

编号:

哈尔滨工业大学

大一年度项目立项报告

项目名称: 空心机器人手臂成形加工设计

项目负责人: 刘玮 学号: 1190301021

联系电话 电子邮箱

专业集群: 工科实验班(智能装备) 辅导员: 张思秋

指导教师: 王东君 职称: 副教授

联系电话 电子邮箱

院系及专业: 材料学院 材料科学与工程

哈尔滨工业大学基础学部制表
填表日期: 2019 年 11 月 13 日

一、项目团队成员（包括项目负责人、按顺序）

姓名	性别	所在专业集群	学号	联系电话	本人签字
刘玮	男	智能装备	1190301021		
王蒙都汗	男	智能装备	1190301024		
王书恒	男	智能装备	1190301020		

二、指导教师意见

任何一个方案，都要去调研、设计、实验等验证可行性。上述三种方案现在看来都有可行性，也都有各自的优缺点。所以可以先以三个方案设计经费使用计划，建议本项目以调研、设计、画图、分析为主，实验验证无论从哪个方面，难度都比较大，所以暂不建议。

签 名：王东君

2019 年 11 月 13 日

三、项目专家组意见

批准经费：元

组长签名：（学部盖章）

年 月 日

四、立项报告

4.1 立项背景

4.1.1 轻质薄壁耐热构件应用价值与应用领域

变截面耐热薄壁构件是火箭、飞机、汽车等运载工具的关键构件,其几何形状、尺寸精度和综合性能直接影响装备的气动性能、承载能力、有效载荷、燃料消耗等指标。随着新一代航空航天飞行器、高铁、新能源汽车等高端装备向轻量化、高速化、长寿命、高可靠性方向发展,耐热空心薄壁构件应运而生。这类构件采用具有轻质、高强度、耐热特性的先进结构材料,主要包括高强铝(锂)合金、钛合金、金属间化合物、高温合金等;结构多采用整体化、薄壁化、复杂化的几何构型。这类构件突出的制造难题是材料难变形,形状复杂(轮廓尺寸大、局部小特征多、曲率突变、壁厚超薄),性能要求高。材料难变形、形状复杂与高性能互相耦合,使得此类构件制造难度极大,超出现有技术的成形极限,为传统成形技术带来巨大的挑战。^[1]

4.1.2 现有主要工艺及其优缺点

4.1.2.1 液态成形

将液态金属浇注到与零件形状、尺寸相适应的铸型型腔中,待其冷却凝固,以获得毛坯或零件的生产方法,通常称为金属液态成形或铸造。

优点:工程消耗小,制造不受零件形状的限制。

缺点:

- (1) **液态金属的润湿性较差:**因此在液态成形时,液体很难完全浸入且完全充满薄壁构件模具之间;
- (2) **增强材料和基体金属的相容性较差:**这表现在不同材料在物理性能(如热膨胀性、比重等)、化学性能(如电化学势、组元扩散能力)及机械性能(如强度及韧性等)方面存在较大差异。这种差异将直接影响制造质量,例如比重差较大,很难使增强材料均匀地分布在金属或合金的基体中,造成材料性能的降低;
- (3) **增强材料与液体之间的界面反应:**这种反应包括了化学反应及溶解吸附反应。化学反应易于在界面处形成脆性金属化合物,这往往成为材料的裂纹源,降低了材料的强度及韧性。溶解和吸附反应在反应初期是有利的。因为它有利于材料间的浸润及结合。但反应后期由于增强材料的组分溶入液体过多,也会削弱材料本身的力学性能。

液态成形是金属材料制造中最为经济的方法,但是在使用这种方法中遇到了诸如浸润性、相容性及化学反应等问题。为了解决这些问题,发展形成了一系列金属材料的液态成形技术。但是从目前来讲,由于对液态成形中存在的问题在理论研究上还深入不足,因此限制了液态成形技术更深入发展。^[2]

4.1.2.2 塑性成形

利用材料的塑性,在工具及模具的外力作用下来加工制件的少切削或无切削的工艺方法。在进行金属加工的过程中,由于会使用切削以及焊接等处理手法,材料的性能会受到削弱,在一定程度上影响了加工精度,而造成不必要的资源浪费。塑性成形作为一种新的加工形式,借助于挤压、锻造等技术手段,实现

了对原材料的热处理和力处理，在保证原材料性能的基础上，实现了对材料的加工处理，塑性成形与传统机械加工相比，塑性成形技术表现出其独特的优点与缺点。

优点：

(1) **组织性能好**：塑性成形可使金属内部组织发生改变，如塑性成形中的锻造等成形工艺可使金属的晶粒细化，可以压合铸造组织内部的气孔等缺陷，使组织致密，从而提高工件的综合力学性能、经过塑性加工将使其结构致密，粗晶破碎细化和均匀，从而使性能提高；

(2) **具有高材料利用率**：塑性成形方法的材料利用率可达 60%-70%，有的达 85%-90%。由于材料性能提高，零件的寿命长，塑性成形可以节省原材料。金属塑性加工是在保证金属整体性的前提下，依靠塑性变形发生物质转移来实现工件形状和尺寸变化的，不会产生切屑，也可以提升材料利用率；

(3) **尺寸精度高，提高制件的强度**：工件的尺寸精度高，不少塑性成形方法可达到少无切削加工的要求。如精密模锻锥齿轮的齿部可以不经过切削加工便可直接使用，塑性加工产品的尺寸精度和表面质量高；

(4) **生产率高**：塑性成形大都具有较高的劳动生产率（自由锻造除外），并且加工流程比较简单，从而可以提高了机械加工的效率，除此以外，塑性成形还能实现生产过程的连续化、自动化，从而可以便于进行大批量生产。

缺点：

(1) **投资大、经费多**：塑性成形可制造小至几克，大至几百吨的重型锻件，制约新产品迅速投产的瓶颈，塑性成形的多数方法所需的模具成本高、设备庞大，能耗高，且成形件的形状和大小也受到限制，形状不能太复杂，而且还需要坯料的塑性好；

(2) **复杂与大体积工件成形困难**：塑性成形时，工件的固态流动与成形比较困难，工件形状的复杂程度不如铸件，体积特别大的工件成形也较困难；

(3) **一定程度的环境污染**^[3]

4.1.2.3 箔材成形

箔材是指极薄的金属片或带材。大多数金属以及它们的合金都能制成箔材，如金、银、铜、铁、锡、锌、铅、镍、铝、钨、钼、钽、铌、钛以及钢和不锈钢、镍基和钴基合金等，其中用量最大的是铝箔。不同国家对不同品种箔材的厚度极限有不同的规定，如中国规定铝箔的最大厚度为 0.20mm，铜镍铅锌钢等箔材的最大厚度为 0.05mm；美国规定铝箔的最大厚度为 0.051mm(0.002")，钢及精密合金箔的最大厚度为 0.127mm(0.005")。考核箔材厚度的另一种指标是单位面积的重量，如 g/m 或 oz/fi 等，该值越大表明厚度越大。箔材具有壁薄的特性，因此在制作空心薄壁耐热变截面构件时，可以将铝箔（轻质、抗腐蚀、延展性好）与镍箔（中等硬度、耐腐蚀、延展性好，且镍基高温合金高温持续使用强度较高）进行交替叠层，再进行弯曲折叠与连接，在高温高压的环境下以胎具为支撑体压制成形，之后取出胎具，构件制作即可完成。

我们小组在导师的引导及建议下，决定对箔材成形工艺进行探究——即以铝箔和镍箔进行叠层，然后在高温高压的环境下以胎具为支撑体进行两种金属的扩散及构件成形。其难点在于叠层后卷筒方法以及折叠后的连接以及胎具的抽取方式。

4.2 项目研究内容及实施方案

本项目以空心、薄壁、变截面整体构件（如：可用于高温机器人手臂的变截面筒形构件）成形设计为主要研究内容，具体内容及方案如下。

方案一：惰性气体提供内压的空心胎具处理方案

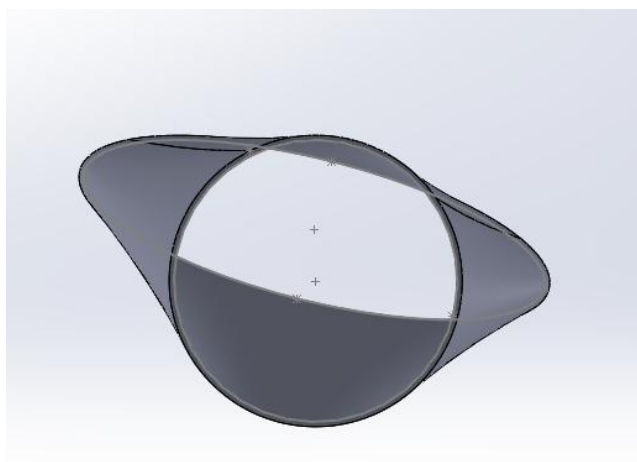


图 1 方案一示意图

1. 设计原因：

胎具难以抽出是因为若保证合金箔材在高温高压下成形就要保证胎具不变形，因此胎具被设计成实心，体积既难以压缩又难以形变，实心都充满空心薄壁构件，虽便于满足成形要求但却难以抽出胎具。若设计成空心则易变形，高压条件无法满足。但若利用惰性气体在高温环境下提供内压的话刚好可以解决这个问题。惰性气体不仅不和胎具内壁反应而且可以通过用量控制胎具内压，抽出后也方便处理空心胎具，因为空心所以可以由内腐蚀或者利用电磁力压缩，便于抽出。但仍有一些问题不易处理，如胎具材料必须不与镍、铝反应且韧性好、可塑性好。

2. 方案思路：

（1）在制作过程中将空心构件胎具相通两侧加上扁圆锥和扁椭圆锥附件，其目的是从锥头注入、抽出惰性气体，或从锥头注腐蚀性溶液来由内腐蚀胎具；

（2）在锥头孔处注入一定量的惰性气体并封好注气孔，让其作为箔材成形的胎具去制作空心薄壁耐热变截面构件，在高温高压的环境下，惰性气体气压较常温下增大并使空心胎具内压与施压设备所施加的压强相平衡，从而保证构件壁内外压强一致且足够使箔材成形；

（3）成形后打开注气孔并抽出胎具内惰性气体，以注入溶液由内腐蚀胎具或电磁塑性成形技术来挤压胎具使其压缩体积变小与构件内壁分离来进行抽取。

3.具体实施：

- （1）查找文献与资料，寻找满足条件且可用的胎具材料与惰性气体；
- （2）查找文献与资料，寻找腐蚀胎具材料的溶液或可行的电磁技术来实现胎具与构件分离；
- （3）自学建模软件（如 SolidWorks），进行基础空心胎具设计与建模。

方案二：基于分割弧面再拼接的内胎处理方案

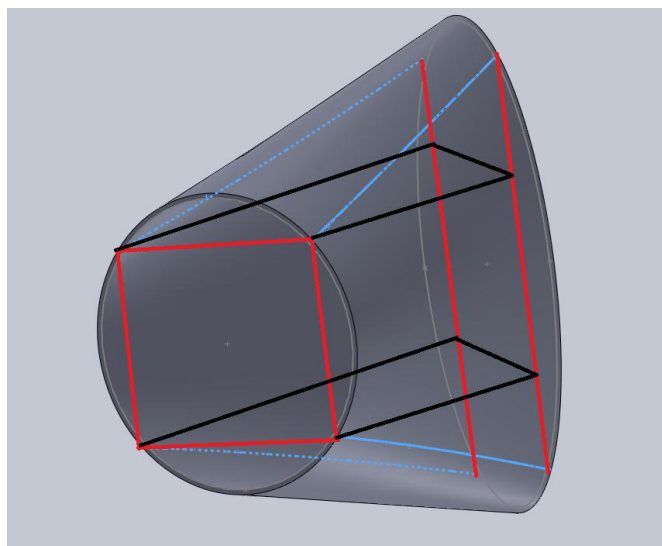


图 2 方案二示意图

1.设计原因:

制作空心器件的普通直截面胎具由于上下底的开口大小相同而比较容易取出，但若设计复杂的变截面构件，在保证胎具完整并且可以循环利用的情况就变得十分困难，因此采用针对变截面的弧面重分割处理再拼合的内胎，可循环利用是可能的。

2.方案思路:

(1) 对模具分析如图 1 所示，将模具的右弧面分割为 A1、B1、C1、D1、四点，同理模具的上弧面、下弧面、左弧面也有对称的点 A2、B2、C2、D2.....等。以右弧面为例做切割线 AB、AC、CD、BD，我们得到了一个内胎 1，同理我们分割其他弧面得到了内胎 2、3、4，以及中心内胎 5；

(2) 利用分块内胎加工复杂表面并在割线预留出一些（几毫米）材料，将内胎重新组合然后将预留边缘的表面贴在完整内胎上对重合的材料再进行热压处理，至此空心的构件便制作完成；

(3) 首先抽出（顶出）中心内胎 5，再将其他内胎一一取出即可。

3.方案优缺点:

(1) 优点：实现了复杂空心构件的内胎取出方法，做到了内胎的循环利用；

(2) 缺点：不同的器件需要根据表面曲率重新设计分割方法，分割连接处重新热压有可能造成形状误差不能用于精密器件。

4.具体实施:

(1) 利用建模软件寻找更好的分割方法；

(2) 思考内胎的重新组合是否会因为材料自身的特点产生粘性不利于取出。

方案三：通过覆盖涂层保护构件，腐蚀处理内胎，再去除涂层材料的方案

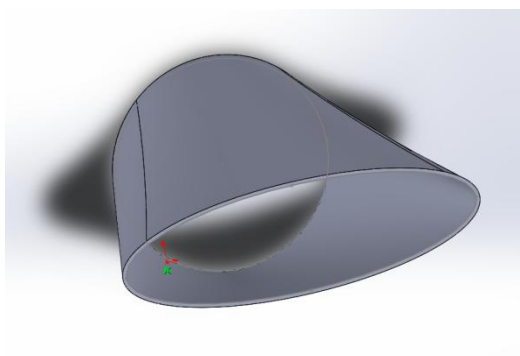


图 3 方案三示意图

设计原因：

由于内胎的独特形状构造，内胎不便于通过物理方式取出，因此想借助化学腐蚀的方法去除胎具，从而得到所需要的空心轻质薄壁耐热变截面构件。

方案思路：

(1) 在构件表面覆盖涂层保护构件，对于材料的要求主要有耐高温，耐腐蚀，高强度，以保证制作构件以及腐蚀分离内胎过程的进行，对于材料的选择，主要确定为工程陶瓷，但由于一般的陶瓷强度较差，无法满足制作构件的高强度要求，因此初步确定选择一种新型耐高温耐腐蚀涂层材料—陶瓷塑料，而且此材料还与金属有良好的附着性，这种材料已经有了实际的用途，如用于管道的保护；

(2) 由于对内胎的材料要求并不高，因此化学腐蚀可以达到目的，将内胎腐蚀后便可得到覆盖有涂层的空心构件；

(3) 关于去除涂层材料的方法，可以考虑等离子电解法，激光去除法，超高压纯水去除涂层等技术，去除涂层后便可以得到所需要的空心轻质薄壁耐热变截面构件。

具体实施：

- (1) 对涂层材料（如陶瓷塑料等）进行更深入的研究，尤其是其耐高温，耐腐蚀，高强度的性质；
- (2) 研究化学腐蚀的具体方法；
- (3) 研究涂层材料的具体去除方法。

4.3 进度安排

项目时间规划图			时间																								
空心机器人手臂成形加工设计			2019年						2020年																		持续时间 (天)
项目信息			11月			12月			1月			2月			3月			4月			5月			6月			
负责人	编号	项目名称	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
刘玮	1.1	查找可用胎具材料	√	√	√																						30
	1.2	查找可用惰性气体				√	√	√																			30
	1.3	设计除胎具方案							√	√	√																30
	1.4	学习SolidWorks										√	√	√	√	√											50
	1.5	进行胎具建模															√	√	√								30
	1.6	检验方案可行性																	√	√							20
	1.7	方案的修改更正																				√	√				20
	1.8	交流讨论																							√	√	√
王蒙都汗	2.1	深化solidworks技能	√	√	√	√	√																				50
	2.2	设计典型胎具处理方案						√	√	√																	30
	2.3	尝试寻找胎具可套用方案									√	√	√														30
	2.4	探索胎具的材料											√	√	√												30
	2.5	研究材料的分离粘性问题的														√	√										20
	2.6	尝试制作实体模型																√	√	√							30
	2.7	修改更正																				√	√				20
	2.8	交流讨论																							√	√	√
王书恒	3.1	研究化学腐蚀方法	√	√	√																						30
	3.2	寻找合适腐蚀剂				√	√	√																			30
	3.3	研究陶瓷塑料的性质							√	√	√																30
	3.4	查找覆盖涂层方法										√	√	√	√												40
	3.5	查找去除涂层方法													√	√	√	√									40
	3.6	检验方案可行性																	√	√							20
	3.7	方案的修改更正																				√	√				20
	3.8	交流讨论																							√	√	√

4.4 中期及结题预期目标

方案一：

中期目标：找到适配方案的材料与惰性气体以及取胎具方法；

结题目标：设计出胎具模型并且打印。

方案二：

中期目标：总结通用性胎具切割办法；

结题目标：制作典型模具切割样式并设计演示流程。

方案三：

中期目标：学习覆盖和去除涂层的方法，给出方案的可行性分析；

结题目标：确认陶瓷塑料可行性，学习化学腐蚀方法并选择好腐蚀剂。

4.5 经费使用计划

最终胎具 3D 打印经费约 150 元。

4.6 主要参考文献

- [1] 苑世剑，刘伟，王国峰，何祝斌，凡晓波，轻合金复杂薄壁构件流体压力成形技术新发展，2019；
- [2] 李中华，朱秀红，韩世平，金属基复合材料液态成形中的问题分析，山西机械，第 3 期，1998；
- [3] 王晓奇，机械加工中塑性加工技术的使用探讨，内蒙古机电职业技术学院，2018。