汽车变速器齿轮电子束焊接变形控制

□ 陕西法士特集团公司/王斌

电子束焊接技术已广泛应用于汽车变速器传动齿轮加工中，该技术在应用中对焊接齿轮的齿部尺寸变化有诸多影响因素。本文针对我公司采用电子束焊接技术的常见产品进行工艺性分析其变形情况，以便于工艺人员控制该类零件的成品齿部尺寸。

近年来电子束焊接技术广泛应用于汽车变速器传动齿轮。应用时，目前仅有一些固定公式或图表可供参考，实际中，其焊接参数是根据焊接件焊缝的接口类型、焊缝的直径、深度和焊接件材料等实际情况来现场调整的，最终达到焊接工艺要求，而选择不同的焊接参数，最终造成不同类型焊接件的齿部变形不同。

本文针对我公司齿轮类产品采用电子束焊接工艺，对常见的焊接件提出了工艺上的焊接变形量控制意见。

问题

我公司变速器中的部分同步器结合齿圈，在成品时，其跨球距尺寸超出产品图要求下差，超差量在-0.01～-0.19mm范围。初步分析如下：同步器结合齿圈为外齿圈，齿部跨球距尺寸为外尺寸，首先应考虑热处理变形的影响。热处理后该尺寸增大，根据以往经验，结合齿圈跨球距热处理变形量为0.04～0.10mm，按此调整热前工艺尺寸，热后部分零件还是超出产品图要求下差。此时，已排查了零件材料、滚齿加工过程、热处理过程，均无异常。

对不合格零件进行归类整理，超差零件绝大多数为电子束焊接零件，这类零件的超差量为-0.08～-0.19mm，而其余同步器结合齿圈超差量为-0.01～-0.09mm。

解决过程

我公司采用的电子束焊接工艺均为热前焊接，焊接零件主要为轴类齿轮或盘类齿轮与同步器结合齿圈的焊接，主要类型有三类，如图1所示。

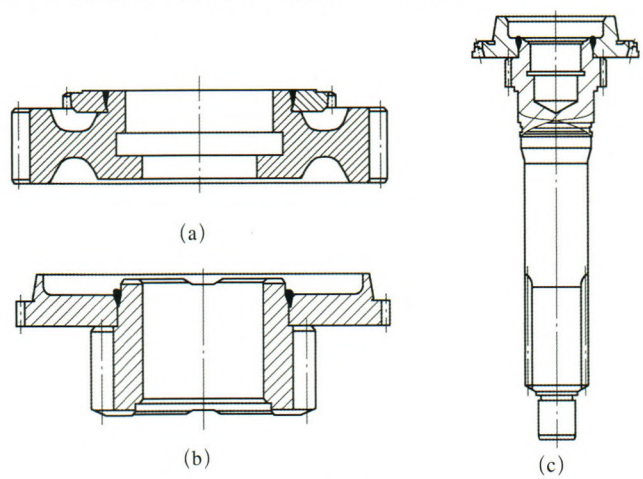

图 1

针对以上三种类型，各选一种典型零件进行齿部变形工艺试验，主要探索电子束焊接变形量，为以后工艺编制提供可靠数据。实验前，已确认试验零件材料合格，滚齿加工稳定，热处理过程执行工艺要求。

（1）第一类。试验零件产品图跨球距尺寸为$152.1^{-0.19}_{-0.41}$mm，滚齿序工艺尺寸为$152.1^{-0.34}_{-0.44}$mm，成品测量时该尺寸超差-0.15～-0.19mm。

第一轮试验时，工艺尺寸由$152.1^{-0.34}_{-0.44}$mm调整为$152.1^{-0.21}_{-0.27}$mm，增加约+0.15mm，试验数据如图2所示。

由图2可见，第9件工件终检序的跨球距尺寸异常，计算时排除，数据处理如图3所示。

第一轮试验后终检序尺寸为151.671mm，仍超产品图尺寸$152.1^{-0.19}_{-0.41}$mm下限；进行第二轮试验，工艺尺寸由$152.1^{-0.34}_{-0.44}$mm调整为$152.1^{-0.14}_{-0.2}$mm，增加约+0.20mm，试验数据如图4所示。

第二轮试验后，终检序尺寸全部符合产品图要求$152.1^{-0.19}_{-0.41}$mm，试验数据处理如图5所示。

两轮试验相比较，各序间变化值及总变化值比较接近，可见，焊接前后跨球距是缩小的，值为-0.2mm左右，此类零件，成品尺寸与滚齿序工艺尺寸相比也是缩小，值为-0.17mm左右。

（2）第二类。试验零件产品图跨球距尺寸$115.7^{-0.2}_{-0.32}$mm，滚齿序工艺尺寸为$115.7^{-0.3}_{-0.35}$mm，成品测量时该尺寸超下差-0.07～-0.1mm。

试验时，工艺尺寸由$115.7^{-0.3}_{-0.36}$mm调整为$115.7^{-0.19}_{-0.75}$mm，增加约+0.11mm。试验数据和处理结

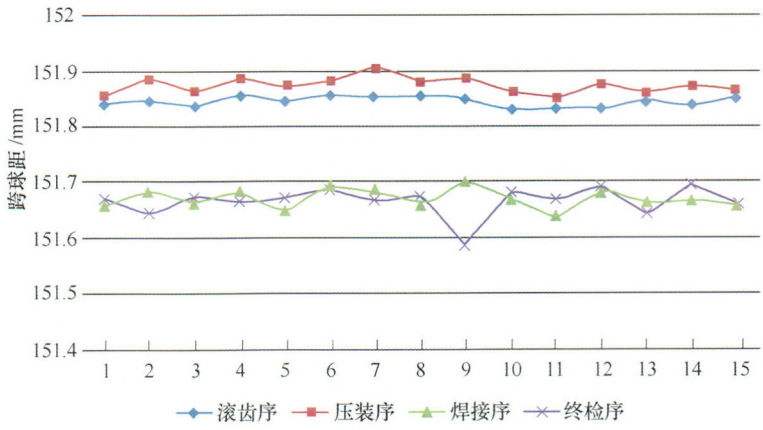

图 2

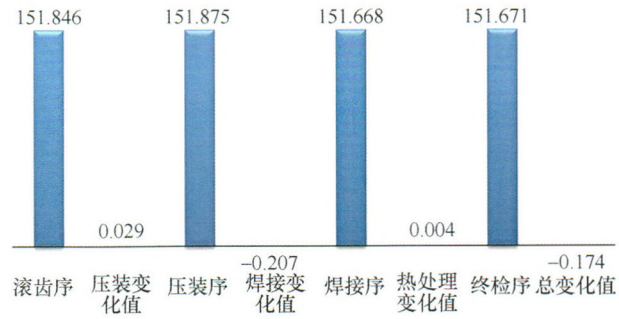

图3 各序平均值及变化值

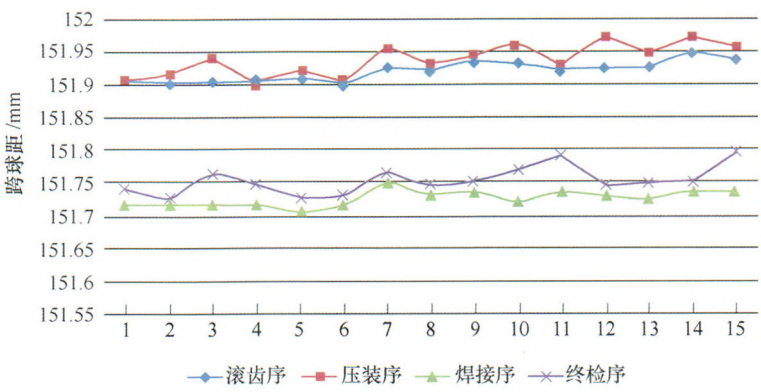

图 4

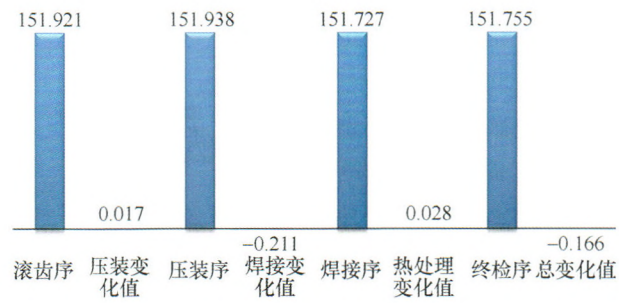

图5 各序平均值及变化值

果如图6和图7所示，终检序尺寸全部符合产品图要求115.7$^{-0.2}_{-0.32}$mm，此类零件焊接前后跨球距缩小大约-0.14mm，总变化值即成品尺寸与滚齿序工艺尺寸相比也是缩小，约-0.07mm。

（3）第三类。试验零件产品图跨球距尺寸为102.9$^{-0.046}_{-0.166}$mm，滚齿序工艺尺寸为102.9$^{-0.01}_{-0.07}$mm，成品测量时该尺寸超下差-0.04～-0.08mm。

试验时，工艺尺寸由102.9$^{-0.01}_{-0.07}$mm调整为102.9$^{0.08}_{0.02}$mm，增加约+0.09mm。试验数据和处理结果如图8和图9所示，终检序尺寸全部符合产品图要求102.9$^{-0.046}_{-0.166}$mm，此类零件焊接前后跨球距也是缩小，大约-0.2mm，总变化值即成品尺寸与滚齿序工艺尺寸相比缩小，约-0.16mm。

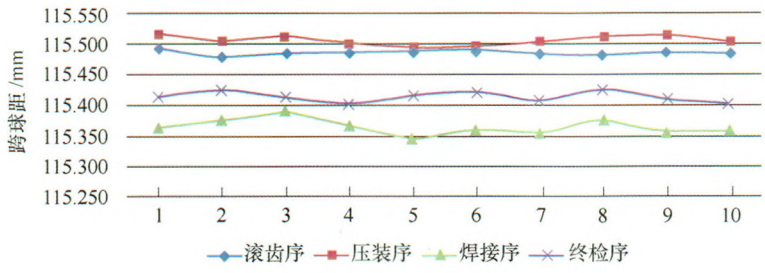

图 6

图7 各序平均值及变化值

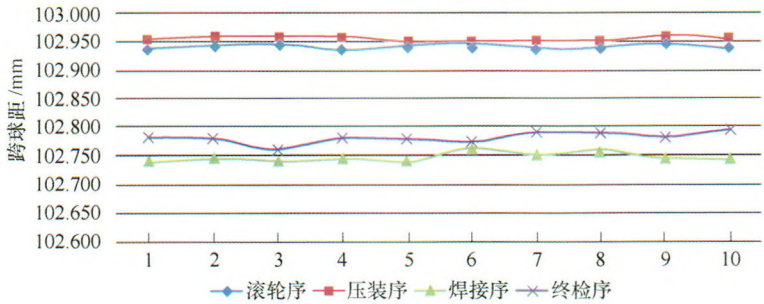

图 8

图9 各序平均值及变化值

结论

总结以上三种类型零件各工序间及跨球距尺寸变化情况及总变化值见附表。

三种类型零件各工序间及跨球距尺寸变化情况及总变化值

（单位：mm）

各类型	压装变化值	焊接变化值	热处理变化值	总变化值
第一类	+0.023	-0.209	+0.016	-0.170
第二类	+0.020	-0.141	+0.048	-0.073
第三类	+0.013	-0.207	+0.033	-0.160

对以上三类电子束焊接零件总结如下：

（1）压装工序产生的同步器结合齿跨球距尺寸变化较小，原因是我公司采用电子束焊接的两零件为小过盈，压装后变化较小。

（2）焊接工序产生的尺寸变化最大，主要原因是电子束焊接为高能融化焊及因其工艺特性，焊接时焊缝处融化，金属溶液溢出焊缝上端，焊缝内部材料减少，焊后形成焊缝凸起，冷却过程中同步器结合齿圈向内收缩后，齿部尺寸变小。另一部分原因是，焊后，焊缝处晶相组织有所变化引起的体积变化。

（3）热处理产生的尺寸变化也较小，引起热处理变形的主要原因是钢的组织转变时比容变化引起的体积变化以及热应力引起的应变，而电子束焊接件在焊缝冷却时同步器结合齿圈一侧形成向内的径向收缩残余应力，热处理时的体积变化及热应力的应变先抵消该残余应力，然后会有微量的外部尺寸变化，故相比常见的非焊接齿轮热处理变形小。AUTO1950