

# 石油装备用压环圈型壳成形工艺开发

李光浩 何美丽

(胜利油田豪威科工贸有限责任公司, 山东 东营 257000)

**【摘要】**压环圈是石油装备中一种重要的零件,在石油开采、输送等生产活动中起着重要作用,其内部结构对产品质量及生产效率有很大影响。为进一步提高压环圈产品质量,提升其生产效率,开发新的压环圈型壳成形工艺对提高石油装备产品的质量具有重要意义。在原有的锻件挤压工艺基础上,设计了一种新的压环圈型壳成形工艺,保证产品尺寸精度及力学性能,有效降低产品的制造成本。经实际生产验证,该成形工艺可实现批量生产,具有较高的经济效益。

**【关键词】**石油装备用压环圈;型壳成形工艺;开发

## 引言:

压环圈是石油装备中常用的一种环形零件,其应用领域较广,如用于钻井液和泥浆输送系统、采油、注水等设备中。压环圈是一种高强度的环形结构,因此在制造过程中需要用到较多的环圈成形工艺,如拉深、扩孔等。随着石油装备市场竞争日益激烈,用户对压环圈产品的性能要求不断提高,而制造工艺的改进能够有效提升产品性能,因此选择合适的压环圈成形工艺尤为重要。本文通过对某石油装备用压环圈进行分析,针对其成形特点提出了相应的成形工艺方案,并通过数值模拟验证了方案的可行性,为压环圈类零件的成形提供了参考。

## 一、压环圈结构及成形特点

压环圈是一种高强度的环形零件,该结构在使用时,将其套在钻井液的内部,进而形成一个密封的环形结构。石油装备用压环圈类零件形状复杂、结构紧凑、尺寸精度高、成形工艺要求较高,因此在成形过程中需要采用多种工艺进行加工,以达到尺寸精度和表面粗糙度等要求。

以拉深工艺为例,压环圈属于拉深件,由于其结构复杂、壁厚不均匀且型腔形状多样、尺寸精度较低等特点,因此在拉深过程中经常出现凹模和凸模表面磨损严重的问题。同时由于压环圈类零件大多是由多道工序加工而成,在拉深过程中容易产生起皱现象,即在拉深过程中由于出现折叠而导致零件出现褶皱、表面质量差等问题。为解决上述问题,一般采用以下几种方法:提高模具刚性;改进模具结构;优化毛坯形状。

在实际生产中,常用的压环圈类零件成形工艺有拉深、扩孔、冷镦等。

## 二、毛坯尺寸及材料选择

压环圈作为石油装备中常用的一种环形零件,性能要求较高,在实际使用过程中需承受较大的拉应力。而毛坯尺寸的确定在很大程度上决定了拉深成形

工艺的选择,因此选择合适的毛坯尺寸对于压环圈成形工艺具有重要意义。由于压环圈材料具有良好的塑性,因此可以通过对其进行预弯处理来降低成形时的应力水平。然而预弯过程中会造成材料的横向变形,影响后续拉伸及精锻过程。因此,对于压环圈而言,合理设计毛坯尺寸能够有效降低预弯阶段的应力水平,保证后续拉深成形时的材料变形均匀性。

压环圈成形过程中存在较大的塑性变形,导致材料屈服极限大幅增加。虽然材料在塑性变形时会产生一定量的残余应力,但当残余应力超过屈服极限后材料便会发生破坏。因此需要合理控制残余应力水平以减少材料在塑性变形过程中出现裂纹或折叠等缺陷。

目前常见的成形方法包括热扩孔、冷扩孔等方式,热扩孔作为压环圈主要的成形方法之一,其在成形过程中由于模具温度较高、材料受压应力较大、材料塑性变形程度较高等原因易产生裂纹等缺陷。而冷扩孔作为一种新的成形方法,其在成形过程中不会产生应力集中现象、避免出现裂纹等缺陷。因此选择冷扩孔作为压环圈主要的成形方法。

压环圈在冷扩孔成形时容易产生较大的拉应力,同时由于冷扩孔时金属会沿环形件内部出现大量裂纹或折叠等缺陷,导致零件出现拉应力过高、开裂等现象。因此对于压环圈而言,需设计合适的毛坯尺寸以降低材料在塑性变形过程中产生的残余应力水平。此外由于环件内部存在许多细小孔洞以及孔洞间存在较大间隙,因此在扩孔时需要控制金属的流动速度。若速度过快则会导致材料流动不均匀从而出现局部过热或局部压应力过大等现象,影响后续拉伸成形;若速度过慢则会导致金属无法充分流动从而无法形成稳定均匀的型壳结构。因此合理选择扩孔速度是保证压环圈最终成形质量的重要因素。

## 三、模具设计

为了实现压环圈类零件的自动化生产,设计了一

种环形拉深模具，保证零件在模具上准确定位，同时还能通过增加辅助凸模来实现零件的高精度成形。此外，需要对模具进行加工和研磨处理以保证零件的精度。

在加工过程中，零件的下模直接顶在模架上，通过油压推动上模以一定速度向下运动，在将零件顶出模架后，再通过下模上的销钉将零件顶出。由于该模具设计较为简单，因此对模具进行了简化。

在设计模具时，需要注意以下几个问题：型壳表面应保持光洁、平整；保证零件与模架之间不留间隙；确保型壳表面不被划伤；考虑到定位孔的加工难度和成本问题，在型壳上设置了4个定位孔；根据数值模拟结果分析，发现设计的模具在实际生产中容易出现起皱等缺陷，因此在实际生产中需要对模具进行适当调整。

由于压环圈类零件具有一定的技术要求，因此采用了一模多腔的设计方式。模具采用模块化结构，零件直接落在下模上，下模由弹簧带动工作，在上模中设有定位孔和导向孔，将零件固定在模具上。上模的导向孔和定位孔分别采用高强度、高精度的硬质合金加工而成，既保证了模具的结构强度，又能有效减少由于模具结构设计不合理引起的零件表面缺陷。凸缘结构的作用是为模具提供导向作用，从而保证型壳表面平整、光滑。同时凸缘结构也能够避免在拉深过程中发生起皱等缺陷。

定位孔宜采用高强度的硬质合金加工而成来保证模具的强度，由于该模具是一模多腔结构，因此在设计时还需要对凹模进行合理规划，避免因空间不足而造成凸模无法有效工作的现象发生。

#### 四、数值模拟方案制定

通过分析得出，压环圈类零件的成形工艺存在以下几个难点：

第一，压环圈由多个部分组成，各个部分之间存在复杂的约束关系，使得在拉深过程中的摩擦系数和回弹系数变化较大，从而导致整体拉深成形性能不稳定；

第二，环圈两端同时存在厚度不同的芯轴使得拉深成形过程中容易产生飞边现象，且厚度较大的部位飞边情况严重；

第三，环形零件表面存在凹槽、沟槽等缺陷，使得在后续的扩孔过程中容易产生起皱、破裂等缺陷；

第四，在拉深过程中容易出现凹模圆角过渡位置金属流动不均匀、减薄严重等问题。

针对上述难点，在此工艺方案中，可以通过分析得到压环圈型壳的基本成形规律，即在拉深成形过程中需要先将环形部分型壳和芯轴分离开来，再进行拉深成形。为了进一步验证该方案的可行性，本文利用有限元软件 DEFORM-3D 对压环圈型壳的成形过程进行数值模拟。

由于型壳在拉深成形过程中处于拉伸状态，所以在型壳与芯轴分离后将其放置在模具中进行拉深成形时需要采用预拉伸的方式使型壳产生变形，从而在后续的扩孔过程中保证其有足够的进料量；同时由于型壳和芯轴之间存在较大的摩擦系数和回弹系数等问题，因此在拉深成形过程中需要采用减薄变形、降低材料利用率等措施来保证其质量。模拟结果显示压环圈型壳的成形质量良好。

#### 五、模具结构设计及工作原理

模具结构主要包括上模、下模和凹模。

凹模采用整体式结构，其作用是将凸模面和凹模面压紧并形成整体。由于拉深时所需的冲裁余量较小，因此在设计时考虑采用两次冲裁的方式以确保凸模面与凹模面的间隙均匀。此外，为了保证模具工作时不变形，采用浮动支撑装置防止凸模与凹模面之间产生较大的摩擦力。由于模具在拉深过程中处于凸模与凹模之间，因此在定位环上设计有定位装置来确保定位精度。在冲裁过程中采用浮动支撑装置保证模具工作时不发生形变。

在模具结构中，凸模与凹模面之间采用油膜密封方式进行润滑。油膜密封主要是通过密封垫圈和导套来实现的。由于凹模表面一般情况下会有一定程度的磨损，因此需要在其表面上涂抹润滑油来避免其与凸、凹模面之间发生磨损而导致油膜密封失效。此外，由于模具工作时会产生大量热量与噪声，因此需要在模具中设计有隔热垫来进行散热与噪声控制。

上模和下模通过导向孔进行连接，导向孔的作用是确保凹模面与凸模面在工作时始终接触。导向孔还可保证凸模不与凹模面发生相对运动。在模具的底部设有支承板和压板，在模具工作时先将毛坯放入模具中进行预拉深成形，然后再将凸模面压到毛坯上进行冲压成形，最后将凸模面与凹模面分离并进行回弹补偿后取出产品。

上模和下模分别由导柱和导套与模具的凸模面和凹模面进行连接。在模具工作时，由于凸、凹模面之间存在较大的相对运动，因此需要在其表面上涂抹有一定厚度的润滑油来降低摩擦系数和减小噪声。

#### 六、案例分析

某石油装备用压环圈产品采用45号钢材，重50公斤，整个表面都经过切削加工和钻孔，所以对铸件的质量有很高的要求。原有的铸造成型流程是按照普通的水玻璃砂铸钢流程进行的，其铸件表面出现了严重的气孔和砂孔，经过解剖、着色和无损检测均出现了不同程度的缩孔和缩松现象，虽然使用了高静压多个冒口补缩体系，但废品率仍然很高，并且铸造过程成品率较低，铸件加工量较大。

##### （一）壳体精确成型技术方案

本压环圈产品为原水玻璃砂铸钢，采用水平分

级,按补缩距离设置37个明冒口和热节冒口来补缩。因其属于重力式浇注充填及固化补缩,受制品环形结构限制,其环形厚区中部收缩孔疏松较为严重,并且铸造后经常出现气孔、砂孔等缺陷。

以解决此类压环圈制品上述难题为目标,在前期研究基础上通过对压环结构特征及材料需求的评审,采用真空低压壳型精密成形工艺。

## (二) 壳型精密成形工艺方案的设计

采用蒸发模技术与精密铸造技术相结合的方式,在高密度聚苯乙烯泡沫塑料泡沫表面涂覆无机浆料,再在中间撒砂进行强化,通过低温干燥与高温焙烧,形成具有高强度、内壁洁净、外形完整的“壳型”,并将其垂直埋入陶粒砂中,通过负压加压、真空浇注来实现金属成型。以“型壳”为介质,采用负压加压竖向浇注技术,大幅提高液态金属的充型和凝固补缩能力,解决铸造环形中心区域的缩孔疏松问题,避免原水玻璃砂生产过程中产生的砂孔、孔洞等问题,大幅提高产品合格率,改善产品外观质量,降低废品率。

## (三) 方案实施

1. 聚苯乙烯泡沫塑料发泡白模。从铸造性能、内部外形需求、批量生产等方面出发,制备铝合金发泡模具,并通过发泡成形高密度聚苯乙烯泡沫塑料压环白模。

2. 粘结浇注补缩。成型后的白模垂直、并列贴合设计,并置两个浇注补缩冒口,一处作为浇注口,一处作为出水口、冒口。采用聚苯乙烯泡沫塑料白模作为整体压环圈,可以更好地确定铸件的工艺方案。由于其浇注、补缩和排气系统的设置直观、灵活、兼顾全面,因此产生了多个有启发意义的铸件技术方案,有助于推动我国铸造技术的创新和提高。

3. 制壳。以聚苯乙烯泡沫塑料泡沫白模具为基础,结合熔模铸造技术将其改造为适用于聚苯乙烯泡沫塑料白模的表面,并在此基础上再添加多层无机浆料,再在中间撒上耐火骨料。该产品具有强度高、透气性好、外形完整的“壳型”。其制壳过程为:将表面背面的无机浆液混合,将浆液搅拌均匀;首先,将胶接浇注补缩体系聚苯乙烯泡沫塑料白模簇涂布在第一道面层浆液上,然后在中间层上洒一层耐火骨料以增厚,亦可采用无喷布型耐火材料成型法,其涂布层数视产品结构而定,循环空气在低温下40℃至55℃干燥,然后涂布3至4层背层浆料,依次循环风进行低温干燥。这时,外壳内部包裹着聚苯乙烯泡沫塑料白模,当浇注口向下时,在壳体的合适位置钻出气孔;壳式装火炉经过多级热处理,使其具有一定的强度和透气性,并具有洁净的内腔;用防火棉沾上涂浆剂封住气孔;两个浇注的补缩冒口用胶膜封住,作为浇注备用。

4. 填砂装箱造型以及负压浇注。将已备好的壳

型排布垂直埋入陶粒砂内,铺砂振实整平;嵌套式支架牢固,尽可能少地竖直无倾斜。特别是对不容易压实的内腔,死角和阴影处进行充填,将砂打至与砂箱顶部平齐并进行立体振实;在砂箱上部铺设一层塑胶膜,再用一定厚度的乾砂,盖上一层保护性的塑胶膜。在浇注区放入砂盒,浇注之前一定要割开浇注修补冒口上的塑胶膜;开启负压阀,保持负压;真空度为0.035Mpa-0.06MPa,对45# 钢钢水进行浇铸;在看到浇口的金属液体凝固之后保持压力N30min,接着将负压关掉以排出真空。

5. 清理。铸件在砂箱中保温1.5小时至2小时后打开,刚打开的时候,因为型壳处于高温状态,这时的型壳有粘性,很难清理。当铸件冷却后有脆性,型壳的剥离能力大大提高,大部分型壳都会裂开,然后自动脱落,剩下的型壳经过抛丸和喷砂,也会被清理得很干净。

6. 测试。该方法充分发挥“型壳”的优点,在真空条件下,使钢液的凝固、收缩能力大幅增强,使制品内部结构更加致密,外观品质得到明显改善。本产品经薄层切割检验,无疏松等缺陷,并已通过用户的非破坏性检验、机加工检验和组装台架测试,已达到批量生产和供应。

## 七、结论

针对石油装备压环圈的铸造成型问题,采用真空低压壳型精密成形工艺,在真空、负压条件下竖直浇注的方法,通过对液态金属的充型、凝固和补缩性的改善,获得具有致密、外观光滑的压环圈铸钢件,解决压环中心缩孔、疏松和疏松等缺陷,提高工艺合格率,改善铸件的表面质量,达到产品的全机加工质量要求,成品率高,绿色环保,综合效果明显。

## 参考文献:

- [1] 张静慧. 脱硫泵蜗壳铸件的V法生产工艺[J]. 现代铸铁, 2021, 41(4): 39-41.
- [2] 牛步钊, 王杰. 某铸件吊耳开裂失效分析[J]. 中国设备工程, 2021(20): 75-76.
- [3] 董晓丽, 尚怀元, 董云雷, 史海玲, 崔康. 消失模技术在潜水泵生产中的应用[J]. 农业工程, 2021, 11(10): 99-102.
- [4] 刘天平, 王爱丽, 李泽同, 李泽嘉, 王凡, 王雪玲, 张向峰. 消失模铸造新工艺的试验研究[J]. 现代铸铁, 2021, 41(1): 56-59.
- [5] 王东坡, 马世成, 吾志岗. 带内环向加强筋铝合金筒体模环旋压成形工艺研究[C]. 第十二届全国旋压技术交流会暨旋压学术委员会成立三十周年庆祝大会. 2011.
- [6] 徐永生. 重卡胀压成形桥壳推压拉拔缩径工艺研究[D]. 燕山大学, 2016.