



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115464936 A

(43) 申请公布日 2022. 12. 13

(21) 申请号 202110676042.7

(22) 申请日 2021.06.13

(71) 申请人 张靖

地址 065402 河北省廊坊市香河县香汐花园16号楼1单元1301室

(72) 发明人 苏亚军 张靖

(51) Int. Cl.

B32B 1/08 (2006.01)

B32B 15/01 (2006.01)

B32B 15/00 (2006.01)

B32B 15/20 (2006.01)

B23P 23/06 (2006.01)

B23P 15/00 (2006.01)

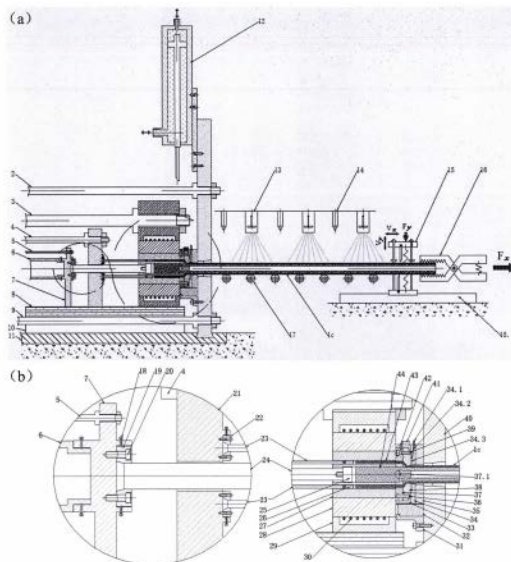
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种车辆用铝包复镁合金管状结构件及其成形设备与工艺

(57) 摘要

一种车辆用铝包复镁合金管状结构件及其成形设备与工艺属于复合材料领域中金属包覆材料范畴和金属塑性加工技术领域中多坯料挤压、管材内高压成形技术范畴。本发明公开了一种管状铝包复镁合金新材料和铝包复镁合金管状结构件多坯料挤压复合成形-管材热态内高压成形-激光切割-热处理加工设备及工艺。本发明的优点是：管状包铝镁合金材料既继承了母材金属的优点，又克服了镁合金低温塑性和耐蚀性差、高温蠕变强度低、易高温氧化、材料成本高等缺点；利用所述设备与工艺能大规模工业生产芯材无变形、界面层薄且焊接良好的车辆用大中截面铝镁合金管状结构件；生产工艺流程短，设备投资和环境负担小，制造成本低，易于实现工业自动化、智能化制造。



1. 一种车辆用铝包复镁合金管状结构件在结构上是以工业纯铝或者变形铝合金为包覆层金属、以高强度变形镁合金为芯材金属、并且两者在其接触界面上实现了冶金结合的双层或者多层、常规或者异形的空芯金属包复材料结构件；其特征在于：(1) 包覆层金属材料可选用1050和1060等1XXX (Al) 系工业纯铝、或者5052和5083等5XXX (Al-Mg) 系中等强度变形铝合金、或者6061、6063、6005A、6082和6016等6XXX (Al-Mg-Si或者Al-Mg-Si-Cu) 系中等强度变形铝合金、或者7003、7005和7020等7XXX (Al-Zn-Mg) 系中高强度变形铝合金；(2) 芯材金属材料可选用AZ61A和AZ80A等AZ (Mg-Al-Zn) 系中高强度变形镁合金、或者ZK60A、ZK61M和ZK80A等ZK (Mg-Zn-Zr) 系高强度变形镁合金。

2. 一种可用于制造权利要求1所述的车辆用铝包复镁合金管状结构件的设备装置包括：铸锭均匀化退火炉、棒材锯切装置、铸锭加热炉、铸锭热剥皮机、抓料机械手、挤压模具加热炉和悬臂吊、正向双动式多坯料挤压机、在线淬火装置、前梁锯、牵引机、滑出台、插料机构、贮料台(含自动摆料机构)、辊式矫直机、锯床、卧式淬火炉、CNC拉弯机/液压拉弯机、退火炉、管材热态内高压成形机、超声波表面清洗/烘干装置、3D激光切割机、人工时效炉、三坐标测量仪、涂油机、包装机、平台秤和行车以及其他质检设备与仪器；其特征在于：(1) 所述的正向双动式挤压机在结构上与工业化生产有色金属无缝管所用的传统穿孔挤压机相似，但也有其自身特点，即，(a) 所述的多孔挤压筒内衬27是一个包含一中心孔和若干在其周围轴对称分布的等截面孔的专用挤压筒结构件，且其中心孔和等截面孔可以是圆柱孔或者椭圆孔、并分别用于盛放已经热剥皮的变形镁合金铸锭44和变形铝合金铸锭43；(b) 与所述多孔挤压筒内衬27的中心孔和等截面孔相对应的挤压轴分别称为主挤压杆24和副挤压杆23；所述的主挤压杆24和副挤压杆23在其后端分别通过压环19、或者压环22固定安装在主挤压杆托座7、或者副挤压杆托座21上；在主挤压杆24和副挤压杆23的前端分别安装着主固定式挤压垫25和副固定式挤压垫26；(c) 所述的多坯料挤压复合模具在结构上分为阳模37和阴模38两部分，并通过定位销36和内六方螺栓39紧固连接在一起；在阳模37后端面、与所述多孔挤压筒内衬27上的中心孔相对应的中心区域分布着挤压铝包复镁合金管坯1c的镁合金芯材所用的“平面分流组合模具的阳模”特有的若干分流孔和分流桥，而在分流桥下方、分流孔深处是多股镁合金的焊合室，并且在分流桥和被镁合金的焊合室所环绕着的模芯内还设置有可阻止铝包复镁合金管坯1c内表面镁合金高温氧化的保护性气体的通道37.1；而在阳模37后端面、与所述多孔挤压筒内衬27上的等截面孔相对应的区域分布着挤压铝包复镁合金管坯1c的铝合金包覆层所用的“平面导流模”特有的导流孔，导流孔的前端与阴模38上的铝合金包覆层金属的焊合室与模孔的定径区和出口区相连通；而在阴模38的中央区域设置有与所述的镁合金焊合室相连通的模孔定径区和出口区；在阳模37的模芯前部，模芯的圆柱表面与阴模38的后部同轴小圆柱面、前部同轴大圆柱面相配合，依次构成先成形的镁合金芯管的挤压模孔和铝合金包覆层金属的管坯挤压成形并直接与镁合金芯管发生双固相复合作用的挤压复合成形模孔；在模垫34的后端面设置有一个环形凹槽，与阴模38的前端面和铝包复镁合金管坯1c外表面一起构成一个环状模具冷却室34.3，且其进口端通过模垫34中的冷却气体通道34.1与外部的冷却气管34.1相连通；与模具表面热交换后、温度升高的保护性气氛则由模垫34、模支撑35和挤压机前梁40上的喇叭口圆锥面与前述铝包复镁合金管坯1c外表面之间的间隙流出；(d) 挤压机前梁40通过上张力柱2和下张力柱9与挤压机后梁紧固连接在一起；液压剪12和滑模座32和滑模座支撑31安装在挤压机前

梁40上;主、副液压缸和第一、第二辅助液压缸均安装在挤压机后梁上;所述的主挤压杆托座7、副挤压杆托座21和挤压筒保温箱29均位于滑轨8的上方,并分别通过拉杆5和主液压缸柱塞6、或者拉杆4、或者拉杆3依次与第一辅助液压缸柱塞和主液压缸、或者副液压缸柱塞、或者第二辅助液压缸柱塞相关联;使用时,所述主挤压杆24通过副挤压杆托座21上的过孔、向前进入所述多孔挤压筒内衬27的中心孔内,并通过主固定式挤压垫25将外加载荷传递到镁合金铸坯上;(2)所述的管材热态内高压成形机在结构上与铝合金、镁合金管材热态内高压成形机相似,但也有其自身特点,即,位于上滑板51和工作台61之间的成形模具由上部水冷支撑板52、上模54、隔热板57、下模58、下部水冷支撑板59和水平缸56及其支架55构成,其中,(a)在水冷支撑板52和59内设置有冷却水流通管道60;(b)在上模54和下模58内设置有高温液态介质流通管道53;(c)在合模后,高温高压乳化液通过水平缸56的中央通道被连续注入所述预制件1b的管腔内、并加压胀形,同时水平缸56通过其顶端的不锈钢管顶头56.1将轴向补缩力 F_a 传递给模腔中的铝包复镁合金拉弯预制件1b的两端,推动金属向胀形区域补料。

3.一种可利用权利要求2所述的设备装置高效制备与加工权利要求1所述的车辆用铝包复镁合金管状结构件的制造工艺过程包括:(1)变形镁合金与变形铝合金的铸锭均匀化退火、定尺锯切、铸锭预热和热剥皮以及挤压工模具的预热,(2)铝包复镁合金管坯的多坯料挤压复合成形、在线或者离线淬火、粗切、矫直和精切,(3)铝包复镁合金管坯的拉弯成形、回复退火、管材热态内高压成形和表面清洗,(4)车辆用铝包复镁合金管状结构件的激光切割和人工时效热处理,以及对所述的车辆用铝包复镁合金管状结构件的质量检测、涂油、包装、称重和转运入库;其特征在于:(1)对工业纯铝和直径小于120mm的镁合金或者铝合金的铸锭,无需均匀化退火处理即可直接进行铸锭预热和热剥皮,再送入挤压工序;(2)对直径大于120mm的镁合金或者铝合金的铸锭,必须进行铸锭均匀化退火处理,且可利用铸锭均匀化退火余热进行热剥皮、并直接送入挤压工序;(3)对T5热处理状态的车辆用铝包复镁合金管状结构件,可将用多坯料挤压复合成形工艺制得的铝包复镁合金管坯1c通过强制风冷、喷水冷却、或者水雾冷却方式实现在线淬火,并经过矫直、锯切后,再经过拉弯成形、回复退火、管材热态内高压成形、表面清洗和激光切割等零件深加工和人工时效热处理获得制成品;(4)对T6热处理状态的车辆用铝包复镁合金管状结构件,可将所述的铝包复镁合金管坯1c经过矫直、锯切、离线淬火后,再经过拉弯成形、回复退火、管材热态内高压成形、表面清洗和激光切割等零件深加工和人工时效热处理获得制成品。

4.根据权利要求3所述的一种车辆用铝包复镁合金管状结构件的制造工艺,其特征在于:(1)镁合金铸锭均匀化退火工艺:退火温度为430~550℃,保温时间为0.5~24h,出炉后空冷;(2)铝合金铸锭均匀化退火工艺:退火温度为430~560℃,保温时间为5~12h,出炉后水冷;(3)热剥皮工艺:(a)镁合金铸锭温度为380~500℃,铝合金铸锭温度为380~500℃,(b)剥皮厚度为2.5~5.0mm,(c)剥皮速度为25~50mm/秒;(4)多坯料挤压复合成形工艺:镁合金铸锭温度为300~450℃,铝合金铸锭温度为350~500℃,模具加热温度为350~500℃,挤压筒加热温度为300~450℃,挤压速度为1.5~8m/min,镁合金挤压比为5~60,铝合金挤压比为15~90;(5)淬火工艺:(i)在线淬火:采用水雾冷却、喷水冷却、或者强制风冷却方式,将包铝镁合金管材从 $500 \pm 10^\circ\text{C}$ 高温迅速降至100℃以下,同时通过挤压模芯中的气体通道向空芯铝包复镁合金材料内腔通入 CO_2 中性保护性气氛;(ii)离线淬火:在中性性气体

CO₂或者还原性气体SO₂的保护下,在加热温度为390~510℃、保温时间为6~24h的条件下进行固溶处理;然后,强制风冷或者在静止空气中自然冷却;(6)矫直工艺:在变形温度为100~200℃和CO₂中性保护性气氛下矫直,拉伸率控制在为0.5%~3.0%范围内;(7)拉弯成形工艺:采用预拉-弯曲-补拉(P-M-P)加载方式拉弯变形,弯曲模具预热温度为180~200℃、铝包复镁合金管坯1c的预热温度为150~180℃、对镁合金无腐蚀的乳化液的预热温度为200±5℃、预拉伸量为0.2%~1.0%、包覆拉伸量为1%~3%、补拉伸量为0.2%~1.0%、摩擦系数为0.05~0.15、预拉包角为10°~20°、补拉包角为30°~70°;(8)热态内高压成形工艺:成形温度为150~300℃、模具温度高于成形温度15~20℃、传力介质为对镁合金无腐蚀性的乳化液、静摩擦系数在0.1~0.3之间、理想补料量为60%~80%;(9)人工时效工艺:在中性性气体CO₂或者还原性气体SO₂的保护下,时效温度为130~250℃、保温时间为1~48h。

一种车辆用铝包复镁合金管状结构件及其成形设备与工艺

技术领域

[0001] 本发明涉及复合材料领域中的金属包复材料范畴与金属塑性加工技术领域中的多坯料挤压复合成形和管材热态内高压成形技术范畴,特别提供了一种车辆用铝包复镁合金管状结构件及其成形设备与工艺,适用于一类其芯部金属的低温塑性成形能力差、耐腐蚀性差且易高温氧化、高温蠕变强度低而其他物理力学性能优异的双层或者多层、常规或者异型大中断面金属包复材料 车身结构件的商业化量产应用。

背景技术

[0002] 当前,在全球高铁、汽车工业全面推进“电动化、智能化、网联化、共享化”发展战略的形势下,车体轻量化对高铁和汽车产业的可持续健康发展 仍然具有重要现实意义。在包括AHSS先进高强度汽车钢板、铝合金、镁合金、CFRP碳纤维复合材料和工程塑料在内的多元材料混合车体结构轻量化技术的开发与应用中,高铁和汽车轻量化全生命周期多目标优化技术越来越为人们所重视。从高铁和汽车全生命周期的能耗、温室效应和生产成本的角度分析,镁合金是比铝合金、CFRP碳纤维复合材料更有前途的一种绿色环保型车体轻量化结构材料,但与目前常用的AHSS先进高强度汽车钢板和铝合金相比,镁合金在材料本身的综合性能、材料制备和零件制造与连接工艺和生产成本等方面还存在着一些问题和不足,制约着镁合金单一材料在车体轻量化结构中的进一步推广应用。

[0003] 镁合金是金属结构材料中最轻的金属,其屈服强度与铝合金的大体相当,只稍低于碳钢,是工程塑料的4~5倍;其弹性模量是工程塑料的20多倍。因此,在等强度、等刚度的情况下,用镁合金制作结构件可以极大地减轻零件重量。目前,铸造镁合金的压铸件、半固态金属铸件在汽车上的应用越来越多,但其强度较低。强度较高的变形镁合金的冷塑性变形能力差,通常采用热塑性成形方法进行零部件半成品制造,且因镁的化学活性强而需要在镁合金熔炼铸造和热加工过程中采取必要的阻燃、防氧化措施,从而导致变形镁合金零部件的成本高于铝合金;同时,由于镁的弹性模量、疲劳强度和冲击韧性都比铝低,当“以镁代铝”制备车身零部件时,厚度需要增加,有时得不到所期望的减重效果。这都妨碍了高强度变形镁合金材料在汽车上的应用。为了加快推进高性能变形镁合金材料在汽车上的推广应用,已经开发出了包铝镁合金(又称铝包覆镁合金)板材新材料及其制备与加工工艺。包铝镁合金板材具有密度低、导电和导热性好、无磁性、电磁相容性优良、耐腐蚀性良好、减震阻尼降噪性能优良、冲击不产生火花、强度高、在负载下有较高的抗蠕变强度、减小了镁合金的塑性加工难度、尺寸稳定性高、表面美观且表面微弧阳极氧化膜耐磨性能优良、对环境污染小且可回收再生利用性良好等优点,故在航空、航天、高铁、汽车、轨道车辆、舰船、国防军工和3C产品领域中的应用前景广阔。然而,包铝镁合金板材还不能满足汽车白车身结构件对铝包复高强度镁合金管或者空心型材的产品性能要求。

[0004] 目前,层状金属复合材料的生产方法主要有HCFC水平连铸直接复合成形法、挤压铸造复合法、连续热浸镀法、Castex连续铸挤包复法、轧制压接法、包覆焊接法、拉拔复合法、复合坯料常规挤压法、静液挤压法、带张力挤压法、分流模挤压复合法、Conform连续挤

压包复法、MBE多坯料挤压复合法和爆炸复合法等,其中,在采用MBE多坯料挤压复合法成形法制造双金属管或者空心型材时,其包覆层金属与芯材金属的材料组合自由度大,不论芯材强度是否高于包覆层金属,都能较容易地实现在室温或者高温下挤压复合法成形芯材无变形的双层或者多层、常规或者异型、大中断面的金属包覆材料,且在高温成形时芯材与包覆层金属处于高温状态下的接触时间很短(与连续挤压包复状态下的相当);所制备出的双金属管的内外层在圆周和长度方向上尺寸均匀,界面层内无夹杂、孔洞、或者空隙等界面缺陷,界面焊合质量良好、并实现了冶金结合;尽管坯料加热、挤压装料等操作以及挤压工模具结构较为复杂,但生产流程短、工艺简单,成本低、环境负担小,故MBE多坯料挤压复合法成形技术更适用于高铁、汽车和轨道车辆车体结构所需的较大截面积管材或者空心型材零件毛坯的制造。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种车辆用铝包复镁合金管状结构件及其成形设备与工艺,以解决单一高强度变形镁合金材料所固有的弹性模量低、疲劳强度低、冲击韧度低、耐腐蚀性差、低温塑性成形能力差、高温塑性加工时易氧化、零件制造的材料成本和加工成本比变形铝合金零件的高等妨碍高性能变形镁合金在高速铁路、汽车和轨道车辆领域中推广应用的技术性问题,推进铝包复镁合金管状结构件在高铁、汽车和轨道车辆领域中的商业化应用。

[0006] 为了实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种车辆用铝包复镁合金管状结构件是以工业纯铝或者变形铝合金为包覆层金属、以高强度变形镁合金为芯材金属、并且两者在其接触界面上实现了冶金结合的双层或者多层、常规或者异形的空芯金属包覆材料深加工件(如图1所示);其中,(1)包覆层金属可选取的汽车用铝及其合金材料主要有:(a)强度低、可塑性和耐蚀性优良的1XXX (Al)系工业纯铝,如,1050和1060等;(b)中等强度、可塑性和耐蚀性良好的5XXX (Al-Mg)系防锈变形铝合金,如,5052和5083等;(c)中等强度、可锻性和耐蚀性良好的6XXX (Al-Mg-Si或者Al-Mg-Si-Cu)系锻造变形铝合金,如,6061、6063、6005A、6082和6016等;(d)中高强度、可锻性良好、耐蚀性较好的7XXX (Al-Zn-Mg)系超硬铝合金,如,7003、7005和7020;(2)芯材金属可选取的变形镁合金材料主要有:(a)中高强度、热态可锻性良好的AZ (Mg-Al-Zn)系变形镁合金,如,AZ61A和AZ80A等;(b)高强度、热态可锻性良好的ZK (Mg-Zn-Zr)系变形镁合金,如,ZK60A、ZK61M和ZK80A等。在具体的铝包复镁合金管状结构件的产品设计时,首先依据零部件的使用性能要求,结合各种包覆层金属和芯部金属的材料工艺特性,以实现铝包复镁合金管状结构件的强度-成本-重量的匹配关系最佳为原则,合理选材、优化工艺和产品结构设计。

[0007] 本发明中的设备装置(如图2(b)和图3所示)包括:镁合金与铝合金的铸锭均匀化退火炉(I)和(II)、棒材锯切装置(I)和(I工)、铸锭加热炉(I)和(II)、铸锭热剥皮机(I)和(I工)、抓料机械手(I)和(II)、挤压模具加热炉和悬臂吊、正向双动式多坯料挤压机、在线淬火装置、前梁锯、牵引机、滑出台、插料机构、贮料台(含自动摆料机构)、辊式矫直机、锯床、卧式淬火炉、CNC拉弯机/液压拉弯机、退火炉、管材热态内高压成形机、超声波表面清洗/烘干装置、3D激光切割机、人工时效炉、三坐标测量仪、涂油机、包装机、平台秤和行车以及其他质量检测设备与仪器(包括光电直读光谱仪、光学金相显微镜、SEM扫描电镜和

EDS能量损失谱仪、维氏显微硬度计、盐雾试验机、疲劳强度试验机、数控万能材料试验机、超声波探伤仪和X射线衍射仪)。

[0008] 所述的正向双动式挤压机在结构上与工业生产有色金属无缝管材所用的传统穿孔挤压机相似,但也有其自身特点,如图3所示,即,(1)在传统穿孔机的穿孔针位置上设置主挤压杆24;主挤压杆24在其前端与主固定式挤压垫25相连接、而在其后端通过压环19和内六方螺栓20与调节螺钉18固定在主挤压杆托座7上;主挤压杆托座7通过径向安装的内六方螺栓的紧固连接作用与主液压缸柱塞6固定在一起,同时还以螺栓连接方式与主挤压杆托座拉杆5(其后端与第一辅助液压缸柱塞相连接)固定在一起;(2)副挤压杆23对称、平行地分布在主挤压杆24的周围;副挤压杆23在其前端与副固定式挤压垫26相连接、而在其后端通过压环22和内六方螺栓与调节螺钉固定在副挤压杆托座21上;副挤压杆托座21以螺栓连接方式与副挤压杆托座拉杆4(其后端与副液压缸柱塞相连接)固定在一起;所述的主固定式挤压垫25和副固定式挤压垫26分别与其前方的多孔挤压筒内衬27上的圆形或者椭圆形中心孔及其外侧、轴对称分布的圆形或者椭圆形等截面孔相对应;挤压筒外衬28与多孔挤压筒内衬27热装在一起;电阻加热元件30安装在挤压筒外衬28与挤压筒保温箱29之间的加热室内;挤压筒的保温箱29以螺栓连接方式与挤压筒拉杆3(其后端与第二辅助液压缸柱塞相连接)固定在一起;主挤压杆托座7、副挤压杆托座21和挤压筒保温箱29均通过各自下部滑块而在滑轨8上滑动;(3)在合模状态下,所述多孔挤压筒内衬27的前端面与挤压模具的阳模37端面紧密贴合在一起;多孔挤压筒内衬27上的中心孔与等截面孔分别与挤压模具阳模37上的镁合金挤压分流孔/焊合室、或者铝合金挤压导流孔相连通;挤压模具阴模38上的中心模孔及其外侧的铝合金焊合室/模孔分别与阳模37上的镁合金焊合室、铝合金导流孔相连通;挤压模具的阳模37和阴模38通过定位销36和内六方螺栓39紧固连接在一起,并通过定位销钉42与模套33机械装配在一起;尔后再与模垫34、模支撑35一起通过压型嘴41固定安装在滑模座32上;滑模座支撑31通过内六方螺栓紧固连接在挤压机前梁40上;在挤压机前梁40的上方还安装有液压剪12;(4)挤压机前梁40通过上张力柱2和下张力柱9与挤压机后梁紧固连接在一起;主、副液压缸和第一、第二辅助液压缸均安装在挤压机后梁上;(5)在挤压模具阳模37的分流桥和模芯内设置有可阻止铝包复镁合金管坯1c内表面高温氧化的中性或者还原性保护气体的通道37.1;在模垫34靠近挤压模具一侧设置有为挤压模具降温的冷却气体的通道34.2和环状模具冷却室34.3,冷却气体通道34.2与外部的冷却气管34.1相连通;(6)在一个挤压周期中,在挤压力的作用下,处于多孔挤压筒内衬27中的镁合金44、铝合金43分别流经挤压模具的阳模37和阴模38模孔定径区并直接双固相复合而成铝包复镁合金管坯1c,尔后由挤压机前梁40上的出料孔流向在线淬火/急冷区;在单个挤压周期结束时,挤压筒和挤压模分离,启动液压剪12,将残留在挤压模具阳模37端面上的压余切除。

[0009] 所述的在线淬火装置是由强制风冷装置13、喷水冷却装置或者水雾冷却装置14组合而成的复合冷却装置;常位于挤压机前梁40前方、辊式固定出料床17的正上方,如图3所示。使用时,可以根据金属材料的淬火敏感性和零件热处理工艺要求的不同,选用不同的冷却模式,即,(1)对于T5状态铝包复镁合金车身构件,对一些淬火敏感性很高的合金材料、可采用强制风冷模式急冷而实现在线淬火,而对另一些淬火敏感性较高的金属材料、可采用喷水冷却或者水雾冷却的急冷模式而实现在线淬火;(2)对于T6状态铝包复镁合

金车身构件,通常采用强制风冷或者喷水冷却方式给铝包复镁合金管或者空心型材快速降温,而其淬火处理在后续的离线淬火炉内完成。

[0010] 如图3所示,在所述在线淬火装置的前方依次设置有前梁锯15和牵引机 16,其中,(1)前梁锯15在使用时可随着铝包复镁合金挤压材同步移动;(2)牵引机16与多坯料挤压机相配合,实现了对铝包复镁合金管或者空心型材1c的多坯料挤压复合-拉伸成形过程,从而,提高了铝包复镁合金管坯1c的形状尺寸精度、成材率和生产效率,节约能源并延长了模具的使用寿命。

[0011] 所述的CNC拉弯机/液压拉弯机由拉弯机本体、带有中央通孔的不锈钢拉伸夹具45、密封垫46、弯曲模具49和模具支架50所构成,其中,弯曲模具49内设置有为其预热所用的高温液态介质的流通管道48(如图4所示)。在使用时,首先利用高温液态介质将弯曲模具49加热至工艺要求的温度,再迅速将高温乳化液通过不锈钢拉伸夹具45上的通孔充满铝包复镁合金管坯1c的管腔;然后,在拉弯机所施加的外加载荷作用下,采用预拉-弯曲-补拉(P-M-P)变形工艺,将所述的铝包复镁合金管坯1c加工成等截面弯曲型车身结构件或者管材热态内高压成形的预制件1b。

[0012] 所述管材热态内高压成形机包括液压系统、水压系统、高压源、模具温度调节系统、液态填充介质加热系统、计算机控制系统、合模压力机本体、上滑板51、上部水冷支撑板52、上模54、隔热板57、下模58、下部水冷支撑板59、水平缸56和水平缸支架55以及工作台61。如图5所示,(1)在合模力 F_c 的作用下合模后,所述管材热态内高压成形机的上滑板51位于上部水冷支撑板52的上方,而在上部水冷支撑板52的下方依次为隔热板57和上模54,且三者通过内六方螺栓紧固组装在一起;同样,所述管材热态内高压成形机的工作台61位于下部水冷支撑板59的下方,而在下部水冷支撑板59的上方依次为隔热板57和下模58,且三者通过内六方螺栓紧固组装在一起;(2)在所述的上部水冷支撑板52和下部水冷支撑板59内均设置有冷却水的流通管道60,而在所述的上模54和下模58内均设置有高温液态介质的流通管道53;(3)位于模具型腔两端的水平缸56由不锈钢管顶头56.1、缸盖56.2、缸体56.3和密封垫46构成,并通过不锈钢管顶头56.1和密封垫46与模腔内的预制件1b的两端密封连接;所述水平缸支架55的上、下端分别嵌入上部水冷支撑板52和下部水冷支撑板59的外端。在使用时,当模具温度满足工艺要求时,迅速将高温乳化液通过水平缸56的中央通道注入所述预制件1b的管腔内、并加压胀形,同时在水平缸56的轴向补缩力 F_a 作用下,推动预制件1b两端的金属向胀形区域补料;在成形过程结束时,卸压、开模并将已成形的变截面弯曲型车身结构件1a的毛坯取出,再依次经超声波表面预处理、二次水清洗、烘干、3D激光切割机精加工、人工时效后,制成所述变截面弯曲型车身结构件1a;然后,送去质检、涂油、包装、称重、转运入库。

[0013] 本发明的制造工艺过程如图2(a)所示,即:(1)铸锭准备:依次包括镁合金或者铝合金DC连铸棒材的(a)铸锭均匀化退火、(b)定尺锯切、(c)铸锭预热和(d)热剥皮工序,其中,(i)工业纯铝和直径小于120mm的镁合金或者铝合金的DC连铸棒材无需铸锭均匀化退火处理,可直接在定尺锯切后进行铸锭预热和热剥皮;(ii)直径大于120mm的镁合金或者铝合金的DC连铸棒材必须进行铸锭均匀化退火处理,迅速进行定尺锯切、并利用余热直接进行热剥皮;(2)预热挤压筒和挤压工模具;(3)多坯料挤压复合成形所述的铝包复镁合金管坯1c;(4)在线淬火或者急冷:(a)对一类淬火敏感性强的铝合金和镁合金可实现在线

淬火处理、(b)而对另一类淬火敏感性较弱的铝合金和镁合金仅起到急冷降温作用；(5)在所述铝包复镁合金管坯1c依次经过粗切、矫直和精切后，(a)对已实现了在线淬火处理的铝包复镁合金管坯1c，既可直接经过激光切割成形、人工时效而成T5热处理状态下等待质检的等截面平直型车身结构件1c，也可经过拉弯成形、超声波表面预处理、激光切割和人工时效而成T5热处理状态下等待质检的等截面弯曲型车身结构件1b；(b)对仅实现急冷降温作用的铝包复镁合金管坯1c，在经过离线淬火处理后，既可直接经过激光切割、人工时效而成T6热处理状态下等待质检的等截面平直型车身结构件1c，也可经过拉弯成形、超声波表面预处理、激光切割和人工时效而成T6热处理状态下等待质检的等截面弯曲型车身结构件1b；(6)对铝包复镁合金拉弯成形预制件1b，可经过管材热态内高压成形、超声波表面预处理、激光切割和人工时效而成T5或者T6热处理状态下等待质检的变截面弯曲型车身结构件1a；然而，对于某些材料内部残余应力较大的拉弯成形预制件1b，需在管材热态内高压成形加工前对其进行回复退火处理；(7)对T5或者T6热处理状态下的铝包复镁合金车身结构件依次经质检、涂油、包装和称重后，转运入库。在零件制造过程中，对镁合金的铸锭均匀化退火、铝包复镁合金材料的离线淬火和人工时效过程，通常需采用中性气体二氧化碳CO₂、或者氮气N₂或者还原性气体SO₂对高温镁合金进行气体保护。

[0014] 铝包复镁合金车身结构件的制造工艺条件为：

[0015] (1) 镁合金铸锭均匀化退火工艺：退火温度为430~550℃，保温时间为0.5~24h，出炉后空冷；

[0016] (2) 铝合金铸锭均匀化退火工艺：退火温度为430~560℃，保温时间为5~12h，出炉后水冷；

[0017] (3) 铸锭预热工艺：(a)对于镁合金：加热温度为400~500℃，(b)对于铝合金：加热温度为400~500℃；

[0018] (4) 热剥皮工艺：(a)镁合金铸锭温度为320~500℃，铝合金铸锭温度为380~500℃，(b)剥皮厚度为2.5~5.0mm，(c)剥皮速度为25~50 mm/秒，且起始阶段取正常速度的0.3~0.5倍、终了阶段取其速度不大于正常速度的0.3倍、中间阶段取其正常速度剥皮；

[0019] (5) 多坯料挤压复合成形工艺：镁合金铸锭温度为300~450℃，铝合金铸锭温度为350~500℃，模具加热温度为350~500℃，挤压筒加热温度为300~450℃，挤压速度为1.5~8m/min，镁合金挤压比为5~60，铝合金挤压比为15~90；

[0020] (6) 淬火工艺：(a)在线淬火：采用水雾冷却、喷水冷却、或者强制风冷却方式，将包铝镁合金管材从500±10℃高温迅速降至100℃以下，同时通过挤压芯棒中的气体通道向空芯铝包复镁合金材料内通入瓶装CO₂中性保护性气氛；(b)离线淬火：在中性气体CO₂或者还原性气体SO₂的保护下，在加热温度为390~510℃、保温时间为6~24h的条件下进行固溶处理；然后，强制风冷或者在静止空气中自然冷却至室温；

[0021] (7) 矫直工艺：铝包复镁合金材料在温度为100~200℃和瓶装CO₂中性保护性气氛下矫直，拉伸率控制在为0.5%~3.0%范围内；当管坯壁厚小于10mm时，采用接触电热法加热，加热时间为数秒至2min；当管坯壁厚大于10mm时，宜采用挤压后的余热即时矫直；

[0022] (8) 拉弯成形工艺：对空芯铝包复镁合金材料，采用温拉弯成形加工工艺；当镁合金芯材厚度小于10mm时，采用接触电热法加热，加热时间为数秒至2min；当镁合金芯材厚度大于10mm时，可采用在电阻加热炉内预热至180~200℃，同时采用热油将弯曲模具预热

至150~180℃;接着,将温度为 $200\pm 5^{\circ}\text{C}$ 且对镁合金无腐蚀性的乳化液充满空芯铝包复镁合金材料内腔;然后,采用预拉-弯曲-补拉(P-M-P)加载方式拉弯变形,主要工艺参数为:预拉伸量为0.2%~1.0%、包覆拉伸量为1%~3%、补拉伸量为0.2%~1.0%、摩擦系数为0.05~0.15、预拉包角为 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 、补拉包角为 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$;

[0023] (9) 回复退火工艺:加热温度150~350℃、保温时间为15~60min,对含Al量大于1.5wt%的镁合金,必须进行回复退火处理;

[0024] (10) 热态内高压成形工艺:成形温度为150~300℃、模具温度高于成形温度15~20℃、传力介质为对镁合金无腐蚀性的乳化液、静摩擦系数在0.1~0.3之间、理想补料量为60%~80%,而初始屈服压力 P_s 、成形压力 P_c 、轴向进给压力 F_a 和合模力 F_c 与材料属性、零件结构和设备能力等因素有关。

[0025] (11) 表面清洗工艺:(a) 镁合金表面的超声波预处理工艺:槽液中含有0.5wt%~5wt%稀硝酸(或者硝酸根离子的水溶液)、槽液温度在1~40℃范围内、超声振子频率 $19\pm 3\text{kHz}$ /共20个、总功率为500~1000VA、清洗时间2~5秒;(b) 铝合金表面的超声波预处理工艺:可采用国产8945号清洗剂、pH值在8~14范围内、槽液温度为 $65\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、超声振子频率 $19\pm 3\text{kHz}$ /共20个、总功率为500~1000VA、清洗时间2~5秒;(c) 去离子水洗工艺:水温为 $65\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、时间约为2~5秒;(d) 蒸馏水清洗工艺:水温 $30\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、时间约为2~5秒;(e) 烘干工艺:采用风刀吹干表面水分后,在80~100℃温度下烘干,持续时间为2~5秒。

[0026] (12) 激光切割工艺:按照零件加工技术要求,进行激光切割加工。

[0027] (13) 人工时效工艺:在瓶装中性性气体 CO_2 或者还原性气体 SO_2 的保护下,时效温度为130~250℃、保温时间为1~48h。

[0028] 本发明的优点在于:(1) 管状铝包复镁合金材料既具有复合材料的界面特性,又具有密度低、比强度高、比刚度高、导电和导热性好、无磁性、电磁相容性优良、耐蚀性良好、减震阻尼降噪性能优良、冲击不产生火花、强度高、在负载下有较高的抗蠕变强度、减小了镁合金的塑性加工难度、表面美观且表面微弧阳极氧化膜耐磨性能优良、对环境污染小和优良的可回收再生利用性等优点;采用管状铝包复镁合金材料制造的车辆用铝包复镁合金管状结构件,其力学性能、成本和重量可以设计;(2) 本发明的工艺优点主要有:(a) 非常适合于外接圆直径在50~500mm范围内的大中截面车辆用铝包复镁合金管状结构件制造;(b) 包覆层金属与芯材金属的材料组合自由度大,芯材金属的抗拉强度既可高于、也可低于包覆层金属的抗拉强度;(c) 能高效地制得尺寸精确、内表面无氧化、外表面光洁度高、无缝包覆、芯材无变形且界面焊合质量良好、实现了界面冶金结合的双层或者多层、常规或者异型的车辆用铝包复镁合金管状结构件;(d) 铝包复镁合金材料的界面层内无夹杂、孔洞、或者空隙等界面缺陷,界面焊合质量良好,界面层厚度小且可以控制;(e) 能灵活高效地制备出横断面为圆形、方形、异形、阶段变断面或者逐渐变断面的车辆用铝包复镁合金管状结构件;(f) 生产工艺流程短,工艺简单,材料利用率高,生产效率高,设备简单且一次性投资小,制造成本低,安全、节能、环境负担小;易于实现工业自动化、智能化制造,适用于规模化商业应用。

附图说明

[0029] 下面结合附图对本发明做进一步说明:

[0030] 图1为车辆用铝包复镁合金管状结构件的几种断面结构示意图；

[0031] 图2为车辆用铝包复镁合金管状结构件的制造工艺和设备平面布局示意图：(a) 工艺流程图，(b) 设备平面布局图，其中，箭头指示物流方向；

[0032] 图3为铝包复镁合金管材的多坯料挤压复合成形工艺原理和挤压设备与工模具结构原理示意图：(a) 整体图，(b) 局部放大图；

[0033] 图4为铝包复镁合金管材拉弯成形工艺原理和工模具结构示意图；

[0034] 图5为铝包复镁合金管材热态内高压成形工艺原理和工模具结构示意图：(a) 成形原理与工模具结构示意图，(b) 水平缸的结构示意图。

[0035] 图中：1a、变截面弯曲型车身结构件；1b、等截面弯曲型车身结构件/热态内高压成形预制件；1c、等截面平直型车身结构件/拉弯成形预制件的管坯；2、上张力柱；3、挤压筒拉杆；4、副挤压杆托座拉杆；5、主挤压杆托座拉杆；6、主液压缸柱塞；7、主挤压杆托座；8、滑轨；9、下张力柱；10、滑轨支撑；11、挤压机基座；12、液压剪；13、强制风冷装置；14、喷水冷却或者水雾冷却装置；15、前梁锯；15.1、前梁锯下部滑轨；16、牵引机；17、辊式固定出料床；18、调节螺钉；19、主挤压杆压环；20、压环的内六方螺栓；21、副挤压杆托座；22、副挤压杆压环；23、副挤压杆；24、主挤压杆；25、主固定式挤压垫；26、副固定式挤压垫；27、多孔挤压筒内衬；28、挤压筒外衬；29、挤压筒的保温箱；30、电阻加热元件；31、滑模座支撑；32、滑模座；33、模套；34、模垫；34.1、冷却气管；34.2、冷却气体通道；34.3、环状模具冷却室；35、模支撑；36、定位销；37、挤压模具的阳模；37.1、保护性气体通道；38、挤压模具的阴模；39、内六方螺栓；40、挤压机前梁；41、模具压型嘴；42、定位销钉；43、铝合金；44、镁合金；45、带有中央通孔的不锈钢拉伸夹具；46、密封垫；47、高温惰性液态介质；48、加热拉弯模具所用的高温液态介质及其流通管道；49、弯曲模具；50、弯曲模具支架；51、上滑板；52、上部水冷支撑板；53、高温液态介质及其流通管道；54、上模；55、水平缸的支架；56、水平缸；56.1、不锈钢管顶头；56.2、缸盖；56.3、缸体；57、隔热板；58、下模；59、下部水冷支撑板；60、冷却水及其流通管道；61、热态内高压成形机的工作台。

具体实施方式

[0036] 为了使本发明的目的、技术方案以及优点更加清晰明了，以下结合附图及实施例，对本发明做进一步的详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0037] 图1为本发明中车辆用铝包复镁合金管状结构件的一种具体实施方式；其中，1a为变截面弯曲型车辆用铝包复镁合金管状结构件；1b为等截面弯曲型车辆用铝包复镁合金热态内高压成形预制件；1c为等截面平直型车辆用铝包复镁合金管坯。

[0038] 图2至图5为本发明设备的一种具体实施方式。其设备包括(1)镁合金的铸锭均匀化退火炉(I)、棒材锯切装置(I)、铸锭加热炉(I)、铸锭热剥皮机(I)和抓料机械手(I)；(2)铝合金的铸锭均匀化退火炉(II)、棒材锯切装置(II)、铸锭加热炉(II)、铸锭热剥皮机(II)和抓料机械手(II)；(3)挤压模具加热炉和悬臂吊、正向双动多坯料挤压机、在线淬火装置、前梁锯、牵引机、滑出台、插料机构、贮料台(含自动摆料机构)、辊式矫直机、锯床、卧式淬火炉、CNC拉弯机/液压拉弯机、退火炉、管材热态内高压成形机、超声波表面清洗/烘干装置、3D激光切割机、人工时效炉、三坐标测量仪、涂油机、包装机、平台秤和8吨行车；

其中, (1) 所述的多坯料挤压机的主要零部件包括上张力柱2、挤压筒拉杆3、副挤压杆托座拉杆4、主挤压杆托座拉杆5、主液压缸柱塞6、主挤压杆托座7、滑轨8、下张力柱9、滑轨支撑10、挤压机基座11、液压剪12、调节螺钉18、主挤压杆压环19、压环的内六方螺栓20、副挤压杆托座21、副挤压杆压环22、副挤压杆23、主挤压杆24、主固定式挤压垫25、副固定式挤压垫26、多孔挤压筒内衬27、挤压筒外衬28、挤压筒的保温箱29、电阻加热元件30、滑模座支撑31、滑模座32、模套33、模垫34、冷却气管34.1、冷却气体通道34.2、环状模具冷却室34.3、模支撑35、定位销36、挤压模具的阳模37、保护性气体通道37.1、挤压模具的阴模38、内六方螺栓39、挤压机前梁40、模具压型嘴41和定位销钉42等; (2) 所述在线淬火装置由强制风冷装置13和喷水冷却或者水雾冷却装置14一起构成; (3) 所述的液压拉弯机的成形零部件包括带有中央通孔的不锈钢拉伸夹具45、弯曲模具49和弯曲模具支架50, 并且在弯曲模具49内设置有加热拉弯模具所用高温液态介质的流通管道48; (4) 所述的管材热态内高压成形零部件包括上滑板51、上部水冷支撑板52、高温液态介质的流通管道53、上模54、水平缸的支架55、水平缸56(由不锈钢管顶头56.1、缸盖56.2、缸体56.3组合而成)、隔热板57、下模58、下部水冷支撑板59、冷却水的流通管道60和热态内高压成形机的工作台61等。

[0039] 成形工艺实例: 铝包复镁合金变截面弯曲型车身结构件的制造工艺

[0040] (1) 6063铝合金和AZ61A镁合金的连续铸轧杆坯直径均为130mm;

[0041] (2) T5热处理状态下的包铝镁合金变截面弯曲型车身结构件的最大外接圆直径为180mm、包覆层厚度为1.5mm、芯材金属厚度为3.5mm;

[0042] (3) 铸锭均匀化退火工艺: (a) 对于镁合金: 退火温度为540℃, 保温时间为1h, 出炉后空冷; (b) 对于铝合金: 退火温度为530℃, 保温时间为6h, 出炉后水冷;

[0043] (4) 铸锭预热及热剥皮工艺: (a) 镁合金铸锭温度为420℃, 铝合金铸锭温度为450℃, (b) 剥皮厚度为2.5mm, (c) 剥皮速度为35mm/秒;

[0044] (5) 多坯料挤压复合成形工艺: 镁合金铸锭温度为400℃, 铝合金铸锭温度为450℃, 模具加热温度为450℃, 挤压筒加热温度为360℃, 挤压速度为3.5m/min;

[0045] (6) 在线淬火工艺: 采用喷水冷却方式, 将包铝镁合金管材从510℃高温迅速降至100℃以下;

[0046] (7) 矫直工艺: 矫直前, 首先采用接触电热法加热管坯, 使其温度升至150℃, 然后矫直、且将拉伸率控制在0.5%~1.0%范围内;

[0047] (8) 拉弯成形工艺: 在电阻加热炉内将空芯铝包复镁合金毛坯预热至180℃, 模具预热温度为150℃, 传力介质为对镁合金无腐蚀性的乳化液, 采用预拉-弯曲-补拉(P-M-P)加载方式拉弯变形, 其主要工艺参数为: 预拉伸量为1%、包覆拉伸量为3%、补拉伸量为1%、摩擦系数为0.2、预拉包角为15°、补拉包角为35°;

[0048] (9) 回复退火工艺: 加热温度为150℃, 保温时间为60min;

[0049] (10) 热态内高压成形工艺: 成形温度为200℃、模具温度为: 215℃、传力介质为对镁合金无腐蚀性的乳化液、静摩擦系数为0.15、初始屈服压力 $P_s = 20.2\text{MPa}$ 、成形压力 $P_c = 130\text{MPa}$ 、合模力 $F_c = 10\text{MN}$ 、轴向进给量50mm;

[0050] (11) 表面清洗工艺: (a) 首先对镁合金表面进行超声波预处理, 其工艺条件是: 槽液中含有2wt%稀硝酸、槽液温度在 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 范围内、超声振子频率 $19 \pm 3\text{kHz}$ /共20个、总功

率为800VA、清洗时间3秒；(b) 二次水洗工艺：先在 $65 \pm 5^\circ\text{C}$ 的去离子水中清洗3秒，再在 $30 \pm 5^\circ\text{C}$ 的蒸馏水中清洗3秒，用风刀吹干表面水分；(c) 再对铝合金表面进行超声波预处理，其工艺条件为：采用国产8945号清洗剂、pH值在8~14范围内、槽液温度为 $65 \pm 5^\circ\text{C}$ 、超声振子频率 $19 \pm 3\text{kHz}$ /共20个、总功率为800VA、清洗时间4秒；(d) 二次水洗工艺：先在 $65 \pm 5^\circ\text{C}$ 的去离子水中清洗3秒，再在 $30 \pm 5^\circ\text{C}$ 的蒸馏水中清洗3秒，用风刀吹干表面水分；(e) 烘干工艺：在 $80 \sim 100^\circ\text{C}$ 温度下烘干，持续时间为3~5秒；

[0051] (12) 激光切割工艺：按照零件加工技术要求，进行激光切割加工；

[0052] (13) 人工时效工艺：时效温度为 175°C ，保温时间为16h，加热炉中的保护性气氛为中性气体 CO_2 。

[0053] 应当理解的是，以上仅为本发明的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此。对于任何熟悉本领域的专家、学者、研究员以及普通技术人员而言，在不脱离本发明的原理和精神的前提下，还可做出若干变化、改进、替换和润饰，这些变化、改进、替换和润饰等均涵盖在本发明的保护范围内。

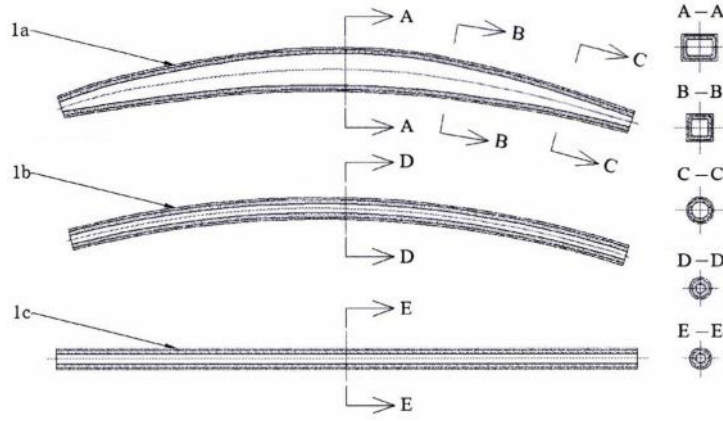


图1

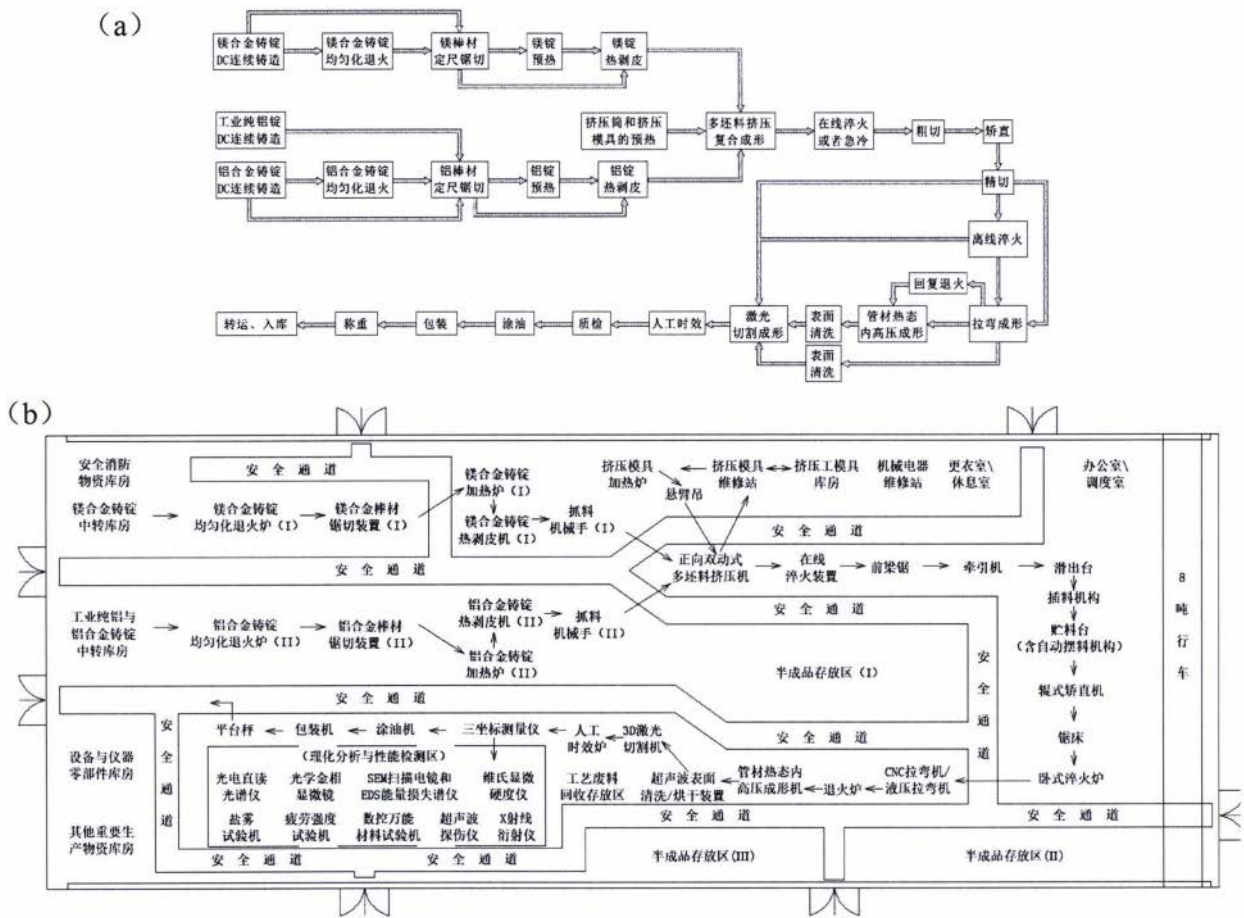


图2

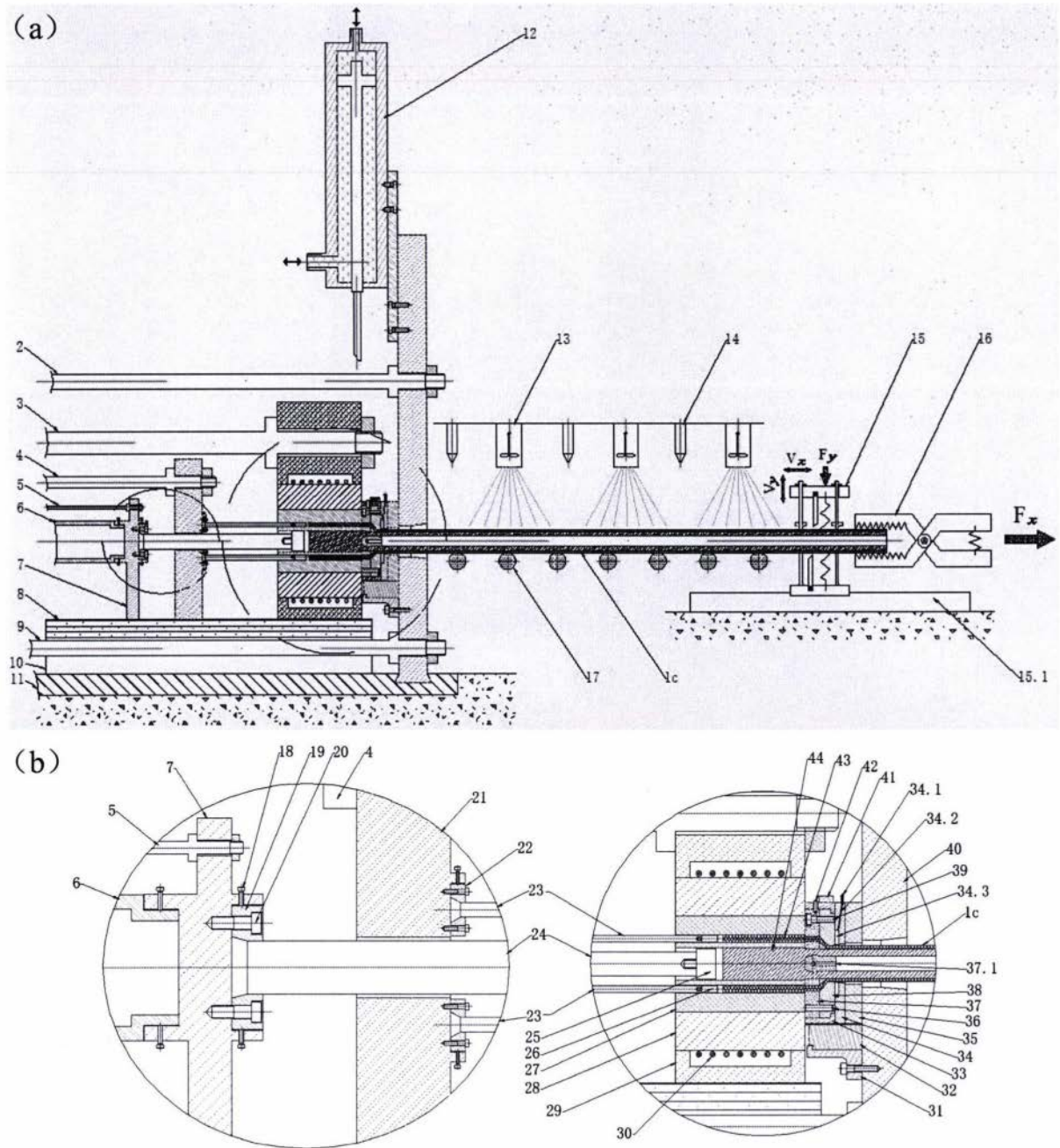


图3

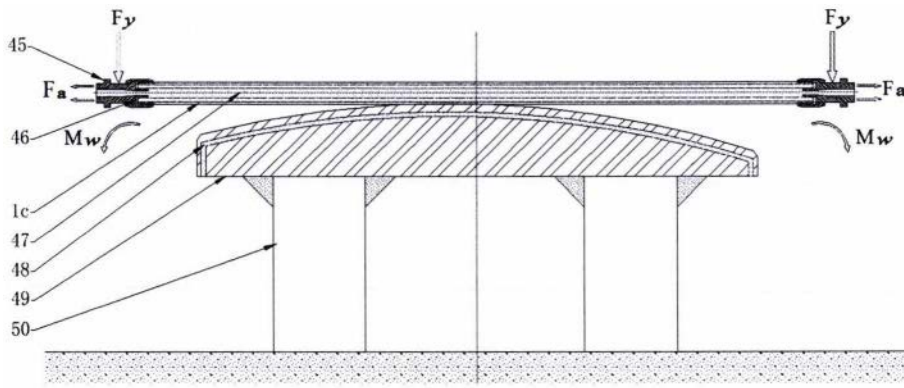


图4

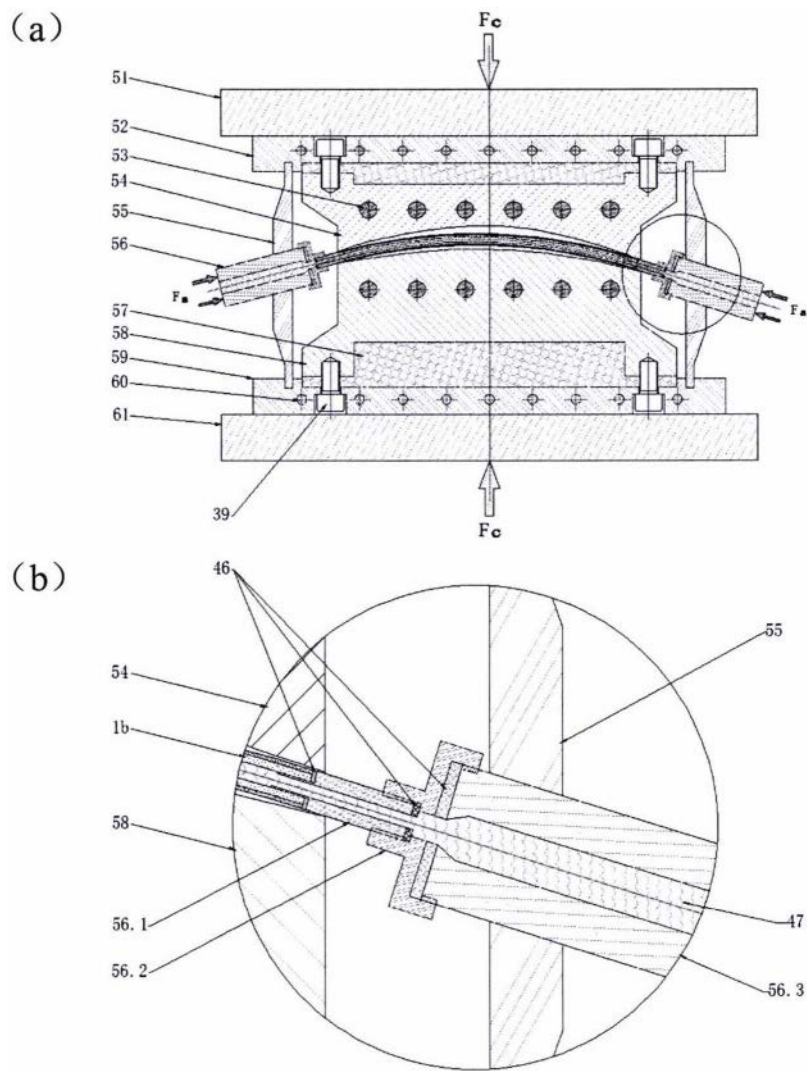


图5