

# 在压力下工作的管道和容器 焊接接头的热处理

〔苏〕П. М. 科罗利科夫 著

严蕊琪 译 姚玉琴 校

国防工业出版社

# 在压力下工作的管道和容器 焊接接头的热处理

〔苏〕П.М. 科罗利科夫 著

严蕊琪 译

姚玉琴 校

国防工业出版社

## 内 容 简 介

在压力下工作的管道和容器在工作中的可靠性、安全性和其焊接接头的质量有很大关系。有些压力工作管道和容器焊接接头,由于没有消除残余焊接应力和不均匀的组织,以致在使用过程中变形、产生裂纹,导致工作介质的“跑、冒、滴、漏”,造成严重的经济损失。有时甚至发生爆炸,造成重大事故。本书对各种大型压力工作容器和形状复杂、很难进行热处理的焊接接头如何进行高质量的热处理提供了详细的介绍,对于解决这种焊接接头热处理的技术困难提供了有益的参考资料。全书共分六章,分别论述了焊接接头热处理的目的种类;热处理用加热装置和材料;热处理设备;工艺方法;质量检验等内容。这些内容在过去出版的热处理著作中是比较少见的。

本书对冶金、化工、造船、石油、能源、运输、建筑、安装等各工业部门的设计、安装、施工、焊接、热处理等专业的技术人员和工人都有参考价值。

### ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ И АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Корольков П. М.

Стройиздат. 1982.

\*

### 在压力下工作的管道和容器焊接接头的热处理

〔苏〕П. М. 科罗利科夫 著

严蕊琪 译

姚玉琴 校

\*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

850×1168  $1/32$  印张 $4^{8}/8$  114千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷 印数: 0,001—3,600册

统一书号: 15034·3233 定价: 1.05元

科技新书目 155-158

## 出版说明

在冶金、化工、造船、石油、能源、运输和建筑业等许多部门中都要使用在压力下工作的管道和容器。安装这些压力工作管道和容器的主要工艺之一是焊接。在焊接过程中，由于加热和冷却不均匀引起的组织不均匀、性能下降和残余焊接应力，将对压力下工作的管道和容器的使用可靠性、安全性造成不良后果。轻则使焊接接头产生变形、裂纹，造成各种工作介质（水、油、气等）的渗漏流失，重则发生爆炸，造成重大灾害。因此在压力下工作的管道和容器的焊接接头必须进行热处理。

但是，在安装条件下的压力工作管道和容器焊接接头的热处理，实施起来有很多困难，特别是对那些大型的压力容器（有的直径大至40m以上）、形状复杂、安装部位特殊（人员、工具及设备难以接近）的管道焊接接头，有时很难进行均匀加热和冷却，无法进行高质量的热处理。使得某些时候不得不放弃必需的热处理工序，这就给这些管道和容器的使用可靠性和安全性留下了潜在的危险。

为了解决这些技术问题，在这里向读者推荐《在压力下工作的管道和容器焊接接头的热处理》这本专著。本书对安装条件下的各种压力工作管道和容器焊接接头的热处理的种类、目的，热处理加热装置、材料和设备，热处理工艺和质量检验等问题都作了详细论述。介绍了大型压力工作容器焊接接头的热处理实例。其中有许多内容在过去出版的热处理专业著作中是很少见到的。相信对从事压力工作管道和容器的设计、安装、施工以及从事焊接和热处理专业的工程技术人员和工人都有实际参考价值。

## 序 言

根据苏联 1981~1985 年和 1990 年以前这段期间发展国民经济和社会主义建设的基本方针,对建筑安装部门提出了下列任务:从根本上改善建筑工程质量、提高基本建设的效率、大力减少手工劳动,并在 1981~1985 年期间将建筑工程的生产率提高 15~17%。

为了完成这些任务,建筑安装部门必须保证按期开工,提高劳动生产率,改善化学、石油化工、冶金及其它国民经济部门建筑安装工作的质量。

安装工作中的主要工艺过程之一是对在压力下工作的管道和容器的焊接接头进行热处理。随着新型合金钢的应用、管道和容器的直径和厚度的增加以及各个工业部门对焊接接头质量要求的提高,上述工艺过程显得越来越复杂,越来越重要。

为了完成这些任务,热处理工作者面临的问题就是必须采用先进的技术装备、高效率的热处理方法、改进组织工作、提高热处理工的技术水平等措施来提高劳动生产率和工作质量。

## 目 录

|      |                          |     |
|------|--------------------------|-----|
| 第一章  | 热处理的目的和种类 .....          | 1   |
| 第二章  | 热处理用加热装置和材料 .....        | 8   |
| 第三章  | 热处理设备分类和技术要求 .....       | 33  |
| 第四章  | 管道焊接接头的热处理工艺 .....       | 62  |
| 第五章  | 压力工作容器的焊接接头热处理工艺 .....   | 101 |
| 第六章  | 热处理温度和热处理质量检验热电高温计 ..... | 112 |
| 参考文献 | .....                    | 136 |

# 第一章 热处理的目的和种类

## 热处理的目的

焊接以后,焊接接头的特点是组织和性能不均匀,并存在残余焊接应力。焊接接头的组织不均匀主要是焊接过程中金属的加热不均匀引起的。在焊接过程中,处于熔化状态的金属焊缝被加热到 $1500^{\circ}\text{C}$ 以上,这时,和焊缝连接的热影响区的金属部分加热程度较小,因而处于固态。离开焊缝越远的金属区,在焊接过程中的加热温度越低(图1)。焊接后,在焊接接头区金属的特点是机械性能分布不均匀。例如,焊缝金属的强度和硬度往往比焊缝附近

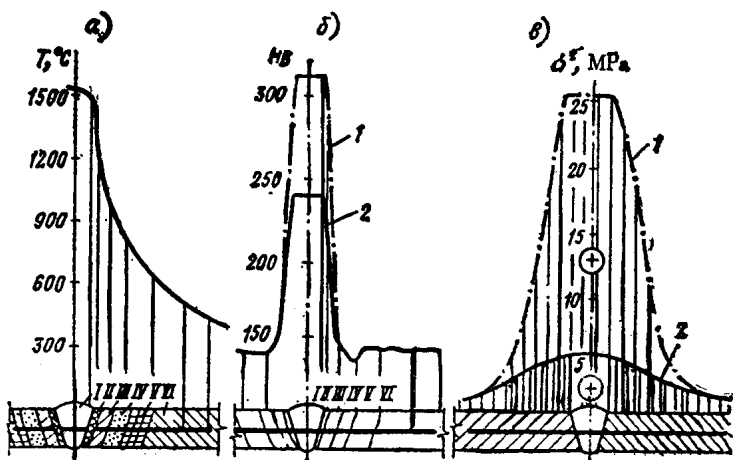


图1 铬钼钒钢焊接接头的组织和性能

a) 焊缝 I, 热影响区(不完全熔化区) II, 淬火区 III, 不完全淬火区 IV, 回火区 V, 和基体金属 VI, 焊接时在热影响区以外的温度分布图; б) 高温回火前(曲线 1)和高温回火后(曲线 2)的金属硬度; в) 沿焊缝的残余焊接应力。曲线 1—焊接接头在高温回火前; 曲线 2—在高温回火后。

区和基体金属的这些性能高 0.2~0.6 倍。在焊缝附近区具有过热区（低碳钢在焊接时加热到  $A_{c3}$  以上 300~400℃）、淬火区〔低合金钢在焊接过程中温度高于  $A_{c3}$  (900~1300℃)〕、软化区〔在  $A_{c1}$  ~  $A_{c3}$  温度范围 (760~850℃) 内〕等不良性能。

过热区的特点是晶粒组织粗大，这种组织决定了金属的可塑性低，而淬火区则存在具有高硬度、低塑性和低冲击韧性的组织成分，软化区具有高的塑性，但强度低。

金属的这种不良状态是由残余焊接应力引起的，焊接应力的 大小可以达到钢的屈服极限 (250~350MPa)。焊接应力是由焊缝金属在冷却过程中收缩、焊接接头不同区域在焊接过程中加热不均匀、焊接制品的硬度和组织变化等因素引起的。

高的焊接残余应力可以造成焊接接头不应有的变形，变形会导致裂缝，这种情况在铬钼钒钢管焊接接头上经常发现。残余焊接应力还会降低焊接接头的耐腐蚀性、耐寒性、疲劳强度和其他使用性质，最后使压力工作管道和容器的运行可靠性恶化。

提高焊接接头可靠性最根本的方法之一是热处理，进行热处理后的焊接接头，可以减低金属中的残余焊接应力、改善金属的组织 and 性能。

压力工作管道和容器的焊接接头，常常在安装条件下进行局部热处理，这时，焊缝和邻近焊缝一定长度的基体金属部分受到加热。有时在安装条件下，对压力工作容器进行整体热处理，即将容器的整个外壳包括焊接接头一起进行热处理。

### 热处理的种类和规范

热处理过程由 3 个连续的阶段组成：将焊接接头加热到一定温度，在这温度下保持一定时间，然后冷却。当安装压力工作管道和容器时，采用下述热处理方式：热复原、高温回火、正常化、稳定化退火和奥氏体化（图 2）。

**热处理复原** 焊接接头被加热到 250~300℃，并在此温度下保持几个小时，热复原的作用是减少焊缝中的含氢量，同时稍微



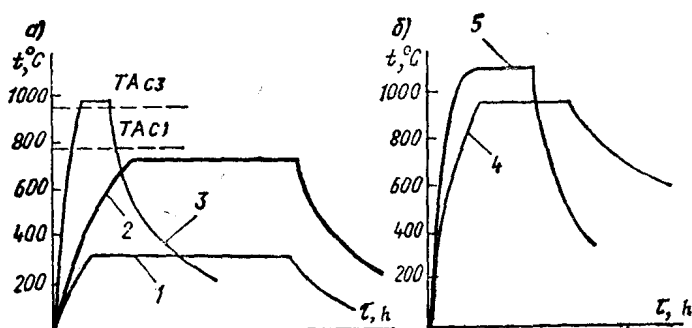


图2 焊接接头的热处理图

а) 珠光体级铬钼钒钢; б) 奥氏体级铬钼钒钢。1—热复原; 2—高温回火; 3—正常化; 4—稳定化退火; 5—奥氏体化。

降低一些残余焊接应力。复原常用于厚壁结构件的焊接接头，因为这种结构件很难按高温回火的规范进行热处理。

**高温回火** 在热处理时，将焊接接头加热到低于临界点  $A_{c1}$  20~30°C 的温度，并在此温度下保持 1~5h，然后缓慢冷却。这样，残余焊接应力就可减少 70~90%，在焊缝区及热影响区的组织就发生变化。对低合金钢来说，这种变化包括淬火组织的分解、碳化物的聚集等等，结果使硬度明显地减低，金属的塑性和冲击韧性增高。珠光体级钢的焊接接头要进行高温回火。

**正常化** 焊接接头加热到高于临界温度点  $A_{c3}$  20~30°C，在此温度下保持一段时间，然后在静止的空气中冷却。正常化的目的是得到均匀的细晶粒的组织，改善焊接接头区的机械性能，降低残余焊接应力。对小直径珠光体级低合金厚壁钢管进行焊接时，多半要进行正常化。

**奥氏体化** 将焊接接头加热到 1080~1130°C，并在此温度下保持 1~2h，然后在空气中冷却。经过这样的热处理后，可得到均匀的奥氏体组织，改善钢的机械性能，并降低残余焊接应力。对牌号为 08X18H10T、12X18H10T、10X17H13M2T 和其他牌

号的奥氏体级高合金钢管道,其焊接接头要进行奥氏体化热处理。进行奥氏体化处理,可使残余焊接应力降低 70~90%,并提高焊接接头金属的塑性。这时,可使焊缝及焊缝附近区的金属组织均匀。

**稳定化退火** 焊接接头加热到 950~970℃,在此温度下保持 2~3h,然后在空气中冷却。这种热处理可使残余焊接应力降低 70~80%,并保证得到能很好抵抗晶间腐蚀的稳定组织。对牌号为 08X18H10T 和 12X18H10T 的奥氏体级高合金钢管道的焊接接头要进行稳定化退火。

进行热处理的必要性及其规范(温度和加热速度、保持的时间、冷却的特征)取决于焊接接头热处理标准技术文件的要求,这些文件对于不同安装对象的焊接接头的要求也不同。偏离标准技术文件中的热处理规范(不遵守所要求的温度、加热速度、保持时间和冷却速度),可能使热处理的质量降低(焊接残余应力降低不多、焊缝金属的硬度增高等等),有时,会降低焊接接头的裂缝稳定性,从而使在压力工作管道和容器过早报废。

在进行高温回火时,偏离给定的规范可大大恶化焊接接头的机械性能和使用性能。例如,回火温度降低到 600~700℃,而不是在 710~740℃时可使铬钼钒钢脆化,并在焊接接头中形成裂缝,而回火温度增高到 760~800℃时,这种钢的焊接接头就有软化的危险性(持久强度降低)。这两种情况,都使钢管焊接接头的使用寿命缩短。

在高温回火时的加热速度对焊接接头的工作能力也有影响。高速加温时,由于不能沿管壁厚度均匀热透,所以会出现很大的热应力。这在加热的开始阶段,当温度为 20~550℃时是危险的,特别是在 20~300℃的温度区,当金属处于弹塑性状态时尤其危险。在这一温度区的最佳加热速度是 100~400℃/h(在加热薄壁钢管时速度可快些)具体取决于被加热制品的壁厚和加热方法。在更高的温度,即 550~750℃(达高温回火温度)加热速度可任意选取,但不能小于 100℃/h。这时,不希望缓慢加热,因为慢

了将使铬钼钒钢焊接接头出现由组织变化引起的裂缝。

必须准确地遵守保温时间，缩短这一时间就不能将残余焊接应力降到最低限度，而延长保温时间会加速金属软化。

保温以后，焊接接头的冷却特点对热处理质量也有很大影响。增加珠光体级钢管焊接接头的冷却速度，可使钢管发生高的温度(时间)应力，为了防止出现热应力，冷却速度必须适当(300~400°C/h)。

在奥氏体化阶段，如果不是在规定的温度以下进行热处理，就不可能得到均匀的奥氏体组织，如果高于规定的温度，则在焊缝及其附近区可能引起金属晶粒长大，结果使金属的裂缝倾向大大增加。

加热的速度也有很大的影响，在550°C以下加热速度必须缓慢，这样可以避免出现大的热应力。在550~1100°C的范围内(主要是650~850°C)必须快速加热，以防止由于金属组织变化而引起的近焊缝区出现裂缝。

焊接接头的冷却，一般来说，应该在静止的空气中进行冷却，缓慢冷却是有害的，因为这会加剧奥氏体分解，从而降低金属的塑性和耐热性。

珠光体级低碳钢和低合金钢管，特别在冬天时要预热到100~300°C，以降低残余焊接应力，改善焊接接头的性能以及防止焊接接头在焊接时由于快速冷却而在焊缝上产生的裂缝。预热(开始焊接之前)和伴随加热(直接在焊接过程中或在焊接过程中断时间内)要加以区别。

### 加热方法及其应用范围

苏联安装专业部门对安装设施上的管道焊接接头进行热处理时采用下列加热方法：电阻加热、感应加热、混合式电加热、气体火焰加热和热化学加热等。这些方法的主要评价标准是在热处理过程中沿管壁厚度的温度差的大小。

用电阻器加热是辐射加热的一种方法，这时被加热的空气是

载热体。当电流流过加热元件（尼赫罗姆镍铬合金的带材、金属丝等）时，就在其中产生热量（按照焦耳-楞次定律）。这种加热方法的优点是：电能损耗不大（在加热电路中几乎不存在无功功率，因为加热元件基本上只有欧姆电阻）；可以实现小尺寸设备上难以进入的管道接头的加热及热处理过程的自动化和远距离控制；用一个电源可同时加热一批管子的焊接接头；可以将焊接接头加热到正常化温度或奥氏体化温度（高于  $900^{\circ}\text{C}$ ）。

这种方法的缺点是沿管壁厚度和焊接接头的圆周加热不均匀，沿管壁厚度的温度下降值一般是  $1^{\circ}\text{C}/\text{mm}$  壁厚。沿加热的管子垂直接头周长的温度差为  $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。可用专用的工艺方法来减小沿管壁的温度差和达到焊接接头垂直方向的加热均匀性。

感应热处理方法是用交变电磁场在金属中感生的电流加热焊接接头的方法。温度沿管壁厚度下降的数值并不大，因为热量是在金属本身中直接形成的。这种方法的优点也是加热过程控制简单；可以根据电规范采用远距离手动或自动控制方法；可以进行批量热处理。

感应加热方法的缺点是电加热设备笨重，会产生磁场，使电位差计难以进行温度检测。

采用  $50\text{Hz}$  的工频和  $400\sim 8000\text{Hz}$  的中频电流进行感应加热，壁厚大于  $40\text{mm}$  的管子焊接接头按高温回火规范最好用  $50\text{Hz}$  的电流进行热处理，因为这一频率的电流对金属的感应深度很大（达  $70\text{mm}$ ）。因此，可保证沿整个管截面均匀地加热。但是，这时要用  $1500\text{A}$  的电流，这就要求用大截面（ $240\text{mm}^2$ ）的导体和感应圈。这种加热方法的特点是电能消耗太多，工作有很大困难。

用中频加热，电流可小一些（ $100\sim 250\text{A}$ ），因此，所用的工作电缆和感应圈的截面都可以比上述的小得多。目前，常常用频率为  $2500\text{Hz}$  的电流进行加热。这一方法的优点也是感应设备的功率因数高（ $\cos\varphi = 0.9\sim 1$ ），其最大的经济性在于：和前述方法相比，可以降低感应设备的设备容量，减少操作困难和更有

效地应用成组加热方法。

现在，全苏安装专业组织部并未将这一方法用于焊接接头的热处理，因为尚未批量生产这种设备（这种设备最近将由苏联电气工业设计院组织制造）。

根据电阻和感应原理用频率为 50Hz 的电流和混合式电热器进行加热时，焊接接头主要是靠电阻加热。感应分量的热作用较小，但有时（电流为 250~300A 时）每 1mm 壁厚的温度降可减小到 0.75°C（和电阻加热方法相比），这可提高热处理的质量。混合式电加热器制造起来简单，每种标准型号可用于几种管径。混合式加热法的优点是加热过程的控制简单，可以按照电气规范进行手动或自动遥控，可以进行成批热处理等等。

气体火焰加热法也是辐射加热方法，包括气体混合物燃烧时从管子外部向内传热，乙炔、丙烷-丁烷混合气、天然气和其他气体（加入氧或空气）等均可用作可燃气体。

管道可用单火焰通用乙炔-氧焊枪加热，或用环形多火焰焊枪加热。

这种方法的主要优点是灵活性大，既可以对难以接进的焊接接头进行热处理，也可在缺少电能的情况下进行热处理。

但是，这种方法的缺点较多，因而妨碍了它的推广应用。由于是从管子外部单方向传热，所以沿 1mm 管壁的温度差很大，甚至超过 1°C。此外，在加热垂直的焊接接头时，其上、下两部分的温差很大。这一方法的缺点还在于气体火焰和钢管接触使管子表面氧化，经常使控制热处理温度的热电温度计报废。

在安装条件下，气体火焰热处理过程难于实现自动化和遥控，此外，从技术观点看也不太安全。

用热化学方法加热时，热处理所需的热量是由放在焊接接头上的放热混合剂燃烧时形成的。这些混合剂的成分有氧化铝、硫和磷的化合物，它们在燃烧时能产生大量的热。这一方法的主要优点在于不需要电能和可燃气体就能进行热处理，且过程简单。但是，这一方法有很多缺点，不能控制加热温度，不能进行手动

或自动调节加热过程，沿管壁厚度的温度差很大，与用热辐射加热方法相当。

在苏联，放热混合焊剂（包）是由国外的焊接接头热处理商行提供的，设备也是由这些商行供给的。

全苏安装专业组织部用苏联钢号生产的钢管，用钢管焊接接头热处理加热设备的应用范围由 OCT36-50-81《钢管工艺。焊接接头热处理。典型的工艺过程》（表1）规定。

表 1 加热设备的应用范围

| 加 热 设 备                               | 钢 管 尺 寸, mm |       |
|---------------------------------------|-------------|-------|
|                                       | 直 径         | 壁 厚   |
| 柔性指状电阻加热器 ГЭН                         | 108~1020    | 70以下  |
| 混合式电加热器 КЭН-3                         | 219~720     | 70以下  |
| 由裸铜线 M 和 МГ 做成的柔性感应圈，<br>工作电流频率为 50Hz | 108~630     | 11~70 |
| 单火焰通用乙炔-氧焊枪                           | 89以下        | 10以下  |
| 环状多火焰焊枪                               | 325以下       | 25以下  |

对压力工作容器焊接接头热处理加热设备的应用范围由这些容器的标准文件规定，其中包括这些容器的焊接接头热处理的工艺图。

在其他发达国家，除用 50Hz 的工作电流进行感应加热以外（这种加热方法是不经济的，因为要消耗大量电能），也是采用和苏联相同的加热方法。

## 第二章 热处理用加热装置和材料

在焊接时，可用各种不同的加热装置对焊接接头进行热处理以及对钢管和容器等边缘进行预热（见图 3）。

加热装置必须很轻，便于放在被处理的零件上，具有高效率、

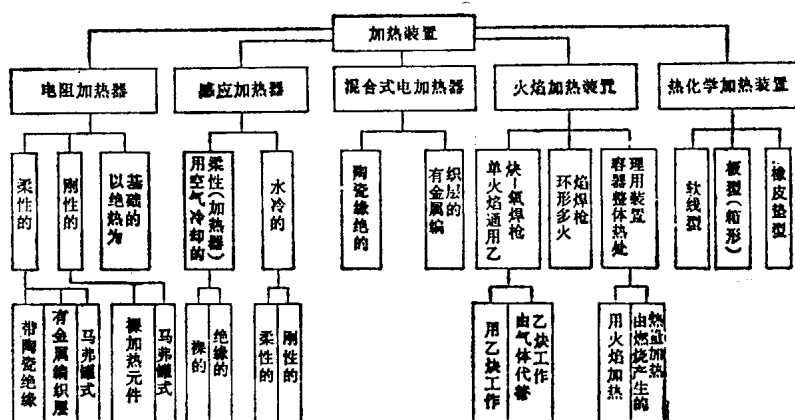


图8 用于热处理和焊接加热的加热装置分类

高功率因数（对电加热器来说），保证沿处理零件的周长能均匀加热，保证沿壁厚的温度差在容许范围内。

### 电阻加热器

电阻加热器是辐射加热器，在其中将电能通过镍铬合金的电阻丝转变成热量，电阻直接接在电路中。在  $200^{\circ}\text{C}$  以下加热时热传导基本上是对流形式，在  $200\sim 1200^{\circ}\text{C}$  范围内热传导主要是辐射形式。

将一定量的金属加热到给定的温度所需的热量（kJ）可由下式确定：

$$Q = 4.2Bcm(T_1 - T_0)$$

式中  $B$ ——计算热损耗（1.3~1.4）系数；

$c$ ——钢的热容量（0.54~0.71），kJ；

$m$ ——被加热金属的质量，kg；

$T_1$ ——规定的加热温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_0$ ——初始温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

根据焦耳-楞次定律，当加热装置的电功率为一定时，在给定

时间内能得到的热量 (单位kJ) 为:

$$Q = 4.2 \times 0.24 Pt = Pt$$

式中  $P$ ——加热装置的功率, kW;

$t$ ——加热时间, s。

因此, 一般情况下, 加热装置的功率 (kW) 可由下述关系式求出:

$$P = \frac{Q}{4.2 \times 0.24} = \frac{4.2 Bcm(T_1 - T_0)}{4.2 \times 0.24} = \frac{Bcm(T_1 - T_0)}{0.24}$$

全苏安装专业组织部广泛应用柔性指状加热装置  $\Gamma\Theta H$ , 它是由双层平螺旋线圈 (直径为 3.6mm 的镍铬合金线) 组成, 每个线圈 (指) 用氧化铝烧结的陶瓷绝缘物加以保护, 能承受 1600°C 的高温 (图 4)。在全苏安装专业组织部系统中有一个工厂生产柔性指状电加热器  $\Gamma\Theta H$ , 型号为 TY36-1837-75 (表 2)。

由于指长可以伸缩, 所以必要时可以扩大或缩小柔性指状电加热器的宽度。复杂的焊接接头 (在钢台上焊装陡直而变曲的出

表 2 柔性指状电加热器元件的参数

| 柔性指状电加热器元件约定的标志 | 焊接接头的管直径 (mm) | 柔性指状电加热器元件的尺寸 (mm) |          |     | 指数 (个) | 重量 (kg) | 电 性 能  |        |         |
|-----------------|---------------|--------------------|----------|-----|--------|---------|--------|--------|---------|
|                 |               | 长 (按馈电线计算)         | 长 (按爪计算) | 宽   |        |         | 电流 (A) | 电压 (V) | 功率 (kW) |
| 3HT.192.168.4   | 108           | 446                | 416      | 100 | 13     | 3.63    | 100    | 20.5   | 2.05    |
| 3HT.192.168.7   | 133           | 542                | 512      | 100 | 16     | 4.18    | 100    | 24     | 2.4     |
| 3HT.192.168.9   | 159           | 606                | 576      | 100 | 18     | 4.66    | 100    | 26.3   | 2.63    |
| 3HT.192.168.10  | 168           | 638                | 608      | 100 | 19     | 4.84    | 100    | 27.5   | 2.75    |
| 3HT.192.168.11  | 180           | 670                | 640      | 100 | 20     | 5.06    | 100    | 28.6   | 2.86    |
| 3HT.192.168.13  | 194           | 734                | 704      | 100 | 22     | 5.46    | 100    | 31     | 3.1     |
| 3HT.192.168.15  | 219           | 798                | 768      | 100 | 24     | 5.87    | 100    | 33     | 3.3     |
| 3HT.192.168.18  | 245           | 894                | 864      | 100 | 27     | 6.45    | 100    | 36.6   | 3.66    |
| 3HT.192.168.19  | 260           | 926                | 896      | 100 | 28     | 6.67    | 100    | 37.8   | 3.78    |
| 3HT.192.168.20  | 273           | 958                | 928      | 100 | 29     | 6.85    | 100    | 39     | 3.9     |
| 3HT.192.168.23  | 300           | 1054               | 1024     | 100 | 32     | 7.48    | 100    | 42.4   | 4.24    |
| 3HT.192.168.25  | 325           | 1118               | 1088     | 100 | 34     | 7.88    | 100    | 44.7   | 4.47    |

● 瞬时电流容许达 120 A。



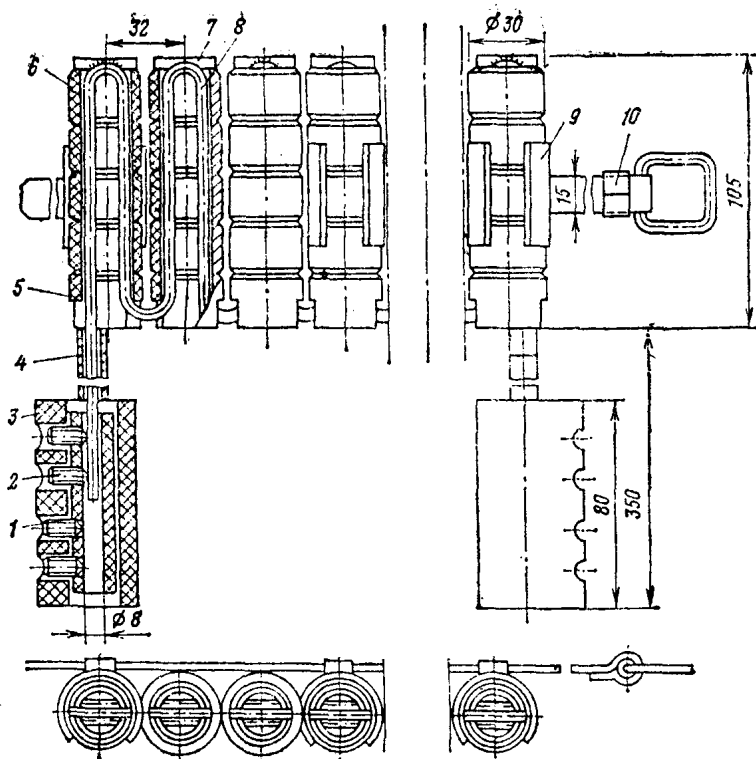


图4 柔性指状电阻加热器ГЭН

1—由G 3号钢制造的接触线圈；2—35号钢制成的双头螺栓 M8×16，3~6—陶瓷绝缘片（3—尾端，ИКН-702У2；4—引出端 ИКН-202У2；5—异形块 ИКН-402У2；6—圆柱形 ИКН-302У2）；7—镍铬合金线；8—加热元件；9—环带固定板；10—固定电加热装置在管道上的腰带。

口）热处理时可以按柔性指状电加热器的长度增加指的高度。

这种电加热装置广泛用于安装部门，因为它的单位功率很高（ $1\text{m}^2$ 表面积为  $45\sim 50\text{kW}$ ），可以采用焊接电源（变压器和变流器），运行简单，重量轻，坚固，功率因数高（ $\cos\varphi$ ），由于绝热和传热良好，所以有效功率很高（接近 50%）。可以自动控制加热工序，修理方便经济等。柔性指状电加热器的缺点是制造相当复杂，对管直径小于  $100\text{mm}$  的焊接接头进行热处理有困难，电热装置部件的长度，当要求大量应用各种型号尺寸的柔性指状电加