六西格玛在提高螺纹钢负偏差合格率中的应用

郑启蒙[1],武艳香[1],张 川[1],吴明明[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司长材厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术质量部,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章以Φ25 mm螺纹钢为例,结合六西格玛使用DMAIC步骤解决问题的思路,以数据为依托,确定影响螺纹钢负差合格率的根因,制定根因的控制水平,将螺纹钢负差合格率从65.6%提高到91.36%,以更好的适应螺纹钢理论重量交货,提高产品利润,降低吨钢成本。

关键词: 螺纹钢; 六西格玛; 负偏差

中图分类号: TG335.6+4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)05-0055-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.05.016

Application of Six Sigma in Improving Qualified Rate for Negative Deviation of Screw-thread Steel

Zheng Qi-meng[1], *Wu Yan-xiang*[1], *Zhang Chuan*[1], *Wu Ming-ming*[2]

(1. *Long Products Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technology Quality Dept. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the basic reasons for the qualified rate for negative deviation of screw-thread steel are determined and the control level of basic reasons is established by taking φ25 mm screw-thread steel as an example, combining with the idea of six sigma using DMAIC steps to solve problems and supporting by data. As a result, the qualified rate for negative deviation of screw-thread steel is increased from 65.6% to 91.36% in order to better adapt to the delivery of screw-thread steel by theoretical weight, increase product profit and reduce costs of per ton of steel.

Key words: screw-thread steel; six sigma; negative deviation

国内螺纹钢生产企业相继实行负偏差轧制,实现理论重量交货。螺纹钢共轧制7个规格,其中Φ25 mm螺纹钢产量约占全年生产总量的32%,比重较大,具有代表性。按照GB1499.2—2007标准规定[1],Φ25 mm螺纹钢重量偏差允许±4%。重量偏差内控目标制定在-2.7%~-3.8%之间,目前实际完成在0~-4%之间,内控合格率偏低且散差较大,因此提高内控合格率、缩小散差是借助六西格玛亟待解决的问题。

1 定义阶段(D阶段)

该阶段定义了研究对象的指标即所谓的Y,螺纹钢重量偏差内控合格率(Y)=(符合内控重量负偏差捆数/总捆数)×100%,其中整捆称重自动生

收稿日期: 2018-02-22

作者简介: 郑启蒙(1983-),男,陕西省西安市人,工程师,现从事线棒材轧钢及工艺稳定性工作。

成重量负差值,每班统计内控合格率;钢筋的重量偏差(%)=【实际重量-理论重量)/理论重量】×100%,内控要求重量偏差范围为-2.7%~-3.8%,则整捆过磅重量应为2 666.66~2 697.16 kg。与之关联的数据有:Φ25 mm螺纹钢整捆为12 m定尺60支,理论重量为2 772 kg,目标是使得Y的值稳定在90%以上。

2 测量阶段(M阶段)

2.1 Y的分层与分解

Y(螺纹钢重量偏差内控合格率)=(符合内控捆数/总捆数)×100%,符合内控的捆数计算方法:

(1)规定60支12 m定尺Φ25 mm螺纹钢理论重量为:2 772 kg,符合内控捆数其中要求重量偏差范围为-2.7%~-3.8%之间,因此整捆实际重量要求在2 667~2 697 kg之间。

(2)捆重量负差偏差由地磅系统自动称重生成,其中钢筋的重量偏差(%)=【实际重量-理论重量)/理论重量】×100%。

(3)捆实际重量=ρ×S×L=7.85×π(R/2)2×L,其中:y1=R(螺纹钢内径尺寸),y2=L:螺纹钢定尺长度。

(4)验证y1与y2和符合内控负差范围内实际重量的关系,收集y1(内径尺寸)与y2(定尺长度)和符合内控负差范围内的整捆实际重量250组,借助minitab软件,利用多元线性回归运算可知:整捆实际重量=2 364+49.5×内径-72×定尺长度,该线性模型是有效可以接受的,但y2(定尺长度)为不显著变量,删除该因子可再进行回归分析[2]。

(5)在去除不显著变量y2(定尺长度)后,经minitab软件利用一元线性回归对250组数据再次分析,得出修正后的模型为:整捆实际重量=1 462+51.1×y1内径。

(6)利用回归方程对实际内径尺寸要求进行预测,利用修正后的模型:整捆实际重量=1 462+51.1×y1内径,经minitab软件预测,当整捆实际重量在2 667~2 697Kg之间时,95%的置信区间使得内径在23.80~24.16 mm之间控制。

2.2 测量系统分析

在明确研究目标之后,对生产工艺过程当中所涉及的4个测量系统进行分析验证,其中包括:轧钢样房外形尺寸测量系统,定尺长度测量系统,光电计数器测量系统,称重地磅测量系统,但其中定尺长度因子y2在2.1中给予排除,光电计数器、称重地磅系统均为在线设备,测量系统认为可靠,在此仅考虑轧钢样房外形尺寸测量系统的可靠性。

(1)内径测量系统分析

按要求15 min在样房使用取样小车手动取样一次,一次取样一根,样品长度要求50 cm,用游标卡尺测量内径尺寸,4个班检查员分别对30个样品的内径各测量2次,测量样品的中部位置,精确到0.02 mm。内径测量系统测量工具是经计量处检验过,并在使用期限内的测量工具,不存在偏倚现象,因此只做重复性和再现性分析。借助minitab软件,最终结论表明:y1的P/TV(测量系统波动占过程整体波动的百分比)=25.64%<30%、P/T(测量系统精度占公差的百分比)=18.05%<30%、明显分类数=7≥5,该测量系统的重复性和再现性都比较好,测量系统可以接受。

(2)现状分析

在测量系统稳定可靠的前提下,随机抽取生产过程中227捆负差样本,测量其内径、定尺长度、整捆支数等关联数据,最终借助minitab软件对该连续型数据进行分析,得到CP=1.48 CPK=0.75,说明实际过程能力不足,需要进一步改善。按照六西格玛对过程能力的要求,潜在过程能力CP在1.33~1.67表明过程能力充足,1~1.33表面过程能力尚可;实际过程能力CPK在1.33~1.67表明实际过程能力充足,1~1.33表面实际过程能力尚可[3]。

3 分析阶段(A阶段)

分析阶段利用详细生产流程图、生产过程流程分析(IPO图)、CE矩阵分析,最终确定影响25 mm螺纹钢内径尺寸的重要因子共有11个,而后通过FMEA对11个因子进行再分析,最终对关键指数RPN在200分以上的7个因子进行因子间关联分析,其中2个因子存在关联,因子数由7个变成了6个,并且6个因子中有2个因子(取样、料型测量管理差,轧钢操作台操作管理差)可进行快赢改善一步解决。据统计,快赢改善后综合的过程能力CPK由原有的0.75提高到现有的1.04,内控合格率由原有的65.6%提高到84.72%。其余4个因子需做因子验证,确认是否与内径尺寸存在必然联系。

3.1 钢坯加热温度(钢坯出炉温度)因子验证

收集钢坯头、中、尾三段平均温度16组,计算整根钢坯的温度极差,以此反应钢坯加热温度的不均

匀程度，同时对应收集成品头、中、尾三段内径尺寸，计算内径极差，以此反应成品内径的不均匀程度，最终验证温度对成品内径不均匀的影响，其中开轧绝对温度规程要求控制在 950 ~ 1 050 ℃。

借助 minitab 软件，得出对应 F 统计量 93.74 的 P 值 0.002 < 0.05，所以从整体上判断回归方程是显著有效的；回归方程 $R-Sq$ 与 $R-Sq$(调整) = 85.9% 很接近，说明拟合的模型可以解释内径中 85.9% 的变异，回归效果尚可；回归方程显著时，自变量 X 系数的 P 值 = 0.002 < 0.050，说明加热温度是显著因子。

3.2　轧辊硬度因子验证

收集成品架轧辊在 1 ~ 4 茬各状态下，每茬共计 7 个槽中同等过钢量对应的内径平均值，计算各项方差在总方差中所占的比率，最终验证轧辊硬度对控制成品内径的影响。

借助 minitab 软件进行方差分析，结果表明轧辊硬度方差占总方差的 89.37%，误差占总方差的 10.63%，不同茬数所对应的硬度值在一定生产能力内所带来的内径的变异贡献率最高，同时通过Pareto 图很容易看到，不同硬度之间所带来的产品内径差异确实是非常显著的，说明自变量轧辊硬度不均匀是显著因子。

3.3　轧辊材质因子验证

在相同条件下，收集 15 组铸钢轧辊与碳化钨复合轧辊每个轧槽对应的成品符合内径要求的合格率，验证轧辊材质对内径的影响。首先对两组数据进行等方差检验，在方差相等的基础上，再次对数据进行双样本 T 检验。经 minitab 软件运算表明：由于内径合格率服从正态分布，输出的 F 检验的 P 值 = 0.308 > 0.050，因此不能拒绝原假设，两种轧辊对内径影响的方差是相等的；同时双样本 T 检验的 P 值 = 0.000 < 0.050，因此拒绝原假设(相等)，认为复合轧辊对内径合格率的影响是显著的。

3.4　冷却水压因子验证

在其它状态都相同的前提下，收集 1 茬铸钢轧辊，6 个轧槽在 0.20 ~ 0.53 MPa 之间的不同水压条件下，每过 15 根钢坯对应的成品内径极差的大小，验证轧辊冷却水压对内径的影响。经 minitab 软件使用嵌套方差分析，结果表明：冷却水压方差占总方差的 97.36%，误差占总方差的 2.64%，不同水压所对应的内径极差值在一定生产能力内所带来的变异贡献率最高。

4　改进阶段(Ⅰ阶段)

按照分析阶段得到的 4 个显著影响因子进行试验设计计划，其中轧辊材质涉及到“碳化钨轧辊”目前没有轧辊可供试验，无法完成分区组试验，因此我们仅做普通轧辊对响应变量的改进研究。结合项目实际，此处选择“全因子试验设计”。

4.1　确定可控因子及相应水平(见表 1)

表 1　三因子两水平控制表

可控因子		钢坯加热温度/℃	轧辊硬度(肖氏)	轧辊冷却水压/MPa
因子水平	高水平	1 050	72	0.53
	低水平	950	50	0.20

4.2　试验结果

借助 MINITAB 生成如下全因子试验计划见表 2。试验以标准化操作为前提，按照生产实际，待开轧稳定后，在如下各因子水平组合工况下，取连续 20 根成品的内径值做平均，作为该水平下的成品内径。其中要求成品架轧机用相同机架；原料用常用的 HRB400 原料；试验连续进行。

经 minitab 软件运算，拟合因子：成品内径 与钢坯加热温度，轧辊硬度，轧辊冷却水压，轧辊硬度 × 轧辊冷却水压的估计效应和系数，其中三因子 A(钢坯加热温度) \ B(轧辊硬度) \ C(轧辊冷却水压) \ B × C P 值 < 0.05，可以判定 3 因子及 B × C 交互影响显著。在成品内径的方差分析中，主效应 P 值 < 0.05，可以判定模型基本有效，在失拟一栏中，P 值为 0.794，无失拟现象，但二阶 AB 和 AC 为不显著因子项，因此应剔除该二阶因子后重新运算并建立模型。再次进行方差分析和计算相应成品内径的估计效应和系数，结果表明：主效应 P 值 < 0.05，可以判定本模型有效，在失拟一栏中，P 值为 0.543，无失拟现象，最终得到回归方程：成品内径 y1 =

20.349 5 + 0.002 05A + 0.026 8B + 6.1239 7C − 0.112BC，在响应优化器中可知：因子 A（钢坯加热温度）取 1 014 ℃，因子 B（轧辊硬度）取 72，因子 C（轧辊冷却水压）取 0.2 MPa 时，最终内径尺寸达到 23.98 mm，到此通过两次回归运算，删除不显著项后，确定了最终的影响 y1（内径）的回归方程，并用响应优化器确定了最终的 3 因子控制水平。

表2 全因子试验计划表

标准序	运行序	中心点	区组	钢坯加热温度/℃	轧辊硬度（肖氏）	轧辊冷却水压/Mpa	成品内径/mm
7	1	1	1	950	72	0.530	23.10
4	2	1	1	1 050	72	0.200	24.04
8	3	1	1	1 050	72	0.530	23.52
3	4	1	1	950	72	0.200	23.84
1	5	1	1	950	50	0.200	23.82
2	6	1	1	1 050	50	0.200	23.86
6	7	1	1	1 050	50	0.530	24.10
5	8	1	1	950	50	0.530	23.94
9	9	0	1	1 000	61	0.365	23.72
10	10	0	1	1 000	61	0.365	23.92
11	11	0	1	1 000	61	0.365	23.82

4.3 实施方案

（1）钢坯加热温度改善

修订加热规程，结合现场将原有 950 ~ 1 050 ℃ 范围调整到（1 014 ± 15） ℃，且钢坯任意点温差不大于 20 ℃。在 6# 台增加出炉钢坯温度监测画面，从设备上满足工艺要求。在轧钢取样中，要求轧钢样房分别对上冷床成品进行头、中、尾循环取样，保证成品通条尺寸的稳定。轧钢部加强轧机修复管理，保证上线轧机整体稳定性，为此总结并申报短应力轧机精准快速先进操作法。

（2）轧辊硬度改善

对新进毛辊进行严格验收，逐一检测，保证轧辊硬度在 72 ± 6 范围。对返茬轧辊进行相近硬度配对，防止上线后内外辊磨损不均，造成内径尺寸的波动。定期对手持硬度计进行校准，保证数据真实可信。

（3）轧辊冷却水压改善

在精轧区安装冷却水增压泵（变频），防止轧辊冷却水压力不够，同时轧钢部对 6# 台操作工进行培训，将操作步骤写入规程。在轧机旁安装冷却水压力表，更加直观的反应水压，保证出水压力控制在（0.20 ± 0.02） MPa，同时增加闪光报警装置。要求各班利用交接班时间对冷水水管进行检查清理，防止出水不畅。

4.4 效果验证

统计 2016 年 8 月 15 至 30 日的生产数据，验证了控制 3 因子水平在实际生产中的作用，最终改进阶段重量负偏差内控合格率综合水平达到 91.2%，但还存在个别班次低于 90% 的情况，*CPK* 由分析阶段的 1.04 提高到现有的 1.28，与目标还有一定差距。

5 控制阶段（C 阶段）

5.1 改进文件标准化

对钢坯出炉温度（均热炉膛温度）x1 进行改进并写入《棒材加热操作规程（QEO/03009 GC 01），除温度外，要求加热微机室每 30 min 对均热段温度微调一次；将成品架轧辊硬度 x2 进行改进并写入《棒材轧辊验收及配辊制度（长材字〔2016〕26 号）；将轧辊冷却水压 x3 写入《轧辊冷却水启停泵操作制度（长材字〔2016〕26 号），规范了成品架轧辊冷却水压；将样房取样频次写入棒材样房取样制度（长材字〔2016〕26 号），提高了样房取样频次；最后将轧机转速调整也写入轧钢操作台操作制度（长材字〔2016〕26 号），对轧机转速进行规范避免拉钢轧制。

5.2 控制计划

在按照改进后的标准文件对各控制项目进行控制的前提下，对钢坯出炉温度(均热炉膛温度) x1、成品架轧辊硬度 x2、轧辊冷却水压 x3、成品内径控制 y 以及单班次整体内控合格率 Y 绘制 I – MR 图，以验证改进后各因子的控制水平。

5.3　数据收集

连续收集 5.2 中各项目数据，其中 x1 收集 30 个样本，防止温度超出要求范围; x2 收集 25 个样本，防止整体或单独一根或某一轧槽硬度不符合要求; x3 收集 25 个样本，防止冷却水压力不在范围; 成品内径控制 y 收集 30 个样本，防止内径超出控制线; 单班次整体内控合格率 Y 收集 10 个样本。

5.4　效果分析

(1) 钢坯出炉温度效果分析

对 x1 对应的 30 个样本数据进行分析，利用 minitab 软件绘制钢坯出炉温度的 I – MR 图，图表显示该组数据符合波动要求，其中单值控制图和极差控制图均在判异原则之内进行。

(2) 成品架轧辊硬度效果分析

对 x2 对应的 25 个样本数据进行分析，利用 minitab 软件绘制轧辊硬度的 I – MR 图，图表显示极差控制图符合波动要求，但在轧辊单值控制图 7 点处硬度出现异常，分析原因: ①轧辊铸造问题 ②轧辊返茬车削时没有车干净。

措施: ①加强轧辊验收，每个轧辊硬度检测 5 个点，有一个点不在规格线则退回。②制作标准样板，避免车削不够影响硬度检测。③对已上线硬度不够的轧辊轧槽，跳过不使用，以免影响负差或带来其它质量问题。

(3) 轧辊冷却水压效果分析

对 x3 对应的 25 个样本数据进行分析，利用 minitab 软件绘制轧辊冷却水的 I – MR 图，图表显示该组数据符合波动要求，其中单值控制图和极差控制图均在判异原则之内进行。

(4) 成品内径控制 y 效果分析

对 y 对应的 30 个样本数据进行分析，利用 minitab 软件绘制成品内径的 I – MR 图，图表显示该组数据符合波动要求，其中单值控制图和极差控制图均在判异原则之内进行。

(5) 整捆内控合格率 Y 效果分析

对 Y 对应的 10 个样本数据进行分析，利用 minitab 软件绘制成品内径的 I – MR 图，图表显示连续 10 个班组内控合格率数据波动正常，其中单值控制图和极差控制图均在判异原则之内进行。

(6) 控合格率 Y 与工序能力提升效果分析(见表 3)

整理汇总该项目各阶段内控合格率实际值和对应的 *CPK* 值，图表显示在分析阶段和改进阶段目标值提升较快，控制阶段目标值趋于稳定，随着 *CPK* 的提升各班次内控合格率也有了较大程度的提高，达到预期目标。

表 3　各阶段工序能力(*CPK*) 及内控合格率提升效果

阶段名称	定义阶段	分析阶段	改进阶段	控制阶段
内控合格率/%	65.60	84.72	91.20	91.36
CPK 值	0.75	1.04	1.28	1.35

6　结论

(1) 六西格玛管理方法按照 DMAIC 的步骤，在提高 25 mm 螺纹钢内控合格率指标方面取得了科学性的进展，使得工序能力由 0.75 提高到 1.35，达到较好的水平; 成品内控合格率也由原有的 65.6% 提高到现在的 91.36%，完成了项目既定目标。

(2) 六西格玛这一先进管理方法的应用，使得企业管理的精细化水平得到了提升，同时项目组成员分析问题、解决问题的能力和团队协作能力得到了提高。

参　考　文　献

[1] GB1499.2—2007. 钢筋混凝土用钢(第 2 部分) . 热轧带肋钢筋 [S] .

[2] 马逢时. 六西格玛管理统计指南——MINITAB 使用指导(第二版) [M] . 北京: 中国人民大学出版社，2012.

[3] 何桢. 六西格玛管理(第三版) [M] . 北京: 中国人民大学出版社，2014.