

电子束焊接法及其设备



国防工业出版社

77.746

812

电子束焊接法及其设备

郑州机械科学研究所 编译

国防工业出版社

0251/4

内 容 简 介

本书主要讨论电子束焊接方法及所用装置。包括发射、聚焦、非真空焊接、自动装卸料、密封等问题的研究及其装置。

此外，对电子枪的调准方法及器件、合理设计电子束焊接工件、电子束熔化行为以及对管子纵缝的电子束焊接问题也作了讨论。

本书可供从事电子束焊接工作的工人、技术人员阅读参考。

电子束焊接法及其设备

郑州机械科学研究所 编译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

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

*

787×1092¹/₃₂ 印张4⁹/₁₆ 96千字

1977年6月第一版 1977年6月第一次印刷 印数：00,001—8,100册

统一书号：15034·1557 定价：0.38元

(限国内发行)

目 录

1. 合理设计电子束焊接工件的指导原则及参考数据····· 5
2. 电子束焊接熔化行为的研究····· 12
3. 高能电子束的发射装置····· 28
4. 电子枪的调准法及其器件····· 33
5. 金属及非金属材料在常压下的电子束焊接法
及其设备(即非真空电子束焊接)····· 38
6. 非真空受控电子束····· 42
7. 电子束焊接的自动聚焦装置····· 55
8. 电子枪的管状电磁聚焦透镜····· 67
9. 数字模拟程序控制电子束自动聚焦系统····· 78
10. 自动对正电子束焊接机····· 98
11. 电子束发生系统及其制造方法····· 106
12. 板形阴极电子发射源····· 111
13. 无真空室电子束焊接工作部位的密封装置····· 118
14. 电子枪与真空工作室的柔性衔接装置····· 124
15. 电子束与工件在真空室内的相对运动····· 127
16. 自动送料电子束焊接机····· 131
17. 管子制造中纵缝的电子束焊接法及其设备····· 137

77.746

912

电子束焊接法及其设备

郑州机械科学研究所 编译

国防工业出版社

0251/4

内 容 简 介

本书主要讨论电子束焊接方法及所用装置。包括发射、聚焦、非真空焊接、自动装卸料、密封等问题的研究及其装置。

此外，对电子枪的调准方法及器件、合理设计电子束焊接工件、电子束熔化行为以及对管子纵缝的电子束焊接问题也作了讨论。

本书可供从事电子束焊接工作的工人、技术人员阅读参考。

电子束焊接法及其设备

郑州机械科学研究所 编译

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

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

*

787×1092¹/₃₂ 印张4⁹/₁₆ 96千字

1977年6月第一版 1977年6月第一次印刷 印数：00,001—8,100册

统一书号：15034·1557 定价：0.38元

(限国内发行)

出版说明

本书系根据英、美、西德的专利和国际焊接学会刊物编译而成。主要特点是，比较具体地介绍了各种装置。对从事电子束焊接工作的人员有一定参考价值。

我们在编译时，对原作中宣扬所谓“专利”的作用作了适当的删改。由于水平所限，译文中难免还会有这样或那样的问题。希望读者批判地阅读此书，吸收其有益部分，屏弃其糟粕，以真正做到“洋为中用”。

目 录

1. 合理设计电子束焊接工件的指导原则及参考数据····· 5
2. 电子束焊接熔化行为的研究····· 12
3. 高能电子束的发射装置····· 28
4. 电子枪的调准法及其器件····· 33
5. 金属及非金属材料在常压下的电子束焊接法
及其设备(即非真空电子束焊接)····· 38
6. 非真空受控电子束····· 42
7. 电子束焊接的自动聚焦装置····· 55
8. 电子枪的管状电磁聚焦透镜····· 67
9. 数字模拟程序控制电子束自动聚焦系统····· 78
10. 自动对正电子束焊接机····· 98
11. 电子束发生系统及其制造方法····· 106
12. 板形阴极电子发射源····· 111
13. 无真空室电子束焊接工作部位的密封装置····· 118
14. 电子枪与真空工作室的柔性衔接装置····· 124
15. 电子束与工件在真空室内的相对运动····· 127
16. 自动送料电子束焊接机····· 131
17. 管子制造中纵缝的电子束焊接法及其设备····· 137

1. 合理设计电子束焊接工件的 指导原则及参考数据

前 言

目前讨论电子束焊接的文献很多，但是涉及电子束焊接在整个生产过程中所占有的位置和有关它不同于一般工件设计原则的篇幅却相当的少。这个原因也许可以归结于这样的事实：即电子束专业人员和负责设计、制造及工作计划的工厂技术人员两方面没有密切地联系与配合。为了改变这种状态，就必须加强互通情况。在筹备和设计工件、或计划一条生产线的初期阶段，人们就应搜集适合的电子束焊接技术参考数据和指导资料，这不仅有助于预计成本、节省费用，而且可以受到启发、找到某些解决各种现实的技术-经济问题的新方案。本文就拟在这个方面提出几点建议。

材料和加工的经济问题

电子束焊接不但是一个有利的工件连接方法，而且可以使材料的利用更为经济，使成形加工更为简化。不论几何形状简单的还是复杂的工件通常都是从轧制的或锻制的毛坯开始用机床加工成形的。有时需要在毛坯上留出切削工具在完成切削后的退刀槽。这种退刀槽意味着工件体积和重量的增大，另一方面还需要对它作出某些附加的机械加工。这些可以通过下述措施而得以避免，这就是把工件再分为若干段，

分开来加工（这将比整体加工更为经济），然后用电子束把它们组装焊合起来。

下面我们将举一个简单的例子，也许可以使读者对这种分段加工组合技术所获得的经济意义得出一个印象。图1是一条齿轮轴的部分示意图。在常规制造的情况下，在两个不同周节的齿轮之间必须留出一个退刀槽。如果把这条齿轮轴

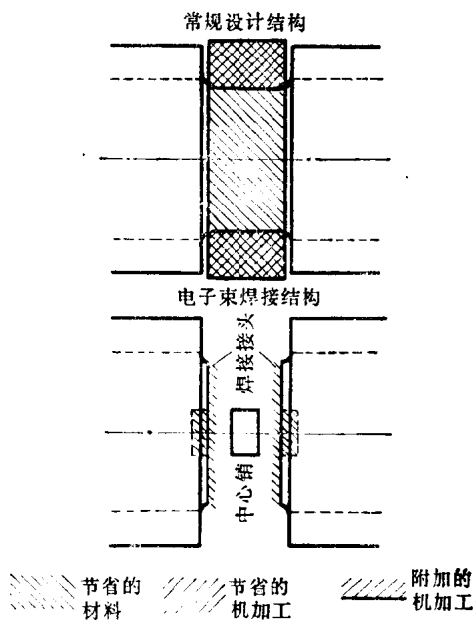


图1 齿轮轴的常规设计结构与电子束焊接结构的比较

材料：渗碳钢

分为两段，并用电子束焊接把它们连接起来，那么这一标志着浪费的退刀槽就可以省去，同时既可节省钢材，也可降低热处理的费用。此外，这个部分也不再需要花费机加工成本。

另一方面，人们当然也要考虑到它的焊接接头加工和焊接所需要的成本。在图2中我们就把图1所示工件取消退刀槽后节省的成本与焊接所需的成本作一比较。由图可见，工件

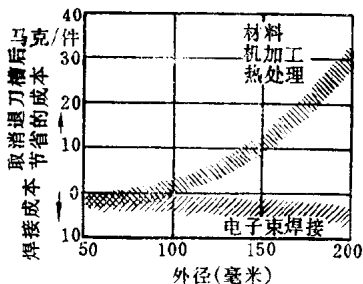


图2 图1所示工件改变设计结构后所获得的经济效果

的尺寸愈大，取消退刀槽后节省的成本就会远远超过焊接成本。所以，在这个例子中，采用以电子束焊接为基础的复合设计结构取得了良好的经济效果。

电子束焊接大大简化了复杂机器部件的机加工。以齿轮轴为例，采用电子束焊接结构，人们就可以首先用几条圆钢分别连续铣出不同周节的齿，然后把它们切成齿轮，分别用电子束焊接组合起来，就成为在同一条轴杆上有不同周节的齿轮的齿轮轴，从而不需单个地加工每一个齿轮。采用组合结构和电子束焊接对于其他机加工部件与冲压部件或冷作成形部件的接合也是有利的。

复合材料

往往有这样的情况：由于在同一工件内有很不相同的要求，需要对材料作出匹配的选择。譬如材料成本是重要因素时，就要求把贵重的材料只局部应用于要发挥它们性能的不可缺少的部位。在这类情况下，复合材料就成为优越的解决方案。在各种制造复合材料的方法当中，电子束焊接取得了优越的应用地位，而且正在扩展。迄今为止，已有用连续电

子束焊接来生产各种不同材料的复合型材或板条，由两种或多种不同材料复合而成的圆筒形坯料也有用电子束来对接的。电子束焊接复合材料给人印象深刻的一个应用实例是双金属锯条的生产。这种锯条是以弹簧钢作基体材料，在它的一侧焊上一条狭窄的高速钢作为锯齿材料。它不仅节省了昂贵的高速钢，而且还延长了锯条的使用寿命。

至于采用复合材料是否比整体材料更经济的问题，可以从高速钢与碳钢复合生产中得到清楚的答案。许多实例的核算表明，碳钢只要能平均代替 10% 的高速钢，电子束焊接所花费的成本就可获得补偿。而实际上碳钢的用量远远多于高速钢。所以，大幅度节省成本是可以实现的。有一条大约估计成本的规则是：把待焊材料厚度除以 4 即得连续电子束焊接每焊 1 米所需的成本。

电子束焊接接头的几何形式及加工

电子束可以焊出许多种接头形式。用图例来说明它们也许比大篇文字更好，见图 3。这些图例当然不是完整的，还可加以补充。

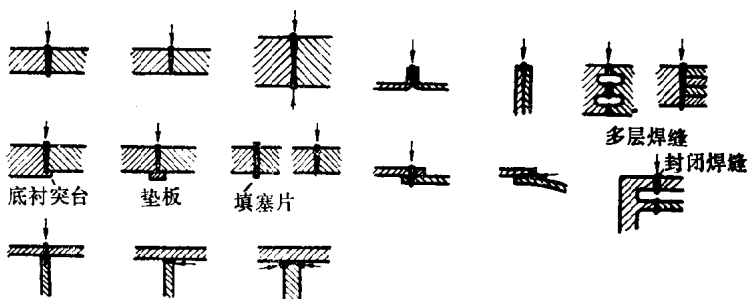


图 3 电子束焊接接头形式图例

那些精通电弧焊的设计人员和焊接技术人员对于电子束的某些特性很可能不太熟悉。当他们准备电子束焊接接头时，应考虑下列事项：

a) 因为电子束焊接一般都不加填充材料，所以接头的上边必须刨平而不得有任何坡口。

b) 接头的装配表面允许的粗糙度（或表面光洁度）取决于焊缝的深度。焊缝深度小于 20 毫米时，宜用 $\nabla\nabla$ 表面光洁度；深度在 20 毫米以上的焊缝，则用 ∇ 的粗加工表面也就够了。

c) 接头装配面必须平整，不得有显著的间隙。焊缝深度大于 20 毫米者，如用摆动电子束施焊，可允许有 0.3 毫米的间隙。

d) 焊接边和邻近区不得有油污和氧化物。

e) 焊缝内部如有空穴，例如是由焊接接头形式决定的，必须开有排气孔道（图 4），使它包含的空气能在施焊前的抽真空期间挑出来，以免影响焊接过程。

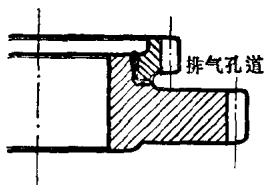


图 4 工件内部空穴的排气孔道一例

尺寸精度

由于电子束焊接产生的单位长度内输入的热量甚低，故受焊工件的收缩和变形比其他焊接方法焊出的工件的收缩变形小得多，甚至在许多情况下小得可以忽略不计。然而，我们必须懂得收缩和变形怎样才能有效地减小的，尺寸改变到甚么程度必须加以考虑。

收缩和变形不仅仅取决于单位焊缝长度内输入的线能

量。重要的还在于：输入的线能量数值是用高焊接速度还是用低焊接速度达成的，因为，在收缩和变形问题上，焊接区的取决于时间的热量分布起着决定性的作用。除了待焊材料的物理特性外，工件的特殊几何形状（关系到对收缩的阻碍和散热的快慢）也对尺寸的改变产生影响。在这些条件下，要对收缩或变形作出精确的定量估计，实际上是不可能。在已发表的文献中涉及这个问题的为数甚少。

迄今为止，还是可以找到几个以实验为基础的大约规律。例如，直线式焊缝的横向收缩量大致等于 0.05 乘焊缝熔化区的平均宽度。如果两块板材由直线焊缝连接，往往会发生角变形。这个角变形量取决于熔化区的截面积，就薄板而言，熔化区的截面或多或少地呈现不平行四边形的形态，随着板材厚度的增大，熔化区的截面形状也趋近于正方形。板厚大于 10 毫米，角变形量就小得可以忽略不计。

常常需要进行环缝焊接，它的接头平行或垂直于旋转轴心线。在第一种情况下，收缩变形可以导致两个工件发生某种偏心对接。这个现象显然是由焊接过程促成的。因为，就在紧接电子束轰击区的后面会发生收缩；随后又有热量积聚在工件内，这就使正在受焊的部件随着受热而改变尺寸的自由度愈来愈受到限制。为了克服这一故障，建议把待焊的两个部件作成紧配合 (H7/P6)，使在装配时接头部分预先产生一定量的弹性变形。这样，就可使施焊时产生的收缩量受到邻接于焊缝部分的材料的先前产生的弹性变形的补偿或抵消，因而能使两个受焊部件实际上仍能保持它们的对中位置。

在焊接接头垂直于旋转轴心线的情况下，容易产生单面收缩和变形，如果把受焊的两个部件强迫固定在某一轴向上

则可以减小这种变形。这种变形往往取决于焊件的直径和径向厚度。把起焊点与收焊点安排在适当的位置上也有助于获得良好的尺寸精度；例如，两条外径为 50 毫米、壁厚为 10 毫米的管子的焊接接头发生与其直线轴心位置偏差的角变形可望保持在不大于 3 分的程度内。

环缝接头的焊接时间

对于生产的计划工作，以及对于把几种不同的焊接方法进行经济对比而言，要获知电子束焊接某项工件所需的工时往往是很必要的。焊接速度取决于材料的尺寸和种类，例如，在可淬硬钢焊接的情况下，就必须把焊接速度放慢，使它低于焊机容量和材料熔化行为本来可以达到的高焊接速度。就某一给定的焊接问题而言，输入线能量和焊接速度可以在某一范围内调节。然而，为获得一定的焊接结果，在这两个参数之间并不存在相互联系的关系，如果遇到新的焊接问题，通常还必须用实验来决定最佳的范围。

但是，对于初步的估计还是可以给出某些指导性线索的。

图 5 所示的焊接时间数据可通用于大多数的环缝焊接。纯焊接时间是焊接速度除以环缝圆周长度加焊缝收尾时的搭接段长度所需时间的结果。图 5 的数据都是以非合金碳素钢和奥氏体 Cr-Ni 钢进行实际试验获得的，使用的电子枪功率为 15 千瓦。至于装卸时间取决于焊机的形式，当然要长一些。采用现代化的旋转工作台焊机，辅助时间则可以达到小于 10 秒的程度。

1106097

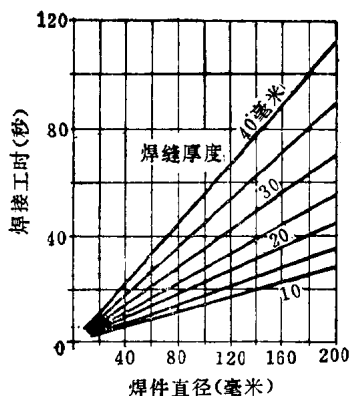


图5 各种厚度、各种环缝直径
所需焊接时间

〔译自国际焊接学会 (IIW) 1973 年出版的 The Present State of The Applications of Electron Beam Welding And Friction Welding, Part 1: Electron Beam Welding, P 75~78〕

2. 电子束焊接熔化行为的研究

1. 问题的提出

对于电子束焊接熔化区的成形, 除材料的热导性质外, 下列的几项工艺影响因素起着决定性的作用:

- a) 电子束焦点上的功率密度;
- b) 电子束功率和焊接速度。

关于加速电压在 5 千伏以下的电子束焊接功率对熔化区成形的影响, 已有了几项研究结果发表^[1,2]。这些结果表明, 随着功率密度的增大, 在纵深方向的熔化量也会增大。然而, 要测量由 100 千伏至 150 千伏加速电压所产生的电子

束功率密度是很困难的。因此，为要求出功率密度与熔化区成形之间的关系，就只好试调参数进行试焊，以便从电子束发生系统的各项调好后的规范参数计算出其所属的束柱直径、功率密度。

关于电子束各项参数和焊接速度对各种不同材料的熔化区成形的影响，已有几项研究结果公布^(3,4)。但这些研究结果并未得出一个规律性的结论，可以用来预计某种电子束参数会产生什么样的熔化区成形。本研究就是谋求把各项焊接参数对熔化区成形的影响关系用计算公式来确定。

2. 电子束发生器的结构和工作方式

本试验使用的电子束焊接设备的最大加速电压为150千伏，电子束功率为3瓩。电子束发生器为三电极系统形式。电子发射源是一个直热式阴极，与接地的阳极相对，电位可调至-150伏。另有一个圆筒式电极，一般称为Wehnelt圆筒，套在阴极的周围并与之同心，它处于负电位上，可调至几百伏。通过圆筒电极电位（称为Wehnelt电压）的调节，可以调节在阴极与阳极之间所形成的电场强度，亦即能调节电子束电流强度。在阴极、Wehnelt圆筒与阳极之间的电场能使通过其间的电子聚集成束，使它在阴极前方一定的距离上形成“缩颈”（Crossover）。阳极上有一个栅孔（直径20毫米），受到加速的电子从这个栅孔通过而达到一个无（电）场空间，接着进入一个电磁透镜产生的旋转均匀的磁场中去。这个磁场使电子再一次聚束，然后到达工件的表面，轰击它而释放大量的能量，产生熔化。在这台设备中，电子发射源与工作室之间没有真空隔离装置，所以本试验只限于高真空