具有中间夹层的40Cr/UHCS超塑性固态焊接接头组织及性能

摘 要

超塑性是指材料在一定的组织及变形条件下，呈现出异常高延伸率而不产生颈缩与断裂的现象。超塑性固态焊接是一种基于材料超塑性的固态焊接新技术,具有重要的使用价值和工业应用前景。

本文以UHCS-1。6C和40Cr为研究对象,在研究UHCS—1。6C/40C恒温超塑性固态焊接实验的基础上，探讨了UHCS-1.6C/40Cr添加中间夹层的超塑性固态焊接可行性，即研究了基于中间夹层的UHCS—1。6C/40Cr超塑性焊接工艺，观察分析了超塑焊接头区显微组织、焊接缺陷，研究了中间夹层对超塑性固态焊接的作用,初步探讨了超塑焊接头形成机制.实验结果表明：采用Cu中间层进行超塑焊接时，焊接缺陷较多，接头强度较低；采用低碳钢中间层在焊接温度780℃、初始应变速率$0.5\times10^{-4}s^{-1}$条件下焊接30min，可获得最高拉伸强度达398MPa的焊接接头;采用工业纯铁中间层在焊接温度780℃、初始应变速率$0.5\times10^{-4}s^{-1}$条件下焊接15min，可使接头强度达到560MPa,是相同热力循环下40Cr母材强的85％，中间层与母材发生了良好的冶金结合;与不加中间夹层的超塑焊相比，具有中间夹层的超塑焊接头抗拉强度显著提高。

关键词:超高碳钢,40Cr,超塑性焊接，中间夹层，接头质量

The Microstructure and Properties of UHCS/40Cr Superplastic Solid—State Welding joint via interlayer

ABSTRACT

Superplasticity refers to the organization of a certain microstructure and deformation conditions， showed abnormally high elongation without necking and fracture phenomenon.Superplastic Solid-state Welding is a use superplastic of materials under certain conditions of welding technology.This paper studied the microstructure and properties of welded joints of Superplastic Solid—state Welding of UHCS—1.6C/40Cr with interlayer。

In this paper， UHCS—1。6C and 40Cr as the research object，superplastic solid—state welding test by constant temperature， Electronic tensile test and observation,Etc.Discussed the feasibility of superplastic solid—state welding with intermediate sandwich and the influence of process parameters。Analyzed the interlayer on the role of superplastic solid-state welding。And carried out microstructure analysis of weided joints, analysis of the joint area defect , microstructure analysis of the connection zone， and the mechanism of superplastic welding by observation with joint of UHCS-1.6C/40Cr。The results show that： the middle layer used Cu superplastic welding, welding defects are more low joint strength； the middle layer of low carbon steel welding temperature 780 ℃, initial strain rate of 0。5 × 10-4s-1 Welding conditions 30min， for maximum tensile strength of welded joints of 398MPa； the middle layer of pure iron used in the welding temperature of 780 ℃， initial strain rate of $0.5 \times 10^{-4}s^{-1}$ under the conditions of welding 15min， make joint strength reached 560MPa, is 40Cr under the same thermodynamic cycle for 85% of the base metal strength. The middle layer and the base metal had a good metallurgical bond, the joint tensile strength directly compared with the same

welding process parameters significantly improved。本文为互联网收集，请勿用作商业用途本文为互联网收集，请勿用作商业用途

KEY WORDS:UHCS， 40Cr,superplastic welding,interlayer， Welding quality

目 录

第一章 绪 论 1
§1。1 研究背景 1
§1。2 40Cr 与 UHCS 的焊接性分析及应用 1
§1。3 超塑性固态焊接.....2
§1。4 中间夹层在固态焊接中的作用及选取.....4
§1.5 本课题研究的主要内容和目的.....4
第二章 实验方法.....6
§2。1 实验设计路线 6
§2。2 实验材料 7
§2.3 实验设备.....9
§2.4 实验参数的选取和实验步骤.....10
§2。5 接头性能评价.....10
第三章 实验结果的分析与讨论.....13
§3.1 具有中间夹层与直接焊接的强度对比.....13
§3.2 焊接时间对接头强度的影响.....14
§3。3 中间夹层材料对接头强度的影响 15
§3。4 显微组织观察与分析 16
§3.4.1 40Cr 与 UHCS 的组织分析 16
§3。4.2 接头的显微组织观察与分析 17
§3。4。3 显微硬度分析.....19
§3.5 焊接机理初探 21
结 论 22
参考文献.....23
致 谢 25

第一章 绪 论

§1.1 研究背景

超高碳钢(UHCS)是指含碳量在 1.0%～2。1％的碳钢。采取一定的处理工艺使超高碳钢的组织得到充分细化之后，该钢除了具有高强度和一定的韧性之外，还具有良好的超塑性，有望代替部分中高碳钢和合金制作工模具、钢丝、结构件等，使超高碳钢成为开发廉价的新型高强度钢。大大拓宽了超高碳钢的应用前景[1]。40Cr 有良好的力学性能，主要用于制造重要的调质零件，如齿轮、轴、套筒、连杆螺钉、螺栓、进气阀等可进行表面淬火和碳氮共渗[2] 。40Cr 与超高碳钢的焊接可以达到两者的优势互补。因此，如何实现 40Cr 与超高碳钢的优质焊接是国内外比较普遍关注而又亟待解决的问题。

固态连接可以实现 40Cr 和超高碳钢的焊接,添加中间夹层是固态焊接中常用的工艺。

§1。2 40Cr 与 UHCS 的焊接性分析及应用

由于 UHCS 具有高的强度、硬度以及耐磨性，因此，UHCS 不仅有望替代部分中高碳钢以及高合金钢制造工模具，钢丝，结构件，从而显著提高其使用寿命，而且利用其良好的固态连接特性,还可以与自身或其他金属基材料（如不锈钢,中碳钢，黄铜，铝青铜等）连接制备成新型高性能层状复合材料和复合结构[3]。通过对其表面进行激光淬火，细化表面组织，可以实现较好的连接。可是利用熔化焊很难形成质量良好的焊缝，并且利用钎焊连接强度低。因其具有超塑性，固态焊接是形成 UHCS 焊接接头的有效方法。

UHCS 的焊接有以下问题:1。UHCS 的导热性差，焊接区和未加热部分之间产生显著的温差，当焊缝急剧冷却时，在焊缝中引起的内应力，很容易形成裂纹。2。UHCS 对淬火更加敏感，近缝区极易形成马氏体组织。由于组织应力的作用,使近缝区产生冷裂纹.3.由于焊接高温的影响，晶粒长大快，碳化物容易在晶界上积聚、长大,使焊缝脆弱，焊接接头强度降低。4。UHCS 焊接时容易产生热裂纹。5.UHCS 的塑韧性差，是难焊材料，难以与其他金属

进行良好焊接.

UHCS 和 40Cr 的超塑性固态扩散焊接头的力学性能较差，国内外的研究主要通过工艺和焊接参数来改善焊接接头质量。一般的方法有：1.对焊件表面进行淬火处理,细化表面组织；2.电致超塑性焊接；3。相变超塑性焊接；4。添加中间夹层。国内报道了对焊接面进行激光淬火，细化了表面组织，实现了 1.4%C 超高碳钢和 40Cr 的超塑性焊接。利用在焊接过程中加入一定的电场,可以大大提高焊接接头的强度。但是相关 40Cr 与 UHCS 添加中间夹层的超塑性固态焊接的研究尚未见文献报道.

§1。3 超塑性固态焊接

超塑性是指材料在一定组织和变形条件下可呈现出异常好的塑性变形能力[4]。1920 德国 W。Rosenhain[5]等人发现 Zn-4%Cu—7％Al 共晶合金在特定条件下具有超塑性性能；后来英国 C。P。Pearson 对挤压态 Pb—Sn、Bi—Sn 共晶合金在缓慢的应力作用下拉伸,延伸率竟高达 2000％;1945 年,前苏联 A。A。Bochvar 等在 Al—Zn 系合金中也发现了塑性异常高的现象，并首次提出了“超塑性”的概念[6]。1964 年，美国 W.A.Backofen 在对早期研究深入分析的基础上提出了超塑性基本方程($\sigma=k\dot{\varepsilon}^m$)[7].目前已发现了一百多种金属材料的超塑性,并深入研究了超塑变形机理，掌握了不少使金属呈现超塑性的方法。特别是近些年来,超塑成形技术已经应用到工业实际中，如模具的超塑成型、仪器仪表及航空航天技术领域的复杂构件等。

超塑性一般分为两大类：1.组织超塑性，又称细晶超塑性或恒温超塑性，它是在一定的组织和变形条件下实现的，组织条件是要求晶粒超细化(一般<10μm）、等轴化和稳定化，具备上述条件的材料在一定的变形温度（大于 0.5Tm）和应变速率 $\dot{\varepsilon}_0$ （$\dot{\varepsilon}_0=10^{-4}$—$10^{-1}$/s）下，以不同于常规的塑性变形机制在较小的应力作用下进行超塑流变，获得极高的延伸率,是目前研究和应用最多的超塑性[8]。2。相变超塑性或内应力超塑性，是指在很小应力作用下,通过循环加热冷却，使材料内部结构反复发生变化而产生的超塑性,凡是具有固态相变的金属和合金皆可以通过温度循环产生超塑性，而无需组织超细化.但由于需对温度循环进行控制,给工业应用带来一定的困难。

在超塑性变形时，材料具有下列特征[9]：1。流变应力较常规塑性变形急剧减小，在低应力下塑性变形能力明显增大；2.拉伸时无颈缩现象；3。流变应力对应变速率非常敏感;4。不产生加工硬化,易于压力加工和精密成形；5.组织相对稳定，即晶粒长大很缓慢；6。塑性变形以晶界滑动为主，晶界扩散比较明显.基于此，超塑性可以应用于塑性加工、焊接、模具制造、热处理、机械加工、粉末冶金等领域。目前超塑成形技术在航空、航天、军工等行业的应用已带来了巨大的经济效益，超塑成形/扩散连接（SPF/DB）技术已成为航空制造工业中无可替代的关键技术[10]。

固相连接的本质是接触面两侧很薄一层（几个晶粒厚）材料形成的冶金结合。固态焊接是指材料在低于其熔化温度和一定的压力作用下，使相互接触的材料表面紧密接触，并通过原子扩散和键合形成冶金连接的过程[11]。它是通过各种物理方法克服两个连接面的不平度,除去氧化膜及其他污染物,使两个连接表面上的原子相互接近达到晶格距离以形成金属间原子结合，从而在固态条件下实现待焊件的连接。与熔化焊相比，固态焊接接头区不经过熔化和凝固过程,易获得高质量的接头，因而,对固态焊接的需求日趋增多。

随着超塑性研究的深入，人们发现当材料处于超塑状态时，可在低应力下实现比较大的塑性流变，并具有强烈的激活状态，非常有利于实现待连接面的密合和破膜，扩散从而实现固态连接，这种基于材料超塑性的固态焊接技术即超塑性固态焊接，它兼有变形焊和扩散焊的机制和优点，且没有熔化焊的焊接缺陷，易满足精密焊接的要求，因而在现代制造业中有良好的应用前景[12]。

超塑性固态焊接是利用材料在超塑变形时的塑性流变与扩散而实现的固态焊接[13]。该焊接方法所需的压力小（与扩散焊相当）；加热温度不高（介于冷压焊与热压焊、扩散焊之间）；无需真空或保护气氛；无需复杂设备工装;工艺简单、适用范围广；能实现性能迥异材料的固态连接，焊后几乎无需加工等特点，具有广阔的工业应用前景和明显的技术经济效益，已成为近年来固态焊接非常活跃的研究领域.

§1.4 中间夹层在固态焊接中的作用及选取

对异种材料进行固态焊接时,多数情况需要在被焊材料的接触面之间填加在成分和性能上不同于基材的中间过渡层.

过渡层材料通常具备的较好的塑变能力，可以改善固态焊接的工艺条件及被焊接界面的接触条件,降低焊接温度、压力，缩短焊接时间，减少焊件受压后的变形，减少甚至省去焊后的精加工工序，降低对待焊表面的机加工精度要求，可降低生产成本。过渡层可以增大缺陷区，从而减小缺陷密度，提高焊接区的强度.过渡层成分决定了过渡层材料的物理,化学性能，因而选择合适的过渡层的合金成分是非常重要的[14]。

选择固态焊中间层材料的原则是:1.容易塑性变形，硬度较低；2.含有加速扩散的元素，如硼、铍、硅等；3.物理化学性能与母材差异较被焊材料之间的差异小；4。不与母材产生不良的冶金反应，如产生脆性相或不希望有的共晶相; 5。不会在接头上引起电化学腐蚀问题。通常,中间层是熔点较低（但不低于焊接温度）、塑性好的纯金属，如铜、镍、铝、银等，或与母材成分接近的含有少量易扩散的低熔点元素的合金。中间层厚度一般为几十微米，以利于缩短均匀化扩散时间.厚度在 30～100μm,可以以箔片形式夹在两待焊表面之间。不能轧成箔的中间层材料，可用电镀、真空蒸镀、等离子喷涂方法直接将中间层材料涂覆在待焊表面，镀层厚度可仅数微米。中间层厚度可根据最终成分来计算、初选、通过试验修正确定.

§1。5 本课题研究的主要内容和目的

UHCS 和 40Cr 组成的连接件能充分发挥两类钢种在性能与经济上的优势互补，从而在航空航天、石油、化工等行业具有广泛的应用前景[15] .目前 UHCS 的理论研究和应用研究需要深入，如：UHCS 的超塑机制及高温塑性变形机理还不成熟；开发新的合金成分系列，提高 UHCS 的抗氧化、耐腐蚀性能,满足不同用途的需要。我国对含碳量较高的模具钢、轴承钢和高速钢亦进行了超塑处理和研究，但是对 UHCS 及其超塑性的研究还较少见.

文献[14]报道了结构钢和工具钢经整体循环淬火预处理后的恒温超塑性固态焊接。文献[16]进一步指出,晶粒越细越有利于实现基于待焊面组织超

细化的超塑固态连接,这种仅对焊件待焊面表层进行超细化预处理的焊接,对大尺寸工件焊接实施及减少变形更为有利,但此类研究国内外报道不多,特别是有关 UHCS 的固态焊接的研究更为少见。本文以 UHCS 与结构钢为研究对象，探讨其超塑性固态压接的可行性，最佳工艺参数以及连接接头性能，为工业应用提供实验依据。本文主要研究的内容有以下几方面：

1．调研及资料收集,原材料组织性能检测;

2。 制作中间夹层;

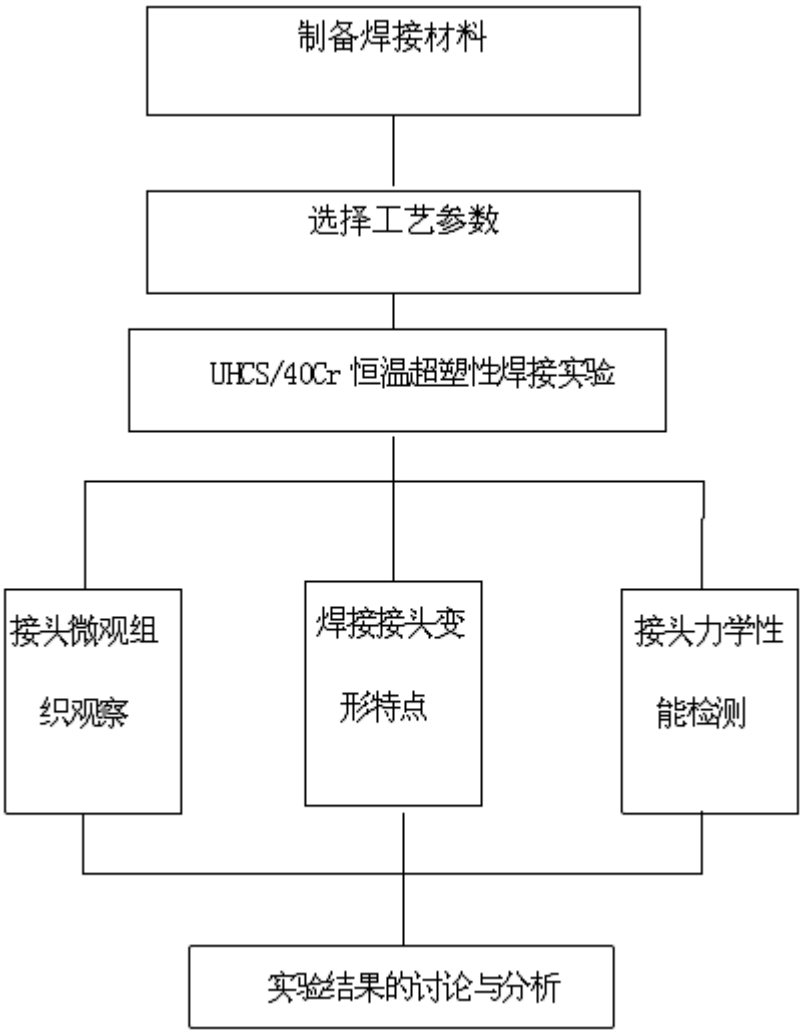
3．进行 UHCS-1。6C/40Cr 超塑性固态焊接实验，并对接头抗拉强度及组织进行测试和分析；

4．初步分析具有中间夹层的 UHCS—1.6C/40Cr 超塑固态焊接接头形成机制.

第二章 实验方法

§2。1 实验设计路线

本实验采用超塑性固态连接技术，利用中间夹层工艺,实现 40Cr 与超高碳钢的焊接.超塑性固态焊接是利用材料在超塑变形时的塑性流变与扩散而实现的固态焊接。在固态焊接中添加中间夹层，可以改善固态焊接的工艺条件及被焊接界面的接触条件，减小缺陷密度,提高焊接区的强度。



2.1 实验流程图

§2。2 实验材料

UHCS—1.6C 的主要化学成分见表 2-1[17]。UHCS—1。6C 的制备工艺：采用中频真空感应炉熔炼、铸锭，对铸锭进行热轧,始轧温度 1050℃，经过多道次轧制，终轧温度控制在 850℃附近。

表 2-1 UHCS—1.6C 的化学成分

化学元素	C	Mn	Si	Cr	Al	P	Nb	V	Ti	S
含量 wt%	1。6	0.44	0.49	1.54	1。66	0.012	0.02	0.043	0.082	0。0075

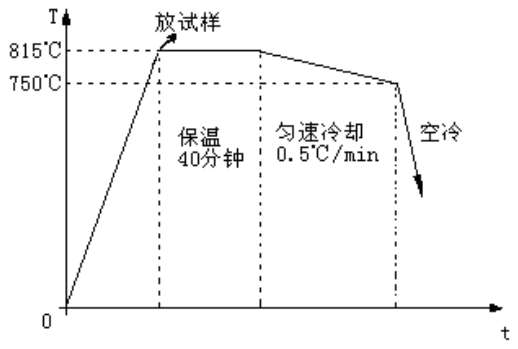


图 2-2 UHCS-1.6C 球化退火工艺

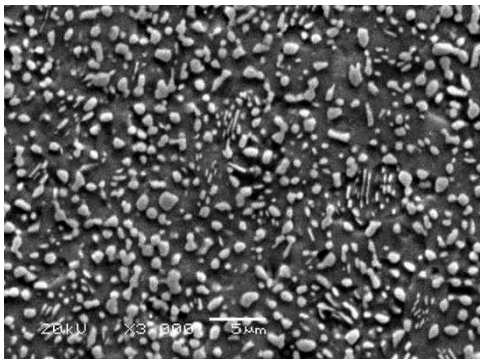


图 2—3 UHCS-1.6C 球化退火态组织

本文研究的 UHCS-1.6C,Ac_1的温度在 790-800℃在高于 Ac_1温度加热奥氏体化，然后以给定冷却速率冷至 Ac_1温度以下出炉空冷，出炉温度设定 750℃.离异共析转变球化处理实验工艺如图 2—2 所示。经球化热处理后组织为渗碳体(θ)+铁素体（α）,其中 Fe_3C 球化良好,少量聚集或呈棒状[18]，如图 2—3 所示，可满足超塑变形的组织要求。

40Cr 为退火供货态，并进行循环淬火处理,其化学成分如表 2—4 所示,原始组织为细晶马氏体。

表 2—4 40Cr 的化学成分[19]

化学元素	C	Si	Cr	P	Ni	S	Mn
含量 wt%	0.3—0.45	≤0.4	0.8—1。1	≤0。03	≤0。2	≤0.03	≤0。35

图 2—5 为 40Cr 钢的循环淬火工艺曲线。由图 2-5 可见,首先把加工好的 40Cr 钢试样加热到 200℃保温一定时间，然后将其放入盐浴炉快速加热到 820℃获得细小均匀的奥氏体组织,接着油淬冷却得到细晶粒马氏体；然后以同样工艺重复淬火以使 40Cr 钢试样的马氏体组织更细小.

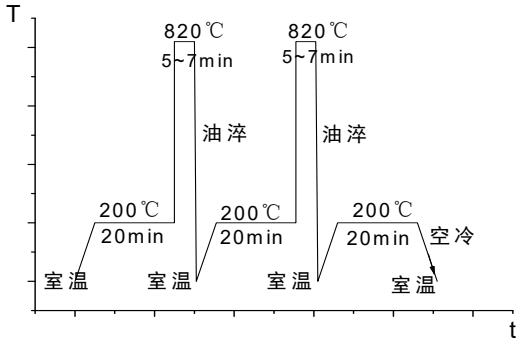


图 2—5 40Cr 钢循环淬火工艺

本实验采用铜,低碳钢，工业纯铁作为中间夹层，通过实验结果分析中间夹层在超塑性固态焊接的作用及不同中间夹层对焊接接头性能的影响。为获得较好的实验结果要尽量使中间层表面平整、光滑，厚度尽可能的薄（50μm 左右)。

试样形状、尺寸如图 2-6 所示，直径为 D=15mm,高为 H=25mm.若试样径高比 D/H 过大,则压缩变形时“端面效应"的影响严重，D/H 过小时则压缩过程中易失稳。文中取 D/H=3/5，并且在端面上涂装润滑剂以减少“端面效应”的影响。为了降低实验与压头接触面上不可避免的摩擦对超塑变形的不良影响，并考虑到高温下润滑剂的润滑效果,本实验采用耐高温性好的石墨润滑[20]。

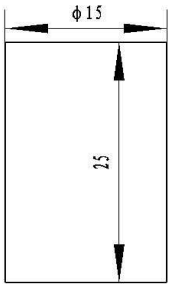


图 2—6 试样的形状、尺寸

中间夹层为圆形薄片，直径略大于试样的直径,厚度为 50μm 左右。

§2。3 实验设备

焊接实验是在经改装的 WJ—10A 型机械式万能材料实验机（如图 2-7）上进行，用管式电阻炉加热，DWJ—702 型温控仪控温，误差为±2℃.实验机压头移动速度在 0。05~30mm/min 范围内可连续可调。实验所用的电源为多功能高压焊接实验电源 FIT—7087。接头抗拉强度实验在日本 SHIMAZU AG-I 型万能电子拉伸实验机上进行.显微组织分析分别采用普通光学显微镜和日本 OLYMPUS PMG-3 型金相显微镜以及 JSM-5610LV 型扫描电镜.能谱分析用 EDAX 能谱分析仪。

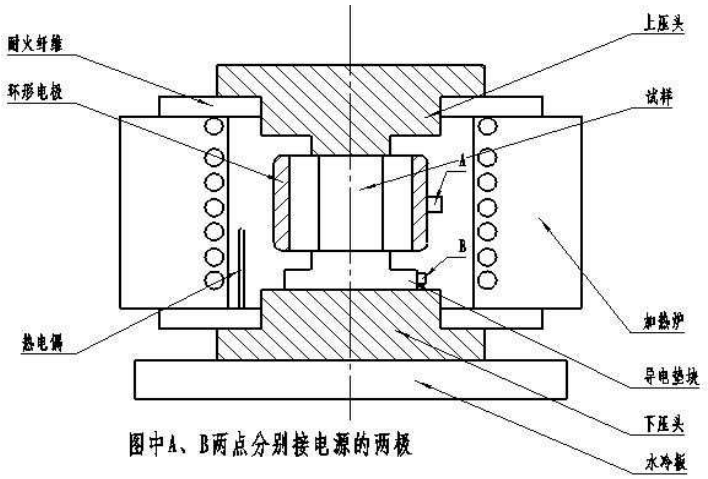


图 2—7 超塑固态焊接设备示意图

§2.4 实验参数的选取和实验步骤

钢的超塑性温度一般是在接近AC_1及其以上温度，已有数据显示UHCS-1。6C 的超塑性变形温度为 780℃，超塑性初始应变速率 1。$5\times10^{-4}s^{-1}$,拥有最佳的压缩超塑性[21]。实验时间分别为 10min,15min,20min.

1。对预处理后的试样的待焊接面用水砂纸和金相砂纸进行打磨，并对中间夹层用金相砂纸金相打磨，再用酒精和丙酮溶液对其进行清洗；

2.测量试样焊前尺寸(高度和直径)；

3。将中间夹层放入处理好的 UHCS—1.6C 与 40Cr 试样中间，压紧，尽量防止对接面夹有杂质,并用牛皮纸和胶布进行密封，端面涂上石墨；

4.检查电源是否接通,底线是否接地，炉子是否合严，以确保实验过程安全进行；

5.将准备好的试样置于试验机中，施加一定的预压力；

6.打开冷却水管，然后给温控系统供电，供电后按下温控控制柜启动键，设定好实验温度，开始升温；

7.到温后开始计时保温，保温一段时间，保温时间设定为 15min，20min，30min；

8。保温时间到后，根据工艺要求调节初始应变速率，开始焊接，并通过传感器与计算机实时记录实验数据;

9。焊接实验停止,无压应力后，打开炉门,取出试样空冷；

10。实验结束，关闭电源和冷却水;

11.试样冷却后测量焊后的尺寸（高度和直径);

§2.5 接头性能评价

将焊后的试样加工成拉伸试样以便进行拉伸实验。强度是材料的力学性能中的一项重要指标.其指标数值的高低，可以表示出材料抵抗变形和断裂的能力的大小。大多数情况下，焊接接头要承受较大的拉伸应力，因此拉伸实验是评价焊件力学性能的最重要的实验.通过电子拉伸实验可以调查出不同焊接工艺条件下材料的抗拉强度，进而对焊接接头的力学性能进行评测.因此,本实验对超塑性固态连接接头实验片进行拉伸强度测试，采用 SHIMADZU

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/308115117062006052