstract: Regression equation between Brinell hardness and ultimate strength of ZG06Cr13Ni4Mo stainless steel material was gained to be $H_{BW} = 0.326\ 9R_m$ according to the statistic analysis on large tensile and hardness test data. Significance level of the regression equation was proved to be high based on the results of hypothesis test statistics $F > F_{\text{critical}}$, probability $P < 0.05$, and it could be applied to predict the Brinell hardness through the ultimate strength of ZG06Cr13Ni4Mo stainless steel material in some definite accepting interval. The study provided reference for the actual hardness test and judgment test accuracy.

Keywords: ZG06Cr13Ni4Mo stainless steel; statistics analysis; regression equation; tensile strength; Brinell hardness; prediction

抗拉强度与布氏硬度之间的对应关系在一般的理论书中均有经验公式, 但是不同的材料间会有一些差别。如果已知 ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢材料抗拉强度与布氏硬度之间的相关性, 则可以根据拉伸试验结果预先判断铸件的硬度范围, 并能及时验证产品硬度检测结果的准确性。然而目前还未见有关该不锈钢材料抗拉强度与布氏硬度关系的报道。为此, 笔者通过对已生产并交检的 ZG06Cr12Ni4Mo 不锈钢叶片试块性能检测数据进行统计分析^[1], 运

用回归分析法建立了此材料抗拉强度与布氏硬度之间的回归方程, 通过方差分析和 P 检验, 发现其布氏硬度与抗拉强度相关回归效果显著, 并通过实际检验结果验证了利用抗拉强度来预测在一定置信区间相对应的布氏硬度的可行性, 在产品生产检测中具有实际的参考意义。

1 试验材料及试验方法

试验材料为 ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢叶片试块, 其主要化学成分(质量分数/%)为: $\leq 0.040C$, $\leq 0.6Si$, $\leq 1.0Mn$, $\leq 0.028P$, $\leq 0.008S$, $\leq 0.5Cu$, $12.0 \sim 13.5Cr$, $0.4 \sim 0.6Mo$, $3.8 \sim 5.0Ni$,

收稿日期: 2010-08-18

作者简介: 张瑞雪(1977-), 男, 学士。

$\leq 0.008\text{O}$, $\leq 0.015\text{N}$, $\leq 0.000\ 3\text{H}$; 采用一次正火加二次回火热处理。

在 CSS-44200 电子万能试验机上按 GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》进行拉伸试验,拉伸试样标距为 50 mm;使用 HB-3000 布氏硬度计按 GB/T 231.1-2009《金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》进行布氏硬度测试。

2 试验数据的统计分析结果

本文试验数据来源于 2009 年 5 月—2010 年 3 月生产的 ZG06Cr13Ni4Mo 水轮机叶片试块的检测结果,弃除无效组数(无硬度或强度的数据组)后共有 827 组原始数据。

2.1 试验数据的数理统计分析

表 1 是对抗拉强度和布氏硬度分别利用 Minitab 软件^[2]正态性检验功能中选择 Anderson-Darling 检验功能直接得出的结果,是对正态性的检验,统计量 AD 值越小,说明正态性越显著(AD 值在该软件中没有给出具体公式)。表中的 P 值表示试样间的差异由抽样误差引起的概率, P 值越小表示由抽样造成的偶然误差越小;表中的变异系数^[2]为标准差与平均值的比值,变异系数是衡量各检测值变异程度的一个统计量。变异系数可以消除单位或平均值不同对两个或多个检测值变异程度比较的影响,变异系数越大,表明波动程度越大。

表 1 试验数据的数理统计分析结果

Tab. 1 Mathematical statistics analysis results of the testing data

项目	平均值	标准差 s	统计量 AD 值	概率 P 值	变异系 数/%
抗拉强度	795.2 MPa	19.43 MPa	7.593	<0.005	2.44
布氏硬度	259.9 HBW	8.188 HBW	5.756	<0.005	3.15

2.2 原始数据的正态性检验

正态性检验可生成正态概率图,并执行假设检验,以确定检测值是否服从正态分布。图 1 和 2 分别为对抗拉强度和布氏硬度进行正态性检验生成的概率图,检验数据见表 1。

可以看出图 1 和 2 中的图形输出均为正态概率,只有在极端情况下或分布尾部,有少量数据偏离拟合线。而由表 1 中抗拉强度和布氏硬度正态性检验的 P 值也可知,由抽样引起的偶然误差的实际概率均 <0.005,进一步说明 ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢材料的抗拉强度和布氏硬度的正态性均非常显著。

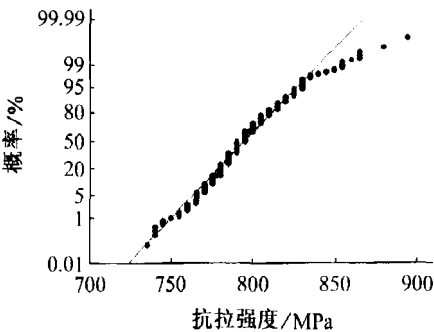


图 1 抗拉强度的正态概率图

Fig. 1 The normal probability graph of tensile strength

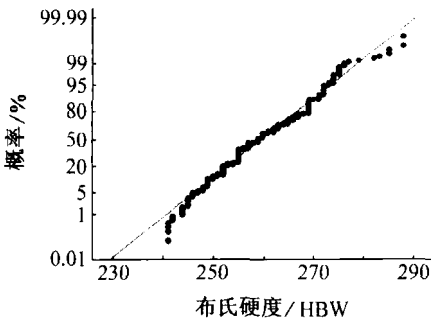


图 2 布氏硬度的正态概率图

Fig. 2 The normal probability graph of Brinell hardness

3 回归分析与试验验证

对统计数后的抗拉强度与布氏硬度数据作散点图。由图 3 可以看出,散点大致在一条直线上,说明布氏硬度 $y(H_{\text{BW}})$ 与抗拉强度 $x(R_m)$ 线性相关,回归方程为 $y=ax$ 。用回归分析法求回归方程^[3],将原始数据输入 Minitab 软件,得到如下回归方程:

$$H_{\text{BW}} = 0.326\ 9\ R_m \tag{1}$$

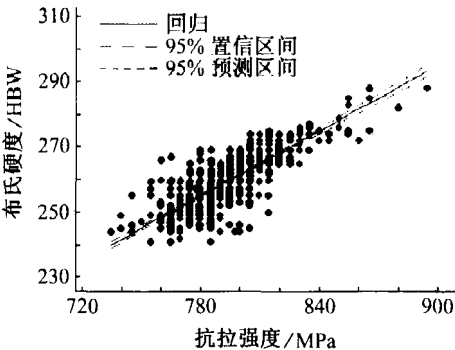


图 3 布氏硬度与抗拉强度的关系图

Fig. 3 Relation graph between Brinell hardness and tensile strength

3.1 回归方程的方差分析

表 2 是回归方程的方差分析结果。表中方差检验统计量 $F=1\ 387.45$,是回归均方同残差均方的

比值,在给定显著性水平 $\alpha=0.05$ 条件下,查 F 分布临界值表 $F_{0.05}(1,\infty)=3.84$, $F>F_{0.05}(1,\infty)$,说明回归方程存在显著性;表中概率 P 是检验统计量 $F\geq F_{\text{临界}}$ 的概率,即 $P\{F\geq F_{\text{临界}}\}=0\leq 0.05$,进一步说明回归方程显著性。

表 2 回归方程方差分析结果

Tab. 2 Analysis results of variance of regression equation

	自由度	平方和 SS	均方 MS	方差检验 值 F	概率 P
回归	1	34 726	34 726	1 387.45	0.000
残差误差	826	20 649	25	—	—
合计	827	55 375	—	—	—

3.2 抗拉强度与布氏硬度的相关性分析

可以使用 Pearson 积矩相关系数 R 来度量两个变量之间的线性关系程度。相关系数假定为介于 $-1\sim+1$ 之间的值,如果一个变量倾向于随其他变量的减小而增加,则相关系数为负;反之,如果两个变量都倾向于同时增加,则相关系数为正。对于相关的双尾检验:原假设 H_0 ,抗拉强度同布氏硬度不存在相关性,相关系数 $R=0$;备假设 H_1 ,抗拉强度同布氏硬度存在相关性,相关系数 $R\neq 0$ 。通过表 2 方差分析结果可计算抗拉强度同布氏硬度相关系数的平方 $R^2=\text{回归均方 } M_{\text{回归}}/\text{总均方 } M_{\text{总}}=62.7\%$,求得 $R=79.2\%$,接近 80% ,表明 ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢材料抗拉强度同布氏硬度的线性拟合度高,相关性显著。

3.3 回归系数的检验

利用 Minitab 软件进行回归系数检验,结果如表 3 所示,表中 $T=\text{回归系数}/\text{回归系数标准差}$,在给定显著性水平 $\alpha=0.05$ 条件下,通过 t 分布表查得 $t_{\alpha/2}(n-2)=t_{\alpha/2}(827-2)=1.96$, $T>t_{\alpha/2}(n-2)$,说明回归系数可靠度高,回归方程存在,应接受备假设 H_1 。 P 值是实际 $P\{T\geq t_{\alpha/2}(n-2)\}$ 的概率, $P<0.05$ 进一步说明拒绝原假设 H_0 ,应接受备假设 H_1 ,回归系数显著性高。利用 Minitab 软件同时可得回归方程的标准差 $S=5.002\ 86$ 。

表 3 回归方程回归系数检验

Tab. 3 Validation of correlation coefficient about regression equation

自变量	回归系数	回归系数 标准差	T	P
抗拉强度	0.326 865	0.000 219	1 494.87	0.000

3.4 置信区间的估计

当 $\alpha=0.05$, $H_{\text{BW}}=0.326\ 9R_m$,按抗拉强度 R_m 平均值 $795.2\ \text{MPa}$ 计算的 H_{BW} 平均值 $=0.326\ 9\times 795.2=259.95\ \text{HBW}$,在 $1-\alpha$ 置信水平下,即 95% 的置信水平下,该回归方程的置信区间为 H_{BW} 平均值 $\pm 2S=(259.95\pm 2\times 5.002\ 86)\ \text{HBW}$,即 $[249.94,269.95]\ \text{HBW}$,区间图见图 3。

3.5 试验验证

表 4 是根据 GB/T 228-2002 和 GB/T 231.1-2009 取样进行试验后的布氏硬度、抗拉强度以及根据回归方程 $H_{\text{BW}}=0.326\ 9R_m$ 计算得到的预测值。可以看出,通过对不同抗拉强度使用回归方程计算得到的硬度与实际检测的布氏硬度相比,最大偏差为 $3.6\ \text{HBW}$ 。

表 4 实测 H_{BW} 与通过实测 R_m 预测结果的比较

Tab. 4 Comparison of H_{BW} testing values with those predicted by R_m

试验编号	实测 R_m/MPa	实测 H_{BW}/HBW	预测 H_{BW}/HBW	预测偏差 / HBW
1	825	269	269.693	+0.693
2	810	267	264.789	-2.211
3	805	266	263.153	-2.847
4	790	259	258.251	-0.749
5	785	253	256.617	+3.617
6	780	255	254.982	-0.018

4 结论

(1) 通过回归分析法,得出 ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢材料的抗拉强度与布氏硬度之间的回归方程为 $H_{\text{BW}}=0.326\ 9R_m$,经验证两者之间存在较好的相关性。实际应用中当该材料的抗拉强度已知时,代入回归方程即可求出其相应的布氏硬度,达到利用抗拉强度在一定置信区间内预测布氏硬度的目的。

(2) 抗拉强度-布氏硬度回归方程是大量试验数据统计分析的结果,给出的 R_m 和 H_{BW} 之间的关系式只能作参考。用实测抗拉强度来估算布氏硬度值的置信区间较宽,存在一定的偏差,因而在实际运用中预测偏差不可能为零,但可以尽量降低。要进一步提高回归方程的预测精度、降低偏差,需进一步校正回归方程式。

(3) 通过抗拉强度估算出的布氏硬度对产品实

(下转第 264 页)

纹沿着内螺纹的螺旋牙槽旋进时也会产生附加的冲击载荷(图 6),这就很容易损伤螺纹,导致粘扣。如果偏斜对扣,并且未引扣或引扣不到位,快速上、卸扣则更容易导致粘扣、错扣和脱扣^[11]。

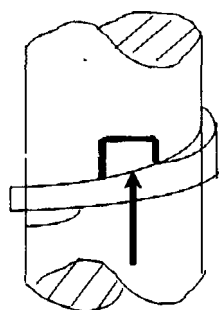


图 6 上扣速度对粘扣的影响示意图

Fig. 6 Sketch of effect of make up speed on galling

特殊螺纹套管下井要求的上扣速度为 $5 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 左右。该井所用的套管为特殊螺纹套管,开始 5~6 圈的上扣速度达到 $20 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,因此很容易产生粘扣和错扣。

(5) 套管起吊方式对粘扣的影响

起吊是下套管的重要环节,套管起吊方式不当很容易损坏螺纹接头。

该井起吊套管时采用金属钩挂在套管外螺纹接头内孔,套管内壁与金属钩接触部位很容易损伤,损伤部位很容易腐蚀。如果外螺纹接头螺纹保护器脱落,或者未带螺纹保护器,接头扭矩台肩和金属密封面将被损坏。在起吊过程中螺纹损坏之后必然会导致粘扣。起吊套管时采用钢丝绳拴在靠近接箍的管体上容易损伤套管外壁,被钢丝绳磨损的套管表面也很容易产生腐蚀。

2.2.2 套管本身质量对粘扣的影响

套管螺纹表面处理可以保护螺纹,减小粘扣的倾向。不同的表面处理层具有不同的抗粘扣性能,一般情况下镀铜层的抗粘扣性能要比磷化层好,但本文粘扣和脱扣的套管接箍内螺纹是经过镀铜处理的,这说明表面处理层的影响不是导致该井套管严重粘扣和错扣的主要原因。该批套管曾经抽样进行过上、卸扣试验,结果表明套管本身抗粘扣性能良好,因此这可以排除由于套管本身质量问题导致粘扣的可能性。

3 结论及建议

套管发生脱扣主要是由严重的粘扣引起的,而套管严重粘扣则主要与下井操作不当有关,包括套

管下井时螺纹保护器脱落,没有使用对扣器和引扣钳,上扣速度过快以及起吊方式不当等。建议井队在下套管时严格执行下套管作业规程。

参考文献:

- [1] 吕拴录,刘明球,王庭建,等. J55 平式油管粘扣原因分析[J]. 机械工程材料,2006,30(3):69-71.
- [2] 吕拴录. $\phi 139.7 \times 7.72 \text{ mm}$ J55 长圆螺纹套管脱扣原因分析[J]. 钻采工艺,2005,28(2):73-77.
- [3] API Bull 5C2-1999 Bulletin on performance properties of casing, tubing and drill pipe[S].
- [4] 袁鹏斌,吕拴录,姜涛,等. 长圆螺纹套管脱扣原因分析[J]. 石油矿场机械,2007,36(10):68-72.
- [5] 吕拴录,骆发前,唐继平,等. 某井 177.8 mm 套管固井事故原因分析[J]. 钻采工艺,2009,32(4):98-101.
- [6] LÜ Shuan-lu, HAN Yong, QIN Chang-yi, et al. Analysis of well casing connection pullout[J]. Engineering Failure Analysis,2006,13(4):638-645.
- [7] API RP 5C1-1999. Recommended practice for care and use of casing and tubing[S].
- [8] 吕拴录. 特殊螺纹接头油套管选用中存在的问题及使用注意事项[J]. 石油技术监督,2005,21(11):12-14.
- [9] 吕拴录,常泽亮,吴富强,等. N80 LCSG 套管上、卸扣试验研究[J]. 理化检验-物理分册,2006,42(12):602-605.
- [10] 吕拴录,康延军,孙德库,等. 偏梯形螺纹套管紧密距检验粘扣原因分析及上卸扣试验研究[J]. 石油矿场机械,2008,37(10):82-85.
- [11] 吕拴录,骆发前,赵盈,等. 防硫油管粘扣原因分析及试验研究[J]. 石油矿场机械,2009,38(8):37-40.

(上接第 211 页)

体硬度检测有一定的参考价值,当实体硬度值出现偏低或偏高时,可以参考抗拉强度来判断是材料自身力学性能有问题,还是检测方法存在偏差。

(4) 当 ZG06Cr13Ni4Mo 不锈钢叶片的拉伸性能出现波动,或性能不合格时,也可通过提前对铸件试块进行布氏硬度检测来预计其相应的抗拉强度,从而核实改进生产工艺。

参考文献:

- [1] 马育华. 试验统计[M]. 北京:农业出版社,1982.
- [2] 洪南,侯军. MINITAB 统计分析教程[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [3] 范玉妹,汪飞星,王萍,等. 概率论与数理统计[M]. 北京:机械工业出版社,2007.