(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104028598 B
(45)授权公告日 2016.04.20

(21)申请号 201410246709.X

(22)申请日 2014.06.06

(73)专利权人 中国航天科技集团公司长征机械厂
地址 610100 四川省成都市龙泉驿区龙泉镇驿都中路189号

(72)发明人 马飞 康权 陈建华

(74)专利代理机构 成都金英专利代理事务所（普通合伙） 51218
代理人 袁英

(51)Int.Cl.
B21D 15/06(2006.01)

审查员 冯洁

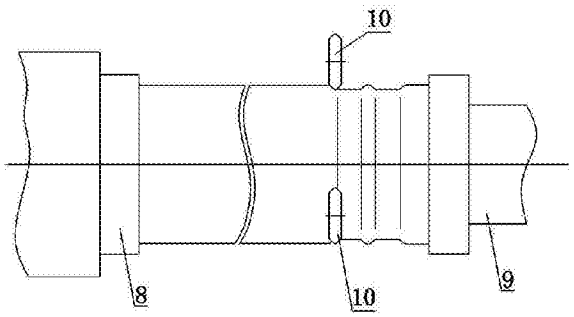
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种波纹管加工工艺

(57)摘要

本发明公开了一种波纹管加工工艺，它包括以下步骤：S1、采用强力旋压成形工艺，将短厚壁管坯成形为长薄壁管；S2、将步骤S1得到的长薄壁管进行热处理消除加工硬化，热处理的条件为完全退火；S3、将步骤S2得到的长薄壁管采用缩颈旋压工艺进行缩颈成形。本发明的有益效果是：本发明不仅彻底消除了隧道管零件的纵向焊缝，而且可以大大减少产品的环向焊缝，成形精度更高，便于产品装配；大大提高了产品的合格率和加工效率，降低了产品的生产成本；在旋压过程中晶粒细化，产品质量好，使用寿命大大提高。



CN 104028598 B

1.一种波纹管加工工艺，其特征在于：它包括以下步骤：

S1、采用强力旋压成形工艺，将短厚壁管坯成形为长薄壁管；

S2、将步骤S1得到的长薄壁管进行热处理消除加工硬化，热处理的条件为完全退火；

S3、将步骤S2得到的长薄壁管采用缩颈旋压工艺进行缩颈成形；

步骤S3中的缩颈旋压工艺的操作方法为：将步骤S2得到的长薄壁管安装于旋压机的主轴(8)上，并对长薄壁管的尾端施加一轴向牵引力，由主轴(8)带动长薄壁管旋转，主轴(8)转速为50r/min～100r/min，采用三个旋轮B(10)旋压成型，三个旋轮B(10)沿芯模(3)周向均布，旋压机的三个旋轮B(10)同步沿径向进给，径向进给速度为0.5～5.0mm/s，对长薄壁管的管壁进行旋压，旋轮B(10)后侧波形旋压成型后，开始作轴向进给运动，轴向进给率为1～2mm/r，当旋压的波谷达到预定长度后，停止轴向进给，三个旋轮B(10)同步沿径向退回，再沿轴向进给一个波形宽度后，停止轴向进给，三个旋轮B(10)再次同步沿径向进给，进行下一个循环。

2.根据权利要求1所述的一种波纹管加工工艺，其特征在于：步骤S1得到的长薄壁管的外径大于250mm，壁厚为2.7～3.5mm。

3.根据权利要求1所述的一种波纹管加工工艺，其特征在于：步骤S1中的强力旋压成形工艺的操作方法为：将短厚壁管坯安装于旋压机的芯模(3)上，芯模(3)带动短厚壁管坯旋转，旋压机的旋轮A(4)碾压短厚壁管坯并作轴向进给运动，使短厚壁管坯连续地变薄并贴靠芯模(3)而成为所需要的长薄壁管。

4.根据权利要求1所述的一种波纹管加工工艺，其特征在于：所述的强力旋压成形工艺包括3～4道次旋压，各道次减薄率为25%～40%，轴向进给率为1.5～3.0mm/r，芯模(3)转速为60r/min～120r/min。

5.根据权利要求1所述的一种波纹管加工工艺，其特征在于：所述的强力旋压成形工艺采用三个旋轮A(4)旋压，三个旋轮A(4)沿芯模(3)周向均布，旋轮A(4)的工作角为15°～30°，旋轮A(4)的退出角为25°～35°，旋轮A(4)的圆角半径为$0.4t_0$ ～$1t_0$，t_0为短厚壁管坯的原始壁厚。

6.根据权利要求1所述的一种波纹管加工工艺，其特征在于：所述的轴向牵引力$F=0.3\sigma S$～$0.7\sigma S$，其中，σ为长薄壁管的屈服强度，S为长薄壁管的横截面积。

7.根据权利要求1所述的一种波纹管加工工艺，其特征在于：所述的缩颈旋压工艺采用的旋轮B(10)外径$\Phi=0.5D$～$2D$，D为成品波纹管零件波谷处的外径，旋轮B(10)的边缘由过旋轮B(10)的回转轴心线的平面截得的轮廓由三段顺次连接的圆弧构成，所述三段顺次连接的圆弧为顶部的圆弧B(12)和对称设置于圆弧B(12)两侧的圆弧A(11)和圆弧C(13)，圆弧B(12)的半径$R_1=1t$～$3t$，t为长薄壁管的壁厚，圆弧A(11)和圆弧C(13)的半径$R_0=1.0$ R～1.2R，R为成品波纹管波形顶端的圆角半径。

一种波纹管加工工艺

技术领域

[0001] 本发明涉及金属管材加工技术领域，特别是一种波纹管加工工艺。

背景技术

[0002] 波纹管的成型工艺包括液压成形、滚压成形和焊接成形等。液压成形是波纹管的最常用成形方法，利用在管坯中的液体压力，使管坯在限制环中胀形，直到沿环向出现屈服，然后再压缩管坯到所需的长度，小直径波纹管多采用这种方法。滚压成形工艺主要用于加工大型波纹管，是依靠设在管坯中的成形轮的滚压成形，可以单波滚制成形，有的装置亦可一次成形数个波纹。液压成形和滚压成形的波纹管，其波纹均是通过受内压膨胀形成，变形区承受拉应力，组织性能、稳定性和承受内压性能均较差。对于波高过大或波形特殊的波纹管，多采用冲压焊接工艺，当波高超过极限时，材料延伸率已不允许采用整体成形工艺，或因波形复杂，整体成形极其困难时也多采用焊接成形，这类波纹管由于不能承受内压，不太适用于作膨胀节的柔性段。

[0003] 目前普遍使用的隧道管是分节成形、多节焊接获得的，即每一小节分别加工，然后采用焊接工艺将诸多小节焊接为一体。隧道管的规格要求为管径大于250mm、管壁厚2.7～3.5mm、波高10～15mm，由于管径大、管厚薄、波高较高，使得目前对每一小节的加工工艺，多采用“板材压筋—卷圆—焊接”的传统工艺方法，即选用厚度为2.7～3.5mm的板材，在板材上压制波形，然后将压制波形后的板材卷圆，对连接部进行焊接，得到一个小节，最终再将多个小节焊接得到隧道管1，如图1所示。由于目前生产的外径大于250mm的管材的厚度均为15～25mm，因此，选用厚度为2.7～3.5mm的板材采用“板材压筋—卷圆—焊接”制造隧道管的工艺成为目前最为经济、有效的加工手段。

[0004] 采用“板材压筋—卷圆—焊接”的传统制造方法，主要有以下工艺缺点：(1)焊接区域2容易产生应力集中，使产品的疲劳强度降低，焊缝区域在长期存放过程中可能产生微裂纹并进行扩展，影响产品的使用寿命；(2)数量众多的纵向焊缝、环向焊缝，尤其是交叉焊缝，使得隧道管的焊接质量难以保证，根据设计要求，产品的焊缝质量要百分之百检测，焊缝检测效率低且费用很高；(3)由于该工艺方法本身局限性，每一小节长度较短，目前主要是在1100mm以内，这使得隧道管的节数较多，加工工艺复杂，生产效率低；(4)焊接过程中产品变形较大，产品成形精度和一致性差。因此，传统工艺方法制造的产品不仅成形精度差、加工效率低、生产成本高，最重要的是产品质量可靠性差，无法满足产品的设计要求。

[0005] 中国专利91106244.0，公开了一种波纹管加工方法及设备，由机床带动管坯旋转，旋压轮沿径向进给旋压，同时双等离子炬对管坯加热区加热，轴向压力头沿管坯轴向施加压力，一个波形成型后，旋压轮沿轴向移动一个波矩，进行下一波形旋压。但其加工的对象为外径D小(60～110mm)、壁厚δ大(3.5～5mm)的波纹管，因此，其不适用于管径大于250mm、管壁厚2.7～3.5mm的波纹管的加工。中国专利200810021178.9，公开了一种铜波纹管螺旋波纹成形设备及其成形工艺，铜管为硬质铜管，该成形设备上设滚轮装置，滚轮装置上设三个在所述铜管的圆周方向均布的滚轮对铜管进行滚压加工；三个滚轮与铜管的轴线的垂直

方向均偏转一个相同的角度，该角度即铜管螺旋波纹的螺旋升角。但其加工的对象为空调设备上的波纹管，由于空调设备上的波纹管外径小，因此其同样不适用于加工管径大于250mm、管壁厚2.7～3.5mm的波纹管。采用上述设备加工管径大于250mm、管壁厚2.7～3.5mm的波纹管，在成形过程中均存在由于管径大、壁厚薄而易出现变形缺陷，不能完成隧道管的加工。

[0006] 面对当今形势，研究一种产品成形质量好、生产成本低、且简单、高效的隧道管零件制造方法成为现在该领域技术人员迫切需要解决的技术难题。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于克服现有技术的缺点，提供一种工序简单、成形质量好、成形精度和加工效率高的波纹管加工工艺。

[0008] 本发明的目的通过以下技术方案来实现：一种波纹管加工工艺，它包括以下步骤：

[0009] S1、采用强力旋压成形工艺，将短厚壁管坯成形为长薄壁管；

[0010] S2、将步骤S1得到的长薄壁管进行热处理消除加工硬化，热处理的条件为完全退火；

[0011] S3、将步骤S2得到的长薄壁管采用缩颈旋压工艺进行缩颈成形。

[0012] 步骤S1得到的长薄壁管的管径大于250mm，壁厚为2.7～3.5mm。

[0013] 步骤S1中的强力旋压成形工艺的操作方法为：将短厚壁管坯安装于旋压机的芯模上，芯模带动短厚壁管坯旋转，旋压机的旋轮A碾压短厚壁管坯并作轴向进给运动，使短厚壁管坯连续地变薄并贴靠芯模而成为所需要的长薄壁管。

[0014] 所述的强力旋压成形工艺包括3～4道次旋压，各道次减薄率为25%～40%，轴向进给率为1.5～3.0mm/r，芯模转速为60r/min～120r/min。

[0015] 所述的强力旋压成形工艺采用三个旋轮A旋压，三个旋轮A沿芯模周向均布，旋轮A的工作角为15°～30°，旋轮A的退出角为25°～35°，旋轮A的圆角半径为$0.4t_0$ ～$1t_0$，t_0为短厚壁管坯的原始壁厚。

[0016] 步骤S3中的缩颈旋压工艺的操作方法为：将步骤S2得到的长薄壁管安装于旋压机的主轴上，并对长薄壁管的尾端施加一轴向牵引力，由主轴带动长薄壁管旋转，主轴转速为50r/min～100r/min，采用三个旋轮B旋压成型，三个旋轮B沿芯模周向均布，旋压机的三个旋轮B同步沿径向进给，径向进给速度为0.5～5.0mm/s，对长薄壁管的管壁进行旋压，旋轮B后侧波形旋压成型后，开始作轴向进给运动，轴向进给率为1～2mm/r，当旋压的波谷达到预定长度后，停止轴向进给，三个旋轮B同步沿径向退回，再沿轴向进给一个波形宽度后，停止轴向进给，三个旋轮B再次同步沿径向进给，进行下一个循环。

[0017] 所述的轴向牵引力$F=0.3\sigma S$～$0.7\sigma S$，其中，σ为长薄壁管的屈服强度，S为长薄壁管的横截面积。

[0018] 所述缩颈旋压工艺采用的旋轮B外径$\Phi=0.5D$～$2D$，D为成品波纹管零件波谷处的外径，旋轮B的边缘由过旋轮B的回转轴心线的平面截得的轮廓由三段顺次连接的圆弧构成，所述三段顺次连接的圆弧为顶部的圆弧B和对称设置于圆弧B两侧的圆弧A和圆弧C，圆弧B的半径$R_1=1t$～$3t$，t为长薄壁管的壁厚，圆弧A和圆弧C的半径$R_0=1.0$ R～1.2R，R为成品波纹管波形顶端的圆角半径。

[0019] 本发明具有以下优点：

[0020] 产品质量好：本发明不仅彻底去除了隧道管零件的纵向焊缝，而且由于旋压工艺加工的隧道波纹管的长度不受工艺限制，远远大于现有工艺长度仅能达到的1100mm以内，可以大大减少产品的环向焊缝。同时新工艺的成形精度更高，便于产品装配。并且，与传统工艺相比，新工艺成形的产品在旋压过程中晶粒细化，金相组织均匀致密，使用寿命大大提高。

[0021] 成品率提高：由于取消了纵向焊缝，本工艺方法能够彻底避免产品上出现纵向和环向焊缝相交区域，环向焊缝大大减少且能够采用自动焊接工艺，大大降低了焊接难度，提高了产品的合格率。

[0022] 由于减少了焊缝焊接量，使得焊接、焊缝检测和打磨工序的工作量相应减少，从而提高了加工效率，并且能够节省大量的焊接材料费用和焊缝检测费用，降低了产品的生产成本。

附图说明

[0023] 图1 为现有技术加工产品的结构示意图

[0024] 图2 为本发明强力旋压成形时的加工结构示意图

[0025] 图3 为本发明强力旋压成形时的右视结构示意图

[0026] 图4 为本发明强力旋压成形时采用的旋轮A的结构示意图

[0027] 图5 为本发明缩颈旋压时的加工结构示意图

[0028] 图6 为本发明缩颈旋压时的右视结构示意图

[0029] 图7 为本发明缩颈旋压时采用的旋轮B的结构示意图

[0030] 图8 为旋轮B的局部放大结构示意图

[0031] 图9 为本发明加工成品的结构示意图

[0032] 图中，1-隧道管，2-焊接区域，3-芯模，4-旋轮A，5-直线部A，6-顶端圆弧部，7-直线部B，8-主轴，9-牵引马达，10-旋轮B，11-圆弧A，12-圆弧B，13-圆弧C。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的描述，本发明的保护范围不局限于以下所述：

[0034] 实施例1：

[0035] 一种波纹管加工工艺，它包括以下步骤：

[0036] S1、如图2、图3所示，采用强力旋压成形工艺，将短厚壁管坯成形为长薄壁管；短厚壁管坯材料为5A03(LF3)，旋前毛坯热处理状态为O态，短厚壁坯料管长L=650mm，内径d=264.6mm，壁厚t_0=10mm，所述的步骤S1得到的长薄壁管的壁厚为3mm，成品波纹管的波谷处内径d=247mm、外径D=253mm，成品波纹管波形顶端的圆角半径R=13.2mm；

[0037] S2、将步骤S1得到的长薄壁管进行热处理，热处理的条件为完全退火，加热温度为390℃～420℃，保温50～70min，炉冷至170～180℃，以消除加工硬化，由于强力旋压后，预成形坯料会产生硬化，若直接进行缩径旋压，产品很容易产生断裂，故在进行缩径旋压前需要将预成形坯料进行热处理，消除加工硬化；

[0038] S3、如图5、图6所示，将步骤S2得到的长薄壁管采用缩颈旋压工艺进行缩颈成形。

[0039] 如图2、图3所示，所述的步骤S1中的强力旋压成形工艺的操作方法为：将短厚壁管坯安装于旋压机的芯模3上，用尾顶块将毛坯顶紧在芯模3上，芯模3带动短厚壁管坯旋转，旋压机的旋轮A4碾压短厚壁管坯并作轴向进给运动，使短厚壁管坯连续地变薄并贴靠芯模3而成为所需要的长薄壁管。

[0040] 根据工艺条件和工件尺寸的精度要求，总减薄率为70%，本实施例中的强力旋压成形工艺包括3道次旋压，第一道次减薄率30%，进给率为1.6mm/r；第二道次减薄率30%，进给率为1.8mm/r；第三道次减薄率39%，进给率为1.5mm/r，芯模3转速均为75r/min。

[0041] 如图2、图3所示，所述的强力旋压成形工艺采用三个旋轮A4旋压，三个旋轮A4沿芯模3周向均布，其径向力可相互平衡，变形区成近似环形，工件尺寸、形状及表面质量较好。如图4所示，旋轮A4的工作角为20°，旋轮A4的退出角为30°，旋轮A4的圆角半径为6mm，t_0为短厚壁管坯的原始壁厚，即旋轮A4的边缘由过旋轮A4的回转轴心线的平面截得的轮廓由三段顺次连接的直线部A5、顶端圆弧部6和直线部B7构成，直线部A5与旋轮A4回转轴心线的夹角为20°，顶端圆弧部6的半径为6mm，直线部B7与旋轮回转轴心线的夹角为30°。

[0042] 如图5、图6所示，所述的步骤S3中的缩颈旋压工艺的操作方法为：将步骤S2得到的长薄壁管的一端安装于旋压机的主轴8上，在长薄壁管的另一端安装设置一牵引马达9，由牵引马达9对长薄壁管的尾端施加一轴向牵引力，这个轴向牵引力能够大大降低波纹管成形过程中的轴向起皱趋势，提高成形极限，由主轴8带动长薄壁管旋转，主轴8转速为60r/min，采用三个旋轮B10旋压成型，三个旋轮B10沿芯模3周向均布，旋压机的三个旋轮B10同步沿径向进给，径向进给速度为0.5～5.0mm/s，对长薄壁管的管壁进行旋压，旋轮B10后侧波形旋压成型后，开始作轴向进给运动，轴向进给率为2mm/r，当旋压的波谷达到预定长度后，停止轴向进给，三个旋轮B10同步沿径向退回，再沿轴向进给一个波形宽度后，停止轴向进给，三个旋轮B10再次同步沿径向进给，进行下一个循环，最终得到隧道管1，如图9所示。

[0043] 所述的轴向牵引力F=7吨。

[0044] 如图7、图8所示，所述缩颈旋压工艺采用的旋轮B10外径Φ=300mm，旋轮B10的边缘由过旋轮B10的回转轴心线的平面截得的轮廓由三段顺次连接的圆弧构成，所述三段顺次连接的圆弧为顶部的圆弧B12和对称设置于圆弧B12两侧的圆弧A11和圆弧C13，圆弧B12的半径R_1=6mm，圆弧A11和圆弧C13的半径R_0=16.2mm，该旋轮能较好的成形波纹形状和避免波峰区域的失稳现象。

[0045] 实施例2：

[0046] 一种波纹管加工工艺，它包括以下步骤：

[0047] S1、如图2、图3所示，采用强力旋压成形工艺，将短厚壁管坯成形为长薄壁管；短厚壁管坯材料为5A03(LF3)，旋前毛坯热处理状态为O态，短厚壁坯料管长L=650mm，内径d=264.6mm，壁厚t_0=10mm，所述的步骤S1得到的长薄壁管的壁厚为2.7mm，成品波纹管的波谷处内径d=244.6mm、外径D=250mm，成品波纹管波形顶端的圆角半径R=16.2mm；

[0048] S2、将步骤S1得到的长薄壁管进行热处理，热处理的条件为完全退火，加热温度为400℃，保温60min，炉冷至170℃，以消除加工硬化，由于强力旋压后，预成形坯料会产生硬化，若直接进行缩径旋压，产品很容易产生断裂，故在进行缩径旋压前需要将预成形坯料进行热处理，消除加工硬化；

[0049] S3、如图5、图6所示，将步骤S2得到的长薄壁管采用缩颈旋压工艺进行缩颈成形。

[0050] 如图2、图3所示，所述的步骤S1中的强力旋压成形工艺的操作方法为：将短厚壁管坯安装于旋压机的芯模3上，用尾顶块将毛坯顶紧在芯模3上，芯模3带动短厚壁管坯旋转，旋压机的旋轮A4碾压短厚壁管坯并作轴向进给运动，使短厚壁管坯连续地变薄并贴靠芯模3而成为所需要的长薄壁管。

[0051] 根据工艺条件和工件尺寸的精度要求，总减薄率为73%，本实施例中的强力旋压成形工艺包括四道次旋压，第一道次减薄率30%，进给率为3mm/r，芯模3转速为100r/min；第二道次减薄率30%，进给率为3mm/r，芯模3转速为100r/min；第三道次减薄率26.5%，进给率为2.3mm/r，芯模3转速为100r/min；第四道次减薄率25%，进给率为1.34mm/r，芯模3转速为75r/min。

[0052] 如图2、图3所示，所述的强力旋压成形工艺采用三个旋轮A4旋压，三个旋轮A4沿芯模3周向均布，其径向力可相互平衡，变形区成近似环形，工件尺寸、形状及表面质量较好。如图4所示，旋轮A4的工作角为15°，旋轮A4的退出角为25°，旋轮A4的圆角半径为4mm，即旋轮A4的边缘由过旋轮A4的回转轴心线的平面截得的轮廓由三段顺次连接的直线部A5、顶端圆弧部6和直线部B7构成，直线部A5与旋轮A4的回转轴心线的夹角为15°，顶端圆弧部6的半径为4mm，直线部B7与旋轮A4的回转轴心线的夹角为25°。

[0053] 如图5、图6所示，所述的步骤S3中的缩颈旋压工艺的操作方法为：将步骤S2得到的长薄壁管的一端安装于旋压机的主轴8上，在长薄壁管的另一端安装设置一牵引马达9，由牵引马达9对长薄壁管的尾端施加一轴向牵引力，这个轴向牵引力能够大大降低波纹管成形过程中的轴向起皱趋势，提高成形极限，由主轴8带动长薄壁管旋转，主轴8转速为50r/min，采用三个旋轮B10旋压成型，三个旋轮B10沿芯模3周向均布，旋压机的三个旋轮B10同步沿径向进给，径向进给速度为0.5～5.0mm/s，对长薄壁管的管壁进行旋压，旋轮B10后侧波形旋压成型后，开始作轴向进给运动，轴向进给率为1.5mm/r，当旋压的波谷达到预定长度后，停止轴向进给，三个旋轮B10同步沿径向退回，再沿轴向进给一个波形宽度后，停止轴向进给，三个旋轮B10再次同步沿径向进给，进行下一个循环，最终得到隧道管1，如图9所示。

[0054] 所述的轴向牵引力F=7吨。

[0055] 如图7、图8所示，所述缩颈旋压工艺采用的旋轮B10外径Φ=500mm，旋轮B10的边缘由过旋轮B10的回转轴心线的平面截得的轮廓由三段顺次连接的圆弧构成，所述三段顺次连接的圆弧为顶部的圆弧B12和对称设置于圆弧B12两侧的圆弧A11和圆弧C13，圆弧B12的半径R_1=8.1mm，圆弧A11和圆弧C13的半径R_0=16.2mm，该旋轮能较好的成形波纹形状和避免波峰区域的失稳现象。

[0056] 实施例3：

[0057] 一种波纹管加工工艺，它包括以下步骤：

[0058] S1、如图2、图3所示，采用强力旋压成形工艺，将短厚壁管坯成形为长薄壁管；短厚壁管坯材料为5A03(LF3)，旋前毛坯热处理状态为O态，短厚壁坯料管长L=650mm，内径d=264.6mm，壁厚t_0=12mm，所述的步骤S1得到的长薄壁管的壁厚为3.5mm，成品波纹管的波谷处内径d=246mm、外径D=253mm，成品波纹管波形顶端的圆角半径R=13.2mm；

[0059] S2、将步骤S1得到的长薄壁管进行热处理，热处理的条件为完全退火，加热温度为

390℃，保温70min，炉冷至180℃，以消除加工硬化，由于强力旋压后，预成形坯料会产生硬化，若直接进行缩径旋压，产品很容易产生断裂，故在进行缩径旋压前需要将预成形坯料进行热处理，消除加工硬化；

[0060] S3、如图5、图6所示，将步骤S2得到的长薄壁管采用缩颈旋压工艺进行缩颈成形。

[0061] 如图2、图3所示，所述的步骤S1中的强力旋压成形工艺的操作方法为：将短厚壁管坯安装于旋压机的芯模3上，用尾顶块将毛坯顶紧在芯模3上，芯模3带动短厚壁管坯旋转，旋压机的旋轮A4碾压短厚壁管坯并作轴向进给运动，使短厚壁管坯连续地变薄并贴靠芯模3而成为所需要的长薄壁管。

[0062] 根据工艺条件和工件尺寸的精度要求，总减薄率为68%，本实施例中的强力旋压成形工艺包括3道次旋压，第一道次减薄率40%，进给率为1.6mm/r，芯模3转速为120r/min；第二道次减薄率29%，进给率为1.8mm/r，芯模3转速为100r/min；第三道次减薄率25%，进给率为1.5mm/r，芯模3转速为60r/min。

[0063] 如图2、图3所示，所述的强力旋压成形工艺采用三个旋轮A4旋压，三个旋轮A4沿芯模3周向均布，其径向力可相互平衡，变形区成近似环形，工件尺寸、形状及表面质量较好。如图4所示，旋轮A4的工作角为30°，旋轮A4的退出角为35°，旋轮A4的圆角半径为12mm，t_0为短厚壁管坯的原始壁厚，即旋轮A4的边缘由过旋轮A4的回转轴心线的平面截得的轮廓由三段顺次连接的直线部A5、顶端圆弧部6和直线部B7构成，直线部A5与旋轮A4的回转轴心线的夹角为30°，顶端圆弧部6的半径为12mm，直线部B7与旋轮A4的回转轴心线的夹角为35°。

[0064] 如图5、图6所示，所述的步骤S3中的缩颈旋压工艺的操作方法为：将步骤S2得到的长薄壁管的一端安装于旋压机的主轴8上，在长薄壁管的另一端安装设置一牵引马达9，由牵引马达9对长薄壁管的尾端施加一轴向牵引力，这个轴向牵引力能够大大降低波纹管成形过程中的轴向起皱趋势，提高成形极限，由主轴8带动长薄壁管旋转，主轴8转速为100r/min，采用三个旋轮B10旋压成型，三个旋轮B10沿芯模3周向均布，旋压机的三个旋轮B10同步沿径向进给，径向进给速度为0.5～5.0mm/s，对长薄壁管的管壁进行旋压，旋轮B10后侧波形旋压成型后，开始作轴向进给运动，轴向进给率为1mm/r，当旋压的波谷达到预定长度后，停止轴向进给，三个旋轮B10同步沿径向退回，再沿轴向进给一个波形宽度后，停止轴向进给，三个旋轮B10再次同步沿径向进给，进行下一个循环，最终得到隧道管1，如图9所示。

[0065] 所述的轴向牵引力F=7吨。

[0066] 如图7、图8所示，所述缩颈旋压工艺采用的旋轮B10外径Φ=126.5mm，旋轮B10的边缘由过旋轮B10的回转轴心线的平面截得的轮廓由三段顺次连接的圆弧构成，所述三段顺次连接的圆弧为顶部的圆弧B12和对称设置于圆弧B12两侧的圆弧A11和圆弧C13，圆弧B12的半径R_1=3.5mm，圆弧A11和圆弧C13的半径R_0=14.5mm，该旋轮能较好的成形波纹形状和避免波峰区域的失稳现象。

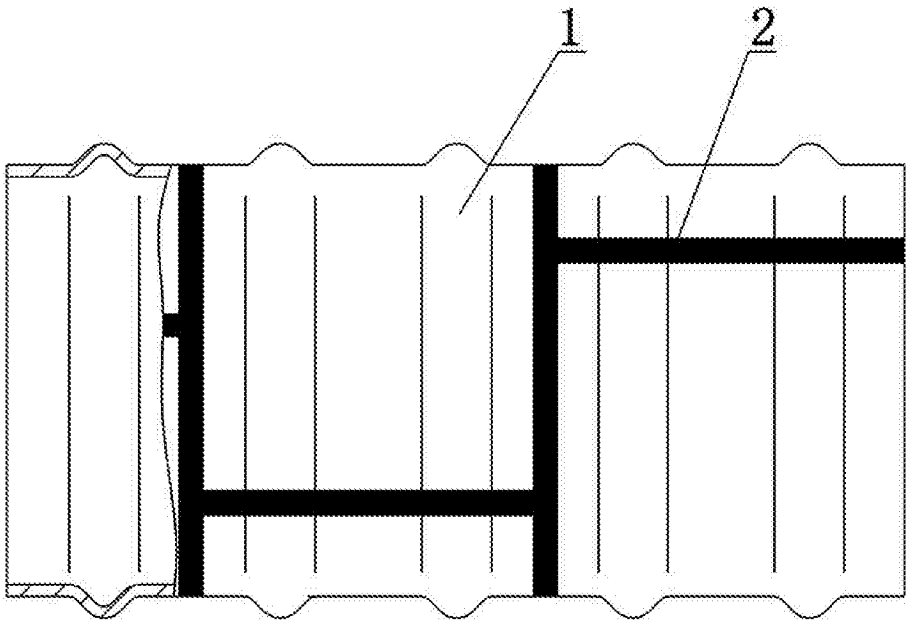


图1

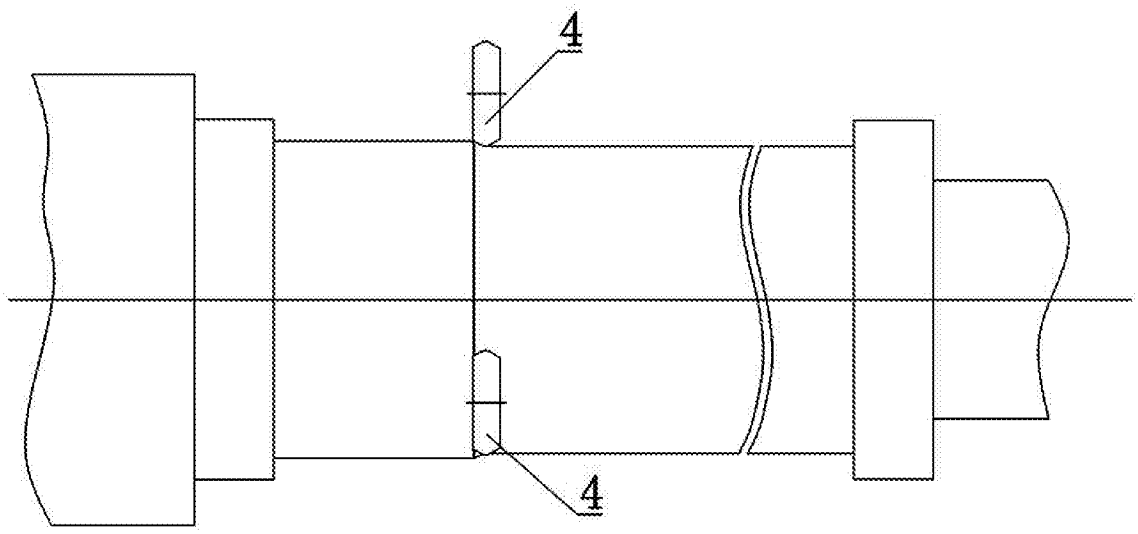


图2

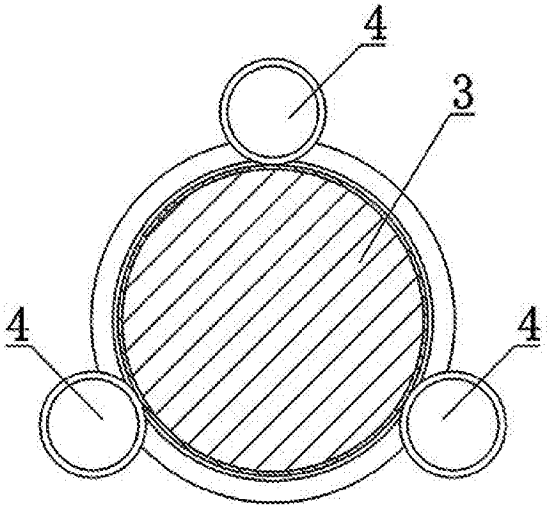


图3

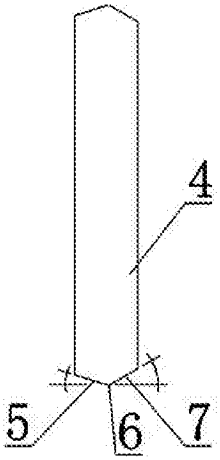


图4

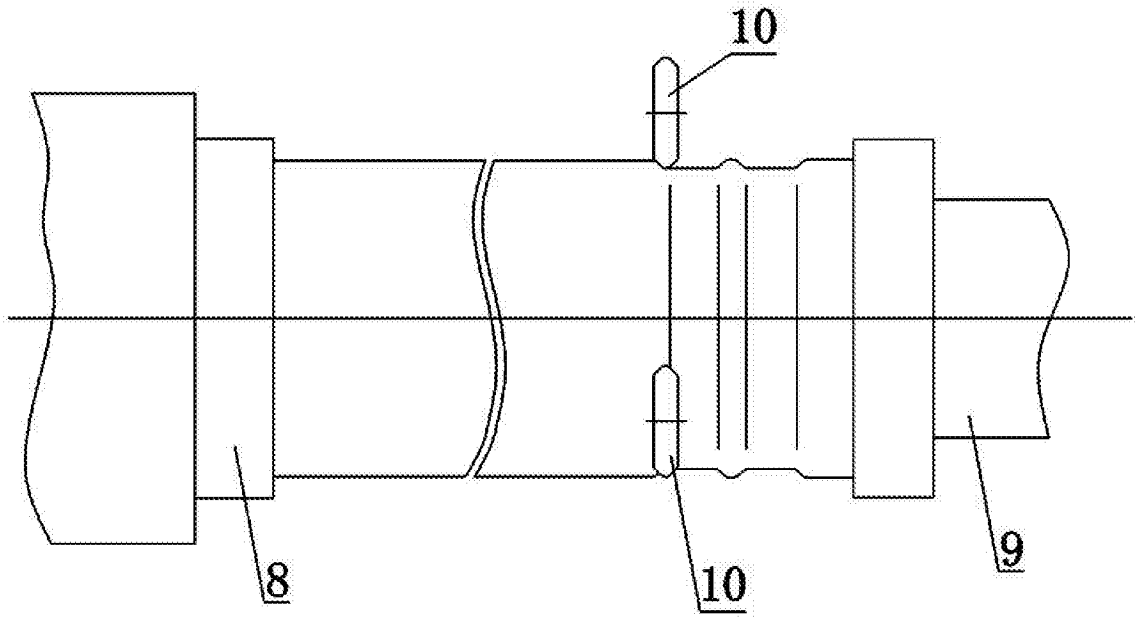


图5

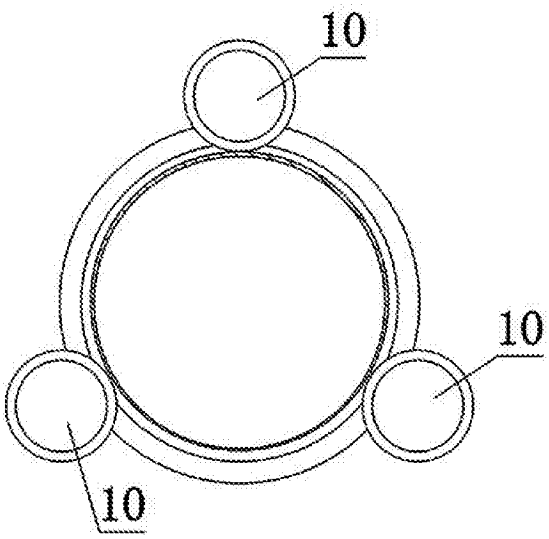


图6

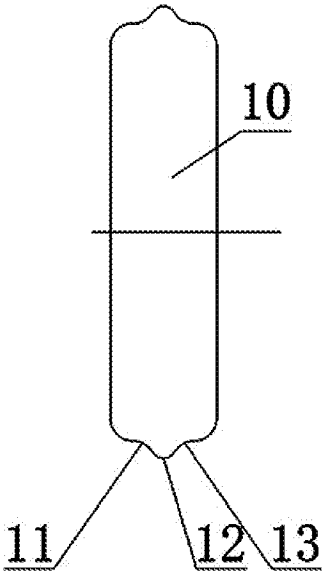


图7

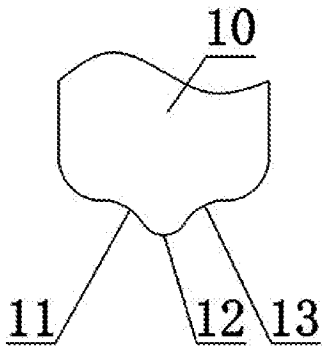


图8

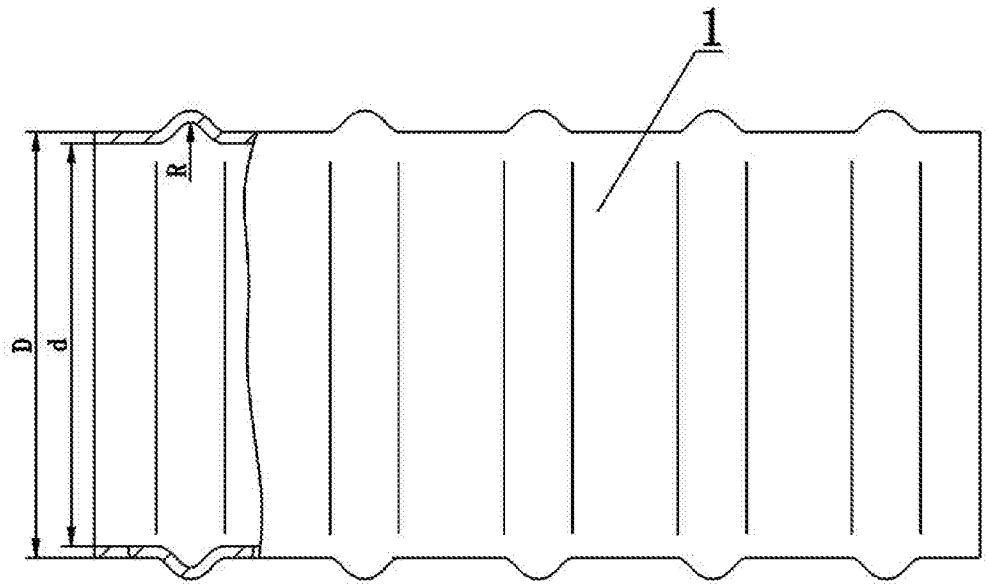


图9