

PDCA循环在热冲压模具调试过程中的应用

段永杰，倪枫林

卡斯马汽车系统（上海）有限公司 上海 200240

摘要：为完成M公司某热冲压保险杠模具调试，解决过程中遇到的质量问题，达到交样条件，采用PDCA循环进行模具调试。在计划阶段，设定调试目标，分析零件尺寸波动原因，制定调试计划；在实施阶段，对分析出来的真因进行优化；在检查阶段，通过做测零件尺寸和四角限位到底情况对优化效果进行检查；在处置阶段，针对Ppk未达到量产标准的问题制定新的应对措施。通过调试，某热冲压保险杠尺寸明显好转，合格率由65%提升至100%，零件尺寸稳定性提高，解决了其无法小批量交样问题，同时提高了调试效率，节省了调试成本。验证了PDCA循环在热冲压模具调试过程中的有效性。

关键词：热冲压保险杠；PDCA；热冲压调试

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.10.007

作为降低车身质量、帮助降低汽车碳排放同时能够提高车身强度保证乘客安全的有效技术手段，热冲压零件在车身上的应用越来越多^[1]。热冲压通过加热炉将板料充分加热至奥氏体化后，快速投入冲压模具，冲压的同时通过水道快速冷却淬火，使之马氏体化，获得超高强度的零件。但从模具组装完成到本地稳定批量生产，有较长时间的调试过程，尤其是当模具回到母线后，需要占用母线产能，如何高效地调试，用较短的时间解决模具、零件、产线匹配等问题，成为热冲压厂重点研究的课题之一。

PDCA循环作为解决问题并持续改进的有效工具，应用于热冲压模具调试，有较大的研究价值，主要分为四个阶段，分别为：计划阶段P（Plan）、执

行阶段D（Do）、检查阶段C（Check）及处理阶段A（Act）。在计划阶段主要有分析现状、找出原因、分析原因及拟定措施计划等步骤；在执行阶段执行制定的计划；在检查阶段主要评估效果和找出执行过程中的问题；在处理阶段主要制定新的改进措施和目标。

鞠兴华、杨晓华等通过两次PDCA循环改进，将后压浆综合优良率由78%提高到100%，满足站内无砟轨道铺设对基础沉降量的要求，减少了返工，提高了经济效益^[2]。

李华桥、吴霄等基于PDCA循环法，找出断路器跳闸主要原因，制定合适方案和计划，通过验证证明方案可以提高断路器系统抗冲击能力，达成不再跳闸的目标^[3]。

通过文献分析可以发现,PDCA循环在改进工艺、改善产品质量、提高生产效率及优化成本等方面均取得很好效果,得到广泛应用。本文将应用PDCA循环完成M公司某热冲压保险杠模具调试,解决过程中遇到的质量问题,达到量产条件。

项目信息

结合某热冲压模具经在供应商处进行验收,零件尺寸合格率95%,研合着色率90%,动静检未发现影响尺寸合格率其他问题,验收合格,模具回厂。2022年9月进行母线首次出件,测得抽样零件尺寸波动超出公差带宽度,零件尺寸合格率仅为70%左右,零件无法交样,更无法达到量产要求,如图1所示。

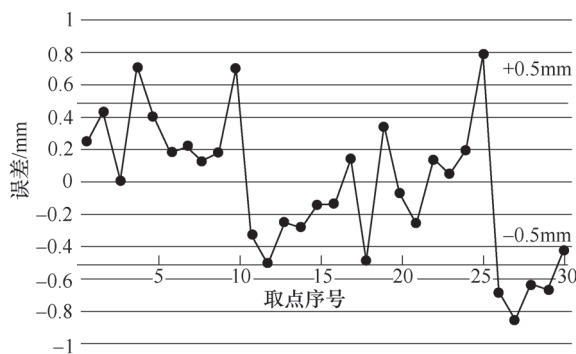


图1 抽样尺寸

为提高调试效率,提高零件合格率,尽快达到量产状态,应用PDCA循环分阶段按步骤进行热冲压调试。

PDCA循环计划阶段

计划阶段需要设定调试目标、找出零件尺寸差、波动大的原因,制定解决方案和调试计划。

1. 设定目标

计划调试的最终目标主要是产品尺寸合格率达到100%,Ppk达到1.67,Cpk达到1.33,成本尽可能低,至少要低于报价目标成本,最终顺利量产。根据经验,母线调试需要较长周期且较多轮数的调试、改模才能达到最终目标,目标分解合理十分重要。

当零件尺寸波动大、合格率较低时,优先要解决的是尺寸波动大,才能进行下一步改模,进而提高零件合格率。即将零件尺寸波动缩小至公差带的2/3。

2. 分析原因

根据经验并查阅文件,同时组织名义小组讨论,总结出热冲压尺寸波动的主要原因如图2所示。

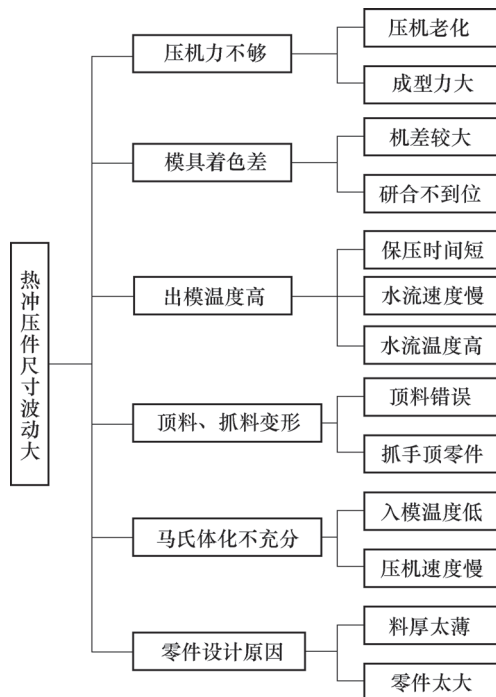


图2 热冲压件尺寸波动原因

通过调查、实验分析、测试等手段对图2中6个原因逐一分析,分析结果如下:

1) 通过确认压机确有老化现象,额定800t压力只能用到780t左右。同时,通过CAE分析得出所需成型力为750t,按照以往经验,需乘以1.2倍系数,约为900t,才是实际所需成型力。此因可能为尺寸波动重要原因。

2) 冲压模具研合率是模具制造过程中重要质量指标^[4]。虽然模具回厂前已确认研合到位,着色较好,但受机差影响,母线着色差是大概率事件,需要确认母线着色并重新研合。根据以往经验模具母线着色差,可能是尺寸波动的主要原因。

3) 出模温度高会导致零件空冷时不受模具约束,变形不稳定。一般要求出模温度低于200℃^[5],但对于尺寸易波动零件,需要降低出模温度,以减少空冷变形。经查零件出模温度检测仪记录,本项目零件出模温度约为60℃,排除出模温度高的原因。

4) 由于本模具无下压料板,且已确认零件拔模角 $>15^{\circ}$,不会卡在凸模上和顶料插片上,顶料无变

形。取零件的抓手夹紧后未对零件施加扭转力，本原因可以直接排除。

5) 热冲压零件成型时温度越高，所需的成型力就越小，冷却速度达到条件后铁素体转化成马氏体就越充分，冷却保压后的零件越稳定^[6]。成型时温度高需要两个条件，入模温度高和冲压速度快。经查入模温度记录仪，本项目入模温度大于830℃，入模温度原因排除。查压机参数，发现到底前50mm压机下压速度为50mm/s，速度较慢，为较可疑原因之一。

6) 本零件厚度2.3mm，零件长度小于1m，为不易变形零件，排除零件设计原因。

综上，是否存在机差、压机力是否够用、模具着色率及压机速度可能是本次零件尺寸波动的重要原因，也是将要进行调试的重点。

3. 形成计划

提高调试效率、减少调试次数，还需要对分析出的原因进行确认，防止出现未经确认就制定措施，做无用功，确认为真因后执行对应措施。

针对重点考虑的三个原因，与计划工程师、生产工程师共同制定调试计划验证，计划如下：

1) 使用一模四腔中的两腔压零件，对比四角铅丝，检查模具到底位置，确认压力是否够用，并压三套零件，确认尺寸是否变好，需求时间为2h。

2) 加快压机速度，对比四角铅丝，检查模具到底位置，确认压力是否够用，并压三套零件，确认尺寸是否变好，需求时间为1h。

3) 使用研磨件压合，确认模具着色率，如着色率小于80%，则重新研合。同时，压四角铅丝，与验收时在模具厂压的铅丝对比，如铅丝数值差0.3mm以上，则说明存在明显机差，也需要重新研合。需求时间为确认机差2h，重新研合16h。

所需求的物料、人力资源也需体现在计划中，并发送至各职能部门主管提前协调。

PDCA循环实施阶段

根据制定的计划分三步进行调试。

1. 确认压机力是否够用

首先，不调整压机速度的情况下，使用一模四腔

压3套零件①~③，在模具四角到底限位1mm槽内在压铅丝，测出A/B/C/D四角铅丝厚度分别为1.53mm、1.65mm、1.82mm和1.96mm，距离到底至少还有0.5mm。

其次，不调整压机速度的情况下，使用一模两腔压零件3套④~⑥，在模具四角到底限位1mm槽内在压铅丝，测出A/B/C/D四角铅丝厚度分别为1.05mm、1.14mm、1.34mm和1.48mm，已经到底。

对比可以发现，一模四腔模具明显压不到底，压机力不够用。

手测做出的6套零件尺寸也可以发现，一模两腔做出的零件尺寸更好，进一步验证了压机力不够用。

2. 确认压机速度对成型力的影响

调整压机速度，到底前50mm将速度50mm/s改为450mm/s，使用一模四腔压零件3套⑦~⑨，在模具四角到底限位1mm槽内在压铅丝，测出A/B/C/D四角铅丝厚度分别为1.03mm、1.06mm、1.05mm和1.05mm，到底情况明显好转。

手测做出的零件⑦~⑨尺寸与④~⑥对比，⑦~⑨尺寸更好，验证了压机速度越快，所需成型力越小。

3. 确认研合率

使用研磨件，进行打合，着色约为70%，着色较差，远低于验收时的90%着色率。压四角铅丝，与验收时在模具厂压的四角铅丝对比，最大差值有0.5mm。说明存在较大机差，需要进行研合。

研合2个班约16h后，重新打合，着色率提升至约90%。压四角铅丝，与验收时差值已在0.2mm以内。

PDCA循环检查阶段

对实施阶段的措施进行验证：使用已经研合至着色率90%的模具，以到底前50mm压机速度为450mm/s的参数，使用一模两腔，做件20件，并测尺寸，数值如图3所示。

其尺寸已100%合格，且波动范围已明显小于公差带宽度。

但计算平均值 $M=0.156\text{mm}$ ，标准差 $S=0.15\text{mm}$ ，不考虑中心值偏移，其过初始程能力指数为1.11。

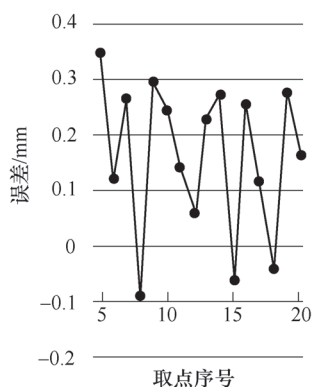


图3 改善后零件尺寸

PDCA循环处置阶段

将到底前50mm压机速度450mm/s，写入压机参数表，固化本次调试成果。

鉴于公尺寸合格率已100%，波动已小于公差带宽度的2/3，可以进小批量交样。但其初始过程能力指数还远小于期望值1.67，需要进一步优化模具稳定性。

具体措施如下：

- 1) 在公差范围内放模具凸圆角，已减少所需成型力。
- 2) 继续研合模具至着色率大于等于95%。
- 3) 尺寸稳定性达到以后，针对偏离中心值较大的区域进行改模。

结语

本文在热冲压调试过程中，运用PDCA循环分四

个阶段展开工作，找出影响零件尺寸稳定性的真因，并针对真因进行改善，减少了冲压过程中所需的成型力，提升模具着色，提高了零件尺寸稳定性，解决了不能交样问题。较以往提高了调试效率，节省了调试成本。

最后，热冲压模具将继续按照PDCA循环持续优化过程中遇到的所有质量问题，直到达到量产条件，模具进行终验收。

参考文献：

- [1] 金学军，龚煜，韩先洪，等.先进热成形汽车钢制造与使用的研究现状与展望[J].金属学报，2020，56（4）：411-428.
- [2] 鞠兴华，杨晓华，张莎莎.基于PDCA模式的客运专线灌注桩后压浆质量管理[J].深圳大学学报（理工版），2018，35（2）：139-145.
- [3] 李华桥，吴霄，代俊安，等.PDCA循环在提高仪控设备断路器系统抗冲击能力中的运用[J].上海交通大学学报，2019，53（S1）：61-67.
- [4] 杨庆波，王达鹏，于大江，等.汽车冲压模具快速研合技术探究[J].汽车工艺师，2024（3）：12-15.
- [5] 史晓辰，周波，孙慧.汽车零部件自动化热成形生产线关键技术设计[J].金属加工（热加工），2022（7）：6-17.
- [6] 刘鹏，茹承曦，尤宝卿，等.22MnB5踏板横梁零件的热成形工艺开发[J].锻造与冲压，2023（24）：38-42. **AUTO1950**

（上接第56页）

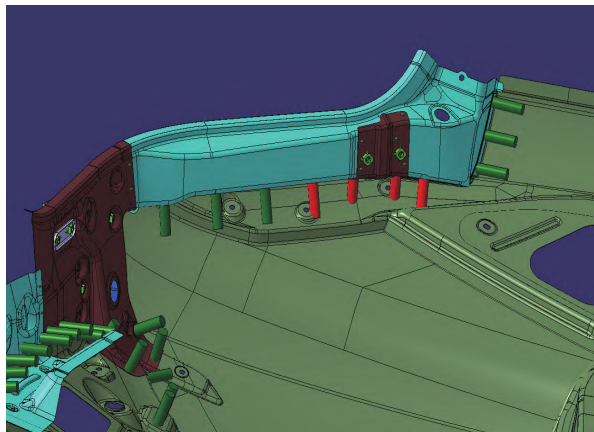


图6 流水槽焊点模拟

结语

焊接可行性分析的全面彻底，会提高产品的数据质量，减少异形焊钳、弧焊，降低开发成本。本文应用CATIA二次开发技术，借助VB软件开发了可以批量生成模拟焊钳的应用程序，并通过实例验证程序的有效性，将缩短焊接可行性分析的周期，提高焊接可行性分析的准确性。

参考文献：

- [1] 胡挺，吴立军.CATIA二次开发技术基础[M].北京：电子工业出版社，2006. **AUTO1950**